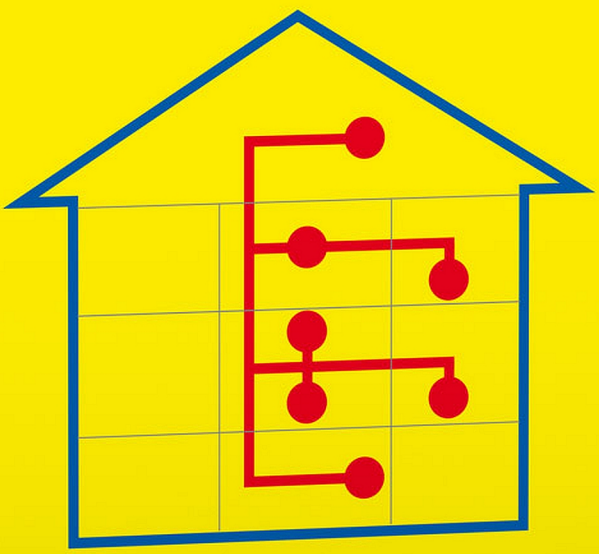
Hösl · Ayx · Busch

VDE VERLAG

# Die vorschriftsmäßige Elektroinstallation

Wohnungsbau · Gewerbe · Industrie

21., neu bearbeitete Auflage



Hösl · Ayx · Busch
Die vorschriftsmäßige Elektroinstallation

Hösl · Ayx · Busch

# Die vorschriftsmäßige Elektroinstallation

Alfred Hösl · Roland Ayx · Hans-Werner Busch

# Die vorschriftsmäßige Elektroinstallation

Wohnungsbau · Gewerbe · Industrie

21., neu bearbeitete Auflage

VDE VERLAG GMBH

Auszüge aus DIN-Normen mit VDE-Klassifikation sind für die angemeldete limitierte Auflage wiedergegeben mit Genehmigung 472.015 des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. und des VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. Für weitere Wiedergaben oder Auflagen ist eine gesonderte Genehmigung erforderlich.

Die zusätzlichen Erläuterungen geben die Auffassung der Autoren wieder. Maßgebend für das Anwenden der Normen sind deren Fassungen mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der VDE VERLAG GMBH, Bismarckstr. 33, 10625 Berlin und der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin erhältlich sind.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbeschreibungen etc. berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und von jedermann benutzt werden dürfen. Aus der Veröffentlichung kann nicht geschlossen werden, dass die beschriebenen Lösungen frei von gewerblichen Schutzrechten (z. B. Patente, Gebrauchsmuster) sind. Eine Haftung des Verlags oder der Autoren für die Richtigkeit und Brauchbarkeit der veröffentlichten Programme, Schaltungen und sonstigen Anordnungen oder Anleitungen sowie für die Richtigkeit des technischen Inhalts des Werks ist ausgeschlossen. Die gesetzlichen und behördlichen Vorschriften sowie die technischen Regeln (z. B. das VDE-Vorschriftenwerk) in ihren jeweils geltenden Fassungen sind unbedingt zu beachten.

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über *http://dnb.dnb.de* abrufbar.

ISBN 978-3-8007-3896-0 (Buch)
ISBN 978-3-8007-3962-2 (E-Book)

© 2016 VDE VERLAG GMBH · Berlin · Offenbach
Bismarckstr. 33, 10625 Berlin

Alle Rechte vorbehalten.

Druck: CPI – Ebner & Spiegel GmbH, Ulm
Printed in Germany 2016-01

# Vorwort

Das Buch „Die vorschriftsmäßige Elektroinstallation", von Lesern häufig allgemein „der Hösl" genannt, wird seit über 50 Jahren an das sich ständig ändernde Vorschriftenwerk angepasst und erscheint nun schon in der 21. Auflage. Das ist sicherlich ein Beweis für die Richtigkeit der Zielsetzung seines Autors, dem Praktiker ein Buch in die Hand zu geben, das ihm – auf dem jeweils neuesten Stand – ein verlässlicher Wegweiser zu den „anerkannten Regeln der Elektrotechnik" ist.

Dr. Alfred Hösl, bis zur 10. Auflage des Werks im Jahr 1982 Alleinverfasser, ist 1996 verstorben. Er war ein Experte, insbesondere auf dem Gebiet der Sicherheit elektrischer Anlagen und des Blitzschutzes. Für den Potenzialausgleich und die Fehlerstromschutzschaltung hat er Pionierarbeit geleistet. Bearbeiter der Auflagen 11 bis 15 war Roland Ayx. Seit der 16. Auflage bin ich für die Bearbeitung verantwortlich.

Das Buch richtet sich an alle Berufsgruppen der Elektrotechnik, angefangen vom Auszubildenden über den Handwerker und Facharbeiter, den Techniker und Meister bis zum Ingenieur der Elektrotechnik. Es hilft dem Handwerker und Errichter elektrischer Anlagen so gut wie dem, der elektrische Anlagen unterhält, ändert und instand setzt, und dem, der sich mit der Planung elektrischer Anlagen befasst.

Der Nutzer erhält einen Gesamtüberblick über die zu beachtenden Vorschriften, die beim Planen, beim Errichten und beim Betrieb von Niederspannungsanlagen zu beachten sind. Aber auch die wichtigen gesetzlichen Grundlagen werden angesprochen. Die wesentlichen Anforderungen sind in den VDE-Bestimmungen enthalten; sie bilden die Basis des Buchs. Darüber hinaus werden auch die für elektrische Anlagen wichtigen technischen Verordnungen und Technischen Regeln für Betriebssicherheit sowie – wie es jetzt neu heißt – das Vorschriften- und Regelwerk der DGUV herangezogen.

Am Anfang wird auf Gesetze und Verordnungen sowie auf die technischen Vorschriften und Richtlinien eingegangen, um den Leser mit dem rechtlichen und sprachlichen Rüstzeug vertraut zu machen. Danach werden die wichtigsten Begriffe und die Schutzarten zum Schutz gegen Berührung, Fremdkörper und Wasser sowie auch die Schutzklassen elektrischer Betriebsmittel vorgestellt. Dann folgt der für die

Sicherheit besonders wichtige Teil über den Schutz gegen elektrischen Schlag. Im Folgenden wird dann – sozusagen in Energieflussrichtung – alles von der Stromversorgung bis zu den Verbrauchern behandelt. Den Abschluss des energietechnischen Teils bilden das Prüfen von elektrischen Anlagen und Verbrauchsmitteln sowie der Betrieb elektrischer Anlagen. Auch auf Blitzschutzanlagen und Brandmeldeanlagen wird kurz eingegangen. In einem umfangreichen Anhang sind die für den Praktiker wichtigen VDE-Bestimmungen und Normen sowie Vorschriften- und Literaturbezugsquellen angegeben. Auch Bildzeichen, soweit nicht im Text auf sie eingegangen wird, und Schaltzeichen sind aufgeführt. Ein umfangreiches Register, das einen schnellen Zugang zum Stoff ermöglicht, schließt das Buch ab.

Seit der letzten Auflage sind – immer noch wegen der Harmonisierung mit den internationalen Normen – sehr viele VDE-Bestimmungen, DIN-Normen und andere Vorschriften mehr oder weniger geändert worden, und es sind auch neue hinzugekommen. Die Änderungen sind in einigen Fällen substanzieller Art, vielfach redaktioneller Art. Allein von den knapp 60 VDE-Bestimmungen und Beiblättern der Reihe 0100, welche die Errichtung der Niederspannungsanlagen betreffen und die Grundlage dieses Buchs bilden, sind seit Erscheinen der letzten Auflage wieder mehr als ein Drittel geändert worden; dabei gab es hinsichtlich des Inhalts bei einigen Vorschriften gravierende Änderungen. Aber auch viele andere VDE-Bestimmungen, die ebenfalls Grundlage für die Errichtung elektrischer Anlagen und von Blitzschutzanlagen sind, wurden seit der letzten Auflage geändert. Dies gilt genauso für die VDE-Bestimmungen für den Betrieb elektrischer Anlagen, aber auch für zahlreiche Produktnormen, die bei der Planung und der Errichtung elektrischer Anlagen berücksichtigt werden müssen. Weiterhin sind für die Planung und Errichtung wichtige DIN-Normen, wie z. B. die über elektrische Anlagen in Wohngebäuden (Reihe DIN 18015) neu herausgekommen. Mit Teil 5 der Reihe DIN 18015 ist ein ganz neuer Teil im Jahr 2015 mit dem Untertitel „Luftdichte und wärmebrückenfreie Elektroinstallation" erschienen, womit nicht zuletzt dem Trend zur Energieeinsparung Rechnung getragen werden soll. Alle Änderungen haben selbstverständlich wieder ihren Niederschlag im Buch gefunden. Insbesondere folgende Abschnitte wurden dabei in wesentlichen Passagen überarbeitet oder ergänzt:

| | |
|---|---|
| 1.2.4 | Unfallverhütungsvorschriften / A1.5 DGUV-Vorschriften- und Regelwerk |
| 1.2.5 | Produktsicherheitsgesetz |
| 1.2.5.4 | Betriebssicherheitsverordnung |
| 3 | Schutz gegen Berührung, Fremdkörper und Wasser (IP-Code) sowie gegen mechanische Beanspruchung (IK-Code) |
| 5.1.7 | Gefahren durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder |
| 5.6.2.1 | PEN-Leiter |
| 5.6.3.2 | Überstromschutzeinrichtungen im TT-System |

5.6.7.5 Ortsveränderliche Fehlerstromschutzeinrichtungen (PRCDs)
5.6.8 Schutzleiter
5.6.9 Erder
5.6.11.2 Zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich
7 Schaltanlagen und Verteiler
8.1 Leitungs- und Kabelarten und ihre Anwendungsbereiche
8.1.5 Leitungen für feste Verlegung
8.1.6 Flexible Leitungen
8.2 Leitungsverlegung
8.2.1 Leitungsweg
8.2.3 Leiterverbindungen
8.2.4 Installationsdosen
8.2.9 Ummantelte Installationsleitungen (Mantelleitungen)
11.6 Elektrische Ausrüstung von Maschinen
13.3 Schutz gegen Brände
14.1 Feuchte und nasse Bereiche und Räume
14.4 Becken von Schwimmbädern, begehbare Wasserbecken und Springbrunnen
14.5 Garagen
14.7 Feuergefährdete Betriebsstätten und Lagerräume
14.9 Explosionsgefährdete Bereiche
14.10 Medizinisch genutzte Bereiche
14.11 Öffentliche Einrichtungen und Arbeitsstätten
14.12.2 Abgeschlossene elektrische Betriebsstätten
14.12.3 Batterieräume und Ladestationen für Akkumulatoren
14.21 Holzhäuser, Baracken, Baubuden sowie Installationen in Hohlwänden, Holzdecken und Holzwänden
14.23 Liegeplätze für Wassersportfahrzeuge und Hausboote und ähnliche Bereiche
14.26 Räume und Orte mit unersetzbaren Gütern von hohem Wert; Baudenkmäler; Museen
15 Prüfungen von Anlagen und Verbrauchsmitteln
16 Betrieb elektrischer Anlagen
17 Blitzschutz und Überspannungsschutz
18.4 Brandmeldeanlagen
18.5 Alarmierungseinrichtungen

Darüber hinaus wurden in zahlreichen Kapiteln Begriffe und Bezeichnungen ergänzt, aktualisiert und angepasst.

Im Anhang angegebene Bezeichnungen, Titel und Gültigkeitsdaten von VDE-Vorschriften und Normen, DGUV Vorschriften, Informationen, Regeln (Unfallver-

hütungsvorschriften), Arbeitsblättern, Publikationen, Richtlinien und Merkblätter sowie Bezugsquellen und Abkürzungen wurden aktualisiert und teilweise ergänzt. Selbstverständlich ist aber der Leser gehalten, sich selbst darüber zu informieren und sicher zu stellen, dass er mit den jeweils aktuellen Fassungen arbeitet und diese anwendet.

Es ist mir ein großes Bedürfnis, wieder allen Lesern herzlich zu danken, die durch kritische Zuschriften mitgeholfen haben, einzelne Sachverhalte klarer darzustellen. Auch für Hinweise, die folgenden Auflagen zugutekommen können, bin ich dankbar. Mein Dank gilt auch dem VDE Verlag, der DKE und allen Unternehmen, die durch Bereitstellung von Bildern und Skizzen dazu beigetragen haben, die Qualität des Buchs zu erhöhen. Darüber hinaus danke ich den Mitarbeitern der TÜV SÜD Industrie Service GmbH, die mir zahlreiche anregende Hinweise gegeben haben.

Besonders danken möchte ich Herrn Wolfgang Heinritz für die vollständige Neuerstellung des Abschnitts Elektrische Ausrüstung von Maschinen, Herrn Ulrich Steinegger für die umfangreiche Überarbeitung des Abschnitts Medizinische Bereiche und Herrn Torsten Scheller, der den gesamten Abschnitt Blitzschutz und Überspannungsschutz übernommen und aktualisiert hat, sowie Herrn Wolfgang Gastl, der die beiden Abschnitte Brandmeldeanlagen und Alarmierungseinrichtungen aktualisiert hat.

Danken möchte ich auch ganz besonders wieder Herrn Bernd Schultz vom Lektorat Elektrotechnik/Elektrohandwerk des VDE Verlags für die hervorragende Unterstützung, die sehr gute und konstruktive Zusammenarbeit sowie für die aufgebrachte Geduld.

Mering, im Dezember 2015 *Hans-Werner Busch*

# Mitarbeit bei der Bearbeitung

Die folgenden Kapitel bzw. Abschnitte dieser Auflage sind unter Mitarbeit der jeweilig genannten Personen überarbeitet worden:

| Abschnitt/ Kapitel | Abschnitt-Titel | Autor |
|---|---|---|
| 11.6 | Elektrische Ausrüstung von Maschinen | Heinritz, Wolfgang |
| 14.10 | Medizinisch genutzte Bereiche | Steinegger, Ulrich |
| 17 | Blitzschutz und Überspannungsschutz | Scheller, Torsten |
| 18.4 | Brandmeldeanlagen | Gastl, Wolfgang |
| 18.5 | Alarmierungseinrichtungen | Gastl, Wolfgang |

# Inhaltsübersicht


Gesetze, Verordnungen, Vorschriften und Richtlinien ..... 1

Begriffe ..... 2

Schutz gegen Berührung, Fremdkörper und Wasser (IP-Code) sowie gegen mechanische Beanspruchung (IK-Code) ..... 3

Schutzklassen der Betriebsmittel ..... 4

Schutz gegen elektrischen Schlag ..... 5

Stromversorgung ..... 6

Schaltanlagen und Verteiler ..... 7

Leitungen und Kabel ..... 8

Verbraucheranlage und Verteilungsnetz ..... 9

Schutz gegen elektromagnetische Störungen ..... 10

Elektrische Betriebs- und Verbrauchsmittel ..... 11

Einrichtungen für Sicherheitszwecke ..... 12

Vorbeugender Brandschutz ..... 13

Bereiche, Räume und Anlagen besonderer Art oder Nutzung ..... 14

Prüfungen von Anlagen und Verbrauchsmitteln ..... 15

Betrieb elektrischer Anlagen ..... 16

Blitzschutz und Überspannungsschutz ..... 17

Fernmelde- und Informationstechnik ..... 18

Anhang ..... A

Literaturverzeichnis ..... Lit

Stichwortverzeichnis ..... Reg

# Inhalt

**Vorwort** ..... V

**Mitarbeit bei der Bearbeitung** ..... IX

**1 Gesetze, Verordnungen, Vorschriften und Richtlinien** ..... 1
1.1 Vorbemerkungen ..... 1
1.2 Rechtliche Bestimmungen für die Installation ..... 2
1.2.1 Energiewirtschaftsgesetz ..... 2
1.2.2 Niederspannungsanschlussverordnung ..... 3
1.2.3 Bürgerliches Recht und Strafrecht ..... 7
1.2.3.1 Werkvertrag ..... 7
1.2.3.2 Haftung aus Vertrag (Werkvertrag) ..... 9
1.2.3.3 Unerlaubte Handlungen ..... 10
1.2.3.4 Strafrechtliche Würdigung eines Schadens ..... 11
1.2.3.5 Haftpflichtgesetz ..... 13
1.2.4 Unfallverhütungsvorschriften ..... 14
1.2.5 Produktsicherheitsgesetz. Überwachungsbedürftige Anlagen, Betriebssicherheitsverordnung ..... 19
1.2.5.1 Allgemeines ..... 19
1.2.5.2 Kennzeichnung ..... 23
1.2.5.3 Überwachungsbedürftige Anlagen ..... 24
1.2.5.4 Betriebssicherheitsverordnung ..... 25
1.2.6 Sicherheitsvorschriften der Feuerversicherer. Klauseln für die Feuerversicherung ..... 30
1.2.7 Arbeitsstättenrecht ..... 31
1.2.8 Verordnung über den Bau von Betriebsräumen für elektrische Anlagen ..... 33
1.3 VDE-Vorschriftenwerk ..... 37

**2 Begriffe** ... 41

**3 Schutz gegen Berührung, Fremdkörper und Wasser (IP-Code) sowie gegen mechanische Beanspruchung (IK-Code)** ... 53
3.1 Berührungs- und Fremdkörperschutz ... 54
3.2 Wasserschutz ... 54
3.3 Kennzeichnung des Berührungsschutzes durch den zusätzlichen Buchstaben ... 55
3.4 Zusatzinformationen durch den ergänzenden Buchstaben ... 56
3.5 Beispiele für den IP-Code ... 56
3.6 Beispiele für einige übliche Schutzarten ... 57
3.7 Auswahl der Schutzart ... 60
3.8 Schutz gegen äußere mechanische Beanspruchungen von Gehäusen (IK-Code) ... 60

**4 Schutzklassen der Betriebsmittel** ... 61
4.1 Betriebsmittel der Schutzklasse 0 ... 61
4.2 Betriebsmittel der Schutzklasse I ... 62
4.3 Betriebsmittel der Schutzklasse II ... 62
4.4 Betriebsmittel der Schutzklasse III ... 63

**5 Schutz gegen elektrischen Schlag** ... 64
5.1 Gefährliche Körperströme ... 66
5.1.1 Gefährdung durch technischen Wechselstrom 50/60 Hz ... 66
5.1.2 Gefährdung durch Gleichstrom ... 68
5.1.3 Gefährdung durch Wechselstrom mit Gleichstromkomponenten ... 69
5.1.4 Gefährdung durch Impulsströme ... 69
5.1.5 Elektrischer Widerstand des menschlichen Körpers ... 70
5.1.6 Körperstrom und Berührungsspannung ... 71
5.1.7 Gefahren durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder ... 72
5.2 Schutzmaßnahmen ... 77
5.3 Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) ... 78
5.3.1 Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) unter normalen Bedingungen ... 79
5.3.1.1 Basisisolierung aktiver Teile ... 79
5.3.1.2 Abdeckungen oder Umhüllungen ... 79
5.3.2 Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) unter besonderen Bedingungen ... 81
5.3.2.1 Hindernisse ... 81

5.3.2.2 Anordnung außerhalb des Handbereichs ... 81
5.4 Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) ... 82
5.5 Auswahl der Schutzmaßnahmen ... 83
5.6 Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung ... 86
5.6.1 Versorgungssystem nach Art der Erdverbindung ... 87
5.6.2 TN-System ... 90
5.6.2.1 PEN-Leiter ... 92
5.6.2.2 Neutralleiter und Mittelleiter ... 98
5.6.2.3 Schutz durch automatisches Abschalten im TN-System ... 99
5.6.2.4 Überstromschutzeinrichtungen im TN-System ... 102
5.6.2.5 Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) im TN-System ... 107
5.6.2.6 TN-System und zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich ... 108
5.6.2.7 TN-Verteilungsnetz ... 108
5.6.2.8 Prüfungen im TN-System ... 110
5.6.3 TT-System ... 110
5.6.3.1 Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) im TT-System ... 112
5.6.3.2 Überstromschutzeinrichtungen im TT-System ... 114
5.6.3.3 Fehlerspannungsschutzeinrichtungen im TT-System ... 117
5.6.3.4 TT-System und zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich ... 119
5.6.3.5 Prüfungen in TT-System ... 120
5.6.4 IT-System ... 120
5.6.4.1 Isolationsüberwachungseinrichtung ... 124
5.6.4.2 Abschaltung im Doppelfehlerfall ... 125
5.6.4.3 Prüfungen im IT-System ... 127
5.6.5 FELV ... 128
5.6.6 Zusätzlicher Schutz für Steckdosen und für Endstromkreise für den Außenbereich ... 130
5.6.6.1 Zusätzlicher Schutz für Steckdosen ... 130
5.6.6.2 Zusätzlicher Schutz für Endstromkreise für den Außenbereich ... 132
5.6.6.3 Anwendung von Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) für den zusätzlichen Schutz ... 133
5.6.6.4 Zusätzlicher Schutz bei direktem Berühren in Wohnungen ... 135
5.6.7 Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) ... 138
5.6.7.1 Überblick, Begriffe ... 138
5.6.7.2 Netzspannungsunabhängige Fehlerstromschutzeinrichtungen ohne eingebauten Überstromschutz (RCCBs) ... 141
5.6.7.3 Netzspannungsunabhängige Fehlerstromschutzeinrichtungen mit eingebautem Überstromschutz (RCBOs) ... 144
5.6.7.4 Leistungsschalter mit Fehlerstromeinheiten (CBRs) und mit Modularen Fehlerstromgeräten (MRCDs) ... 145

5.6.7.5 Ortsveränderliche Fehlerstromschutzeinrichtungen (PRCDs) ..... 146
5.6.7.6 Überspannungen und Stoßströme ..... 148
5.6.7.7 Selektivität ..... 149
5.6.7.8 Schweißtransformatoren ..... 149
5.6.7.9 Prüfungen ..... 150
5.6.8 Schutzleiter ..... 151
5.6.9 Erder ..... 160
5.6.10 Fundamenterder ..... 169
5.6.11 Schutzpotenzialausgleich ..... 173
5.6.11.1 Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene ..... 173
5.6.11.2 Zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich ..... 179
5.7 Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung ..... 181
5.8 Schutztrennung mit nur einem Verbrauchsmittel ..... 186
5.9 Schutz durch Kleinspannung mittels SELV und PELV ..... 189
5.10 Besondere Schutzvorkehrungen ..... 195
5.10.1 Schutz durch nicht leitende Umgebung ..... 195
5.10.2 Schutz durch erdfreien örtlichen Schutzpotenzialausgleich ..... 197
5.10.3 Schutztrennung mit mehr als einem Verbrauchsmittel ..... 199
5.10.4 Begrenzung von Beharrungsberührungsstrom und elektrischer Ladung ..... 200
5.11 Entfallen von Vorkehrungen für den Fehlerschutz ..... 201
5.12 Überlagerung mehrerer Netze ..... 202

**6 Stromversorgung** ..... 204
6.1 Hochspannungsnetze ..... 204
6.1.1 Transformatorenstationen ..... 207
6.1.2 Hochspannungsschaltanlagen ..... 209
6.1.3 Schutz bei Kurzschluss und Überlast. Selektivität ..... 211
6.1.4 Kabel in Hochspannungsnetzen ..... 213
6.1.5 Schutz gegen gefährliche Körperströme ..... 217
6.1.6 Erdung ..... 218
6.2 Niederspannungsnetze ..... 221
6.2.1 Kabel und Leitungen ..... 221
6.2.2 Hausanschlüsse in Freileitungsnetzen ..... 224
6.2.2.1 Hausanschlussleitung ..... 224
6.2.2.2 Hauseinführungsleitung ..... 225
6.2.2.3 Hausanschlusskasten ..... 229
6.2.3 Hausanschlüsse in Kabelnetzen ..... 230
6.2.4 Hausanschlussbereiche ..... 232
6.2.5 Hauptstromversorgungssysteme ..... 236

6.2.6 Zähler und Steuergeräte ... 240
6.3 Netzrückwirkungen ... 241
6.4 Niederspannungs-Stromerzeugungsanlagen ... 243
6.4.1 Allgemeine Anforderungen an Stromerzeugungsanlagen ... 243
6.4.2 Ersatzstromversorgungsanlagen ... 246
6.4.3 Stromerzeugungsanlagen im Parallelbetrieb ... 250
6.4.4 Nichtstationäre Stromerzeugungsanlagen ... 252

**7 Schaltanlagen und Verteiler** ... 256
7.1 Errichten von Schaltanlagen und Verteilern ... 256
7.1.1 Aufstellungsort ... 256
7.1.2 Aufstellen und Umgebungsbedingungen ... 257
7.1.3 Eingeschränkt zugängliche Bereiche; Bedienungs- und Wartungsgänge ... 258
7.1.4 Anschluss von außen eingeführter Leiter ... 261
7.1.5 Prüfungen ... 261
7.2 Planung von Schaltanlagen und Verteilern ... 262
7.3 Netzverhältnisse ... 264
7.3.1 Zuleitung ... 264
7.3.2 Kurzschlusssicherheit ... 265
7.4 Überstromschutzeinrichtungen ... 267
7.4.1 Auswahlkriterien ... 267
7.4.2 Schmelzsicherungen ... 268
7.4.2.1 NH-Sicherungssystem ... 269
7.4.2.2 D-Sicherungen ... 271
7.4.2.3 Sicherungskenngrößen ... 273
7.4.3 Leitungsschutzschalter ... 279
7.4.4 Leistungsschalter ... 285
7.4.5 Geräteschutzsicherungen (Feinsicherungen) ... 289
7.4.6 Selektivität bei verschiedenen Überstromschutzeinrichtungen ... 291
7.5 Schalter in Schaltanlagen, Schütze, Relais ... 294
7.5.1 Schaltbeanspruchungen, Schalterarten ... 294
7.5.2 Schütze ... 299
7.5.2.1 Auswahl ... 300
7.5.2.2 Kontaktsicherheit ... 302
7.5.2.3 Kurzschlussfestigkeit ... 302
7.5.2.4 Parallelschaltung ... 302
7.5.2.5 Anschlussbezeichnung ... 303
7.5.2.6 Begrenzung von Schaltüberspannungen ... 303
7.5.2.7 Einbau ... 304

7.5.3 Elektronische Steuerungen, Prozesssteuerungen ... 304
7.5.4 Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) ... 306
7.5.5 Unterbrechungsfreie Stromversorgung ... 309
7.5.6 Umwelteinflüsse ... 310
7.5.7 Schaltgeräteauswahl ... 310
7.5.8 Geräteeinbautechnik ... 311
7.6 Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen ... 313
7.6.1 Anwendungsbereich ... 313
7.6.2 Bauformen ... 317
7.6.3 Kennzeichnung von Schaltgerätekombinationen ... 318
7.6.4 Dokumentation ... 318
7.6.5 Kennzeichnung der Betriebsmittel ... 319
7.6.6 Betriebsbedingungen ... 320
7.6.7 Schutzarten ... 322
7.6.8 Schutz gegen elektrischen Schlag ... 323
7.6.9 Kurzschlussschutz und Kurzschlussfestigkeit ... 329
7.6.10 Elektrische Verbindungen, Leiter und Stromschienen ... 330
7.6.10.1 Isolierte und blanke Leitungen ... 330
7.6.10.2 Kennzeichnung der Leiter ... 331
7.6.10.3 Bemessung von isolierten Leitern ... 331
7.6.10.4 Bemessung von Stromschienen ... 332
7.6.10.5 Kurzschlussschutz von Leitern ... 333
7.6.10.6 Klemmen ... 334
7.6.10.7 Anschlüsse für von außen eingeführte Leiter ... 337
7.6.11 Erwärmung ... 338
7.6.12 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) ... 338
7.6.13 Prüfungen ... 339
7.6.14 Vereinbarungen zwischen Hersteller und Betreiber ... 340
7.7 Energie-Schaltgerätekombinationen ... 341
7.8 Fabrikfertige Installationskleinverteiler ... 345
7.9 Installationsverteiler für die Bedienung durch Laien ... 346
7.10 Schienenverteiler ... 348
7.11 Baustromverteiler (BV) ... 350
7.12 Farbwahl von Leuchtmeldern ... 357

**8 Leitungen und Kabel** ... 358
8.1 Leitungs- und Kabelarten und ihre Anwendungsbereiche ... 358
8.1.1 Kennzeichnung ... 358
8.1.2 Kurzzeichen ... 361
8.1.3 Farben der Außenhüllen ... 364

8.1.4 Farben der Adern ... 364
8.1.5 Leitungen für feste Verlegung ... 369
8.1.6 Flexible Leitungen ... 377
8.1.7 Kabel ... 393
8.1.8 Kennzeichnung der Leiter und Anschlüsse in Anlagen ... 398
8.2 Leitungsverlegung ... 399
8.2.1 Leitungsweg ... 399
8.2.2 Zulässige Verlegearten ... 405
8.2.3 Leiterverbindungen ... 406
8.2.4 Installationsdosen ... 414
8.2.5 Mechanischer Schutz ... 417
8.2.6 Kurzschluss- und erdschlusssicheres Verlegen ... 418
8.2.7 Stemmarbeiten, Aussparungen und Befestigungstechnik ... 419
8.2.8 Stegleitungen ... 421
8.2.9 Ummantelte Installationsleitungen (Mantelleitungen) ... 423
8.2.10 Installationsrohre ... 427
8.2.11 Installationskanäle ... 433
8.2.12 Verlegen kurzer Kabelstrecken in Luft und Erde ... 436
8.3 Strombelastbarkeit von Leitungen und Kabeln ... 439
8.4 Schutz von Leitungen und Kabeln bei Überlast ... 464
8.4.1 Bemessung der Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Überlast ... 464
8.4.2 Anordnung der Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Überlast ... 468
8.4.3 Überstromschutzeinrichtungen in Beleuchtungs- und zweipoligen Steckdosenstromkreise ... 470
8.4.4 Überstromschutzeinrichtungen in zwei- oder dreipoligen Steckdosenstromkreisen ... 470
8.4.5 Schutz der Außenleiter und des Neutralleiters ... 470
8.5 Schutz von Leitungen und Kabeln bei Kurzschluss ... 472
8.5.1 Bemessung der Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Kurzschluss ... 472
8.5.2 Anordnung der Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Kurzschluss ... 476
8.6 Entfallen von Schutzeinrichtungen bei Überlast und Kurzschluss ... 478
8.7 Spannungsfall ... 478

**9 Verbraucheranlage und Verteilungsnetz** ... 481
9.1 Stromkreise ... 481
9.2 Hausinstallationen ... 484
9.3 Großbauten ... 488
9.3.1 Allgemeine Installation ... 488

9.3.2 Blindleistungskompensation ... 491
9.3.3 Störungsmeldezentrale ... 492
9.4 Fertigbau ... 493
9.4.1 Planungsgrundsätze ... 493
9.4.2 Installationsmaterial ... 493
9.4.2.1 Betonbauweise ... 493
9.4.2.2 Leichtbauweise ... 495
9.5 Industrieanlagen ... 496
9.6 Hilfsstromkreise ... 498
9.7 Gebäudesystemtechnik [4] ... 506
9.7.1 Grundlage und Normung ... 506
9.7.2 Aufbau einer ESHG ... 508
9.7.3 Sichere Trennung ... 509

**10 Schutz gegen elektromagnetische Störungen** ... 512
10.1 EMV-Gesetz ... 512
10.2 EG-Konformitätserklärung und CE-Kennzeichnung ... 513
10.3 Allgemeine Maßnahmen gegen elektromagnetische Störungen ... 514
10.4 EMV in TN-Systemen ... 517
10.5 EMV-Maßnahmen bei in Gebäude eingeführten Versorgungseinrichtungen ... 521
10.6 EMV-Maßnahmen in bestehenden Gebäuden ... 522

**11 Elektrische Betriebs- und Verbrauchsmittel** ... 523
11.1 Allgemeines ... 523
11.2 Schalter und Steckvorrichtungen ... 525
11.2.1 Schalter ... 525
11.2.2 Steckvorrichtungen ... 528
11.2.3 Steckvorrichtungssysteme ... 529
11.2.4 Steckverbinder ... 538
11.2.5 Durchschleifen von Leitungen ... 538
11.2.6 Leitungsroller ... 539
11.3 Beleuchtungsanlagen ... 542
11.3.1 Leuchten und Lampen ... 542
11.3.2 Errichten von Beleuchtungsanlagen ... 543
11.3.2.1 Allgemeine Anforderungen ... 543
11.3.2.2 Leuchten für Glühlampen und Kompakt-Leuchtstofflampen ... 551
11.3.2.3 Leuchten für Leuchtstofflampen ... 551
11.3.2.4 Installationskanalleuchten ... 557
11.3.2.5 Luft führende Leuchten für Zwangsbelüftung ... 558

11.3.2.6 Schienenverteiler für Beleuchtungsanlagen ... 560
11.3.2.7 Stromschienensysteme für Leuchten ... 561
11.3.2.8 Kleinspannungsbeleuchtungsanlagen ... 562
11.3.2.9 Leuchtröhrenanlagen über 1 000 V ... 568
11.3.2.10 Ausstellungsstände von Leuchten in Verkaufsräumen ... 578
11.3.2.11 Beleuchtungsanlagen im Freien ... 578
11.4 Elektrowärmegeräte ... 581
11.4.1 Elektroherde ... 582
11.4.2 Wassererwämer ... 583
11.4.3 Raumheizung ... 584
11.4.3.1 Direktheizgeräte ... 585
11.4.3.2 Zentralheizgeräte (Elektro-Zentralspeicher) ... 587
11.4.3.3 Speicherheizgeräte ... 588
11.4.4 Heizkabel und Heizleitungen ... 589
11.5 Motoren ... 593
11.5.1 Begriffe ... 593
11.5.2 Planungsgrundsätze ... 594
11.5.3 Motorschutz ... 597
11.5.4 Anschließen von Motoren ... 600
11.5.5 Blindleistungsbedarf ... 601
11.5.6 Elektrisches Abbremsen von Drehstrommotoren ... 603
11.6 Elektrische Ausrüstung von Maschinen ... 604
11.6.1 Allgemeines ... 604
11.6.2 Risikobeurteilung ... 606
11.6.3 Anleitung für die Benutzung der VDE 0113-1 ... 608
11.6.4 Anwendungsbereich der Norm, Schutzziele, weitere Randbedingungen ... 610
11.6.5 Netzanschluss – Netztrenneinrichtung ... 610
11.6.6 Schutz gegen elektrischen Schlag ... 612
11.6.7 Schutz der Ausrüstung ... 613
11.6.8 Potenzialausgleich ... 615
11.6.9 Steuerstromkreise ... 617
11.6.10 Steuerfunktionen ... 617
11.6.11 Schutzverriegelungen ... 618
11.6.12 Steuerfunktionen im Fehlerfall ... 618
11.6.13 Bedienerschnittstelle Mensch – Maschine ... 619
11.6.14 Schaltgeräte und Schaltgerätekombinationen ... 621
11.6.15 Kabel, Leitungen und Leiter ... 622
11.6.16 Verdrahtungstechnik ... 624
11.6.17 Betriebsmittelkennzeichnung und Dokumentation ... 625

11.6.18 Prüfungen ... 626

**12 Einrichtungen für Sicherheitszwecke** ... 627
12.1 Begriffe und Anwendungsbereich ... 627
12.2 Elektrische Anlagen für Sicherheitszwecke ... 628
12.2.1 Stromquellen für Sicherheitszwecke ... 629
12.2.2 Stromkreise und Leitungsnetz für Sicherheitszwecke ... 635
12.2.3 Elektrische Leitungsanlagen für bauordnungsrechtlich vorgeschriebene sicherheitstechnische Anlagen und Einrichtungen ... 637
12.2.4 Schutzmaßnahmen in elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke. 641
12.3 Sicherheitsbeleuchtungsanlagen ... 643
12.3.1 Zweck, Aufbau, Funktion ... 643
12.3.2 Betriebsmittel der Sicherheitsbeleuchtung ... 652
12.3.3 Prüfungen ... 658
12.3.4 Unterlagen für Sicherheitsbeleuchtungsanlagen ... 661

**13 Vorbeugender Brandschutz** ... 663
13.1 Brandgefahren ... 663
13.2 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen ... 664
13.2.1 Baustoffe ... 664
13.2.2 Bauteile ... 665
13.3 Schutz gegen Brände ... 666
13.4 Führung von elektrischen Leitungen durch Wände und Decken ... 670
13.5 Leitungsanlagen in notwendigen Treppenräumen und Fluren ... 674

**14 Bereiche, Räume und Anlagen besonderer Art oder Nutzung** ... 680
14.1 Feuchte und nasse Bereiche und Räume ... 680
14.2 Anlagen im Freien ... 682
14.3 Räume mit Badewanne oder Dusche ... 683
14.4 Becken von Schwimmbädern, begehbare Wasserbecken und Springbrunnen ... 692
14.4.1 Bereichseinteilung ... 694
14.4.2 Schutz gegen elektrischen Schlag ... 697
14.4.3 Kabel und Leitungsanlagen ... 698
14.4.4 Betriebsmittel ... 699
14.4.4.1 Betriebsmittel in Bereichen von begehbaren und nicht begehbaren Becken ... 700
14.4.4.2 Begehbare Becken ... 701
14.4.4.3 Nicht begehbare Becken ... 705
14.5 Garagen ... 706

14.6 Baustellen ... 708
14.7 Feuergefährdete Betriebsstätten und Lagerräume ... 712
14.8 Landwirtschaftliche und gartenbauliche Betriebsstätten ... 722
14.9 Explosionsgefährdete Bereiche ... 737
14.9.1 Allgemeiner Explosionsschutz ... 737
14.9.2 Möglichkeit der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre ... 739
14.9.3 Gefahrenbereiche und Zoneneinteilung ... 741
14.9.4 Zündtemperaturen und Temperaturklassen ... 744
14.9.5 Gruppe, Gerätegruppe ... 744
14.9.6 Gerätekategorien und Geräteschutzniveaus (EPL) ... 748
14.9.7 Zündschutzarten elektrischer Betriebsmittel ... 753
14.9.7.1 Ölkapselung „o" ... 753
14.9.7.2 Überdruckkapselung „p" ... 754
14.9.7.3 Sandkapselung „q" ... 755
14.9.7.4 Druckfeste Kapselung „d" ... 755
14.9.7.5 Erhöhte Sicherheit „e" ... 757
14.9.7.6 Eigensicherheit „i" ... 758
14.9.7.7 Vergusskapselung „m" ... 761
14.9.7.8 Zündschutzart „n" ... 761
14.9.7.9 Elektrische Betriebsmittel mit Geräteschutzniveau (EPL) Ga ... 762
14.9.8 Kennzeichnung elektrischer Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche ... 763
14.9.9 Elektrische Betriebsmittel in explosionsgefährdeten Bereichen ... 766
14.9.10 Errichten elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen ... 768
14.9.10.1 Allgemeine Anforderungen ... 768
14.9.10.2 Errichten von eigensicheren Stromkreisen ... 772
14.9.10.3 Errichten in gasexplosionsgefährdeten Bereichen ... 773
14.9.10.4 Errichten in staubexplosionsgefährdeten Bereichen ... 778
14.9.11 Instandhalten, Instandsetzen und Prüfen explosionsgeschützter elektrischer Betriebsmittel und Anlagen ... 783
14.9.12 Anwendungsbeispiele ... 785
14.9.13 Elektrostatische Aufladungen ... 789
14.10 Medizinisch genutzte Bereiche ... 791
14.10.1 Anwendungsbereich ... 791
14.10.2 Arten von medizinisch genutzten Bereichen ... 793
14.10.3 Stromversorgung ... 795
14.10.4 Elektrische Anlagen für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgung) ... 800
14.10.5 Schutz gegen elektrischen Schlag ... 802

14.10.6 IT-System für medizinisch genutzte Bereiche der Gruppe 2 ..... 804
14.10.7 Zusätzliche Anforderungen an medizinisch genutzte Bereiche der Gruppe 2 ..... 806
14.10.8 Verbrauchs- und Betriebsmittel ..... 807
14.10.9 Schutz gegen elektromagnetische Störungen in Anlagen von Gebäuden ..... 809
14.10.10 Schutz gegen Auswirkungen elektrostatischer Aufladungen ..... 809
14.10.11 Dokumentation ..... 810
14.10.12 Prüfungen ..... 811
14.11 Öffentliche Einrichtungen und Arbeitsstätten ..... 813
14.11.1 Allgemeine Anforderungen ..... 813
14.11.2 Versammlungsstätten ..... 819
14.11.3 Geschäftshäuser, Verkaufsstätten ..... 820
14.12 Räume elektrischer Anlagen ..... 822
14.12.1 Elektrische Betriebsstätten ..... 822
14.12.2 Abgeschlossene elektrische Betriebsstätten ..... 824
14.12.3 Batterieräume und Ladestationen für Akkumulatoren ..... 826
14.13 Prüfanlagen ..... 830
14.14 Schulen, Kindergärten und Unterrichtsräume mit Experimentiereinrichtungen ..... 831
14.15 Räume für EDV-Anlagen ..... 834
14.16 Galvanische Anlagen ..... 834
14.17 Leitfähige Bereiche mit begrenzter Bewegungsfreiheit ..... 835
14.18 Kfz-Werkstätten und Montagegruben ..... 837
14.19 Heiße Bereiche ..... 838
14.20 Räume und Kabinen mit Saunaheizungen ..... 839
14.21 Holzhäuser, Baracken, Baubuden sowie Installationen in Hohlwänden, Holzdecken und Holzwänden ..... 842
14.22 Installationen in Möbeln und ähnlichen Einrichtungsgegenständen ..... 846
14.23 Liegeplätze für Wassersportfahrzeuge und Hausboote und ähnliche Bereiche ..... 847
14.24 Campingplätze, Caravanplätze und ähnliche Bereiche ..... 851
14.25 Caravans ..... 853
14.26 Räume und Orte mit unersetzbaren Gütern von hohem Wert; Baudenkmäler; Museen ..... 858

**15 Prüfungen von Anlagen und Verbrauchsmitteln** ..... 860
15.1 Grundsätzliche Anforderungen ..... 860
15.1.1 Besichtigen ..... 861

15.1.2 Erproben ... 864
15.1.3 Messen ... 865
15.2 Messen des Isolationswiderstands ... 866
15.3 Messen der Fehlerschleifenimpedanz ... 869
15.4 Prüfen des Schutzes durch automatisches Abschalten mit Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) ... 872
15.5 Prüfung der Fehlerspannungsschutzeinrichtung ... 874
15.6 Prüfen der Verbindungen von Schutzleiter und Schutzpotenzialausgleichsleiter ... 875
15.7 Messen des Erdungswiderstands ... 876
15.8 Prüfen des Drehfelds ... 878
15.9 Prüfen der Übergangswiderstände von Fußböden und Wänden ... 878
15.10 Prüfen der Spannungspolarität ... 880
15.11 Prüfen auf Spannungsfestigkeit ... 880
15.12 Prüfen des Spannungsfalls ... 881
15.13 Prüfen elektrischer Geräte ... 881
15.14 Wiederkehrende Prüfungen ... 889
15.14.1 Wiederkehrende Prüfungen elektrischer Anlagen ... 890
15.14.2 Wiederkehrende Prüfungen elektrischer Geräte ... 891

**16 Betrieb elektrischer Anlagen** ... 892
16.1 Einsatz von Arbeitskräften ... 893
16.2 Bedienen elektrischer Betriebsmittel ... 895
16.3 Arbeiten an elektrischen Betriebsmitteln und in elektrischen Anlagen ... 896
16.3.1 Arbeiten an freigeschalteten Anlagen ... 896
16.3.1.1 Freischalten ... 897
16.3.1.2 Gegen Wiedereinschalten sichern ... 898
16.3.1.3 Spannungsfreiheit feststellen ... 899
16.3.1.4 Erden und kurzschließen ... 900
16.3.1.5 Benachbarte unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschranken ... 901
16.3.2 Arbeiten in der Nähe unter Spannung stehender Teile ... 901
16.3.3 Arbeiten unter Spannung ... 902
16.4 Auswechseln von Sicherungen ... 904
16.5 Auswechseln von Lampen ... 905
16.6 Erhalten des ordnungsgemäßen Zustands ... 905
16.7 Arbeitsgerät ... 906
16.8 Aushänge ... 907
16.9 Brandbekämpfung und erste Hilfe ... 908

| | | |
|---|---|---|
| **17** | **Blitzschutz und Überspannungsschutz** | 910 |
| 17.1 | Der Blitz, Grundlagen | 912 |
| 17.2 | Äußerer Blitzschutz | 913 |
| 17.2.1 | Schutzklassen | 914 |
| 17.2.2 | Fangeinrichtungen | 916 |
| 17.2.3 | Ableitungen | 917 |
| 17.2.4 | Blitzschutz-Erdungsanlagen | 917 |
| 17.2.5 | Werkstoffe | 918 |
| 17.3 | Innerer Blitzschutz | 919 |
| 17.3.1 | Blitzschutz-Potenzialausgleich | 920 |
| 17.3.2 | Einhaltung des Trennungsabstands *s* | *921* |
| 17.4 | Überspannungsschutz [7] | 922 |
| 17.4.1 | Entstehung von Überspannungen | 922 |
| 17.4.2 | Blitzschutzzonen-Konzept | 923 |
| 17.4.3 | Prinzipien des Überspannungsschutzes | 924 |
| 17.4.3.1 | Überspannungsschutz in der Stromversorgung | 926 |
| 17.4.3.2 | Schutz von Anlagen der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik | 929 |
| 17.4.3.3 | Schutz von Datenverarbeitungsanlagen | 929 |
| 17.4.3.4 | Überspannungsschutz in der Telekommunikationstechnik | 930 |
| 17.4.4 | Schutz von Antennenanlagen | 931 |
| 17.5 | Prüfen des Blitzschutzes | 932 |
| 17.5.1 | Prüfen des Blitzschutzsystems | 932 |
| 17.5.2 | Prüfen von Überspannungsschutzeinrichtungen | 934 |
| **18** | **Fernmelde- und Informationstechnik** | 936 |
| 18.1 | Allgemeines | 936 |
| 18.2 | Klingel- und Läutewerktransformatoren | 937 |
| 18.3 | Türsprechanlagen | 939 |
| 18.4 | Brandmeldeanlagen | 940 |
| 18.4.1 | Grundlagen | 940 |
| 18.4.2 | Konzept | 941 |
| 18.4.3 | Planung | 942 |
| 18.4.4 | Komponenten der BMA | 942 |
| 18.4.5 | Projektierung | 944 |
| 18.4.6 | Montage und Installation | 945 |
| 18.4.7 | Inbetriebsetzung | 946 |
| 18.4.8 | Abnahmeprüfung | 946 |
| 18.4.9 | Instandhaltung | 947 |
| 18.5 | Alarmierungseinrichtungen | 947 |

**Anhang** ... 949
A1 Normen, Vorschriften, Regeln ... 949
A1.1 VDE-Bestimmungen ... 949
A1.2 Konkordanzlisten VDE – DIN ... 968
A1.3 DIN-Normen ... 977
A1.4 Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) ... 979
A1.5 DGUV-Vorschriften- und Regelwerk ... 980
A1.6 Arbeitsblätter der Arbeitsgemeinschaft Industriebau ... 982
A1.7 VdS-Publikationen ... 983
A1.8 BDEW-/VDEW-/VDN-Anschlussbedingungen, -Richtlinien und -Merkblätter ... 984
A2 Bezugsquellen ... 985
A3 Abkürzungen ... 986
A4 Prüfzeichen ... 990
A5 Bildzeichen der Elektrotechnik ... 991
A6 Schaltzeichen ... 992
A6.1 Schaltzeichen für die Elektroinstallation ... 992
A6.2 Schaltzeichen für Stromlaufpläne ... 997
A7 Kennzeichnung des Zwecks und der Aufgabe eines Betriebsmittels 999
A8 Kennzeichnung von Spannung und Strom ... 1001

**Literaturverzeichnis** ... 1003

**Stichwortverzeichnis** ... 1011

# 1 Gesetze, Verordnungen, Vorschriften und Richtlinien

## 1.1 Vorbemerkungen

VDE 0022, VDE 0100-100

Dieses Buch ist ursprünglich auf den Wunsch von Fachleuten hin entstanden, die weithin verstreuten technischen Regelungen für die Planung und Errichtung elektrischer Anlagen wenigstens auszugsweise zu sammeln. Diesem Anliegen will das Nachschlagewerk auch in dieser Auflage nachkommen. Zu solchen technischen Regelungen als Oberbegriff zählen gesetzliche Bestimmen wie Gesetze, Verordnungen, gesetzliche Richtlinien sowie technische Normen, Vorschriften, Bedingungen, Richtlinien, Regeln, Merkblätter. Das für elektrische Anlagen in erster Linie heranzuziehende Regelwerk ist das VDE-Vorschriftenwerk mit den im Vordergrund stehenden VDE-Bestimmungen, die den sicherheitstechnischen Festlegungen für das Errichten und Betreiben elektrischer Anlagen sowie das Herstellen, Betreiben und Entsorgen elektrischer Betriebsmittel enthalten.

In den letzten Jahren sind durch die internationale Harmonisierung der Normung die VDE-Bestimmungen durch einen immer formelleren Aufbau insbesondere für den Praktiker immer schwerer handhabbar geworden. Zum einen ist durch eine konsequente Formalisierung die Lesbarkeit auf ein Minimum reduziert worden, zum andern werden infolge der internationalen Harmonisierung vielfach keine eindeutigen Aussagen mehr gemacht. Man muss u. U. mehrere verschiedene Regelungen zurate ziehen, was gerade dem Praktiker die Arbeit sehr erschwert. Dieses Nachschlagewerk will ihm dabei helfen, die beschriebenen Nachteile des Vorschriftenwerks auszugleichen. Es soll den Anwender aber keinesfalls veranlassen, auf den für ihn notwendigen Wortlaut der Vorschriften oder auf ausführliche Fachbücher zu verzichten. Es soll ihm lediglich eine Gedächtnisstütze sein, sich an Vergessenes zu erinnern, aber auch ein Wegweiser zum neuesten Stand der „anerkannten Regeln der Elektrotechnik".

Leitfaden sind die *VDE-Errichtungs-* und *-Betriebsbestimmungen*, insbesondere

VDE 0100 mit allen Teilen,
VDE 0101,
VDE 0105 mit allen Teilen,
VDE 0108-100,
VDE 0113-1,
VDE 0127-2,
VDE 0165 mit allen Teilen,
VDE 0166,
VDE 0168,
VDE 0185 mit allen Teilen,
VDE 0276-1000,
VDE 0298-3, -4, -565-1 und -2,
VDE 0660-600-1 bis -6 und VDE V 0660-600-7,
VDE 0701-0702,
VDE 0800-1, -2 und -2-310,
VDE 0800-174-2 und -3,
VDE 0833-1, -2 und -4,
VDE 0855-1.

Im Interesse der Eindeutigkeit wird möglichst oft der Wortlaut von Bestimmungen herangezogen. Verschiedentlich werden auch Wiederholungen gebracht, damit der Anwender beim Nachschlagen eines Kapitels alle einschlägigen Bestimmungen gesammelt vor sich hat. Auf die VDE-Geräte- bzw. Produktnormen, die der Installateur meist nicht besitzt, wird eingegangen, soweit dies nötig erscheint. *Entwürfe* zu VDE-Vorschriften unterliegen noch dem Einspruchsverfahren und können dabei wesentlich geändert werden, ihre Anwendung geschieht daher auf eigenes Risiko. Trotzdem ist es hier und dort angebracht, sie zu zitieren, wobei im Text jedoch stets der Hinweis auf den „Entwurf" eingefügt ist. Ein solcher Notstand liegt vor, wenn im gültigen VDE-Text dringende Probleme noch nicht geregelt sind.

Darüber hinaus wurden die einschlägigen Technischen Anschlussbedingungen des BDEW bzw. VDN unter Beachtung der teilweise ersetzten Anforderung der einschlägigen VDE-Anwendungsregeln (VDE-AR), die einschlägigen Normen des Deutschen Instituts für Normung (DIN), Firmenkataloge, Zeitschriften und Handbücher zurate gezogen.

## 1.2 Rechtliche Bestimmungen für die Installation

### 1.2.1 Energiewirtschaftsgesetz

Nach § 49 des Gesetzes über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz – EnWG) vom 07.07.2005, zuletzt geändert durch Artikel 15 des Gesetzes vom 28. Juli 2015 (BGBl. I S. 1400), sind Energieanlagen so zu errichten und zu betreiben, dass die technische Sicherheit gewährleistet ist. Dabei sind – vorbehaltlich sonstiger Rechtsvorschriften – die *allgemein anerkannten Regeln der Technik* zu beachten. Dabei wird nach dem Gesetz die Einhaltung der allgemein anerkann-

ten Regeln vermutet („*Vermutungswirkung*"), wenn bei Anlagen zur Erzeugung, Fortleitung und Abgabe von Elektrizität die technischen Regeln des Verbandes der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (VDE) eingehalten werden.

Weiter heißt es im Energiewirtschaftsgesetz, dass bei Anlagen oder Bestandteilen von Anlagen, die nach den in einem anderen Mitgliedsstaat der Europäischen Union oder in einem anderen Vertragsstaat des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum geltenden Regelungen oder Anforderungen rechtmäßig hergestellt und in den Verkehr gebracht wurden und die gleiche Sicherheit gewährleisten, davon auszugehen ist, dass die oben genannten Anforderungen (Gewährleisten der technischen Sicherheit beim Errichten und Betreiben, Beachten der allgemein anerkannten Regeln der Technik) an die Beschaffenheit der Anlagen erfüllt sind. In begründeten Einzelfällen ist auf Verlangen der Behörde nachzuweisen, dass die Anforderungen hinsichtlich der technischen Sicherheit beim Errichten und Betreiben erfüllt sind.

Durch das Energiewirtschaftsgesetz ist also jeder Installateur gesetzlich verpflichtet, bei der Installation alle innerhalb der maßgebenden Fachwelt bekannten handwerklichen Grundsätze und technischen Bestimmungen genau einzuhalten. Er ist außerdem verpflichtet, sich ständig fortzubilden, sodass ihm die „allgemein anerkannten Regeln der Technik" auch wirklich bekannt sind. Tut er dies nicht, sondern verstößt er bei der Installation gegen solche Bestimmungen, dann ist regelmäßig Fahrlässigkeit sowohl im zivilrechtlichen als auch im strafrechtlichen Sinne anzunehmen.

Sind die Normen des VDE-Vorschriftenwerks dagegen eingehalten worden, so ist in Schadensfällen straf- und zivilrechtlich die gesetzliche Vermutung begründet, dass die im Verkehr erforderliche und zumutbare Sorgfaltspflicht hinreichend beachtet worden ist. Nun können die Normen des VDE-Vorschriftenwerks grundsätzlich nicht alle denkbaren und möglichen Sonderfälle erfassen. In Ausnahmefällen können deshalb weitergehende Maßnahmen geboten sein, um die elektrische Sicherheit zu gewährleisten. Andererseits kann es unter besonderen Umständen vertretbar sein, die VDE-Bestimmungen nicht in vollem Umfang einzuhalten, wenn dabei die notwendige Sicherheit gewahrt bleibt.

Wer sich mit der Errichtung elektrischer Anlagen, der Herstellung elektrischer Betriebsmittel oder Geräte sowie mit dem Betrieb von Anlagen, Betriebsmitteln oder Geräten befasst, ist nach herrschender Rechtsauffassung in jedem Einzelfall für die Einhaltung der anerkannten Regeln der Elektrotechnik selbst verantwortlich.

### 1.2.2 Niederspannungsanschlussverordnung

Der Installateur ist verpflichtet, vorschriftsmäßig zu installieren. Bis November 2006 ergab sich das aus den *Allgemeinen Bedingungen für die Elektrizitätsversorgung von*

*Tarifkunden* (AVBEltV). Diese Bedingungen sind abgelöst worden durch die auf der Grundlage des Energiewirtschaftsgesetzes erlassene *Verordnung über Allgemeine Bedingungen für den Netzanschluss und dessen Nutzung für die Elektrizitätsversorgung in Niederspannung (Niederspannungsanschlussverordnung – NAV)* vom 1. November 2006 (BGBl. I S. 2477) zuletzt geändert durch Artikel 4 der Verordnung vom 3. Sept. 2010 (BGBl. I S. 1261). Diese Verordnung „regelt die Allgemeinen Bedingungen, zu denen Netzbetreiber nach dem Energiewirtschaftsgesetzes jedermann an ihr Niederspannungsnetz anzuschließen und den Anschluss zur Entnahme von Elektrizität zur Verfügung zu stellen haben". Es heißt dort u. a. wörtlich:

*„§ 13 Elektrische Anlage*

(1) Für die ordnungsgemäße Errichtung, Erweiterung, Änderung und Instandhaltung der elektrischen Anlage hinter der Hausanschlusssicherung (Anlage) ist der Anschlussnehmer gegenüber dem Netzbetreiber verantwortlich. Satz 1 gilt nicht für die Messeinrichtungen, die nicht im Eigentum des Anschlussnehmers stehen. Hat der Anschlussnehmer die Anlage ganz oder teilweise einem Dritten vermietet oder sonst zur Benutzung überlassen, so bleibt er verantwortlich.

(2) Unzulässige Rückwirkungen der Anlage sind auszuschließen. Um dies zu gewährleisten, darf die Anlage nur nach den Vorschriften dieser Verordnung, nach anderen anzuwendenden Rechtsvorschriften und behördlichen Bestimmungen sowie nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik errichtet, erweitert, geändert und instand gehalten werden. In Bezug auf die allgemein anerkannten Regeln der Technik gilt § 49 Abs. 2 Nr. 1 des Energiewirtschaftsgesetzes entsprechend. Die Arbeiten dürfen außer durch den Netzbetreiber nur durch ein in ein Installateurverzeichnis eines Netzbetreibers eingetragenes Installationsunternehmen durchgeführt werden; im Interesse des Anschlussnehmers darf der Netzbetreiber eine Eintragung in das Installateurverzeichnis nur von dem Nachweis einer ausreichenden fachlichen Qualifikation für die Durchführung der jeweiligen Arbeiten abhängig machen.[1]

1 *Anmerkung:* Dazu haben der BDEW e. V. und der ZVEH mit Datum 30.06.2008 eine Vereinbarung über die Grundsätze für die Zusammenarbeit von Netzbetreibern und dem Elektrotechnikerhandwerk bei Arbeiten an elektrischen Anlagen nach der NAV geschlossen. Die Grundsätze regeln die Zusammenarbeit im Zusammenhang mit der ordnungsgemäßen Errichtung, Erweiterung, Änderung und Instandhaltung von elektrischen Anlagen hinter der Hausanschlusssicherung. Danach dürfen Arbeiten zum Anschluss an das Niederspannungsnetz außer durch den Netzbetreiber nur durch ein in ein Installateurverzeichnis eines Netzbetreibers eingetragenes Installationsunternehmen durchgeführt werden. Es wurde eine Verfahrensordnung zum „Sachkundenachweis für den Anschluss elektrischer Anlagen an das Niederspannungsnetz" mit den „Technischen Regeln Elektroinstallation" (TREI) erstellt und als Bestandteil der Grundsätze vereinbart. Weiter werden in den Grundsätzen u. a. allgemeine Voraussetzungen für die Eintragung in das Installateurverzeichnis, Aufgaben, Rechte und Pflichten des eingetragenen Installationsunternehmens und des Netzbetreibers sowie Zweck und Aufgaben von Bezirks-, Landes- und Bundes-Installateurausschuss behandelt.

Mit Ausnahme des Abschnitts zwischen Hausanschlusssicherung und Messeinrichtung einschließlich der Messeinrichtung gilt Satz 4 nicht für Instandhaltungsarbeiten (Hinweis des Autors: d. h., der Eintrag in ein Installateurverzeichnis eines Betreibers ist nicht erforderlich).

Es dürfen nur Materialien und Geräte verwendet werden, die entsprechend § 49 des Energiewirtschaftsgesetzes unter Beachtung der allgemein anerkannten Regeln der Technik hergestellt wurden. Die Einhaltung der Voraussetzungen ... wird vermutet, wenn die vorgeschriebene CE-Kennzeichnung vorhanden ist[1]. Sofern die CE-Kennzeichnung nicht vorgeschrieben ist, wird dies auch vermutet, wenn die Materialien oder Geräte das Zeichen einer akkreditierten Stelle tragen, insbesondere das VDE-Zeichen oder das GS-Zeichen. Der Netzbetreiber ist berechtigt, die Ausführung der Arbeiten zu überwachen.

(3) ...

(4) In den Leitungen zwischen dem Ende des Hausanschlusses und dem Zähler darf der Spannungsfall unter Zugrundelegung der Nennstromstärke der vorgeschalteten Sicherung nicht mehr als 0,5 vom Hundert betragen.

*§ 14 Inbetriebsetzung der elektrischen Anlage*

(1) Der Netzbetreiber oder dessen Beauftragter hat die Anlage über den Netzanschluss an das Verteilernetz anzuschließen und den Netzanschluss in Betrieb zu nehmen. Die Anlage hinter dem Netzanschluss bis zu der in den Technischen Anschlussbedingungen definierten Trennvorrichtung für die Inbetriebsetzung der nachfolgenden Anlage, anderenfalls bis zu den Haupt- oder Verteilungssicherungen, darf nur durch den Netzbetreiber oder mit seiner Zustimmung durch das Installationsunternehmen (§ 13 Abs. 2 Satz 2) in Betrieb genommen werden. Die Anlage hinter dieser Trennvorrichtung darf nur durch das Installationsunternehmen in Betrieb gesetzt werden.

(2) Jede Inbetriebsetzung, die nach Maßgabe des Absatzes 1 Satz 1 und 2 von dem Netzbetreiber vorgenommen werden soll, ist bei ihm von dem Unternehmen, das nach § 13 Abs. 2 die Arbeiten an der Anlage ausgeführt hat, in Auftrag zu geben. Auf Verlangen des Netzbetreibers ist ein von diesem zur Verfügung gestellter Vordruck zu verwenden.

(3) ...

1 Wegen Materialien oder Geräten aus anderen EU-Mitgliedstaaten oder sonstigen Staaten siehe Ausführungen in der NAV, Stand 03.09.2010, § 13 (2), vorletzter Satz; zur CE-Kennzeichnung siehe Abschnitte 1.2.5.1 und 1.2.5.2 dieses Buchs.

*§ 15 Überprüfung der elektrischen Anlage*

(1) Der Netzbetreiber ist berechtigt, die Anlage vor und, um unzulässige Rückwirkungen auf Einrichtungen des Netzbetreibers oder Dritter auszuschließen, auch nach ihrer Inbetriebsetzung zu überprüfen. Er hat den Anschlussnehmer auf erkannte Sicherheitsmängel aufmerksam zu machen und kann deren Beseitigung verlangen.

(2) Werden Mängel festgestellt, welche die Sicherheit gefährden oder erhebliche Störungen erwarten lassen, so ist der Netzbetreiber berechtigt, den Anschluss zu verweigern oder die Anschlussnutzung zu unterbrechen; bei Gefahr für Leib oder Leben ist er hierzu verpflichtet.

(3) Durch Vornahme oder Unterlassung der Überprüfung der Anlage sowie durch deren Anschluss an das Verteilernetz übernimmt der Netzbetreiber keine Haftung für die Mängelfreiheit der Anlage. Dies gilt nicht, wenn er bei einer Überprüfung Mängel festgestellt hat, die eine Gefahr für Leib oder Leben darstellen.

*§ 19 Betrieb von elektrischen Anlagen und Verbrauchsgeräten, Eigenerzeugung*

(1) Anlage und Verbrauchsgeräte sind vom Anschlussnehmer oder -nutzer so zu betreiben, dass Störungen anderer Anschlussnehmer oder -nutzer und störende Rückwirkungen auf Einrichtungen des Netzbetreibers oder Dritter ausgeschlossen sind.

(2) Erweiterungen und Änderungen von Anlagen sowie die Verwendung zusätzlicher Verbrauchsgeräte sind dem Netzbetreiber mitzuteilen, soweit sich dadurch die vorzuhaltende Leistung erhöht oder mit Netzrückwirkungen zu rechnen ist. Nähere Einzelheiten über den Inhalt der Mitteilung kann der Netzbetreiber regeln.

(3) Vor der Errichtung einer Eigenanlage hat der Anschlussnehmer oder -nutzer dem Netzbetreiber Mitteilung zu machen. Der Anschlussnehmer oder -nutzer hat durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen, dass von seiner Eigenanlage keine schädlichen Rückwirkungen in das Elektrizitätsversorgungsnetz möglich sind. Der Anschluss von Eigenanlagen ist mit dem Netzbetreiber abzustimmen. Dieser kann den Anschluss von der Einhaltung der von ihm nach § 20 festzulegenden Maßnahmen zum Schutz vor Rückspannungen abhängig machen.

*§ 20 Technische Anschlussbedingungen (TAB)*

Der Netzbetreiber ist berechtigt, in Form von Technischen Anschlussbedingungen weitere technische Anforderungen an den Netzanschluss und andere Anlagenteile sowie an den Betrieb der Anlage einschließlich der Eigenanlage festzulegen, soweit dies aus Gründen der sicheren und störungsfreien Versorgung, insbesondere im Hinblick auf die Erfordernisse des Verteilernetzes, notwendig ist. Diese Anforde-

rungen müssen den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen. Der Anschluss bestimmter Verbrauchsgeräte kann in den Technischen Anschlussbedingungen von der vorherigen Zustimmung des Netzbetreibers abhängig gemacht werden. Die Zustimmung darf nur verweigert werden, wenn der Anschluss eine sichere und störungsfreie Versorgung gefährden würde."

## 1.2.3 Bürgerliches Recht und Strafrecht

### 1.2.3.1 Werkvertrag

Der Installateur ist laut Gesetz zu ordnungsgemäßer Arbeit verpflichtet. Der Kunde schließt mit dem Installateur einen sog. Werkvertrag. Das Bürgerliche Gesetzbuch (BGB) in der Fassung vom Januar 2002 zuletzt geändert durch Art. 16 des Gesetzes v. 29.06.2015 (BGBl. I S. 1042) sagt dazu u. a.:

*§ 631 (Vertragstypische Pflichten beim Werkvertrag)*

„(1) Durch den Werkvertrag wird der Unternehmer zur Herstellung des versprochenen Werkes, der Besteller zur Entrichtung der vereinbarten Vergütung verpflichtet.

(2) Gegenstand des Werkvertrages kann sowohl die Herstellung oder Veränderung einer Sache als auch ein anderer durch Arbeit oder Dienstleistung herbeizuführender Erfolg sein."

*§ 633 (Sach- und Rechtsmangel)*

„(1) Der Unternehmer hat dem Besteller das Werk frei von Sach- und Rechtsmängeln zu verschaffen.

(2) Das Werk ist frei von Sachmängeln, wenn es die vereinbarte Beschaffenheit hat. Soweit die Beschaffenheit nicht vereinbart ist, ist das Werk frei von Sachmängeln,

1. wenn es sich für die nach dem Vertrag vorausgesetzte, sonst
2. für die gewöhnliche Verwendung eignet und eine Beschaffenheit aufweist, die bei Werken der gleichen Art üblich ist und die der Besteller nach Art des Werkes erwarten kann.

Einem Sachmangel steht es gleich, wenn der Unternehmer ein anderes als das bestellte Werk oder das Werk in zu geringer Menge herstellt.

..."

*§ 634 (Rechte des Bestellers bei Mängeln)*

Ist das Werk mangelhaft, kann der Besteller, wenn die Voraussetzungen der folgenden Vorschriften vorliegen und soweit nicht ein anderes bestimmt ist,

1. nach § 635 Nacherfüllung verlangen,
2. nach § 637 den Mangel selbst beseitigen und Ersatz der erforderlichen Aufwendung verlangen,
3. nach §§ 636, 323[1] und 326[2] Abs. 5 von dem Vertrag zurücktreten oder nach § 638 die Vergütung mindern und
4. nach den §§ 636, 280[3], 281[4], 283[5] und 311a[6] Schadensersatz oder nach § 284[7] Ersatz vergeblicher Aufwendungen verlangen.

*§ 634a (Verjährung der Mängelansprüche)*

„(1) Die in § 634 Nr. 1, 2 und 4 bezeichneten Ansprüchen verjähren

1. vorbehaltlich der Nummer 2 in zwei Jahren bei einem Werk, dessen Erfolg in der Herstellung, Wartung oder Veränderung einer Sache oder in der Erbringung von Planungs- und Überwachungsleistungen hierfür besteht,
2. in fünf Jahren bei einem Bauwerk und einem Werk, dessen Erfolg in der Erbringung von Planungs- und Überwachungsleistungen hierfür besteht, und
3. im Übrigen in der regelmäßigen Verjährungsfrist.

(2) Die Verjährung beginnt in den Fällen des Absatzes 1 Nr. 1 und 2 mit der Abnahme.

(3) Abweichend von Absatz 1 Nr. 1 und 2 und Absatz 2 verjähren die Ansprüche in der regelmäßigen Verjährungsfrist, wenn der Unternehmer den Mangel arglistig verschwiegen hat. Im Falle des Absatzes 1 Nr. 2 tritt die Verjährung jedoch nicht vor Ablauf der dort bestimmten Frist ein.

(4) ..., (5) ..."

Soweit die Elektroinstallation nach der VOB vergeben wird, gelten die in dieser Verordnung bestimmten Verjährungsfristen.

*§ 635 (Nacherfüllung)*

„(1) Verlangt der Besteller Nacherfüllung, so kann der Unternehmer nach seiner Wahl den Mangel beseitigen oder ein neues Werk erstellen.

(2) Der Unternehmer hat die zum Zweck der Nacherfüllung erforderlichen Aufwendungen, insbesondere Transport-, Wege-, Arbeits- und Materialkosten, zu tragen.

1 § 323 Rücktritt wegen nicht oder nicht vertragsgemäß erbrachter Leistung
2 § 326 Befreiung von der Gegenleistung und Rücktritt bei Ausschluss der Leistungspflicht
3 § 280 Schadensersatz wegen Pflichtverletzung
4 § 281 Schadensersatz statt der Leistung wegen nicht oder nicht wie geschuldet erbrachter Leistung
5 § 283 Schadensersatz statt der Leistung bei Ausschluss der Leistungspflicht
6 § 311a Leistungshindernis bei Vertragsabschluss
7 § 284 Ersatz vergeblicher Aufwendungen

(3) Der Unternehmer kann die Nacherfüllung ... verweigern, wenn sie nur mit unverhältnismäßigen Kosten möglich ist.

(4) ..."

*§ 637 (Selbstvornahme)*

„(1) Der Besteller kann wegen eines Mangels des Werkes nach erfolglosem Ablauf einer von ihm zur Nacherfüllung bestimmten angemessenen Frist den Mangel selbst beseitigen und Ersatz der erforderlichen Aufwendungen verlangen, wenn nicht der Unternehmer die Nacherfüllung zu Recht verweigert.

(2) ..., (3) ..."

### 1.2.3.2 Haftung aus Vertrag (Werkvertrag)

Der Handwerksmeister hat als „Schuldner" Schäden, die bei vorsätzlichen oder fahrlässigen Handlungen oder Unterlassungen entstehen, dem Kunden (Auftraggeber) zu ersetzen. Dazu bestimmt das BGB:

*§ 276 (Verantwortlichkeit des Schuldners)*

„(1) Der Schuldner hat Vorsatz und Fahrlässigkeit zu vertreten, wenn eine strengere oder mildere Haftung weder bestimmt noch aus dem sonstigen Inhalt des Schuldverhältnisses, insbesondere aus der Übernahme einer Garantie oder eines Beschaffungsrisikos, zu entnehmen ist. ...

(2) Fahrlässig handelt, wer die im Verkehr erforderliche Sorgfalt außer Acht lässt.

(3) ..."

Der Meister muss aber auch für ein Verschulden seiner Auszubildenden und Fachkräfte (Gesellen, Facharbeiter) als Erfüllungsgehilfen im Sinne des BGB haften, die in seinem Auftrag Arbeiten ausführen. Würde jedoch z. B. eine Fachkraft nicht im Auftrag des Meisters, sondern ohne dessen Wissen auf Wunsch des Kunden eine Installation vornehmen, dann haftet der Meister für dabei entstehende Schäden nicht. Dies ergibt sich aus der folgenden Bestimmung des BGB:

*§ 278 (Verantwortlichkeit des Schuldners für Dritte)*

„Der Schuldner hat ein Verschulden seines gesetzlichen Vertreters und der Personen, deren er sich zur Erfüllung seiner Verbindlichkeit bedient, in gleichem Umfange zu vertreten wie eigenes Verschulden ..."

Von der Haftung für Schäden, die diese Personen als sog. Erfüllungsgehilfen verursachen, kann sich der Meister nicht befreien. Die Arbeiten von Auszubildenden müssen stets durch den Meister oder eine dazu befähigte Fachkraft (Geselle, Facharbeiter) überwacht und nachgeprüft werden.

Wenn Auszubildende oder Fachkräfte (Gesellen, Facharbeiter), zwar in Verrichtung einer ihnen zugewiesenen Arbeit, nicht dem Kunden, sondern einem Dritten Schaden zufügen, haftet der Meister für sie nur als seine Verrichtungsgehilfen (s. Abschn. 1.2.3.3).

*Beispiele:* Bei Installationsarbeiten in einem Mietshaus wird ein anderer Hausbewohner als der Kunde beim Transport der Leiter verletzt; dem Vermieter gehörende Lampen im Treppenhaus werden beim Leitertransport zerstört (s. auch Abschn. 1.2.3.3).

Keine Haftung des Meisters tritt dann ein, wenn Auszubildende oder Fachkräfte (Gesellen, Facharbeiter) außerhalb der ihnen zugewiesenen Arbeit einem Dritten einen Schaden zufügen, indem sie z. B. auf dem Weg zur Arbeit einen Passanten beim Schneeballwerfen verletzen. Dann sind sie weder Erfüllungsgehilfen noch Verrichtungsgehilfen des Handwerksmeisters. Dasselbe gälte, wenn sie z. B. nach der vom Meister angeordneten Installation dem Kunden auf dessen Bitte einen Spiegelschrank transportieren würden und diesen fallen ließen. Handlungen dieser Art sind unerlaubte Handlungen, für die die Verursacher selbst einzustehen haben.

### 1.2.3.3 Unerlaubte Handlungen

Sollte wegen Verschuldens des Errichters und in ursächlichem Zusammenhang mit der von ihm ausgeführten Elektroinstallation ein Mensch tödlich verunglücken, ein Brand entstehen oder eine Sache beschädigt werden, so muss der Schaden vom Errichter ersetzt werden. In gewissen Fällen kann hierbei der Abschluss einer Haftpflichtversicherung sehr nützlich sein. Für Verrichtungsgehilfen braucht der Meister nicht immer zu haften.

*§ 823 (Schadensersatzpflicht)*

„(1) Wer vorsätzlich oder fahrlässig das Leben, den Körper, die Gesundheit, die Freiheit, das Eigentum oder ein sonstiges Recht eines anderen widerrechtlich verletzt, ist dem anderen zum Ersatz des daraus entstehenden Schadens verpflichtet."
(2) ..."

*§ 831 (Haftung für den Verrichtungsgehilfen)*

„(1) Wer einen anderen zu einer Verrichtung bestellt, ist zum Ersatz des Schadens verpflichtet, den der andere in Ausführung der Verrichtung einem Dritten widerrechtlich zufügt. Die Ersatzpflicht tritt nicht ein, wenn der Geschäftsherr bei der Auswahl der bestellten Person und, sofern er Vorrichtungen oder Gerätschaften zu beschaffen oder die Ausführung der Verrichtung zu leisten hat, bei der Beschaffung oder der Leistung die im Verkehr erforderliche Sorgfalt beobachtet oder wenn der Schaden auch bei Anwendung dieser Sorgfalt entstanden sein würde."

Der Nachweis der Elektrofachkraft, die die Führungs- und Fachverantwortung trägt (z. B. Meister), dass sie bei der Auswahl der Mitarbeiter ihre Befähigung eingehend überprüft und sie über neue Regelungen (z. B. VDE-Bestimmungen) laufend unterrichtet hat, bietet keinen ausreichenden Schutz gegen Regressansprüche. Erforderlich ist, dass er auch ihre Arbeiten mit der entsprechenden Sorgfalt laufend überwacht.

Kann die Elektrofachkraft, die die Führungs- und Fachverantwortung trägt (z. B. Meister), den Entlastungsbeweis nicht führen, so haftet sie für die Mitarbeiter. Trifft diese ein Verschulden, so können auch sie wahlweise in Anspruch genommen werden. Bei so genannter betrieblich veranlasster Tätigkeit wird in der Rechtsprechung nach dem Grad der Fahrlässigkeit entschieden, d. h., ob beim durch den Mitarbeiter verursachten Schaden leichte, normale oder grobe Fahrlässigkeit vorliegt. Betrieblich veranlasste Tätigkeiten sind Arbeiten, die dem Mitarbeiter arbeitsvertraglich übertragen worden sind oder die der Mitarbeiter im Interesse des Arbeitgebers für den Betrieb ausführt. Der Arbeitnehmer hat von ihm grob fahrlässig verursachte Schäden in der Regel allein zu tragen, nicht grob fahrlässig verursachte Schäden sind zwischen Arbeitgeber und Arbeitnehmer zu teilen und nur bei geringer Schuld des Arbeitnehmers wird der Arbeitgeber Schäden allein zu tragen haben.

#### 1.2.3.4 Strafrechtliche Würdigung eines Schadens

Nicht nur zivilrechtlich, auch strafrechtlich hat ein fahrlässig handelnder Installateur die Verantwortung für Schäden zu übernehmen. Dazu äußert sich das Strafgesetzbuch (StGB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 13.11.1998, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 12.06.2015 (BGBl. I S. 926):

*§ 222 (Fahrlässige Tötung)*

„Wer durch Fahrlässigkeit den Tod eines Menschen verursacht, wird mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren oder mit Geldstrafe bestraft."

*§ 229 (Fahrlässige Körperverletzung)*

„Wer durch Fahrlässigkeit die Körperverletzung einer anderen Person verursacht, wird mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft."

*§ 306 (Brandstiftung)*

„(1) Wer fremde

1. Gebäude oder Hütten,
2. Betriebsstätten oder technische Einrichtungen, namentlich Maschinen,
3. Warenlager oder -vorräte,

...

6. land-, ernährungs- oder forstwirtschaftliche Anlagen oder Erzeugnisse

in Brand setzt oder durch eine Brandlegung ganz oder teilweise zerstört, wird mit Freiheitsstrafe von einem Jahr bis zu zehn Jahren bestraft.

(2) In minder schweren Fällen ist die Strafe Freiheitsstrafe von sechs Monaten bis zu fünf Jahren."

*§ 306c (Brandstiftung mit Todesfolge)*

„Verursacht der Täter durch eine Brandstiftung nach den §§ 306 bis 306b wenigstens leichtfertig den Tod eines anderen Menschen, so ist die Strafe lebenslange Freiheitsstrafe oder Freiheitsstrafe nicht unter zehn Jahren."

*§ 306d (Fahrlässige Brandstiftung)*

„(1) Wer in den Fällen des § 306 Abs. 1 ... fahrlässig handelt ..., wird mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

(2) Wer in den Fällen des § 306a Abs. 2 fahrlässig handelt und die Gefahr fahrlässig verursacht, wird mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft."

*§ 306f (Herbeiführung einer Brandgefahr)*

„(1) Wer fremde

1. feuergefährdete Betriebe oder Anlagen,
2. Anlagen oder Betriebe der Land- oder Ernährungswirtschaft, in denen sich deren Erzeugnisse befinden,

...

in sonstiger Weise in Brandgefahr bringt, wird mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

(2) Ebenso wird bestraft, wer eine ... Sache in Brandgefahr bringt und dadurch Leib oder Leben eines anderen Menschen oder fremde Sachen von bedeutendem Wert gefährdet.

(3) Wer in den Fällen des Absatzes 1 fahrlässig handelt oder in den Fällen des Absatzes 2 die Gefahr fahrlässig verursacht, wird mit Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr oder mit Geldstrafe bestraft."

*§ 319 (Baugefährdung)*

„(1) Wer bei der Planung, Leitung oder Ausführung eines Baues oder des Abbruchs eines Bauwerkes gegen die allgemein anerkannten Regeln der Technik verstößt und dadurch Leib oder Leben eines anderen gefährdet, wird mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

(2) Ebenso wird bestraft, wer in Ausübung eines Berufs oder Gewerbes bei der Planung, Leitung oder Ausführung eines Vorhabens, technische Einrichtungen in ein Bauwerk einzubauen oder eingebaute Einrichtungen dieser Art zu ändern, gegen die *allgemein anerkannten Regeln der Technik* verstößt und dadurch Leib oder Leben eines anderen gefährdet.

(3) Wer die Gefahr fahrlässig verursacht, wird mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

(4) Wer in den Fällen der Absätze 1 und 2 fahrlässig handelt und die Gefahr fahrlässig verursacht, wird mit Freiheitsstrafe bis zu zwei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft."

### 1.2.3.5 Haftpflichtgesetz

Für Personen- und Sachschäden, die direkt oder indirekt durch Freileitungen verursacht wurden, gelten § 2 und § 4 des Haftpflichtgesetzes (HaftPflG) vom 4. Januar 1978, (BGBl. I, S. 145), zuletzt geändert durch Artikel 5 des Gesetzes vom 19. Juli 2002 (BGBl. I, S. 2674). Diese lauten:

*§ 2*

„(1) Wird durch die Wirkungen von Elektrizität, Gasen, Dämpfen oder Flüssigkeiten, die von einer Stromleitungs- oder Rohrleitungsanlage oder einer Anlage zur Abgabe der bezeichneten Energien oder Stoffe ausgehen, ein Mensch getötet, der Körper oder die Gesundheit eines Menschen verletzt oder eine Sache beschädigt, so ist der Inhaber der Anlage verpflichtet, den daraus entstehenden Schaden zu ersetzen. Das gleiche gilt, wenn der Schaden, ohne auf den Wirkungen der Elektrizität, der Gase, Dämpfe oder Flüssigkeiten zu beruhen, auf das Vorhandensein einer solchen Anlage zurückzuführen ist, es sei denn, dass sich diese zur Zeit der Schadensverursachung in ordnungsgemäßem Zustand befand. Ordnungsgemäß ist eine Anlage, solange sie den anerkannten Regeln der Technik entspricht und unversehrt ist.

(2) Absatz 1 gilt nicht für Anlagen, die lediglich der Übertragung von Zeichen oder Lauten dienen.

(3) Die Ersatzpflicht nach Absatz 1 ist ausgeschlossen,

1. wenn der Schaden innerhalb eines Gebäudes entstanden und auf eine darin befindliche Anlage (Absatz 1) zurückzuführen oder wenn er innerhalb eines im Besitz des Inhabers der Anlage stehenden befriedeten Grundstücks entstanden ist;
2. wenn ein Energieverbrauchsgerät oder eine sonstige Einrichtung zum Verbrauch oder zur Abnahme der in Absatz 1 bezeichneten Stoffe beschädigt oder durch eine solche Einrichtung ein Schaden verursacht worden ist;

3. wenn der Schaden durch höhere Gewalt verursacht worden ist, es sei denn, dass er auf das Herabfallen von Leitungsdrähten zurückzuführen ist."

*§ 4*

„Hat bei der Entstehung des Schadens ein Verschulden des Geschädigten mitgewirkt, so gilt § 254 des Bürgerlichen Gesetzbuchs[1]; bei Beschädigung einer Sache steht das Verschulden desjenigen, der die tatsächliche Gewalt über die Sache ausübt, dem Verschulden des Geschädigten gleich."

## 1.2.4 Unfallverhütungsvorschriften

DGUV Vorschrift 3/BGV A3 vom 1.4.1979 in der Fassung vom 1.1.1997, aktualisierte Nachdruckfassung Januar 2005
DGUV Vorschrift 4/GUV-V A3 vom Dezember 1978 in der Fassung vom Januar 1997, aktualisierte Ausgabe 2005
s. Anhang A 1.5

Die Unfallverhütungsvorschriften (UVVs) der gewerblichen Berufsgenossenschaften wurden bisher mit BGV... (früher: VBG...) mit angehängter alphanumerischer Kennzeichnung bezeichnet.

*Beispiel:* UVV „Elektrische Anlagen und Betriebsmittel" BGV A3 (frühere Bezeichnung: VGB 4, vorübergehend: BGV A2).

Auch im öffentlichen Bereich wurden bisher die UVVs – angelehnt an die Bezeichnung der UVVs der gewerblichen Berufsgenossenschaften – mit GUV-V... (früher: GUV...) bezeichnet.

*Beispiel:* UVV „Elektrische Anlagen und Betriebsmittel" GUV-V A3 (frühere Bezeichnung: GUV 2.10, vorübergehend: GUV-V A2).

Die Nummerierung des Regelwerks der Unfallversicherungsträger hat nun eine neue, am 1. Mai 2014 in Kraft getretene Systematik erhalten (s. Anhang A 1.5 und [8]). Die zwei wichtigsten Aspekte sind:

1. Für die Unfallverhütungsvorschriften „Elektrische Anlagen und Betriebsmittel" BGV A3 und GUV-V A3 ändert sich nur die Nummerierung in DGUV Vorschrift 3 (BGV A3) bzw. DGUV Vorschrift 4 (GUV-V A3).
2. Inhaltlich (Schutzziele, Anforderungen) ergeben sich keine Änderungen, auch nicht für die zugehörigen Durchführungsanweisungen.

1 Danach hängt die Verpflichtung zum Schadensersatz vom Grad des Mitverschuldens des Geschädigten ab.

DGUV (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V.) ist der Spitzenverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften und der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand.

Die mit neuem Titel versehenen und neu nummerierten Unfallverhütungsvorschriften (UVVs) als Publikation der DGUV haben eine ein- oder zweistellige Ziffer, wie oben z. B. dargestellt, DGUV Vorschrift 3.

Die Unfallverhütungsvorschriften (UVVs) gelten zwar unmittelbar nur im Verhältnis des gewerblichen, landwirtschaftlichen bzw. öffentlichen Unternehmers zu seiner Berufsgenossenschaft, ein Verstoß gegen technische Anordnungen in den UVVs bei der Elektroinstallation kann aber eine zum Schadenersatz führende Schlechterfüllung des (Werk-)Vertrags (s. Abschn. 1.2.3.2) sein.

Die von der DGUV bzw. den Berufsgenossenschaften erlassenen DGUV Vorschriften (es gibt noch DGUV Regeln, DGUV Informationen, DGUV Grundsätze, s. Anh. A 1.5) sind für die Betriebe verbindlich. Ein Verstoß dagegen stellt eine Ordnungswidrigkeit dar. Die Berufsgenossenschaft kann Verstöße gegen Unfallverhütungsvorschriften mit einer Geldbuße von bis zu 10.000 € ahnden (Siebtes Buch Sozialgesetzbuch (SGB VII) § 209 Abs. 1 Nr. 1).

Auszug aus der DGUV Vorschrift 3 und DGUV Vorschrift 4 bzw. UVV BGV A3 und GUV-V A3:

*§ 2 (Begriffe)*

„(2) Elektrotechnische Regeln im Sinne dieser Unfallverhütungsvorschrift sind die allgemein anerkannten Regeln der Elektrotechnik, die in den VDE-Bestimmungen enthalten sind, auf die die Berufsgenossenschaft in ihrem Mitteilungsblatt verwiesen hat …"

(In den Durchführungsanweisungen (DA) vom April 1997 zur UVV in der aktualisierten Nachdruckfassung Jan. 2005, zur UVV BGV A3 (neue Bezeichnung: DGUV Vorschrift 3) vom April 1979 i. d. Fassung vom 01.01.1997, sind im Anhang 3 der DA VDE-Bestimmungen für den Betrieb elektrischer Anlagen und Betriebsmittel aufgeführt: DIN VDE 0105-100 „Betrieb von elektrischen Anlagen – Teil 100: Allgemeine Festlegungen", DIN EN 50191 (VDE 0104) „Errichten und Betreiben elektrischer Prüfanlagen", DIN VDE 0800-1 „Fernmeldetechnik; Allgemeine Begriffe, Anforderungen und Prüfungen für die Sicherheit der Anlagen und Geräte".)

*§ 3 (Grundsätze)*

„(1) Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass elektrische Anlagen und Betriebsmittel nur von einer Elektrofachkraft oder unter Leitung und Aufsicht einer Elektrofachkraft den elektrotechnischen Regeln entsprechend errichtet, geändert

und instand gehalten werden. Der Unternehmer hat ferner dafür zu sorgen, dass die elektrischen Anlagen und Betriebsmittel den elektrotechnischen Regeln entsprechend betrieben werden ..."

(Als Elektrofachkraft im Sinne dieser Unfallverhütungsvorschrift gilt, wer aufgrund seiner fachlichen Ausbildung, Kenntnisse und Erfahrungen sowie Kenntnisse der einschlägigen Bestimmungen die ihm übertragenen Arbeiten beurteilen und mögliche Gefahren erkennen kann.)

*§ 5 (Prüfungen)*

„(1) Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass die elektrischen Anlagen und Betriebsmittel auf ihren ordnungsgemäßen Zustand geprüft werden

1. vor der ersten Inbetriebnahme und nach einer Änderung oder Instandsetzung vor der Wiederinbetriebnahme durch eine Elektrofachkraft oder unter Leitung und Aufsicht einer Elektrofachkraft und
2. in bestimmten Zeitabständen. Die Fristen sind so zu bemessen, dass entstehende Mängel, mit denen gerechnet werden muss, rechtzeitig festgestellt werden.

(2) Bei der Prüfung sind die sich hierauf beziehenden elektrotechnischen Regeln zu beachten.

(3) Auf Verlangen der Berufsgenossenschaft ist ein Prüfbuch mit bestimmten Eintragungen zu führen.

(4) Die Prüfung vor der ersten Inbetriebnahme nach (1) ist nicht erforderlich, wenn dem Unternehmen vom Hersteller oder Errichter bestätigt wird, dass die elektrischen Anlagen und Betriebsmittel den Bestimmungen dieser Unfallverhütungsvorschriften entsprechend beschaffen sind."

Ein einfacher Hinweis als Bestätigung reicht nicht aus. Diese muss i. Allg. in Form eines speziellen Schreibens oder Formulars (Konformitätserklärung) erfolgen.

*Anmerkung:* Die landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften haben eigene, von der UVV BGV A3 bzw. DGUV Vorschrift 3 u. 4 teilweise abweichende Vorschriften mit der Nummerierung VSG 1.4 herausgegeben (Herausgeber: Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (SVLFG)), Stand 01.01.2000 i. d. F. 19.07.2013.

Nach der *Durchführungsanweisung* zur UVV BGV A3/DGUV Vorschrift 3 u. 4 § 5 (1) dürfen elektrische Anlagen und Betriebsmittel nur in ordnungsgemäßem Zustand in Betrieb genommen werden und müssen in diesem Zustand erhalten werden. Diese Forderung ist erfüllt, wenn vor Inbetriebnahme sowie nach Änderung oder Instandsetzung sichergestellt ist, dass die Anforderungen der elektrotechnischen Regeln eingehalten werden, und wenn die elektrischen Anlagen und Betriebsmittel wiederholt geprüft werden. Hierbei liegt der *ordnungsgemäße Zustand* vor, wenn die Maßnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag den Anforderungen

entsprechen, die bei der ersten Inbetriebnahme als Grenzwerte für die Prüfungen zugrunde gelegt werden. Außerdem sind auch die Vermeidung nichtelektrischer Gefahren sowie die Funktionsfähigkeit der Anlagen und Betriebsmittel damit gemeint. Bei der Beurteilung des ordnungsgemäßen Zustands sind die jeweiligen Errichtungsnormen, aber auch Gerätenormen, zu beachten.

Die folgende **Tabelle 1.1** gibt die Prüfungen und Beispiele für Prüffristen wieder.

***Tabelle 1.1:** Prüfungen und Beispiele für Prüffristen*

| Anlage/Betriebsmittel | Prüffrist | Art der Prüfung | Prüfer |
|---|---|---|---|
| elektrische Anlagen und ortsfeste Betriebsmittel | mindestens alle 4 Jahre | auf ordnungsgemäßen Zustand | Elektrofachkraft |
| elektrische Anlagen und ortsfeste elektrische Betriebsmittel in „Betriebsstätten, Räumen und Anlagen besonderer Art" (z. B. VDE 0100-420 und VDE 0100 Gruppe 700) | mindestens jährlich | | |
| ortsveränderliche elektrische Betriebsmittel (soweit benutzt); | Richtwert: 6 Monate, auf Baustellen 3 Monate. Bei Fehlerquote < 2 % kann Prüffrist verlängert werden[1] | | Elektrofachkraft; bei Verwendung geeigneter Mess- und Prüfeinrichtungen auch elektrotechnisch unterwiesene Person |
| Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen mit Steckvorrichtungen; Anschlussleitungen mit Stecker; bewegliche Leitungen mit Stecker und Festanschluss | auf Baustellen, in Fertigungsstätten und Werkstätten und unter ähnlichen Bedingungen mindestens jährlich; in Büros und unter ähnlichen Bedingungen mindestens alle 2 Jahre | | |
| Schutzmaßnahmen mit Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) in nichtstationären Anlagen | 1 Monat | auf Wirksamkeit | Elektrofachkraft; bei Verwendung geeigneter Mess- und Prüfeinrichtungen auch elektrotechnisch unterwiesene Person |

1 Bei besonders schwierigen Umgebungsverhältnissen hinsichtlich Temperatur, Staub, Feuchtigkeit u. dgl. können kürzere Prüffristen erforderlich sein. Bei „günstigen" Umgebungsverhältnissen oder bei ganz seltener Nutzung kann die Prüffrist auch auf 1 bis 2 Jahre verlängert werden, z. B. bei elektrischen Büromaschinen.

| Anlage/Betriebsmittel | Prüffrist | Art der Prüfung | Prüfer |
|---|---|---|---|
| Schutzmaßnahmen mit Fehlerstrom- und Differenzstromschutzeinrichtungen (RCDs) | 6 Monate in stationären Anlagen; arbeitstäglich in nichtstationären Anlagen | auf einwandfreie Funktion durch Betätigen der Prüfeinrichtung | Benutzer |
| isolierende Schutzkleidung | vor jeder Benutzung | auf augenfällige Mängel | Benutzer |
| | 12 Monate (soweit benutzt) | auf Einhaltung der in den elektrotechnischen Regeln vorgegebenen Grenzen | Elektrofachkraft |
| isolierende Handschuhe | 6 Monate (soweit benutzt) | | |
| Spannungsprüfer, Phasenvergleicher | vor jeder Benutzung | auf einwandfreie Funktion | Benutzer |
| isolierende Werkzeuge, Kabelschneidegeräte, isolierende Schutzvorrichtungen sowie Betätigungs- und Erdungsstangen | | auf äußerlich erkennbare Schäden und Mängel | |
| Spannungsprüfer über 1 kV Nennspannung | mindestens alle 6 Jahre | auf Einhaltung der in den elektrotechnischen Regeln vorgegebenen Grenzen | Elektrofachkraft |

Die Forderung gemäß der Durchführungsanweisung zur UVV BGV A3/DGUV Vorschrift 3 u. 4 (1), wonach zur Erhaltung des ordnungsgemäßen Zustands elektrische Anlagen und Betriebsmittel wiederholt zu prüfen sind, ist bei *stationären* elektrischen Anlagen und *ortsfesten* elektrischen Betriebsmitteln auch erfüllt, wenn diese von einer Elektrofachkraft ständig überwacht werden. Das bedeutet aber, dass sie kontinuierlich von Elektrofachkräften instand gehalten und durch messtechnische Maßnahmen im Rahmen des Betreibens geprüft werden, z. B. durch Überwachung des Isolationswiderstands. Diese messtechnische Überwachung des Isolationswiderstands dürfte in der Praxis nur in wenigen Fällen (z. B. in IT-Netzen) gegeben sein, weshalb die wiederkehrenden Prüfungen auch für stationäre Anlagen und ortsfeste Betriebsmittel die Regel sein werden.

*Ortsfeste Betriebsmittel* sind fest angebrachte Betriebsmittel oder Betriebsmittel, die keine Tragevorrichtung haben und deren Masse so groß ist, dass sie nicht leicht

bewegt werden können. Dazu gehören auch elektrische Betriebsmittel, die vorübergehend fest angebracht sind und über bewegliche Anschlussleitungen betrieben werden. In IEC-Normen wird der Wert der Masse für Geräte für den Hausgebrauch mit mindestens 18 kg festgelegt. Ein so genanntes *fest angebrachtes elektrisches Betriebsmittel* ist ein elektrisches Betriebsmittel, das auf einer Haltevorrichtung angebracht oder in einer anderen Weise an einer bestimmten Stelle montiert ist.

*Ortsveränderliche Betriebsmittel* sind Betriebsmittel, die während des Betriebs bewegt werden oder die leicht von einem Platz zu einem anderen gebracht werden können, während sie an den Versorgungsstromkreis angeschlossen sind.

*Stationäre Anlagen* sind Anlagen, die mit ihrer Umgebung fest verbunden sind, z. B. Installationen in Gebäuden, Baustellenwagen, Containern und auf Fahrzeugen.

*Nichtstationäre Anlagen* sind dadurch gekennzeichnet, dass sie entsprechend ihrem bestimmungsgemäßen Gebrauch nach dem Einsatz wieder abgebaut (zerlegt) und am neuen Einsatzort wieder aufgebaut (zusammengeschaltet) werden. Hierzu gehören z. B. Anlagen auf Bau- und Montagestellen oder fliegende Bauten.

## 1.2.5 Produktsicherheitsgesetz. Überwachungsbedürftige Anlagen, Betriebssicherheitsverordnung

### 1.2.5.1 Allgemeines

Das frühere „Gesetz über technische Arbeitsmittel (Gerätesicherheitsgesetz, abgekürzt GSG)" und das „Gesetz über technische Arbeitsmittel und Verbraucherprodukte (Geräte- und Produktsicherheitsgesetz – GPSG)" vom 6. Januar 2004 ist durch das am 01.12.2011 in Kraft getretene „Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz – ProdSG)" vom 08.11.2011 (BGBl. I S. 2178, 2179; 2012 I S. 131) ersetzt worden. Unberührt von dem neuen Gesetz bleibt das Produkthaftungsgesetz.

Das ProdSG gilt, wenn im Rahmen einer Geschäftstätigkeit Produkte auf dem Markt bereitgestellt, ausgestellt oder erstmals verwendet werden. Das Gesetz gilt auch für die Errichtung und den Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen (s. Abschn. 1.2.5.3). Produkte sind Waren, Stoffe oder Zubereitungen, die durch einen Fertigungsprozess hergestellt worden sind. Verbraucherprodukte im Sinne des ProdSG sind neue, gebrauchte oder wiederaufgearbeitete Produkte, die für Verbraucher bestimmt sind oder ... von Verbrauchern benutzt werden könnten, selbst wenn sie nicht für diese bestimmt sind. Weitere, detailliertere Ausführungen zum Anwendungsbereich des Gesetzes und zu Begriffserläuterungen sind dem ProdSG §§ 1 u. 2 zu entnehmen.

Das ProdSG dient der nationalen Umsetzung der Forderungen der verschiedenen Richtlinien der Europäischen Union (EU- bzw. richtiger: EG-RL) für diese Geräte, Einrichtungen und Produkte, u. a. sog. Produktsicherheitsrichtlinie (2001/95/EG, Änderung Verordnung EG 765/2008), Richtlinie über elektrische Betriebsmittel („Niederspannungsrichtlinie") (2006/95/EG), Richtlinie für Geräte- und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen („Explosionsschutzrichtlinie", „ATEX-Richtlinie") (94/9/EG, Änderungen 94/9/EG-Ber, Verordnung (EG) 1882/2003), Maschinenrichtlinie (2006/42/EG, Änderungen 06/42/EGBer, 2009/127/EG), Aufzugsrichtlinie (95/16/EG, Änderungen 2006/42/EG), Richtlinie über persönliche Schutzausrüstungen („PSA-Richtlinie") (89/686/EWG, Änderung durch Verordnung EG 1882/2003). In den EG-Richtlinien wird dabei auf die teilweise sehr allgemein gehaltenen Sicherheitsanforderungen in den Anhängen verwiesen.

Aufgrund des Produktsicherheitsgesetzes sind zahlreiche Rechtsverordnungen erlassen worden (ProdSG § 8). Wichtige Verordnungen, die elektrische Geräte und Einrichtungen betreffen, sind u. a.

- „Erste Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Verordnung über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen) („Niederspannungsverordnung") (1. ProdSV)" vom 11. Juni 1979 (BGBl. I S. 629), zuletzt geändert durch Artikel 15 des Gesetzes vom 8.11.2011 (BGBl. I S. 2178) (dient der Umsetzung der EG-Niederspannungsrichtlinie (s. o.)), hierunter fallen elektrische Geräte und Betriebsmittel;
- „Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung) (9. ProdSV)" vom 12. Mai 1993 (BGBl. I S. 704), zuletzt geändert durch Artikel 19 des Gesetzes vom 8.11.2011 (BGBl. I S. 2178)) (dient der Umsetzung der EG-Maschinenrichtlinie (s. o.)), hierunter fallen elektrische Einrichtungen von Maschinen;
- „Elfte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Explosionsschutzverordnung) (11. ProdSV)" vom 12. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1914), zuletzt geändert durch Artikel 21 des Gesetzes vom 8.11.2011 (BGBl. I S. 2178) (dient der Umsetzung der EG-Ex-Richtlinie 94/9/EG/ATEX 100a, jetzt: ATEX 95 (s. o.)); hierunter fallen explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel.

In diesen Rechtsverordnungen wird allgemein gefordert, dass z. B.

- neue elektrische Betriebsmittel gemäß der 1. ProdSV nur auf dem Markt bereitgestellt werden dürfen, wenn sie entsprechend dem in der EG gegebenen Stand der Sicherheitstechnik hergestellt sind und sie bei ordnungsgemäßer Installation und Wartung sowie bestimmungsgemäßer Verwendung die Sicherheit von Menschen, Nutztieren und die Erhaltung von Sachwerten nicht gefährden,

- Maschinen oder Sicherheitsbauteile gemäß 9. ProdSV nur in den Verkehr gebracht bzw. auf dem Markt bereitgestellt oder in Betrieb genommen werden dürfen, wenn sie bei ordnungsgemäßer Installation und Wartung und bei bestimmungsgemäßer Verwendung oder vorhersehbarer Fehlanwendung die Sicherheit und die Gesundheit von Personen nd die Sicherheit von Haustieren und Gütern nicht gefährden. Vor dem Inverkehrbringen oder vor der Inbetriebnahme einer Maschine muss u. a. sichergestellt sein, dass die Maschine den in Anhang 1 der Maschinenrichtlinie aufgeführten, für sie geltenden grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen entspricht;
- explosionsgeschützte Geräte, Schutzsysteme und Vorrichtungen gemäß 11. ProdSV nur auf dem Markt bereitgestellt werden dürfen, wenn sie den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen des Anhangs II der EG-Ex-Richtlinie entsprechen und bei ordnungsgemäßer Aufstellung, Instandhaltung und bestimmungsgemäßer Verwendung die Sicherheit und die Gesundheit von Personen und die Sicherheit von Haustieren und Gütern nicht gefährden.

Je nach dem Verfahrensablauf der EG- und der nationalen Gesetzgebung werden noch weitere Rechtsverordnungen erlassen.

Produkte müssen die Anforderungen – wie es heißt – an Sicherheit und Gesundheit nach den ProdSV-Rechtsverordnungen erfüllen. Weiter heißt es im ProdSG, dass bei der Beurteilung, ob ein Produkt den Anforderungen entspricht, harmonisierte Normen zugrunde gelegt werden *können*. Entspricht ein Produkt harmonisierten Normen oder Teilen davon, deren Fundstellen im Amtsblatt der EU veröffentlicht worden sind, wird vermutet, dass das Produkt den Anforderungen nach den ProdSG-Verordnungen entspricht und die Sicherheit und Gesundheit von Personen bei bestimmungsgemäßer oder vorhersehbarer Verwendung nicht gefährdet. Auch hier gilt wieder eine *Vermutungswirkung* (vgl. Abschnitt 1.2.1 (EnWG)). Überwachungsbedürftige Anlagen stehen nach dem ProdSG den Produkten gleich (s. Abschn. 1.2.5.3). Eine sog. harmonisierte Norm ist eine Norm, die von einem auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften anerkannten europäischen Normungsgremium auf der Grundlage eines Ersuchens der Europäischen Kommission erstellt wurde (ProdSG § 2 Nummer 13). Harmonisierte Normen werden u. a. vom Europäischen Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) als EN-Normen und von der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE) als DIN-VDE-Normen herausgegeben.

Die „Erste Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Verordnung über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt – 1. ProdSV)“ (Niederspannungsverordnung)

(s. o.) regelt in § 1 die Beschaffenheit elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung bei einer Nennspannung zwischen 50 und 1 000 V für Wechselstrom und zwischen 75 und 1 500 V für Gleichstrom, soweit es sich um technische Arbeitsmittel oder verwendungsfertige Gebrauchsgegenstände oder Teile von diesen handelt. Sie gilt nicht für elektrische Betriebsmittel zur Verwendung in explosibler Atmosphäre, elektroradiologische und elektromedizinische Betriebsmittel, elektrische Teile von Personen- und Lastenaufzügen, Elektrizitätszähler, Haushaltssteckvorrichtungen, Vorrichtungen zur Stromversorgung von elektrischen Weidezäunen, spezielle elektrische Betriebsmittel, die zur Verwendung auf Schiffen, in Flugzeugen oder in Eisenbahnen bestimmt sind und den Sicherheitsvorschriften internationaler Einrichtungen entsprechen, denen die Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaft angehören. Sie gilt ferner nicht für die Funkentstörung elektrischer Betriebsmittel.

Nach § 2 müssen die Betriebsmittel insbesondere folgenden Sicherheitsgrundsätzen entsprechen:

1. Die wesentlichen Merkmale, von deren Kenntnis und Beachtung eine bestimmungsgemäße und gefahrlose Verwendung abhängt, sind auf den Betriebsmitteln oder, falls dies nicht möglich ist, auf einem beigegebenen Hinweis anzugeben.
2. Das Herstellerzeichen oder die Handelsmarke ist deutlich auf den elektrischen Betriebsmitteln oder, falls dies nicht möglich ist, auf der Verpackung anzubringen.
3. Die elektrischen Betriebsmittel sowie ihre Bestandteile müssen so beschaffen sein, dass sie sicher und ordnungsgemäß verbunden oder angeschlossen werden können.
4. Zum Schutz vor Gefahren, die von elektrischen Betriebsmitteln ausgehen können, sind technische Maßnahmen vorzusehen, damit bei bestimmungsgemäßer Verwendung und ordnungsgemäßer Unterhaltung
   a) Menschen und Nutztiere angemessen vor den Gefahren einer Verletzung oder anderen Schäden geschützt sind, die durch direkte oder indirekte Berührung verursacht werden können;
   b) keine Temperaturen, Lichtbögen oder Strahlungen entstehen, aus denen sich Gefahren ergeben können;
   c) Menschen, Nutztiere und Sachen angemessen vor nichtelektrischen Gefahren geschützt werden, die erfahrungsgemäß von elektrischen Betriebsmitteln ausgehen;
   d) die Isolierung den vorgesehenen Beanspruchungen angemessen ist.

5. Zum Schutz vor Gefahren, die durch äußere Einwirkungen auf elektrische Betriebsmittel entstehen können, sind technische Maßnahmen vorzusehen, die sicherstellen, dass die elektrischen Betriebsmittel bei bestimmungsgemäßer Verwendung und ordnungsgemäßer Unterhaltung
   a) den vorgesehenen mechanischen Beanspruchungen so weit standhalten, dass Menschen, Nutztiere oder Sachen nicht gefährdet werden;
   b) unter den vorgesehenen Umgebungsbedingungen den nichtmechanischen Einwirkungen so weit standhalten, dass Menschen, Nutztiere oder Sachen nicht gefährdet werden;
   c) bei den vorgesehenen Überlastungen Menschen, Nutztiere oder Sachen nicht gefährden.

Diese Rechtsverordnung – wie auch die Maschinenverordnung (9. ProdSV) – gilt nicht nur für Hersteller, sondern auch z. B. für Elektrohandwerksbetriebe, die elektrische Verteiler anfertigen oder die elektrische Ausrüstung einer Maschine installieren.

### 1.2.5.2 Kennzeichnung

Produkte, die von einer der o. g. Rechtsverordnungen erfasst werden – also elektrische Betriebsmittel (1. ProdSV), Maschinen oder Sicherheitsbauteile (9. ProdSV) – müssen mit einer *CE-Kennzeichnung* (**Bild 1.1**) versehen sein, durch die der Hersteller oder sein Bevollmächtigter bestätigt, dass die Sicherheitsanforderungen der Rechtsverordnungen erfüllt sind. Außerdem müssen eine *Konformitätserklärung* und technische Unterlagen, wie sie in den Anhängen der EG-Richtlinien genannt sind, bereitliegen. Wenn eine Maschine mit elektrischer Ausrüstung mehreren Rechtsverordnungen bzw. EU-Richtlinien unterliegt, wird durch die CE-Kennzeichnung bestätigt, dass sie den Bestimmungen der anderen Rechtverordnungen ebenfalls entspricht.

Die CE-Kennzeichnung muss nach dem ProdSG sichtbar und lesbar und das Kennzeichen dauerhaft auf dem Produkt (z. B. elektrisches Betriebsmittel) oder seinem Typenschild angebracht sein. Falls die Art des Produkts dies nicht zulässt oder nicht rechtfertigt, muss die CE-Kennzeichnung auf der Verpackung sowie auf den Begleitunterlagen (z. B. Gebrauchsanleitung, Garantieschein) sichtbar angebracht sein, sofern entsprechende Unterlagen vorgeschrieben sind.

CE

***Bild 1.1:*** *CE-Zeichen*




***Bild 1.2:*** *GS-Zeichen*

Das Inverkehrbringen und die Inbetriebnahme explosionsgeschützter Betriebsmittel nach der alten 11. GPSGV durfte noch bis zum 30.6.2003 nach dem alten Recht erfolgen, was bedeutet, dass diese Betriebsmittel u. U. noch keine CE-Kennzeichnung haben. Da die CE-Kennzeichnung nur für die die Rechtsverordnungen überwachende Behörde – also in der Regel die technische Gewerbeaufsicht – vorhanden sein muss, damit diese die Einhaltung des Produktsicherheitsgesetzes (ProdSG) bzw. der entsprechenden Rechtsverordnungen überprüfen kann, ist sie für den Anwender und den Verbraucher der Produkte eigentlich wertlos. Das CE-Zeichen ist insbesondere k e i n Qualitätszeichen, sondern eben nur eine Erklärung des Herstellers, dass er die Rechtsverordnungen bzw. die Regeln der Technik eingehalten hat.

Nach dem ProdSG darf ein verwendungsfertiges Produkt mit dem GS-Zeichen („GS = geprüfte Sicherheit") versehen werden, wenn es von einer GS-Stelle auf Antrag des Herstellers oder seines Bevollmächtigten zuerkannt worden ist. Dies gilt nicht, wenn das verwendungsfertige Produkt mit der CE-Kennzeichnung versehen ist und bestimmte Anforderungen an diese CE-Kennzeichnung mindestens gleichwertig sind mit den Anforderungen, die im ProdSG § 21 (Pflichten der GS-Stelle), Absatz 1, aufgeführt sind und dort nachgelesen werden können. Über die Zuerkennung des GS-Zeichens muss die GS-Stelle eine Bescheinigung auszustellen. Die Geltungsdauer der Zuerkennung ist auf höchstens fünf Jahre befristet oder auf ein bestimmtes Fertigungskontingent oder -los beschränkt. Die GS-Stelle muss eine Liste der ausgestellten Bescheinigungen veröffentlichen. Insofern ist das GS-Zeichen (**Bild 1.2**), aber auch andere Zeichen, wie das VDE- oder das HAR-Zeichen bei Kabeln und Leitungen, für den Anwender eines technischen Arbeitsmittels nach wie vor wichtig.

### 1.2.5.3 Überwachungsbedürftige Anlagen

Das Produktsicherheitsgesetz gilt auch für die Errichtung und den Betrieb sog. überwachungsbedürftiger Anlagen (§ 1 (2) ProdSG), die gewerblichen oder wirtschaftlichen Zwecken dienen oder durch die Beschäftigte gefährdet werden können (Ausnahmen s. ProdSG § 1 (2)). Früher gehörten die überwachungsbedürftigen Anlagen zur Gewerbeordnung. Zu den überwachungsbedürftigen Anlagen zählen Dampfkesselanlagen mit Ausnahme von Dampfkesseln auf Seeschiffen, Druckbehälteranlagen außer Dampfkessel, Anlagen zur Abfüllung von verdichteten, verflüssigten oder unter Druck gelösten Gasen, Leitungen unter innerem Überdruck für brennbare, ätzende oder giftige Gase, Dämpfe oder Flüssigkeiten; Aufzugsanlagen, Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen, Getränkeschankanlagen und Anlagen zur Herstellung kohlensaurer Getränke, Azetylenanlagen und Kalziumkarbidlager, Anlagen zur Lagerung, Abfüllung und Beförderung von brennbaren Flüssigkeiten

(Zapfeinrichtungen an Tankstellen, Tanklager usw.). Zu den Anlagen gehören auch Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen, die dem sicheren Betrieb der Anlage dienen. Die Errichtung solcher Anlagen, ihre Inbetriebnahme und Änderungen an bestehenden Anlagen sind – abhängig von der Größe der Anlagen – anzeige- oder genehmigungspflichtig. Zu beachten ist, dass die überwachungsbedürftigen Anlagen den Produkten nach ProdSG § 2 Nummer 22 (Waren, Stoffe oder Zubereitungen, die durch einen Fertigungsprozess hergestellt worden sind) im Sinne des ProdSG § 2 Nummer 22 gleich stehen. Das heißt, dass alle Anforderungen an Produkte auch für überwachungsbedürftige Anlagen gelten.

### 1.2.5.4 Betriebssicherheitsverordnung

Im Oktober 2002 hat es durch Inkrafttreten der sog. Artikelverordnung „Verordnung zur Rechtsvereinfachung im Bereich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, der Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes" eine umfangreiche Neuordnung bei der Gesetzgebung und den technischen Verordnungen auf dem Gebiet der überwachungsbedürftigen Anlagen gegeben. Diese Artikelverordnung diente der Umsetzung mehrerer EG-Richtlinien und wurde u. a. aufgrund des Arbeitsschutzgesetzes, des damaligen Gerätesicherheitsgesetzes (inzwischen ersetzt durch das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG)) und des Energiewirtschaftsgesetzes am 27.9.2002 erlassen. Es ergaben sich vor allem formale Änderungen, die auch die damals lange Zeit vorher geltende „Verordnung über elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen" (ElexV) und die „Verordnung über brennbare Flüssigkeiten" (VbF) betrafen. Diese beiden Verordnungen galten u. a. auch für elektrische Einrichtungen und Blitzschutzanlagen von Tanklagern und Zapfsäulen (Abfüllstellen). Diese beiden Verordnungen sind, wie andere auch, damals am 01.01.2003 außer Kraft getreten und durch die am 03.10.2002 in Kraft getretene und zwischendurch geänderte „Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und der Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes („Betriebssicherheitsverordnung" – BetrSichV)" ersetzt worden. Wichtig ist, dass die den Verordnungen (die alte ElexV und VbF, sowie die BetrSichV) nachgeordneten technischen Vorschriften von den umfangreichen rechtsformalen Änderungen nicht berührt sind und vorerst weiter gelten. Nun ist die erste Betriebssicherheitsverordnung von Sept. 2002, die zuletzt mit Datum vom 08.11.2011 geändert worden war, novelliert und ersetzt worden. Durch die sog. Artikelverordnung der Bundesregierung „Verordnung zur Neuregelung der Anforderungen an den Arbeitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln und Gefahrstoffen", ausgefertigt am

03.02.2015 (BGBl. I G 5702 S. 49), wurde durch Artikel 3 Satz 1 dieser Verordnung am 01.06.2015 als Artikel 1 dieser Verordnung mit dem geänderten und kürzeren Titel in Kraft gesetzt: „Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV)". Durch die „Erste Verordnung zur Änderung der Betriebssicherheitsverordnung" vom 13.07.2015 (verkündet und in Kraft getreten, BGBl. I Nr. 29 S. 1187) wurde die neue BetrSichV noch mal geändert. Diese Änderung betrifft aber nur die Verwendung sog. Umlaufaufzüge (Paternoster).

Die novellierte BetrSichV von Juni/Juli 2015 ist nach der ersten, fast 13 Jahre gültigen BetrSichV von Sept. 2002 aufgrund der gemachten Erfahrungen umfangreich überarbeitet und neu strukturiert sowie an europäisches Recht angeglichen worden. In der neuen Verordnung sind u. a. nun Bereiche berücksichtigt, die sich als besondere Unfallschwerpunkte herausgestellt haben, z. B. Instandhaltungsarbeiten, besondere Betriebszustände, Störungen oder Manipulationen. Die Novellierung enthält Änderungen bzgl. der Erlaubnis für das Errichten und den Betrieb, bzgl. Prüfungen vor Inbetriebnahme und bzgl. wiederkehrender Prüfungen von überwachungsbedürftigen Anlagen.

Der Umfang der Ordnungswidrigkeiten (BetrSichV § 22) ist gegenüber der alten Verordnung stark erhöht worden; die Ordnungswidrigkeiten werden auch sehr viel detaillierter und konkreter beschrieben. Die Beschreibung der Straftatbestände (BetrSichV § 23) ist unverändert geblieben (Gefährdung von Leben und Gesundheit eines Beschäftigten durch vorsätzliches Handeln hinsichtlich einer Ordnungswidrigkeit, beharrliches Wiederholen solch eines vorsätzlichen Handelns, Gefährdung von fremden Sachen von bedeutendem Wert). Nach der Betriebssicherheitsverordnung werden unter dem zusammenfassenden Begriff *Arbeitsmittel* nicht nur, wie es dem allgemeinen Sprachgebrauch entspricht, Werkzeuge und Geräte, die beim Arbeiten benutzt werden, verstanden, sondern auch Maschinen und Anlagen, insbesondere eben auch überwachungsbedürftige Anlagen nach dem Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) (s. oben).

Zu erwähnen sind die Übergangsfristen, die auch die den Explosionsschutz elektrischer Anlagen und Betriebsmittel betreffenden Verordnungen berühren. Die nicht mehr gültigen Verordnungen ElexV und VbF gelten n u r n o c h für *Altanlagen* (Anlagen, die vor dem 1.1.2003 errichtet wurden) hinsichtlich der sog. Beschaffenheit. Solange eine zuständige Behörde nichts anderes verlangt, brauchen elektrische Anlagen und Geräte von solchen Altanlagen nicht geändert oder ausgetauscht zu werden. Für den Betrieb von Altanlagen, die vor Inkrafttreten (Ende 2002/Anfang 2003) der alten BetrSichV in Betrieb genommen worden sind, gilt hinsichtlich durchzuführender Prüfungen ebenfalls die aktuelle Betriebssicherheitsverordnung in vollem Umfang.

Für den Bau bzw. die Herstellung oder – wie es im ProdSG und in den Produktverordnungen heißt – für die Bereitstellung auf dem Markt von explosionsgeschützten Betriebsmitteln, die in überwachungsbedürftigen Anlagen eingesetzt werden, gilt die Explosionsschutzverordnung (11. ProdSV) (s. Abschn. 1.2.5.1 und 14.9).

Die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) ist in mehrere Abschnitte und Anhänge (die wiederum nach §§ unterteilt sind) wie folgt unterteilt:

Abschnitt 1 Anwendungsbereich und Begriffsbestimmungen (§§ 1 u. 2)

Abschnitt 2 Gefährdungsbeurteilung und Schutzmaßnahmen

§ 3 Gefährdungsbeurteilung

§ 4 Grundpflichten des Arbeitgebers

§ 5 Anforderungen an die zur Verfügung gestellten Arbeitsmittel

§ 6 Grundlegende Schutzmaßnahmen bei der Verwendung von Arbeitsmitteln

§ 7 Vereinfachte Vorgehensweise bei der Verwendung von Arbeitsmitteln

§ 8 Schutzmaßnahmen bei Gefährdungen durch Energien, Ingangsetzen und Stillsetzen

§ 9 Weitere Schutzmaßnahmen bei der Verwendung von Arbeitsmitteln

§ 10 Instandhaltung und Änderung von Arbeitsmitteln

§ 11 Besondere Betriebszustände, Betriebsstörungen und Unfälle

§ 12 Unterweisung und besondere Beauftragung von Beschäftigten

§ 13 Zusammenarbeit verschiedener Arbeitgeber

§ 14 Prüfung von Arbeitsmitteln

Abschnitt 3 Zusätzliche Vorschriften für überwachungsbedürftige Anlagen

§ 15 Prüfung vor Inbetriebnahme und vor Wiederinbetriebnahme nach prüfpflichtigen Änderungen

§ 16 Wiederkehrende Prüfung

§ 17 Prüfaufzeichnungen und -bescheinigungen

§ 18 Erlaubnispflicht

Abschnitt 4 Vollzugsregelungen und Ausschuss für Betriebssicherheit

§ 19 Mitteilungspflichten, behördliche Ausnahmen

§ 20 Sonderbestimmungen für überwachungsbedürftige Anlagen des Bundes

§ 21 Ausschuss für Betriebssicherheit

Abschnitt 5 Ordnungswidrigkeiten und Straftaten, Schlussvorschriften

§ 22 Ordnungswidrigkeiten

§ 23 Straftaten

§ 24 Übergangsvorschriften

Anhang 1 Besondere Vorschriften für bestimmte Arbeitsmittel
Anhang 2 Prüfvorschriften für überwachungsbedürftige Anlagen
Anhang 3 Prüfvorschriften für bestimmte Arbeitsmittel

Bei Nichtbeachtung dieser Verordnungen einschl. der betreffenden Regeln der Technik (DIN-Normen, VDE-Bestimmungen, Ex-Richtlinien, sonstige technischen Richtlinien) kann ein Bußgeld erhoben werden. Ordnungswidrig handelt beispielsweise, wer fahrlässig oder vorsätzlich im Sinne des Arbeitsschutzgesetzes handelt (BetrSichV § 22 (1) Nr. ...):

- auftretende Gefährdungen nicht oder nicht richtig beurteilt (Nr. 1),
- eine Gefährdungsbeurteilung von nicht fachkundigen Personen durchführen lässt (Nr. 2),
- eine Gefährdungsbeurteilung nicht oder nicht rechtzeitig aktualisiert (Nr. 5),
- die Art und den Umfang von erforderlichen Prüfungen nicht ermittelt und festlegt (Nr. 3),
- Fristen von wiederkehrenden Prüfungen ... nicht ermittelt und festlegt (Nr. 4),
- nicht dafür sorgt, dass Arbeitsmittel, für die ... Prüfungen vorgeschrieben sind, nur verwendet werden, wenn diese Prüfungen durchgeführt und dokumentiert wurden (Nr. 8),
- nicht dafür sorgt, dass ein Arbeitnehmer nur ein dort genanntes Arbeitsmittel verwendet (Nr. 10),
- ein bestimmtes Arbeitsmittel nicht richtig aufstellt oder nicht richtig verwendet (Nr. 17),
- nicht dafür sorgt, dass ein Arbeitsmittel mit einem bestimmten Hinweis versehen ist (Nr. 18),
- eine Information nicht, nicht richtig, nicht vollständig oder nicht rechtzeitig zur Verfügung stellt (Nr. 25),
- einen Beschäftigten nicht, nicht richtig, nicht vollständig oder nicht rechtzeitig unterweist (Nr. 26),
- eine Betriebsanweisung nicht, nicht richtig, nicht vollständig oder nicht rechtzeitig zur Verfügung stellt (Nr. 27),

- ein Arbeitsmittel nicht oder nicht rechtzeitig prüfen lässt (Nr. 28),
- nicht dafür sorgt, dass ein Ergebnis aufgezeichnet und aufbewahrt wird (Nr. 30),
- eine Dokumentation, eine Information, einen Nachweis oder eine Angabe nicht, nicht richtig, nicht vollständig oder nicht rechtzeitig übermittelt (Nr. 32).

Darüber hinaus handelt ordnungswidrig beispielsweise, wer fahrlässig oder vorsätzlich im Sinne des Produktsicherheitsgesetzes handelt (BetrSichV § 22 (2) Nr. ...):

- ... Instandhaltungsmaßnahmen nach § 10 nicht durchführt (Nr. 4),
- ... nicht sicherstellt, dass eine überwachungsbedürftige Anlage geprüft wird (Nr. 6),
- ... eine überwachungsbedürftige Anlage oder ein Anlagenteil nicht oder nicht rechtzeitig prüfen lässt (Nr. 7),
- ohne Erlaubnis nach § 18 Absatz ... eine dort genannte Anlage errichtet oder betreibt (Nr. 8).

Bei Explosion, fahrlässiger Tötung oder fahrlässiger Brandstiftung wird nach dem Strafrecht geahndet (s. Abschn. 1.2.3.4).

*Technische Regel für Betriebssicherheit (TRBS)*

Durch die Betriebssicherheitsverordnung sind alte Verordnungen in diese überführt worden oder weggefallen. Die unterhalb der Ebene der technischen Verordnungen geltenden technischen Regeln bestehen bzw. bestanden zunächst weiter. Um aber eine Vereinheitlichung der technischen Regeln zu erreichen und um die Betriebssicherheitsverordnung zu konkretisieren werden so genannte Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) geschaffen und sind zum großen Teil inzwischen schon erstellt worden. Diese TRBSs haben auch die bisher geltenden Technischen Regeln für überwachungsbedürftige Anlagen abgelöst (z. B. Technische Regeln für Aufzüge (TRA), Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbF)). Als Vorbemerkung der verschiedenen TRBSs heißt es in neueren Ausgaben jeweils: „Diese Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse für die Bereitstellung und Benutzung von Arbeitsmitteln sowie für den Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen wieder. Sie (Anmerkung: die TRBS) werden vom *Ausschuss für Betriebssicherheit* ermittelt bzw. angepasst und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales im Gemeinsamen Ministerialblatt bekannt gegeben. Diese TRBS konkretisiert im Rahmen ihres Anwendungsbereichs die Anforderungen der Betriebssicherheitsverordnung. Bei Einhaltung der Tech-

nischen Regeln kann der Arbeitgeber insoweit davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der Verordnung erfüllt sind. Wählt der Arbeitgeber eine andere Lösung, muss er damit mindestens die gleiche Sicherheit und den gleichen Gesundheitsschutz für die Beschäftigten erreichen.

Für die Elektrotechnik maßgebende Titel von Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) sind im Anhang A1.4 aufgeführt.

Weitere TRBSs sind in Vorbereitung. Die für die Elektrotechnik wichtige, schon im November 2007 in Kraft getretene TRBS 2131 („Elektrische Gefährdungen") ist am 16.07.2010 durch Bekanntmachung (GMBl Nr. 41 16.07.2010) der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit ohne Angabe von Gründen aufgehoben worden. Diese TRBS sollte zukünftig die Unfallverhütungsvorschrift *DGUV Vorschrift 3* (bisher BGV A3) vollständig ersetzen. Sie galt für die Ermittlung von elektrischen Gefährdungen durch elektrischen Schlag, Störlichtbogen, elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder sowie statische Elektrizität. Dazu sind weiterhin die *DGUV Vorschrift 3* (BGV A3) und die VDE 0105-100 (Betrieb von elektrischen Anlagen – Allgemeine Festlegungen) anzuwenden.

### 1.2.6 Sicherheitsvorschriften der Feuerversicherer. Klauseln für die Feuerversicherung

Die Sicherheitsvorschriften sind im Sinne der „Allgemeinen Bedingungen für die Feuerversicherung (AFB 2010)" (Musterbedingung GDV 0100; Stand April 2010) und der „Allgemeinen Feuer-Betriebsunterbrechungs-Versicherungs-Bedingungen (FBUB 2010)" (Musterbedingung GDV 0120; Stand April 2010) Bestandteil des Versicherungsvertrags. Es heißt dort in Abschnitt B § 8, 1. a) u. a.: „Vertraglich vereinbarte Obliegenheiten, die der Versicherungsnehmer vor Eintritt des Versicherungsfalles zu erfüllen hat, sind ... die Einhaltung aller gesetzlichen, behördlichen sowie vertraglich vereinbarten Sicherheitsvorschriften; ..." Weiter heißt es unter b): „Verletzt der Versicherungsnehmer vorsätzlich oder grob fahrlässig eine Obliegenheit, ... so kann der Versicherer innerhalb eines Monats ... den Vertrag fristlos kündigen ..." Weiter heißt es unter Abschnitt B § 8, 3. a): „Verletzt der Versicherungsnehmer eine Obliegenheit ... vorsätzlich, so ist der Versicherer von der Verpflichtung zur Leistung frei. Bei grob fahrlässiger Verletzung der Obliegenheit ist der Versicherer berechtigt, seine Leistung ... zu kürzen ..." Das Nichteinhalten der gesetzlichen, behördlichen sowie vertraglich (mit einem Versicherer) vereinbarten Sicherheitsvorschriften bedeutet eine Verletzung der Obliegenheit. Bei den AFB 2010 (GDV 0100) und (FBUB 2010) (GDV 0120) handelt es sich um unverbindliche Bekanntgaben des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) zur fakultativen Verwendung. Der GDV weist darauf hin,

dass abweichende Vereinbarungen möglich sind. Maßgebend ist in jedem Fall der Vertrag mit dem Versicherer. Die vereinbarten Sicherheitsvorschriften werden von der VdS Schadenverhütung GmbH; Köln – einer Tochtergesellschaft des GDV e. V. – erarbeitet und herausgegeben und können dort erworben werden (s. Anhang A2).

Nach der Klausel SK 3602 (10) „Elektrische Anlagen" – entnommen den Klauseln für die Feuerversicherung (SK AFB 2010) (unverbindlich Bekanntgabe des GDV, Version 01.01.2011 GDV 0110) – hat der Versicherungsnehmer die elektrischen Anlagen in vertraglich mit dem Versicherer zu vereinbarenden Abständen, z. B. jährlich, auf seine Kosten durch einen von der VdS Schadenverhütung GmbH anerkannten Sachverständigen oder einer gleichermaßen qualifizierten Zertifizierungsstelle, z. B. vom TÜV, prüfen und sich ein Zeugnis (Bescheinigung) darüber ausstellen zu lassen. In dem Zeugnis muss eine Frist gesetzt werden, innerhalb derer die Mängel beseitigt und Abweichungen von den anerkannten Regeln der Elektrotechnik, insbesondere von den einschlägigen VDE-Bestimmungen, sowie Abweichungen von den Sicherheitsvorschriften, die dem Vertrag zugrunde liegen, abgestellt werden müssen. Der Versicherungsnehmer muss dem Versicherer das Zeugnis (Bescheinigung) unverzüglich übersenden, die Mängel fristgemäß beseitigen und dies dann dem Versicherer anzeigen. Die regelmäßige Prüfung der elektrischen Anlagen braucht nicht für Gebäude vorgenommen zu werden, die nur Wohn-, Büro- oder Sozialzwecken dienen, es sei denn, es befinden sich EDV-Anlagen in den Gebäuden (Klausel SK 3604 (10)). Wenn einzelne Wohn-, Büro- oder Sozialräume in einem Gebäude feuerbeständig von den übrigen Teilen des Gebäudes getrennt sind, braucht die Prüfung ebenfalls nicht durchgeführt zu werden, außer es befinden sich auch EDV-Anlagen in diesen Räumen.

### 1.2.7 Arbeitsstättenrecht

Das „Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigen bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG)" vom 07.08.1996 (BGBl. I S. 1246) zuletzt geändert durch Art. 15 Abs. 89 des Gesetzes vom 05.02.2009 (BGBl. I, Nr. 7, S. 160) dient u. a. dazu, Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten bei der Arbeit durch Maßnahmen des Arbeitsschutzes zu sichern und zu verbessern (§ 1 (1)). Nach diesem Gesetz ist der Arbeitgeber u. a. verpflichtet,

- die erforderlichen Maßnahmen des Arbeitsschutzes zu treffen (§ 3 (1)),
- durch Beurteilung der für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdung zu ermitteln, welche Maßnahmen des Arbeitsschutzes erforderlich sind (§ 5 (1)),

- Maßnahmen zu treffen, damit nur Beschäftigte Zugang zu besonders gefährlichen Arbeitsbereichen haben, die zuvor geeignete Anweisungen erhalten haben (§ 9 (1)) und
- die Beschäftigten über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit ausreichend und angemessen zu unterweisen (§ 12 (1)).

Neben dem Arbeitgeber sind u. a. auch Personen verantwortlich, die mit der Leitung eines Betriebs beauftragt sind, oder nach z. B. einer Unfallverhütungsvorschrift beauftragte Personen im Rahmen der ihnen übertragenen Aufgaben und Befugnisse (§ 13 (1)). Der Arbeitgeber kann auch zuverlässige und fachkundige Personen schriftlich damit beauftragen, ihm obliegende Aufgaben nach den ArbSchG in eigener Verantwortung wahrzunehmen (§ 13 (2)). Die Beschäftigten sind nach dem ArbSchG verpflichtet, u. a. nach ihren Möglichkeiten sowie gemäß der Unterweisung und Weisung des Arbeitgebers für ihre Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit Sorge zu tragen (§ 15 (1)). Diesbezüglich haben die Beschäftigten insbesondere u. a. Maschinen, Geräte, Werkzeuge, Arbeitsstoffe sowie Schutzeinrichtungen und die ihnen zur Verfügung gestellten persönliche Schutzeinrichtung bestimmungsgemäß zu verwenden (§ 15 (2)). Darüber hinaus haben die Beschäftigten dem Arbeitgeber oder dem zuständigen Vorgesetzten jede von ihnen festgestellte unmittelbare Gefahr für die Sicherheit und Gesundheit sowie jeden an den Schutzsystemen festgestellten Defekt unverzüglich zu melden (§ 16 (1)).

Nach der „Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV)" vom 12.08.2004 (BGBl. I S. 2179), zuletzt geändert durch Artikel 4 der Verordnung vom 19.07.2010 (BGBl. I S. 960), hat der Arbeitgeber dafür zu sorgen, dass Arbeitsstätten den Vorschriften dieser Verordnung einschließlich ihres Anhangs entsprechend so eingerichtet und betrieben werden, dass von ihnen keine Gefährdungen für die Sicherheit und die Gesundheit der Beschäftigten ausgehen. Dazu hat er die Regeln für Arbeitsstätten zu berücksichtigen. Diese „Technische Regeln für Arbeitsstätten" (ASR) werden vom Ausschuss für Arbeitsstätten erarbeitet und konkretisieren die Anforderungen der ArbStättV. Die für Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsstätten maßgebende ASR ist die ASR A3.4/3 mit dem Titel „Sicherheitsbeleuchtung, optische Sicherheitsleitsysteme", Ausgabe Mai 2009, zuletzt geändert mit Bekanntmachung des Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) vom 10.04.2014, veröffentlicht im Gemeinsamen Ministerialblatt Nr. 13, Seite 287. Die vorherigen Arbeitsstätten-Richtlinien (ASR), z. B. ASR 7/3 „Beleuchtung", ASR 7/4 „Sicherheitsbeleuchtung" galten noch bis zum 31.12.2012 (ArbStättV § 8). Zu beachten ist, dass die – neuen – Technischen Regeln für Arbeitsstätten dieselbe Abkürzung haben wie die – alten – Arbeitsstätten-Richtlinien, nämlich beide ASR. Unterschiede gibt es in der weiteren Bezeichnung. (Zur technischen Ausführung von Sicherheitsbeleuchtungsanlagen siehe Abschn. 12.3).

Im Anhang der ArbStättV werden u. a. Anforderungen an Einrichtungen von Arbeitsstätten gestellt (§ 3 Abs. 1), wie Energieverteilungsanlagen, Maßnahmen zum Schutz vor Bränden sowie an Fluchtwege und Notausgänge. Zu Energieverteilungsanlagen (ArbStättV, Anhang 1.4) heißt es: Anlagen, die der Versorgung der Arbeitsstätte mit Energie dienen, müssen so ausgewählt, installiert und betrieben werden, dass die Beschäftigten vor Unfallgefahren durch direktes oder indirektes Berühren spannungsführender Teile geschützt sind und dass von den Anlagen keine Brand- oder Explosionsgefahr ausgeht. Bei der Konzeption und der Ausführung sowie der Wahl des Materials und der Schutzvorrichtungen sind Art und Stärke der verteilten Energie, die äußeren Einwirkbedingungen und die Fachkenntnisse der Personen zu berücksichtigen, die zu Teilen der Anlage Zugang haben. Fluchtwege und Notausgänge (ArbStättV, Anhang 2.3) sind u. a. mit einer Sicherheitsbeleuchtung auszurüsten, wenn das gefahrlose Verlassen der Arbeitsstätte für die Beschäftigten, insbesondere bei Ausfall der allgemeinen Beleuchtung, nicht gewährleistet ist. Die Arbeitsstätten müssen mit Einrichtungen für eine der Sicherheit und dem Gesundheitsschutz der Beschäftigten angemessenen künstlichen Beleuchtung ausgestattet sein. Die Beleuchtungsanlagen (ArbStättV, Anhang 3.4) sind so auszuwählen und anzuordnen, dass sich dadurch keine Unfall- oder Gesundheitsgefahren ergeben können. Arbeitsstätten, in denen die Beschäftigten bei Ausfall der Allgemeinbeleuchtung Unfallgefahren ausgesetzt sind, müssen eine ausreichende Sicherheitsbeleuchtung (s. Abschn. 12.3) haben.

### 1.2.8 Verordnung über den Bau von Betriebsräumen für elektrische Anlagen

Die „Verordnung über den Bau von Betriebsräumen für elektrische Anlagen (EltBauVO)“ ist als Muster von der Fachkommission Bauaufsicht der ARGEBAU (Abkürzung s. Anhang A3) in der derzeit (Okt. 2015) gültigen Fassung Januar 2009 herausgegeben worden. Die Verordnung wird als Muster herausgegeben, weil das Baurecht (z. B. Bauordnung, Sonderbauordnungen) in Deutschland Ländersache ist und – leider – nicht einheitlich als Bundesgesetz bzw. Bundesverordnungen erscheinen können. Musterverordnungen müssen in den einzelnen Bundesländern als Länderverordnung herausgebracht werden. Die Baurechtsmusterverordnungen werden in den einzelnen Bundesländern wörtlich mit denselben Titeln, etwas abgeändert oder als Teil einer Verordnung übernommen, die alle Sonderbauverordnungen einschließlich der EltBauVO (z. B. SVBauO Nordrhein-Westfalen) enthalten. In manchen Bundesländern lautet die Abkürzung der umgesetzten Musterverordnung EltBauV statt EltBauVO. Das Inhaltsverzeichnis ist bei der Muster-EltBauVO von 2009 gegenüber dem der vorherigen Fassung von 1987 gleich geblieben, es sind aber sachliche, formelle und redaktionelle Änderungen vorgenommen worden.

| **Muster-EltBauVO nach Änderungsbeschluss Januar 1987** | **Muster-EltBauVO Fassung Januar 2009** |
|---|---|
| *§ 1 Geltungsbereich*<br>(1) Diese Verordnung gilt für elektrische Betriebsräume mit den in § 3 Abs. 1, Nummern 1 bis 3, genannten elektrischen Anlagen in<br>1. Waren- und Geschäftshäusern,<br>2. Versammlungsstätten, ausgenommen Versammlungsstätten in fliegenden Bauten,<br>3. Büro- und Verwaltungsgebäuden,<br>4. Krankenhäusern, Entbindungs- und Säuglingsheimen,<br>5. Altenpflegeheimen,<br>6. Schulen und Sportstätten,<br>7. Beherbergungsstätten,<br>8. Gaststätten,<br>9. geschlossenen Großgaragen und<br>10. Wohngebäuden.<br>(2) Diese Verordnung gilt nicht für elektrische Betriebsräume in frei stehenden Gebäuden oder durch Brandwände abgetrennten Gebäudeteilen, wenn diese nur die elektrischen Betriebsräume enthalten. | *§ 1 Geltungsbereich*<br>Diese Verordnung gilt für die Aufstellung von<br>1. Transformatoren und Schaltanlagen für Nennspannungen über 1 kV,<br>2. ortsfeste Stromerzeugungsaggregate für bauordnungsrechtlich vorgeschriebene sicherheitstechnische Anlagen und Einrichtungen und<br>3. zentrale Batterieanlagen für bauordnungsrechtlich vorgeschriebene sicherheitstechnische Anlagen und Einrichtungen<br>in Gebäuden. |
| *§ 2 Begriffsbestimmung*<br>Betriebsräume für elektrische Anlagen (elektrische Betriebsräume) sind Räume, die ausschließlich zur Unterbringung von Einrichtungen zur Erzeugung oder Verteilung elektrischer Energie oder zur Aufstellung von Batterien dienen. | *§ 2 Begriffsbestimmung*<br>Betriebsräume für elektrische Anlagen (elektrische Betriebsräume) sind Räume, die ausschließlich zur Unterbringung von Einrichtungen im Sinne des § 1 dienen. |
| *§ 3 Allgemeine Anforderungen*<br>(1) Innerhalb von Gebäuden nach § 1 Abs. 1 müssen<br>1. Transformatoren und Schaltanlagen für Nennspannungen über 1 kV,<br>2. ortsfeste Stromerzeugungsaggregate und<br>3. Zentralbatterien für Sicherheitsbeleuchtung<br>in jeweils eigenen elektrischen Betriebsräumen untergebracht sein. Schaltanlagen für Sicherheitsbeleuchtung dürfen nicht in elektrischen Betriebsräumen mit Anlagen nach Satz 1 Nr. 1 und 2 aufgestellt werden. Es kann verlangt werden, dass sie in jeweils eigenen elektrischen Betriebsräumen aufzustellen sind.<br>(2) Die elektrischen Anlagen müssen den anerkannten Regeln der Technik entsprechen. | *§ 3 Allgemeine Anforderungen*<br>Innerhalb von Gebäuden nach § 1 Abs. 1 müssen elektrische Anlagen nach § 1 in jeweils eigenen elektrischen Betriebsräumen untergebracht sein.<br>Ein elektrischer Betriebsraum ist nicht erforderlich für die in § 1 Nr. 1 genannten elektrischen Anlagen in<br>1. freistehenden Gebäuden und<br>2. in durch Brandwände abgetrennten Gebäudeteilen,<br>wenn diese nur die in § 1 Nr. 1 aufgezählten elektrischen Anlagen enthalten. |

| **Muster-EltBauVO nach Änderungsbeschluss Januar 1987** | **Muster-EltBauVO Fassung Januar 2009** |
|---|---|
| *§ 4 Anforderungen an elektrische Betriebsräume*<br>(1) Die elektrischen Betriebsräume für die in § 3 Abs. 1 Nr. 1 bis 3 genannten elektrischen Anlagen müssen so angeordnet sein, dass sie im Gefahrenfall von allgemein zugänglichen Räumen oder vom Freien leicht und sicher erreichbar sind und ungehindert verlassen werden können; sie dürfen von Treppenräumen mit notwendigen Treppen nicht unmittelbar zugänglich sein. Der Rettungsweg innerhalb elektrischer Betriebsräume bis zu einem Ausgang darf nicht länger als 40 m sein. | *§ 4 Anforderungen an elektrische Betriebsräume*<br>(1) Elektrische Betriebsräume müssen so angeordnet sein, dass sie im Gefahrenfall von allgemein zugänglichen Räumen oder vom Freien leicht und sicher erreichbar sind und durch nach außen aufschlagende Türen jederzeit ungehindert verlassen werden können; sie dürfen von notwendigen Treppenräumen nicht unmittelbar zugänglich sein. Der Rettungsweg innerhalb elektrischer Betriebsräume bis zu einem Ausgang darf nicht länger als 35 m sein. |
| (2) Die Räume müssen so groß sein, dass die elektrischen Anlagen ordnungsgemäß errichtet und betrieben werden können; sie müssen eine lichte Höhe von mindestens 2 m haben. Über Bedienungs- und Wartungsgängen muss eine Durchgangshöhe von mindestens 1,80 m vorhanden sein. | (2) Elektrische Betriebsräume müssen so groß sein, dass die elektrischen Anlagen ordnungsgemäß errichtet und betrieben werden können; sie müssen eine lichte Höhe von mindestens 2 m haben. Über Bedienungs- und Wartungsgängen muss eine Durchgangshöhe von mindestens 1,80 m vorhanden sein. |
| (3) Die Räume müssen ständig so wirksam be- und entlüftet werden, dass die beim Betrieb der Transformatoren und Stromerzeugungsaggregate entstehende Verlustwärme, bei Batterien die Gase, abgeführt werden. | (3) Elektrische Betriebsräume müssen den betrieblichen Anforderungen entsprechend wirksam be- und entlüftet werden. |
| (4) In elektrischen Betriebsräumen sollen Leitungen und Einrichtungen, die nicht zum Betrieb der elektrischen Anlagen erforderlich sind, nicht vorhanden sein. | (4) In elektrischen Betriebsräumen dürfen Leitungen und Einrichtungen, die nicht zum Betrieb der jeweiligen elektrischen Anlagen erforderlich sind, nicht vorhanden sein.<br>Satz 1 gilt nicht für die zur Sicherheitsstromversorgung aus der Batterieanlage erforderlichen Installationen in elektrischen Betriebsräumen nach § 1 Nr. 3. |
| *§ 5 Zusätzliche Anforderungen an elektrische Betriebsräume für Transformatoren und Schaltanlagen mit Nennspannung über 1 kV*<br>Inhalte (1) bis (9):<br>(1) feuerbeständige Trennung von anderen Räumen/Brandwände bei Transformatoren mit Mineralöl oder synthetischer Flüssigkeit mit Brennpunkt ≤ 300 °C als Kühlmittel/Kabeldurchführungen<br>(2) Türen/Türschlösser<br>(3) Lage von elektrischen Betriebsräumen für Transformatoren Flüssigkeitskühlung (Mineralöl, brennbare Flüssigkeiten) | *§ 5 Zusätzliche Anforderungen an elektrische Betriebsräume für Transformatoren und Schaltanlagen mit Nennspannung über 1 kV*<br>Inhalte (1) bis (7)<br>(1) Feuerbeständigkeit und Druckfestigkeit bezgl. Kurzschlusslichtbogen raumabschließender Bauteile<br>(2) Türen/Türschlösser<br>(3) Zugänge von Räumen für Transformatoren mit erhöhter Brandgefahr<br>(4) Lage von elektrischen Betriebsräumen für Transformatoren Flüssigkeitskühlung (Mineralöl, brennbare Flüssigkeiten) |

| **Muster-EltBauVO nach Änderungsbeschluss Januar 1987** | **Muster-EltBauVO Fassung Januar 2009** |
|---|---|
| (4) Leitungen für Zu- und Abluft<br>(5) Fußböden<br>(6) Maßnahmen bei auslaufender Isolier- u. Kühlflüssigkeit von Transformatoren<br>(7) Beschaffenheit von Raumfenstern<br>(8) Zugänge von Transformatorräumen<br>(9) Abweichungen zu (8) bei bestimmten Sonderbauten | (5) Leitungen für Zu- und Abluft<br>(6) Fußböden<br>(7) Maßnahmen bei auslaufender Isolier- u. Kühlflüssigkeit von Transformatoren |
| *§ 6 Zusätzliche Anforderungen an elektrische Betriebsräume für ortsfeste Stromerzeugungsaggregate*<br>Inhalte (1) bis (3):<br>(1) § 5 Abs. 1, 2, 4 u. 5 gelten sinngemäß/Maßnahmen gegen wassergefährdete Flüssigkeiten<br>(2) Abgasführung u. Abgasleitungen Verbrennungsmaschinen<br>(3) Frostfreiheit der Räume | *§ 6 Zusätzliche Anforderungen an elektrische Betriebsräume für ortsfeste Stromerzeugungsaggregate*<br>Inhalte (1) u. (2):<br>(1) Funktionserhalt, Feuerwiderstandsfähigkeit raumabschließender Bauteile<br>(2) Frostfreiheit der Räume |
| *§ 7 Zusätzliche Anforderungen an Batterieräume*<br>Inhalte (1) bis (6):<br>(1) Brandschutztechnische Trennung von anderen Räumen/Frostfreiheit/Kabeldurchführungen<br>(2) Beschaffenheit von Türen<br>(3) Beschaffenheit der Fußböden<br>(4) Elektrostatische Ableitfähigkeit der Fußböden<br>(5) Elektrolytwiderstandsfähigkeit der Lüftungsanlagen<br>(6) Verbot des Rauchens u. Verwenden offenen Feuers | *§ 6 Zusätzliche Anforderungen an Batterieräume*<br>Inhalte (1) u. (2):<br>(1) Funktionserhalt, Feuerwiderstandsfähigkeit raumabschließender Bauteile, von Lüftungsleitungen u. Türen/Beschilderung der Türen<br>(2) Elektrostatische Ableitfähigkeit der Fußböden |
| *§ 8 Zusätzliche Bauvorlagen*<br>Die Bauvorlagen müssen Angaben über die Lage des Betriebsraumes und die Art der elektrischen Anlage enthalten. Soweit erforderlich, müssen sie ferner Angaben über die Schallschutzmaßnahmen enthalten. | *§ 8 Zusätzliche Bauvorlagen*<br>Die Bauvorlagen müssen Angaben über die Lage des Betriebsraumes und die Art der elektrischen Anlage enthalten. |

Hervorzuheben ist die formelle Änderung des Geltungsbereichs (§ 1). Dieser bezog sich bei der alten Verordnung auf die elektrischen Betriebsräume der elektrischen Anlagen in den verschiedenen Sonderbauten wie Waren- und Geschäftshäusern, Versammlungsstätten, geschlossene Großgaragen. Der Geltungsbereich der Musterverordnung von 2009 hebt ab auf die Aufstellung der elektrotechnischen Komponenten allgemein in Gebäuden, wobei der Geltungsbereich für Transformatoren und Schaltanlagen > 1 kV alle Gebäude umfasst, der für ortsfeste Stromerzeugungsaggregate und zentrale Batterien nur auf bauordnungsrechtlich vorgeschriebene

sicherheitstechnische Anlagen und Einrichtungen beschränkt ist. Da die Muster-EltBauVO von Januar 2009 noch nicht in allen Bundesländern umgesetzt worden ist und noch die Anforderungen der alten EltBauVO (mit letzter Änderung von 1987) gelten, wird hier der wesentliche Inhalt beider Ausgaben dargestellt. Der Anwender der EltBauVO muss den im jeweiligen Bundesland geltenden Umsetzungsstand der Musterverordnung beachten bzw. bei der zuständigen Stelle, z. B. Bauaufsichtsbehörde, erfragen.

Schutzziel der EltBauVO ist, andere Räume vor Bränden aus elektrischen Betriebsräumen von Transformatoren und Schaltanlagen für Nennspannungen *über* 1 kV zu bewahren. Auch der Funktionserhalt von elektrischen Anlagen in Betriebsräumen wird behandelt (vgl. auch Abschn. 12.1, 13.2 und 13.4).

Eine hervorzuhebende begriffliche Änderung gegenüber der EltBauVO von 1987 ist, dass es anstelle *Zentralbatterie* in der Verordnung von 2009 nun *zentrale Batterieanlage* heißt. Der Grund ist, dass in den DIN-VDE-Normen der Begriff Zentralbatterie nicht mehr verwendet wird. Zu den zentralen Batterieanlagen zählen sowohl die bisher so bezeichneten Zentralbatterien als auch Gruppenbatterien, jedoch nicht Einzelbatterien.

## 1.3 VDE-Vorschriftenwerk

VDE 0022

Die *Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE*, früher: Deutsche Elektrotechnische Kommission (Fachnormenausschuss Elektrotechnik im DIN und VDE, abgekürzt: DKE) übernimmt die Normungsarbeit, auch auf internationalem Gebiet. Die Ergebnisse der Normungsarbeiten werden in DIN-Normen mit zusätzlicher VDE-Klassifikation niedergelegt, die – soweit zutreffend – gleichzeitig als VDE-Bestimmungen in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen werden. Diese Normen erhalten zusätzlich eine *VDE-Klassifikationsnummer*. Ab April 2005 wurde die Schreibweise der VDE-Vorschriften der der DIN-Normen angepasst, d. h. das Wort Teil wird durch einen Bindestrich ersetzt, z. B. VDE 0100 Teil 530 wird nun geschrieben VDE 0100-530. Auch die DIN-VDE-Normen, die vor April 2005 erschienen sind und die noch die alte Schreibweise tragen, werden mit der neuen Schreibweise – also mit Bindestrich – dargestellt. Im Zuge der europäischen und weltweiten Harmonisierung besteht nach den Regeln des CENELEC (Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung) die Verpflichtung, bestimmte Normen der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC), europäische Normen (EN) und Harmonisierungsdokumente (HD) des CENELEC unverändert zu übernehmen. Infolgedessen gibt es inzwischen eine Vielzahl von Bezeichnungen: DIN EN, DIN IEC und DIN VDE, immer zusätzlich

mit der VDE-Klassifikationsnummer bezeichnet. Diese entspricht im Übrigen wieder der früheren alleinigen Nummerierung der VDE-Bestimmungen. In diesem Buch werden der Kürze wegen die Normen entsprechend der VDE-Klassifikation nur mit der Bezeichnung VDE aufgeführt, zumal die Nummerierung der DIN EN-Normen und der DIN IEC-Normen eine andere ist als die der VDE-Klassifikation (z. B. „Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen – Teil 1: Allgemeine Festlegungen": DIN EN 60439-1; VDE 0660-600-1).

Die Arbeitsgremien der DKE sind *Komitees* (K), *Unterkomitees* (UK) und *Arbeitskreise* (AK). Zur besseren Koordinierung der Arbeiten und des Arbeitsablaufs wurden 9 *Fachbereiche* gebildet, deren Aufgaben vom *Lenkungsausschuss* (LA) gesteuert werden. Im Lenkungsausschuss sind Persönlichkeiten der Wirtschaft, der Wissenschaft und der staatlichen Verwaltungen vertreten. Für die Elektroinstallation ist der Fachbereich 2 zuständig, der sich mit allgemeiner Sicherheit, Planen, Errichten und Betreiben elektrischer Energieversorgungsanlagen befasst. So werden die VDE-Normen, z. B. der VDE 0100-Reihe, die u. a. Grundlage dieses Buchs sind, innerhalb des Fachbereichs 2 im Sachgebiet 2.2 „Errichten und Betrieb" vom DKE-Komitee K221 „Elektrische Anlagen und Schutz gegen elektrischen Schlag" erarbeitet und betreut.

Neue VDE-Bestimmungen und auch -Entwürfe werden im Bundesanzeiger, unter www.dke.de, www.vde-verlag.de/normen, in der „Elektrotechnischen Zeitschrift" (etz) und im DIN-Anzeiger bekannt gegeben. Aktuelle Informationen (Gültigkeit, Status) über die VDE-Normen können aber auch über www.vde-verlag.de erlangt werden. Der Gesetzgeber (s. Abschn. 1.2.1) hat sie ausdrücklich als *anerkannte Regeln der Elektrotechnik* bestätigt. Werden die VDE-Bestimmungen eingehalten, so ist daher die Vermutung begründet, dass die gebotene Sorgfalt beachtet worden ist. Darüber hinaus sind einzelne VDE-Bestimmungen durch Rechtsverordnung für verbindlich erklärt worden.

Die VDE-Bestimmungen und VDE-Rahmenbestimmungen befassen sich mit Festlegungen für das Errichten und Betreiben elektrischer Betriebsmittel. Leib, Leben und Sachen sollen durch sie auf bestmögliche Weise geschützt werden.

Die VDE-Bestimmungen geben den zur Zeit ihrer Aufstellung erreichten und allgemein anerkannten Stand der Technik wieder (rechtliche Bedeutung der VDE-Bestimmungen s. auch Abschn. 1.2).

Elektrische Anlagen, die bis zur Veröffentlichung einer neuen VDE-Bestimmung fertig gestellt sind, dürfen in Betrieb bleiben und mit entsprechendem Ersatzmaterial ausgerüstet werden, es sei denn, dass in neuen VDE-Bestimmungen ausdrücklich auf die Notwendigkeit einer *Anpassung* hingewiesen wird. Werden allerdings bei einer Prüfung der elektrischen Anlage Mängel festgestellt, dann obliegt dem Sachverständigen auch die Entscheidung über eine vielleicht notwendige Anpassung der Anlage

an die neuesten VDE-Bestimmungen. Maßgebend ist immer, ob die Belassung des bisherigen Zustands die Sicherheit von Personen oder Sachen erheblich gefährdet.

Eine Anpassung ist dagegen immer erforderlich, wenn die Räume oder Arbeitsstätten wesentlich erweitert werden oder wenn sich die Nutzung des Raums oder der Arbeitsstätte wesentlich ändert.

Eine Hilfe für sein Urteil findet der Fachmann in VDE 1000 (Allgemeine Leitsätze für das sicherheitsgerechte Gestalten technischer Erzeugnisse) und in den Unfallverhütungsvorschriften DGUV Vorschrift 3 (BGV A3) (frühere Bezeichnung: VBG 4, zwischenzeitlich BGV A2) bzw. DGUV Vorschrift 4 (GUV-VA3) (frühere Bezeichnung: GUV 2.10, zwischenzeitlich GUV-V A2) (s. auch Abschn. 1.2.4).

Die VDE-Bestimmungen können grundsätzlich nicht alle möglichen Sonderfälle erfassen. In Ausnahmefällen können weiter gehende Maßnahmen geboten sein, um die elektrische Sicherheit zu gewährleisten. Andererseits erlaubt VDE 0022, unter besonderen Umständen von bestimmten Anforderungen in den VDE-Bestimmungen abzuweichen, wenn dabei mindestens die gleiche Sicherheit gewährleistet bleibt. Wer sich mit der Errichtung elektrischer Anlagen sowie mit dem Betrieb von Anlagen oder Betriebsmitteln befasst, ist nach herrschender Rechtsauffassung in jedem Einzelfall für die Einhaltung der „anerkannten Regeln der Elektrotechnik" selbst verantwortlich.

Neben den VDE-Bestimmungen gibt es auch VDE-Leitlinien, VDE-Vornormen, VDE-Anwendungsregeln und Beiblätter. Die VDE-*Leitlinien* schildern den Stand der Technik in einem bestimmten Bereich. Sie können ein technisches Merkblatt oder eine Beispielsammlung sein. *VDE-Vornormen* sind keine gültigen Normen. Sie befassen sich mit Themenbereichen, die eigentlich in einer Norm behandelt werden müssten, aber wegen bestimmter Vorbehalte, z. B. zum Inhalt, nicht als Norm gekennzeichnet werden. Neu sind die *VDE-Anwendungsregeln* (Bezeichnung: VDE-AR- + Großbuchstabe + mehrstellige Nummer, z. B. VDE-AR-N 4101 „Anforderungen an Zählerplätze in elektrischen Anlagen im Niederspannungsnetz"). Sie sind auch Bestandteil des VDE-Vorschriftenwerks aber nicht des Deutschen Normenwerks und das Ergebnis von Standardisierungsarbeiten, das Festlegungen mit *Empfehlungen* für spezielle Anwendungsgebiete zusammenfasst. Eine VDE-Anwendungsregel muss spätestens nach fünf Jahren überprüft werden. Sie können unter bestimmten Voraussetzungen auch wie die VDE-Bestimmungen als „allgemein anerkannte Regeln der Technik" gelten. Die VDE-*Beiblätter* sind Ratschläge in allgemein verständlicher Form über ein bestimmtes Anwendungsgebiet oder die Erklärung von VDE-Bestimmungen. Sie enthalten keine zusätzlichen Festlegungen mit normativem Charakter. Die bisherigen VDE-Richtlinien, -Vorschriften, -Merkblätter, Leitsätze und Druckschriften werden den eben genannten Bestandteilen des VDE-Vorschriftenwerks angepasst.

Nach einer Verlautbarung der DKE werden die Normen der DKE mit sicherheitsrelevanten bzw. EMV-spezifischen Festlegungen im DIN-Normenwerk als *DIN-Normen mit VDE-Klassifikation* bezeichnet. Sie können jedoch vereinfacht auch kurz *DIN-VDE-Normen* genannt werden. Bezieht man sich auf das VDE-Vorschriftenwerk dann sind die Bezeichnungen VDE-Bestimmungen bzw. VDE-Leitlinien zutreffend. Die frühere Bezeichnung VDE-Vorschrift wird nicht mehr verwendet, da das Erstellen von Vorschriften allein dem Gesetzgeber vorbehalten ist. Aus Gründen der Tradition wird das Gesamtwerk der VDE-Publikationen dennoch weiterhin als VDE-Vorschriftenwerk bezeichnet.

Weitere elektrotechnische Sicherheitsanforderungen, handwerkliche Grundsätze, Vorgaben für Schaltungsunterlagen, Sicherheitsschilder, Symbole, Bildzeichen sind in vielen nationalen *DIN-Normen* zu finden, die unbedingt neben den VDE-Bestimmungen zu beachten sind. Sie können einzeln, aber auch zusammengefasst in Buchform für unterschiedliche Fachgruppen (Elektrohandwerker, Architekten, Planer, Sicherheitsfachkräfte usw.) bezogen werden (s. Anhang A2).

# 2 Begriffe

VDE 0100-200

Soweit Begriffe nicht als allgemein bekannt vorausgesetzt werden dürfen oder im Text erklärt sind, werden sie im Folgenden erläutert.

**Abdeckung:** Teil, durch das der Schutz gegen direktes Berühren in allen üblichen Zugangs- und Zugriffsrichtungen gewährleistet wird. Die *elektrische Schutzabdeckung* ist ein Teil, das Schutz gegen direktes Berühren aus allen üblichen Zugriffsrichtungen bietet.

**Ableitstrom:** Strom in einem unerwünschten Strompfad unter üblichen Betriebsbedingungen. Der Ableitstrom kann auch einen kapazitiven Anteil haben, z. B. bei Verwenden von Entstörkondensatoren.

**aktive Teile:** Leiter und leitfähige Teile der Betriebsmittel, die im üblichen Betrieb unter Spannung stehen. Hierzu gehören auch Neutralleiter, nicht aber PEN-Leiter und die mit diesem in leitender Verbindung stehenden Teile. Dieser Begriff besagt nicht unbedingt, dass das Risiko eines elektrischen Schlags besteht. Leiter, die aktive Teile sind, werden als „aktive Leiter" bezeichnet.

**Arbeiten an, mit oder in der Nähe einer elektrischen Anlage:** umfassen z. B. das Errichten, Erproben, Messen, Instandhalten (Reinigen, Warten, Überwachen, Prüfen, Instandsetzen), das Auswechseln, das Ändern (Erweitern und Verkleinern) und das Inbetriebnehmen.

**Außenleiter:** Leiter, der im üblichen Betrieb unter Spannung steht und in der Lage ist, zur Übertragung oder Verteilung elektrischer Energie beizutragen, aber kein Mittelleiter oder Neutralleiter ist.

**Back-up-Schutz:** Zuordnung zweier Überstromschutzeinrichtungen in Reihe, wobei die allgemeiner-, aber nicht notwendigerweise auf der Einspeiseseite befindliche Schutzeinrichtung mit oder ohne Hilfe der zweiten den Schutz bewirkt und die übermäßige Beanspruchung der zweiten Schutzeinrichtung verhindert.

**Basisisolierung** s. Isolierung

**Basisschutz:** Schutz gegen elektrischen Schlag, wenn keine Fehlzustände vorliegen (Schutz gegen direktes Berühren). Im Allgemeinen entspricht bei Niederspannungsanlagen, -netzen und -betriebsmitteln der Basisschutz dem Schutz gegen direktes Berühren. (s. auch „Isolierung")

**baulicher Hohlraum:** Zwischenraum in Gebäudeteilen, der nur an bestimmten Stellen zugänglich ist. Beispiele sind Hohlräume in Trennwänden, unter aufgestelzten Fußböden, oberhalb von abgehängten Decken und in bestimmten Typen von Fensterrahmen, Türrahmen und Formleisten. Kabelkanäle werden als besonders geformte bauliche Hohlräume angesehen.

**Bedienen elektrischer Anlagen und Betriebsmittel:** jede Tätigkeit, die an Einstell-, Schalt-, Steuer- und Überwachungseinrichtungen durchgeführt wird.

**Bemessungsspannung eines Betriebsmittels (z. B. Schalter, Leitung):** Spannungswert, der vom Hersteller für ein Gerät, Bauteil, Isoliermaterial usw. angegeben wird und auf den sich die Betriebs- und Leistungsmerkmale beziehen (früher häufig als „Nennspannung" bezeichnet).

**Bemessungswert:** Wert einer Größe, der für eine festgelegte Betriebsbedingung einem Bauelement, Gerät oder einer Ausrüstung (in der Regel vom Hersteller) zugeordnet wird.

**Bereichsschalter:** Schalter, durch den zu einem Arbeitsbereich gehörende Betriebsmittel spannungsfrei gemacht werden können. Der *Arbeitsbereich* ist ein in sich geschlossener Teil des Betriebs, z. B. Umkleideräume, Werkstätten.

**berührungsgefährliches aktives Teil:** aktives Teil, von dem unter bestimmten Bedingungen ein schädlicher elektrischer Schlag ausgehen kann.

**Berührungsspannung:** Spannung, die zwischen gleichzeitig berührbaren Teilen während eines Isolationsfehlers auftreten kann. Die vereinbarte Grenze ($U_L$) ist der Höchstwert der Berührungsspannung, der zeitlich unbegrenzt bestehen bleiben darf. Der Wert der Berührungsspannung kann durch die Impedanz des mit diesen leitfähigen Teilen in elektrischem Kontakt stehenden Menschen oder Tiers merklich beeinflusst werden.

**Berührungsstrom:** Strom durch den Körper eines Menschen oder Tiers, wenn dieser Körper ein oder mehrere Teile einer elektrischen Anlage oder eines elektrischen Betriebsmittels berührt.

**Betrieb von Starkstromanlagen:** umfasst das Bedienen und Arbeiten.

**Betriebserdung:** Erdung eines Punkts des Betriebsstromkreises, die für den ordnungsgemäßen Betrieb von Geräten oder Anlagen erforderlich ist. *Betriebserdung eines Netzes:* Schutzerdung und Funktionserdung eines oder mehrerer Punkte in einem Elektrizitätsversorgungsnetz.

**Betriebsmittel, elektrische:** alle Gegenstände, die zum Erzeugen, Umwandeln, Übertragen, Verteilen und Anwenden von elektrischer Energie benutzt werden, z. B. Maschinen, Transformatoren, Schaltgeräte, Messgeräte, Schutzeinrichtungen, Kabel und Leitungen, elektrische Verbrauchsmittel.

**Betriebsspannung:** jeweils örtlich zwischen den Leitern herrschende Spannung, z. B. 394 V, 217 V.

**Betriebsstrom (eines Stromkreises), vorgesehener:** Strom, den ein Stromkreis im ungestörten Betrieb führen soll.

**Dauerstrombelastbarkeit, Strombelastbarkeit:** Maximalwert des Stroms, den ein Leiter, eine Einrichtung oder ein Gerät unter festgelegten Bedingungen dauernd führen kann, ohne dass die Beharrungstemperatur des Leiters, der Einrichtung oder des Geräts einen festgelegten Grenzwert überschreitet.

**Differenzstrom:** algebraische Summe der Augenblickswerte von Strömen, die an einer Stelle der elektrischen Anlage durch alle aktiven Leiter eines Stromkreises fließen. Bei Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) wird der Differenzstrom als *Fehlerstrom* bezeichnet.

**direktes Berühren:** Berühren aktiver Teile durch Menschen oder Nutztiere. Der Schutz dagegen umfasst alle Maßnahmen zum Schutz von Menschen und Tieren vor Gefahren, die sich aus einer Berührung mit aktiven Teilen elektrischer Betriebsmittel ergeben. Ist der Basisschutz des Schutzes gegen elektrischen Schlag. Dabei kann es sich um einen vollständigen oder teilweisen Schutz handeln. Bei teilweisem Schutz besteht nur ein Schutz gegen zufälliges Berühren. Frühere Benennung des Schutzes gegen direktes Berühren nach VDE 0100-410 war *Schutz gegen elektrischen Schlag unter normalen Bedingungen.*

**elektrische Anlage:** Gesamtheit der zugeordneten elektrischen Betriebsmittel mit abgestimmten Kenngrößen zur Erfüllung bestimmter Zwecke. Dies schließt Energiequellen ein, wie Batterien, Kondensatoren und alle anderen Quellen gespeicherter elektrischer Energie.

**elektrische Anlage für Sicherheitszwecke:** elektrische Anlage, die dazu bestimmt ist, die Funktion von elektrischen Betriebsmitteln aufrechtzuerhalten, die von wesentlicher Bedeutung sind

- für die Sicherheit und Gesundheit von Menschen und Nutztieren und/oder
- zur Vermeidung von Umweltschäden und Schäden an anderen Betriebsmitteln, wenn das Vermeiden von Umweltschäden und das Vermeiden von Schäden an anderen Betriebsmitteln durch nationale Rechtsvorschriften verlangt werden.

Die elektrische Anlage für Sicherheitszwecke schließt die Stromquelle und die Stromkreise bis zu den Klemmen der elektrischen Betriebsmittel ein. In bestimmten Fällen kann sie auch die Betriebsmittel einschließen.

**elektrischer Schlag:** physiologischer Effekt, der durch einen elektrischen Strom ausgelöst wird, der den menschlichen Körper oder den Körper eines Tiers durchfließt.

**elektrisches Handgerät, Handgerät:** elektrisches Betriebsmittel, das dazu bestimmt ist, während des üblichen Gebrauchs in der Hand gehalten zu werden.

**Elektrofachkraft:** Person, die aufgrund ihrer fachlichen Ausbildung, ihrer Kenntnisse und Erfahrungen sowie ihrer Kenntnisse der einschlägigen Normen die ihr übertragenen Arbeiten beurteilen und mögliche Gefahren erkennen kann. Zur Beurteilung der fachlichen Ausbildung kann auch eine mehrjährige Tätigkeit auf dem betreffenden Arbeitsgebiet herangezogen werden.

**elektrotechnisch unterwiesene Person:** Person, die durch eine Elektrofachkraft über die ihr übertragenen Aufgaben und die möglichen Gefahren bei unsachgemäßem Verhalten unterrichtet und erforderlichenfalls angelernt sowie über die notwendigen Schutzmaßnahmen belehrt wurde.

**Erde:** Unter „Erde" ist hier der Planet mit seiner gesamten Substanz zu verstehen. Die *örtliche Erde* oder nur *Erde* ist Teil der Erde, der sich in elektrischem Kontakt mit einem Erder befindet und dessen elektrisches Potenzial nicht notwendigerweise null ist. Die *Bezugserde* ist der elektrisch leitfähig angesehene Teil der Erde, der außerhalb des Einflussbereichs von Erdungsanlagen liegt, und dessen elektrisches Potenzial vereinbarungsgemäß gleich null gesetzt wird. *Erden* (Verb) ist das Herstellen einer elektrischen Verbindung zwischen einem gegebenen Punkt in einem Netz, in einer Anlage oder in einem Betriebsmittel und der örtlichen Erde. Die Verbindung zur örtlichen Erde kann

- beabsichtigt oder unbeabsichtigt (zufällig) und
- kann dauerhaft oder zeitweilig sein.

Die Verbindung mit der örtlichen Erde kann auch an mehreren Punkten erfolgen.

**Erder:** leitfähiges Teil (oder mehrere leitfähige Teile), das in gutem Kontakt mit der Erde steht und mit dieser eine elektrische Verbindung bildet. Als *natürlichen Erder* bezeichnet man ein mit der Erde oder mit Wasser unmittelbar oder über Beton in Verbindung stehendes Metallteil, dessen ursprünglicher Zweck nicht die Erdung ist, das aber als Erder wirkt, z. B. Rohrleitungen, Spundwände, Stahlteile von Gebäuden. Ein *Fundamenterder* ist ein leitfähiges Teil, das unter einem Gebäudefundament in das Erdreich oder bevorzugt im Beton eines Gebäudefundaments, im Allgemeinen als geschlossener Ring, eingebettet ist. Ein *Steuererder* ist ein Leiter, der nach Form und Anordnung mehr zur Potenzialsteuerung als zum Erreichen eines bestimmten Ausbreitungswiderstands dient.

**Erderspannung:** Potenzialunterschied zwischen der Erdungsanlage und der fernen Erde (Bezugserde).

**Erdschluss:** unbeabsichtigtes Auftreten eines Strompfads – auch über einen Lichtbogen – zwischen einem aktiven Leiter (auch einem betriebsmäßig isolierten Neutralleiter) und Erde oder geerdeten Teilen. Der Strompfad kann durch eine fehlerhafte Isolierung, durch Aufbauten (z. B. Masten, Gerüste, Kräne, Leitern) oder durch Vegetation (z. B. Bäume, Sträucher) führen und eine erhebliche Impedanz aufweisen. Ein Strompfad zwischen einem Leiter, der aus betrieblichen Gründen nicht geerdet werden darf, und Erde wird auch als ein Erdschluss angesehen.

**Erdung:** Die *Betriebserdung* eines Netzes oder *Netzbetriebserdung* ist die Schutzerdung und Funktionserdung eines oder mehrerer Punkte in einem Elektrizitätsversorgungsnetz.

Die *Funktionserdung* ist die Erdung eines Punkts oder mehrerer Punkte eines Netzes, einer Anlage oder eines Betriebsmittels zu anderen Zwecken als der elektrischen Sicherheit.

Die *Schutzerdung* ist die Erdung eines Punkts oder mehrerer Punkte eines Netzes, einer Anlage oder eines Betriebsmittels zu Zwecken der elektrischen Sicherheit.

*Haupterdungsanschlusspunkt, Haupterdungsklemme, Haupterdungsschiene:* Anschlusspunkte, Klemme oder Schiene, die Teil der Erdungsanlage einer Anlage ist und die elektrische Verbindung von mehreren Leitern zu Erdungszwecken ermöglicht.

**Erdungsanlage:** Gesamtheit der zum Erden eines Netzes, einer Anlage oder eines Betriebsmittels verwendeten elektrischen Verbindungen und Einrichtungen.

**Erdungsleiter:** Leiter, der einen Strompfad oder einen Teil des Strompfads zwischen einem gegebenen Punkt eines Netzes, einer Anlage oder eines Betriebsmittels und einem Erder oder einem Erdernetz herstellt.

Im Sinne der VDE 0100-540 („Erdungsanlagen, Schutzleiter und Schutzpotenzialausgleichsleiter (bisherige Bezeichnung: Potenzialausgleichsleiter)") ist ein Erdungsleiter ein Leiter, der den Erder mit einem Punkt des gemeinsamen Potenzialausgleichssystems, im Allgemeinen an der Haupterdungsschiene verbindet.

**Ersatzstromquelle:** Stromquelle, die dazu bestimmt ist, die Versorgung einer elektrischen Anlage oder von einem oder mehreren Teilen einer Anlage bei einer Unterbrechung der üblichen Stromversorgung aus anderen Gründen als für Sicherheitszwecke aufrechtzuerhalten.

**Errichten elektrischer Anlagen und Betriebsmittel:** umfasst sowohl das Herstellen eines elektrischen Betriebsmittels als auch den Bau einer elektrischen Anlage, wobei das Herstellen und der Bau die Erweiterung einschließen.

**Ersatzstromversorgungsanlage:** Stromversorgungsanlage, die dazu bestimmt ist, die Funktion einer Anlage oder von einem Teil oder Teile einer Anlage bei einer Unterbrechung der üblichen Stromversorgung aus anderen Gründen als für die Sicherheitszwecke aufrechtzuerhalten.

**Fehlerschutz:** Schutz gegen elektrischen Schlag unter den Bedingungen eines Einzelfehlers. Im Allgemeinen entspricht bei Niederspannungsanlagen, -netzen und -betriebsmitteln der Fehlerschutz dem Schutz bei indirektem Berühren, vornehmlich im Hinblick auf einen Fehler der Basisisolierung.

**Fehlerspannung:** Spannung zwischen einer gegebenen Fehlerstelle und der Bezugserde bei einem Isolationsfehler.

**Fehlerstrom:** Strom, der über eine gegebene Fehlerstelle aufgrund eines Isolationsfehlers fließt

**Fingersicherheit:** Schutz gegen Berühren berührungsgefährlicher aktiver Teile mit einem Finger.

**flexible Leitung (bewegliche Leitung):** an beiden Enden beliebig angeschlossene Leitung, die zwischen den Anschlussenden bewegt werden kann.

**Freischalten:** allseitiges Abschalten/Ausschalten oder Abtrennen einer Anlage, eines Teils einer Anlage, eines Betriebsmittels oder eines Stromkreises von allen nicht geerdeten Leitern durch Herstellen von Trennstrecken oder durch Trennstellen, die den zu erwartenden Spannungsunterschieden zwischen dem Betriebsmittel oder dem Stromkreis und anderen Stromkreisen standhalten können.

**fremdes leitfähiges Teil:** leitfähiges Teil, das nicht zur elektrischen Anlage gehört, das jedoch ein elektrisches Potenzial, im Allgemeinen das einer örtlichen Erde, einführen kann. Zu den fremden leitfähigen Teilen gehören auch leitfähige Fußböden und Wände, wenn über diese ein elektrisches Potenzial einschl. des Erdpotenzials eingeführt werden kann.

**Gehäuse:** Ein Teil, das ein Betriebsmittel gegen bestimmte äußere Einflüsse schützt und durch das Schutz gegen direktes Berühren in allen Richtungen gewährt wird. Gehäuse bieten Personen oder Nutztieren (Haustieren) Schutz gegen den Zugang zu gefährlichen Teilen. (Nach VDE 0470-1 (Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code)) auch Bezeichnung für Umhüllung (s. u.)). Im Bereich der VDE 0100-Reihe wird nur der Begriff „Umhüllung" verwendet (s. u. Begriff „Umhüllung"), obwohl selbst in Fachkreisen nicht korrekterweise der Begriff „Gehäuse" gebraucht wird. Im nationalen Vorwort der Norm VDE 0470-1 wird dazu angemerkt, dass „Gehäuse" der in der Praxis und in Schutzartnormen verwendete Begriff sei, für den in VDE 0100-200 („Begriffe") ... der Oberbegriff „Umhüllung" festgelegt sei (Anmerkung des Autors: und wo der Begriff „Gehäuse" gar nicht erscheint)).

**gleichzeitig berührbare Teile:** Leiter oder leitfähige Teile, die von einer Person – ggf. auch durch ein Tier – gleichzeitig berührt werden können. Das können aktive Teile, Körper von elektrischen Betriebsmitteln, fremde leitfähige Teile, Schutzleiter, Erdreich oder leitfähiger Fußboden sein.

**Handbereich:** der Berührung zugänglicher Bereich, der sich von Standflächen aus erstreckt, die üblicherweise betreten werden, und dessen Grenzen eine Person in allen Richtungen ohne Hilfsmittel mit der Hand erreichen kann (siehe Bild 5.5).

**Handrückensicherheit:** Schutz gegen Berühren berührungsgefährlicher aktiver Teile mit dem Handrücken.

**Haupterdungsklemme, Haupterdungsschiene, Haupterdungs-Anschlusspunkt:** Anschlusspunkt oder Schiene, der/die Teil der Erdungsanlage einer Anlage ist und die elektrische Verbindung von mehreren Leitern zu Erdungszwecken ermöglicht (bisherige Bezeichnung: Potenzialausgleichsschiene). Klemme oder Schiene, die dafür vorgesehen ist, die Schutzleiter, die Potenzialausgleichsleiter und die Leiter für die Funktionserdung mit der Erdungsanlage zu verbinden (Potenzialausgleichsschiene).

**Hauptverteilung:** erste niederspannungsseitige Aufteilungsstelle auf die Hauptverbrauchergruppen.

**indirektes Berühren:** Berühren von Körpern elektrischer Betriebsmittel, die infolge eines Fehlzustands unter Spannung stehen, durch Menschen oder Tiere.

**Isolierung:** Gesamtheit der Werkstoffe und Bauteile, die zum Isolieren der leitfähigen Teile eines Geräts oder einer Einrichtung verwendet werden. *Funktionsisolierung* ist die Isolierung zwischen leitenden Teilen, die nur für die bestimmungsgemäße Funktion des Betriebsmittels notwendig ist. Die Isolierung, die bei aktiven Teilen als grundlegender Schutz (Basisschutz) von unter gefährlichen Spannungen stehenden Teilen angewendet wird, ist die *Basisisolierung*. Sie schließt die Isolierung, die nur aus Funktionsgründen gebraucht wird, nicht ein. Die *zusätzliche Isolierung* ist eine unabhängige Isolierung, die zusätzlich zur Basisisolierung als Fehlerschutz angewendet wird. Die *doppelte Isolierung* besteht aus der Basisisolierung und der zusätzlichen Isolierung. Als *verstärkte Isolierung* bezeichnet man eine Isolierung unter Spannung stehender Teile, die den gleichen Schutz gegen gefährliche Körperströme wie eine doppelte Isolierung bietet. Sie darf aus mehreren Lagen bestehen, die nicht einzeln als Basisisolierung oder zusätzliche Isolierung geprüft werden können.

**Kabel- und Leitungsanlage:** Gesamtheit aus einem oder mehreren isolierten Leitern, Kabeln und Leitungen oder Stromschienen, und deren Befestigungsmittel, sowie falls notwendig deren mechanischer Schutz.

**Kleinspannung, abgekürzt ELV:** Spannung, die die in IEC 60449 für den Spannungsbereich I festgelegten Spannungsgrenzwerte (AC $U \leq 50$ V; DC $U \leq 120$ V) nicht überschreitet.

*PELV*-System ist ein elektrisches System, in dem die Spannung die Grenzwerte für Kleinspannung (ELV) nicht überschreitet:

- unter üblichen Bedingungen und
- unter Einzelfehlerbedingungen, ausgenommen bei Erdschlüssen in anderen elektrischen Stromkreisen.

PELV ist die Abkürzung für Funktionskleinspannung mit elektrisch sicherer Trennung.

*SELV*-System ist ein elektrisches System, in dem die Spannung die Grenzwerte für Kleinspannung (ELV) nicht überschreitet:

- unter üblichen Bedingungen und
- unter Einzelfehlerbedingungen, auch bei Erdschlüssen in anderen Stromkreisen.

SELV ist die Abkürzung für Sicherheitskleinspannung in einem nicht geerdeten System.

**Körper (eines elektrischen Betriebsmittels):** berührbares leitfähiges Teil eines elektrischen Betriebsmittels, das üblicherweise nicht unter Spannung steht, das jedoch im Fehlerfall (Versagen der Basisisolierung) unter Spannung stehen kann. Ein leitfähiges Teil eines elektrischen Betriebsmittels, das im Fehlerfall nur über andere Körper unter Spannung geraten kann, ist nicht als Körper anzusehen.

**Körperschluss:** durch einen Fehler entstandene leitende Verbindung zwischen Körper und aktiven Teilen elektrischer Betriebsmittel.

**Kurzschluss:** zufällig oder absichtlich entstandener Strompfad zwischen zwei oder mehr leitfähigen Teilen, durch den die elektrischen Potenzialdifferenzen zwischen diesen leitfähigen Teilen auf einen Wert gleich null oder nahezu null abfallen.

**kurzschlussfest** ist ein Betriebsmittel, das den thermischen und dynamischen Wirkungen des an seinem Einbauort zu erwartenden Kurzschlussstroms ohne Beeinträchtigung seiner Funktionsfähigkeit standhält.

**Kurzschlussfestigkeit** ist der zulässige Kurzschlussstrom für ein Betriebsmittel während einer festgelegten Dauer.

**kurzschluss- und erdschlusssicher:** Beschaffenheit eines elektrischen Betriebsmittels oder einer Kombination, die gegen Kurzschlüsse und Erdschlüsse durch angemessene Vorkehrungen bei der Ausführung und Errichtung geschützt sind.

**Nennspannung einer elektrischen Anlage:** Spannung, durch die die elektrische Anlage oder ein Teil der elektrischen Anlage gekennzeichnet ist, z. B. Netzspannung 400 V, 660 V. Die tatsächliche Spannung kann innerhalb bestimmter Toleranzen von der Nennspannung abweichen.

**Neutralleiter (N):** mit dem Neutralpunkt elektrisch verbundener Leiter, der in der Lage ist, zur Verteilung elektrischer Energie beizutragen.

**Neutralpunkt:** gemeinsamer Punkt eines in Stern geschalteten Mehrphasensystems oder geerdeter Mittelpunkt eines Einphasensystems. Der gemeinsame Punkt eines in Stern geschalteten Mehrphasensystems wird auch als Sternpunkt bezeichnet. Auch der nicht geerdete Mittelpunkt eines Einphasensystems wird als „Neutralpunkt" bezeichnet.

**nicht leitende Umgebung:** Vorkehrung, durch die ein Mensch oder Tier, der/das einen unter einer gefährlichen Spannung stehenden Körper eines elektrischen Betriebsmittels berührt, durch die hohe Impedanz seiner Umgebung (z. B. isolierende Wände und Fußböden) und durch das Fehlen geerdeter, leitfähiger Teile geschützt ist.

**Niederspannungs-Schaltgerätekombination:** Zusammenfassung eines oder mehrerer Niederspannungsschaltgeräte mit zugehörigen Betriebsmitteln zum Steuern, Messen, Melden, Schützen und Regeln mit allen inneren elektrischen und mechanischen Verbindungen und Konstruktionsteilen. *Schaltgerätekombinationssystem* ist ein komplettes Angebot mechanischer und elektrischer Komponenten (Umhüllungen, Sammelschienen, Funktionseinheiten usw.) nach Definition des ursprünglichen Herstellers, die in Übereinstimmung mit den Anleitungen des ursprünglichen Herstellers zu unterschiedlichen Schaltgerätekombinationen zusammengebaut werden können.

**Not-Ausschaltung:** Öffnen der Kontaktstücke einer Schalteinrichtung, das dazu bestimmt ist, die elektrische Energieversorgung einer elektrischen Anlage oder eines Teils der elektrischen Anlage auszuschalten, um eine gefährliche Situation aufzuheben oder abzumildern.

**Oberschwingungsfreiheit:** definiert als Welligkeit von nicht mehr als 10 % effektiv einer überlagerten sinusförmigen Wechselspannung.

ortsfestes **Betriebsmittel:** fest angebrachtes elektrisches Betriebsmittel oder elektrisches Betriebsmittel ohne Tragevorrichtung, dessen Masse so groß ist, dass es nicht leicht bewegt werden kann. Der Wert dieser Masse ist in IEC-Normen für Geräte für den Hausgebrauch mit mindestens 18 kg festgelegt.

**ortsveränderliches Betriebsmittel** (nicht ortsfestes Betriebsmittel): Betriebsmittel, das während des Betriebs bewegt wird oder leicht von einem Platz zu einem anderen gebracht werden kann, während es an den Versorgungsstromkreis angeschlossen ist.

**PEL-Leiter:** Leiter, der zugleich die Funktionen eines Schutzerdungsleiters und eines Außenleiters erfüllt.

**PEM-Leiter:** Leiter, der zugleich die Funktionen eines Schutzerdungsleiters und eines Mittelleiters erfüllt.

**PEN-Leiter:** Leiter, der die Funktion von Neutral- und Schutzleiter in sich vereinigt (früher: Nullleiter).

**Potenzialausgleich:** ist der Zustand, bei dem leitfähige Teile annähernd gleiches elektrisches Potenzial haben. Der *Potenzialausgleich* ist das Vornehmen elektrischer Verbindungen zwischen leitfähigen Teilen, um Potenzialgleichheit zu erzielen. Der *Schutzpotenzialausgleich* dient dem Potenzialausgleich zum Zweck der Sicherheit.

**Schrittspannung:** Spannung zwischen zwei Punkten auf der Erdoberfläche, die 1 m voneinander entfernt sind, was als Schrittlänge eines Menschen angenommen wird.

**Schutz gegen unabsichtliches direktes Berühren:** Schutz von Elektrofachkräften und/oder unterwiesenen Personen gegen unabsichtliches direktes Berühren berührungsgefährlicher aktiver Teile.

**Schutzhindernis, elektrisches:** Teil, das unabsichtliches direktes Berühren, nicht aber direktes Berühren durch eine absichtliche Handlung verhindert.

**Schutzleiter (PE):** Leiter zum Zweck der Sicherheit, z. B. zum Schutz gegen elektrischen Schlag. In einer elektrischen Anlage wird der als PE bezeichnete Schutzleiter üblicherweise auch als *Schutzerdungsleiter* angesehen.

**Schutzleiterstrom:** Strom, der als Ableitstrom oder als elektrischer Strom infolge eines Isolationsfehlers im Schutzleiter auftritt.

**Schutzschirm, elektrischer:** leitfähiger Schirm, der zur Trennung eines Stromkreises und/oder elektrischer Leiter von gefährlichen aktiven Teilen verwendet wird. Die *elektrische Schutzschirmung* ist die Trennung von Stromkreisen und/oder Leitern von gefährlichen aktiven Teilen mittels eines elektrischen Schutzschirms, der mit der Schutzpotenzialausgleichsanlage verbunden ist und für den Schutz gegen elektrischen Schlag vorgesehen ist.

**Schutztrennung:** Schutzmaßnahme, bei der gefährliche aktive Teile eines Stromkreises gegenüber allen anderen Stromkreisen und Teilen, gegen örtliche Erde und gegen Berührung isoliert sind. Die **einfache elektrische Trennung** ist die Trennung zwischen elektrischen Stromkreisen oder zwischen einem elektrischen Stromkreis und örtlicher Erde durch Basisisolierung. Die **elektrisch sichere Trennung** oder **sichere Trennung** ist die gegenseitige Trennung von Stromkreisen mittels

- doppelter Isolierung oder
- Basisisolierung und elektrischer Schutzschirmung oder
- verstärkter Isolierung.

**Spannung Außenleiter – Erde:** Spannung zwischen einem Außenleiter und der Bezugserde an einem gegebenen Punkt eines Stromkreises.

**Spannung gegen Erde:** Spannung zwischen einem festgelegten Punkt und Bezugserde bei gegebener örtlicher Lage des Erdschlusses und gegebenem Wert der Erdfehlerstroms. In Netzen mit geerdetem Mittelpunkt die Spannung eines Außenleiters gegen den geerdeten Mittel- oder Sternpunkt, z. B. 230 V im 3 × 400-V-Netz; in den übrigen Netzen die Spannung, die bei Erdschluss eines Außenleiters an den übrigen Außenleitern gegen Erde auftritt, z. B. 500 V im 3 × 500-V-Netz.

**Speisepunkt der elektrischen Anlage:** Punkt, an dem elektrische Energie in die elektrische Anlage gespeist wird.

**Stromkreis, elektrischer:** Gesamtheit der elektrischen Betriebsmittel einer Anlage, die von demselben Speisepunkt versorgt und durch dieselbe(n) Überstromschutzeinrichtung(en) geschützt wird. Je nach Art des Anschlusses der Verbrauchsmittel kann ein Stromkreis aus einem Außenleiter (L1, L2 oder L3) und dem Neutralleiter (N) oder aus mehreren oder sämtlichen Außenleitern mit oder ohne Neutralleiter bestehen. *Hauptstromkreise* enthalten die Betriebsmittel zum Erzeugen, Umformen, Verteilen, Schalten und Verbrauch elektrischer Energie. *Hilfsstromkreise* sind Stromkreise für zusätzliche Funktionen, z. B. Steuerstromkreise (Befehlsgabe, Verriegelung), Melde- und Messstromkreise. Ein *Verteilerstromkreis* ist ein Stromkreis, der einen Verteiler (Schaltschrank) versorgt. An einen *Endstromkreis* werden unmittelbar Verbraucher oder Steckdosen angeschlossen.

**Stromschienensystem:** Aufbau bestehend aus Systembauteilen einschließlich einer Stromschiene, an welcher Zubehörteile an einer oder mehreren (vorbestimmten oder anderen) Stellen entlang der Stromschiene zur elektrischen Stromversorgung angeschlossen werden können. System außerhalb von Schaltanlagen und Verteilern zum Fortleiten und Verteilen elektrischer Energie. Sie können in fabrikfertiger oder nicht fabrikfertiger Ausführung errichtet werden.

**Trennen:** Funktion, die dazu bestimmt ist, aus Gründen der Sicherheit die Stromversorgung von allen Abschnitten oder von einem einzelnen Abschnitt der elektrischen Anlage zu unterbrechen, indem die elektrische Anlage oder deren Abschnitte von jeder elektrischen Stromquelle abgetrennt wird.

**trockene Räume:** Räume oder bestimmte Bereiche innerhalb eines Raums, in denen in der Regel kein Kondenswasser auftritt oder in denen die Luft nicht mit Feuchtigkeit gesättigt ist, z. B. Wohnräume (auch Hotelzimmer), Büros. Hierzu können gehören: Geschäftsräume, Verkaufsräume, Dachböden, Treppenhäuser, beheizte und belüftbare Keller. Küchen und Baderäume in Wohnungen und Hotels gelten in Bezug auf die Installation als trockene Räume, da in ihnen Feuchtigkeit nur zeitweise auftritt.

**Überlaststrom (eines elektrischen Stromkreises):** Überstrom, der in einem Stromkreis entsteht und nicht durch einen Kurzschluss oder einen Erdschluss hervorgerufen wird.

**Überstrom:** Strom, der den Bemessungswert des Stroms übersteigt. Für Leiter entspricht der Strombemessungswert der Dauerstrombelastbarkeit.

**Überstrom-Schutzeinrichtung:** Einrichtung, die dazu bestimmt ist, einen Stromkreis zu unterbrechen, wenn der Strom im Leiter des Stromkreises einen vorher festgelegten Wert für eine bestimmte Zeitdauer überschreitet.

**Umgebungstemperatur:** mittlere Temperatur der Luft oder eines anderen Mediums in der Umgebung von elektrischen Betriebsmitteln.

**Umhüllung:** Gebilde, das die Schutzart sicherstellt, die für den vorgesehenen Verwendungszweck geeignet ist. Eine *elektrische Umhüllung* ist eine Umhüllung, die Schutz gegen vorhersehbare Gefahren durch Elektrizität bietet. Die *elektrische Schutzumhüllung* ist eine elektrische Umhüllung, die die inneren Teile eines Betriebsmittels umgibt, um den Zugang zu oder Zugriff auf gefährliche aktive Teile aus jeder Richtung zu verhindern. Selbst in Fachkreisen wird nicht korrekterweise der Begriff „Gehäuse" gebraucht (s. oben Begriff „Gehäuse").

**unbeeinflusste Berührungsspannung:** Spannung zwischen gleichzeitig berührbaren leitfähigen Teilen, wenn solche leitfähigen Teile von einem Menschen oder einem Tier nicht berührt werden.

**Verbraucheranlage:** Gesamtheit aller elektrischen Betriebsmittel hinter dem Hausanschlusskasten oder, wo dieser nicht benötigt wird, hinter den Ausgangsklemmen des letzten Verteilers vor den Verbrauchsmitteln.

**Verbrauchsmittel:** elektrische Betriebsmittel, die elektrische Energie in eine nichtelektrische Energie (mechanische oder chemische Energie, Wärme, Schall, Licht, Strahlung) umwandeln.

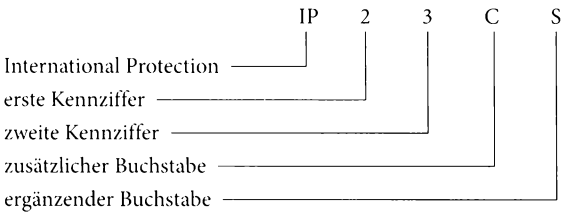
**Verteiler/elektrischer Verteiler:** Betriebsmittelkombination, die verschiedene Arten von Schaltgeräten und Steuergeräten enthält, an die ein oder mehrere abgehende Stromkreise angeschlossen sind, die von einem oder mehreren ankommenden Stromkreisen gespeist wird und die Anschlussstellen für Neutralleiter und Schutzleiter enthält.

**zusätzlicher Schutz:** Schutzmaßnahme zusätzlich zum Basisschutz und/oder Fehlerschutz. Im Allgemeinen wird der zusätzliche Schutz bei besonderen äußeren Einflüssen oder in Räumen besonderer Art angewendet. Durch ihn kann unter bestimmten Umständen, z. B. bei sorglosem Umgang mit der elektrischen Energie, eine gefährliche Situation vermieden oder abgemildert werden.

# 3 Schutz gegen Berührung, Fremdkörper und Wasser (IP-Code) sowie gegen mechanische Beanspruchung (IK-Code)

Der Schutz elektrischer Betriebsmittel gegen Berührung, Fremdkörper und Wasser wird durch die *Schutzart* gewährleistet und durch ein alphanumerisches Kurzzeichen, den *IP-Code*, angegeben (**I**nternational **P**rotection). Seit dem Inkrafttreten der ersten VDE 0470-1 (DIN EN 60529) vom November 1992 – vorher wurde der Inhalt dieser VDE-Bestimmung in DIN-Normen behandelt – setzt sich der IP-Code aus den Codebuchstaben IP (International Protection) und zwei Kennziffern (erste und zweite Kennziffer) sowie zwei Buchstaben (zusätzlicher und ergänzender Buchstabe) zusammen. Die aktuell gültige Fassung der VDE 0470-1 ist am 01.09.2014 in Kraft getreten.

*Beispiel:*



Es geben an:

- die *erste Kennziffer* den Schutz gegen das Eindringen von festen Fremdkörpern (s. Abschn. 3.1),
- die *zweite Kennziffer* den Schutz gegen das Eindringen von Wasser mit schädlichen Wirkungen (s. Abschn. 3.2),
- der *zusätzliche Buchstabe* den Schutz gegen den Zugang zu gefährlichen Teilen mit Handrücken, Finger, Werkzeug, Draht (s. Abschn. 3.3),
- der *ergänzende Buchstabe* ergänzende Informationen (s. Abschn. 3.4).

Muss eine Kennziffer nicht angegeben werden, so ist sie durch den Buchstaben X zu ersetzen; fehlende Buchstaben brauchen nicht gekennzeichnet zu werden.

## 3.1 Berührungs- und Fremdkörperschutz

Die erste Kennziffer gibt den Schutz gegen den Zugang zu gefährlichen Teilen und gegen feste Fremdkörper an (**Tabelle 3.1**).

***Tabelle 3.1:*** *Berührungs- und Fremdkörperschutz*

| Erste Kennziffer | Erläuterungen |
|---|---|
| 0 | Kein Schutz. Eindringen von festen Fremdkörpern ist nicht verhindert. |
| 1 | Eindringen von festen Fremdkörpern ≥ 50 mm Durchmesser ist verhindert. Dies bedeutet gleichzeitig Schutz gegen Berühren mit dem Handrücken. |
| 2 | Eindringen von festen Fremdkörpern ≥ 12,5 mm Durchmesser ist verhindert. Dies bedeutet gleichzeitig Schutz gegen Berührung mit Fingern. |
| 3 | Eindringen von festen Fremdkörpern ≥ 2,5 mm Durchmesser ist verhindert. Damit besteht gleichzeitig ein Schutz gegen Berührung mit Werkzeugen. |
| 4 | Eindringen von festen Fremdkörpern ≥ 1 mm Durchmesser ist verhindert. Damit besteht gleichzeitig ein Schutz gegen Berührung mit Werkzeugen, Drähten o. Ä. |
| 5 | Eindringen von Staub ist nicht vollkommen verhindert, er kann sich aber nur an nicht schädlichen Stellen ablagern. Vollkommener Berührungsschutz. |
| 6 | Eindringen von Staub ist vollkommen verhindert. Vollkommener Berührungsschutz. |

## 3.2 Wasserschutz

Die zweite Kennziffer gibt den Schutz gegen Eindringen von Wasser mit schädlichen Wirkungen an (**Tabelle 3.2**).

*Tabelle 3.2: Wasserschutz*

| Zweite Kennziffer | Erläuterungen |
|---|---|
| 0 | Kein Wasserschutz. |
| 1 | Schutz gegen senkrecht fallendes Tropfwasser. |
| 2 | Schutz gegen schräg (15° zur Senkrechten) fallendes Tropfwasser. |
| 3 | Schutz gegen Sprühwasser (Wasser bis 60° zur Senkrechten). |
| 4 | Schutz gegen Spritzwasser (Wasser aus allen Richtungen). |
| 5 | Schutz gegen Strahlwasser (Wasserstrahl aus einer Düse aus allen Richtungen). |
| 6 | Schutz gegen starkes Strahlwasser. |
| 7 | Schutz beim zeitweiligen Untertauchen (das Betriebsmittel wird unter genormten Druck- und Zeitbedingungen in Wasser untergetaucht). |
| 8 | Schutz beim dauernden Untertauchen (das Betriebsmittel wird unter einem festgelegten Druck beliebig lange unter Wasser getaucht). |
| 9 | Schutz gegen Wasserhochdruck und hohe Strahlwassertemperaturen (Wasser mit hohem Druck und hohen Temperaturen aus allen Richtungen gegen die Umhüllung (Gehäuse)) (Hochdruckreinigerprüfung). |

## 3.3 Kennzeichnung des Berührungsschutzes durch den zusätzlichen Buchstaben

Ist der Schutz gegen den Zugang zu gefährlichen Teilen höher als durch die erste Kennziffer angegeben oder steht statt der ersten Kennziffer ein X, so wird der Schutz durch den zusätzlichen Buchstaben angegeben. Solch ein höherer Schutz kann z. B. durch Abdeckungen, geeignete Form von Öffnungen oder Abstände innerhalb des Gehäuses erreicht werden. Die Bedeutung der zusätzlichen Buchstaben ist **Tabelle 3.3** zu entnehmen.

*Tabelle 3.3: Angabe des Berührungsschutzes durch den zusätzlichen Buchstaben*

| Zusätzlicher Buchstabe | Erläuterungen |
|---|---|
| A | Schutz gegen Berühren gefährlicher Teile mit dem Handrücken. |
| B | Schutz gegen Berühren gefährlicher Teile mit dem Finger. |
| C | Schutz gegen Berühren gefährlicher Teile mit Werkzeug ≥ 2,5 mm Durchmesser und ≤ 100 mm Länge. |
| D | Schutz gegen Berühren gefährlicher Teile mit Draht ≥ 1 mm Durchmesser und ≤ 100 mm Länge. |

## 3.4 Zusatzinformationen durch den ergänzenden Buchstaben

Der ergänzende Buchstabe liefert ergänzende Informationen unterschiedlicher Art (**Tabelle 3.4**).

***Tabelle 3.4:*** *Bedeutung des ergänzenden Buchstabens*

| Ergänzender Buchstabe | Erläuterungen |
|---|---|
| H | Hochspannungsbetriebsmittel. |
| M | Schutz vor schädlicher Wirkung durch Eintritt von Wasser, wenn die beweglichen Teile des Betriebsmittels in Betrieb sind (z. B. Läufer eines Motors). |
| S | Schutz vor schädlicher Wirkung durch Eintritt von Wasser, wenn die beweglichen Teile des Betriebsmittels im Stillstand sind (z. B. Läufer eines Motors). |
| W | Schutz vor bestimmten Wetterbedingungen. |

Es dürfen auch weitere Buchstaben verwendet werden.

## 3.5 Beispiele für den IP-Code

### a) IP-Code ohne Verwendung wahlweiser Buchstaben (nach VDE 0470-1:2014-09)

*Beispiel:* IP34

Die Ziffer 3 kennzeichnet

- den Schutz von Personen, die mit Werkzeugen mit einem Durchmesser ≥ 2,5 mm umgehen, gegen den Zugang zu gefährlichen Teilen und
- den Schutz des Betriebsmittels innerhalb des Gehäuses gegen das Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser ≥ 2,5 mm.

Die Ziffer 4 kennzeichnet den Schutz des Betriebsmittels innerhalb des Gehäuses gegen schädliche Wirkungen durch Wasser, das aus jeder Richtung gegen das Gehäuse gespritzt wird.

### b) IP-Code mit Verwendung fakultativer Buchstaben (nach VDE 0470-1:2014-09)

*Beispiel:* IP23CS

Die Ziffer 2 kennzeichnet

- den Schutz von Personen gegen den Zugang zu gefährlichen Teilen mit Fingern und
- den Schutz des Betriebsmittels innerhalb des Gehäuses gegen das Eindringen fester Fremdkörper mit einem Durchmesser ≥ 12,5 mm.

Die Ziffer 3 kennzeichnet den Schutz des Betriebsmittels innerhalb des Gehäuses gegen schädliche Wirkungen von Wasser, das aus jeder Richtung gegen das Gehäuse gesprüht wird.
Der zusätzliche Buchstabe C kennzeichnet den Schutz von Personen, die mit Werkzeugen mit einem Durchmesser ≥ 2,5 mm und einer Länge ≤ 100 mm umgehen, gegen den Zugang zu gefährlichen Teilen (wobei das Werkzeug bis zu seiner vollen Länge in das Gehäuse eindringen kann).

Der ergänzende Buchstabe S kennzeichnet den Schutz des Betriebsmittels gegen schädliche Wirkungen durch das Eindringen von Wasser, während alle Teile des Betriebsmittels im Stillstand sind.

## 3.6 Beispiele für einige übliche Schutzarten

### Elektromotoren (VDE 0530-5)

Die **Tabelle 3.5** enthält die üblicherweise benutzten Schutzarten, wobei ein fett gedruckter IP-Code die bevorzugten Schutzarten kennzeichnet.

*Tabelle 3.5: Schutzarten für Elektromotoren*

| Schutzart | Anwendung | Beispiele |
|---|---|---|
| IP00, IP02 | für staubarme, trockene Luft, z. B. in abgeschlossenen Maschinen-Betriebsräumen | Krane, Bagger, Aufzüge |
| IP11, **IP12**, **IP21**, **IP22** | für staubarme Luft, wo höchstens mit Tropfwasser zu rechnen ist | Kessel- und Maschinenhäuser, viele Antriebe in Gewerbe und Industrie in geschlossenen Räumen, Backstuben, Kühlräumen, Großküchen, nicht feuergefährdeten Stallungen, feuchten Kellern |
| IP13, **IP23** | für staubarme Luft, wo höchstens mit seitlichen Wasserspritzern zu rechnen ist | manche Antriebe in der chemischen Industrie, in Zuckerfabriken, Werften |
| **IP44**, **IP54**, **IP55** | für staubige Luft und wo mit Wasserspritzern aus allen Richtungen zu rechnen ist | Landwirtschaft, Nasswerkstätten, Brauereien, Metzgereien, Wagenwaschräume, Waschküchen, Bergbau über und unter Tage, Hütten- und Walzwerke, chemische Industrie, Zementfabriken, Werkzeugmaschinen, Baustellen |
| IP56 | für staubige Luft und bei Gefahr vorübergehender Überflutung | chemische Industrie, Zementfabriken |

### Schalt- und Installationsgeräte sowie Leuchten

*Schaltgeräte* werden in sehr vielen Schutzarten ausgeführt, sodass es immer möglich ist, die geeignete Schutzart zu finden.

*Installationsgeräte* werden vorzugsweise in den Schutzarten IP00, IP30, IP31, IP54 und IP68 hergestellt.

*Leuchten* gibt es bevorzugt in den Schutzarten IP23, IP44, IP55 und IP65.

Statt des IP-Codes nach VDE 0470-1:2014-09 wurden bisher auf Installationsmaterial und Geräten für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke auch *Tropfen-* und *Gittersymbole* zur Kennzeichnung der Schutzart verwendet. Die **Tabelle 3.6** enthält Beispiele, wobei die Bezeichnungsweise nicht in allen Fachkreisen einheitlich ist.

***Tabelle 3.6:*** *Symbole zur Kennzeichnung der Schutzart*

| Symbol | Bezeichnung | entsprechende Schutzart | Bedeutung | Anwendung, Beispiele |
|---|---|---|---|---|
| ohne | abgedeckt | IP20 | kein Wasserschutz | für trockene Räume ohne besondere Staubeinwirkung<br>Beispiele: Wohnräume, Hotelzimmer, Büros, Geschäftsräume, Flure, Dachböden, beheizte und belüftete Keller, Treppenhäuser, Küchen und Baderäume in Wohnungen, Werkstätten, Verkaufsräume, z. B. für Schuhe, Textilien, Haushaltswaren, Apotheken |
|  | tropfwassergeschützt | IPX1 | Schutz gegen hohe Luftfeuchte, Wrasen und senkrecht fallende Wassertropfen | für Installationsmaterial in feuchten und feuchtwarmen Räumen sowie bei Anlagen im Freien und unter Dach<br>Beispiele: unbeheizte und unbelüftete Keller, Großküchen, Metzgereien, Backstuben, Kühlräume, Kesselhäuser, Kornspeicher, Stallungen, Düngerschuppen, Gewächshäuser |
|  | regengeschützt (sprühwassergeschützt) | IPX3 | Schutz gegen von oben bis zu 30° über der Waagerechten auftreffende Wasser-tropfen | für Leuchten und Geräte in feuchten Räumen und für Anlagen im Freien ohne Dach<br>Beispiele: wie vorstehend |
|  | spritzwassergeschützt (abgedichtet) | IPX4 | Schutz gegen aus allen Richtungen auftreffendes Spritzwasser | für Motoren und Geräte in feuchten Räumen und bei Anlagen im Freien<br>Beispiele: Baustellen, Landwirtschaft |
|  | strahlwassergeschützt | IPX5 | Schutz gegen aus allen Richtungen auftreffende Wasserstrahlen | für nasse und durchtränkte Räume, in denen abgespritzt wird, die Betriebsmittel jedoch nicht unmittelbar dem Wasserstrahl ausgesetzt werden<br>Beispiele: Leuchten in Wasch- und Badeanstalten, Färbereien, chemischen Betrieben, Nasswerkstätten, Wagenwaschräumen, Abschmiergruben, Käsereien, Molkereien, Brauereien, Bier- und Weinkellern, Metzgereien, Schlachthöfen, Milchkammern, Futterküchen |

| Symbol | Bezeichnung | entsprechende Schutzart | Bedeutung | Anwendung, Beispiele |
|---|---|---|---|---|
| | wasserdicht (eintauchbar) | IPX7 | Schutz beim zeitweiligen Untertauchen | Beispiele: nasse Räume, Springbrunnen, Schwimmbäder, Aquarien |
| ... bar ... m | druckwasserdicht (unter Wasser betreibbar) (mit Angabe der zulässigen Wasserhöhe über dem Gerät; 0,3 bar ≈ 3 mWS) | IPX8 | Schutz beim dauernden Untertauchen | Beispiele: Unterwasserscheinwerfer |
|  | staubgeschützt | IP5X | Schutz gegen Eindringen von Staub ohne Druck | für Betriebsmittel in Räumen mit besonderer Staubentwicklung<br>Beispiele: Landwirtschaft, Holzbearbeitungsbetriebe, Mühlen, Textilfabriken |
|  | staubdicht | IP6X | Schutz gegen Eindringen von Staub unter Druck | |

## 3.7 Auswahl der Schutzart

Für *trockene Räume* reicht i. Allg. die Schutzart IP2X aus. Die erforderliche Schutzart für besondere Bereiche oder Raumarten, z. B. feucht, nass, feuergefährdet, ist jeweils angegeben (s. Kap. 14).

Die jeweilige Schutzart muss auch hinter der Leitungseinführung in die Betriebsmittel erhalten bleiben.

## 3.8 Schutz gegen äußere mechanische Beanspruchungen von Gehäusen (IK-Code)

VDE 0470-100

Der *IK-Code* nach VDE 0470-100 (DIN EN 50102) kennzeichnet den Schutzgrad von Gehäusen gegen äußere mechanische Beanspruchungen. Er setzt sich aus den Codebuchstaben IK und einer zweistelligen Zifferngruppe 00 bis 10 zusammen, z. B. IK05. Jede Zifferngruppe steht für einen Beanspruchungsenergiewert in Joule (J) (**Tabelle 3.7**). Der IK-Code gilt grundsätzlich für das vollständige Gehäuse, das den Schutz von Betriebsmitteln gegen schädliche Auswirkungen mechanischer Beanspruchungen gewährleistet. Wenn Gehäuseteile unterschiedliche Schutzgrade aufweisen, sind sie getrennt bezeichnet. Geprüft werden die Gehäuse vom Hersteller durch Schlagbeanspruchung mit verschiedenen Prüfhämmern.

***Tabelle 3.7:*** *Gehäuseschutz*

| IK-Code<br>IK.. | Beanspruchungsenergie<br>J |
|---|---|
| 00 | [1] |
| 01 | 0,14 |
| 02 | 0,20 |
| 03 | 0,35 |
| 04 | 0,50 |
| 05 | 0,70 |
| 06 | 1,0 |
| 07 | 2,0 |
| 08 | 5,0 |
| 09 | 10 |
| 10 | 20 |

[1] nicht geschützt nach VDE 0470-100

# 4 Schutzklassen der Betriebsmittel

VDE 0140-1

Elektrische Betriebsmittel (s. Kap. 2) sind Produkte, die zum Zwecke der Erzeugung, Umwandlung, Übertragung, Verteilung oder Anwendung von elektrischer Energie benutzt werden, z. B. Maschinen, Transformatoren, Schaltgeräte und Steuergeräte, Messgeräte, Schutzeinrichtungen, Kabel und Leitungen, elektrische Verbrauchsmittel. Die elektrischen Verbrauchsmittel (s. Kap. 2), als Untergruppe der elektrischen Betriebsmittel, sind dazu bestimmt, elektrische Energie in eine andere Energieform umzuwandeln.

Im Bereich der Normung von elektrischen Verbrauchsmitteln für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke (Reihe VDE 0700) und für medizinischen Zwecke (Reihe VDE 0750) werden die elektrischen Verbrauchsmittel abweichend von der Begriffsbestimmung der VDE 0140-1 Geräte genannt (... elektrischer Geräte für den Hausgebrauch, Medizinische elektrische Geräte). Die Norm VDE 0140-1 „Schutz gegen elektrischen Schlag – Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel" stellt eine Art Leitnorm für das VDE-Vorschriftenwerk auf dem Gebiet des Schutzes gegen elektrischen Schlag dar.

Die elektrischen Verbrauchsmittel, wie Leuchten, Wärmegeräte, Geräte mit elektromotorischem Antrieb für den Hausgebrauch, Elektrowerkzeuge, medizinische elektrische Geräte, werden in 4 Schutzklassen eingeteilt.

## 4.1 Betriebsmittel der Schutzklasse 0

Betriebsmittel der Schutzklasse 0 sind Betriebsmittel, die nur über eine Basisisolierung verfügen und keine Vorkehrung für den Fehlerschutz besitzen und somit keine Möglichkeit für einen Schutzleiteranschluss enthalten. Derartige Betriebsmittel waren nach der alten, am 01.08.2001 zurückgezogenen und gleichzeitig inhaltlich durch VDE 0140-1 ersetzten Norm VDE 0106-1:1982-05 (DIN 57106-1) in Deutschland nicht zugelassen. Im Zuge der internationalen Normung und Harmonisierung konnte diese strikte Forderung nicht aufrechterhalten werden.

Aber in der neuesten Norm VDE 0140-1:2007-03 (DIN EN 61140) wird die Empfehlung ausgesprochen, Betriebsmittel mit der Schutzklasse 0 in Zukunft aus der internationalen Normung auszuschließen. Betriebsmittel mit der Schutzklasse 0 sind jedoch in der Norm enthalten, weil diese Schutzklasse noch in wenigen Betriebsmittelnormen enthalten ist. In jedem Fall dürfen Schutzklasse-0-Betriebsmittel nur in sog. nicht leitender Umgebung (s. Kap. 2 u. Abschn. 5.10.1) verwendet werden. Jedes einzelne Betriebsmittel muss durch Schutztrennung geschützt sein (s. Abschn. 5.8).

## 4.2 Betriebsmittel der Schutzklasse I

Betriebsmittel der Schutzklasse I sind Betriebsmittel mit Basisisolierung und mit Schutzleiteranschluss. Sie tragen das Symbol: ⏚ (IEC 60417-5019) oder die Schutzleiteranschlussklemme ist mit dem Buchstaben PE oder grün-gelb gekennzeichnet.

## 4.3 Betriebsmittel der Schutzklasse II

Betriebsmittel der Schutzklasse II sind Betriebsmittel mit einer zusätzlichen oder verstärkten Isolierung zur Basisisolierung, die früher als schutzisoliert bezeichnet wurden. Die Bezeichnung „Schutzisolierung" war mit dem Inkrafttreten der VDE 0100-410 vom Januar 1997 ersetzt worden durch „Schutz durch Verwendung von Betriebsmitteln der Schutzklasse II oder durch gleichwertige Isolierung" (s. Abschn. 5.7). Nach der aktuell gültigen Norm VDE 0100-410 von Juni 2007 lautet die Schutzmaßnahme nun „*Schutzmaßnahme: Doppelte oder verstärkte Isolierung*" (s. Abschnitt 5.7). In der Norm heißt es im Abschnitt 412.2.1 „Elektrische Betriebsmittel", dass in Fällen, in denen die Schutzmaßnahme doppelte oder verstärkte Isolierung für die Anlage oder einen Anlagenteil verwendet wird, die elektrischen Betriebsmittel typgeprüft, nach den einschlägigen Normen gekennzeichnet sein und u. a. der Bauart „elektrische Betriebsmittel mit doppelter oder verstärkter Isolierung (*Betriebsmittel der Schutzklasse II*)" entsprechen müssen.

Die zusätzliche oder verstärkte Isolierung der Schutzklasse II gewährt auch dann noch Schutz bei indirektem Berühren, wenn die Basisisolierung schadhaft werden sollte. Betriebsmittel dieser Art dürfen keinen Schutzleiteranschluss enthalten. Man erkennt sie an dem Symbol: ⧈ (IEC 60417-5172) (Doppelquadrat).

Die Isolierung kann unterschiedlich ausgeführt sein.

*Schutz-Isolierumhüllung:* Ein dauerhaftes und im Wesentlichen zusammenhängendes Gehäuse aus Isolierstoff umschließt alle Metallteile (ausgenommen kleine Teile, wie Leistungsschild, Schrauben und Niete), die von unter Spannung stehenden

Teilen durch eine der verstärkten Isolierung mindestens gleichwertige Isolierung getrennt sind. Ein solches Betriebsmittel wird „isolierstoffumschlossenes Betriebsmittel der Schutzklasse II" genannt.

*Schutz-Zwischenisolierung:* Innerhalb eines im Wesentlichen zusammenhängenden Gehäuses aus Metall wird die Schutz-Zwischenisolierung angewendet. Durch sie werden alle der Berührung zugänglichen leitfähigen Teile mithilfe von Isolierzwischenstücken von allen Teilen getrennt, die bei einem Versagen der Basisisolierung Spannung annehmen können.

*Verstärkte Isolierung:* Bei ihr ist die (einstufige) Isolierung mechanisch und elektrisch so kräftig und so gut isolierend ausgeführt, dass sie der Schutz-Isolierumhüllung gleichwertig ist. Sie darf allerdings nur in Sonderfällen angewendet werden, wo dies unumgänglich und in den VDE-Bestimmungen ausdrücklich zugelassen ist.

*Doppelte Isolierung:* Das ist eine Isolierung, die sowohl die Basisisolierung als auch die zusätzliche Isolierung umfasst.

Enthält ein Betriebsmittel mit verstärkter oder doppelter Isolierung eine SchutzleiterAnschlussklemme oder einen Schutzkontakt, so gilt es als Betriebsmittel der Schutzklasse I.

Betriebsmittel der Schutzklasse II können mit Kleinspannung betriebene Teile enthalten.

## 4.4 Betriebsmittel der Schutzklasse III

Betriebsmittel der Schutzklasse III sind Betriebsmittel zum Anschluss an SELV-Systeme (frühere Bezeichnung: „Schutzkleinspannung") (s. Abschn. 5.9) und an PELV-Systeme (frühere Bezeichnung: „Funktionskleinspannung mit sicherer Trennung") (s. Abschn. 5.9), also an eine Nennspannung bis AC 50 V bzw. DC 120 V. Ihr Symbol ist  (IEC 60417-5180) (römische III in der Raute). Betriebsmittel der Schutzklasse III dürfen nicht mit Anschlussstellen für den Schutzleiter ausgestattet sein.

# 5 Schutz gegen elektrischen Schlag

VDE 0100-410, VDE 0140-1

Elektrische Ströme, die durch den Körper eines Menschen oder eines Tiers fließen, können gefährliche Auswirkungen haben. Eine gefährliche Körperdurchströmung muss daher mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit verhindert werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bereits Wechselströme ab 40 mA das Herzkammerflimmern bewirken, das zum Herzstillstand führen kann (s. Abschn. 5.1).

Wenn durch Berühren der im ungestörten Zustand unter Spannung stehenden Teile eine gefährliche Körperdurchströmung und damit ein elektrischer Schlag möglich ist, muss eine derartige Berührung durch Isolieren, Abdecken, Umhüllen oder ausreichenden Abstand der spannungsführenden Teile ausgeschlossen werden. VDE 0100-410[1] regelt, wie diese als *Schutz gegen elektrischen Schlag unter normalen Bedingungen („Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren)"*; bisher genannt: „Schutz gegen direktes Berühren" oder „Basisschutz") bezeichnete Schutzmaßnahme realisiert werden muss (s. Abschn. 5.2). Unter *normalen Bedingungen* wird hier im Sinne der VDE 0140-1 *bei bestimmungsgemäßer Verwendung ohne Fehler* verstanden.

Darüber hinaus darf auch dann keine Gefährdung entstehen, wenn infolge eines Fehlers, z. B. durch eine schadhafte Basisisolierung, die Spannung auf das Metallgehäuse – den *Körper* – eines elektrischen Betriebsmittels verschleppt wird. Dieser Schutz vor Gefahren, die sich im Fehlerfall aus einer Berührung mit Körpern oder fremden leitfähigen Teilen ergeben können, wird als *Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen („Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren)"*; bisher genannt: „Schutz bei indirektem Berühren oder Fehlerschutz") bezeichnet. Dazu gehören die allgemein erlaubten Schutzmaßnahmen (s. Abschn. 5.2)

1 Die Norm VDE 0100-470 („Anwendung der Schutzmaßnahmen") war bereits im Juni 2007 zurückgezogen worden, deren Inhalt ist in VDE 0100-410 eingeflossen. Die Übergangsfrist für die Anwendung von VDE 0100-470 ist am 01.02.2009 endgültig abgelaufen.

- *Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung,*
- *Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung* (frühere Bezeichnung: Schutz durch Verwendung von Betriebsmitteln der Schutzklasse II) *oder durch gleichwertige Isolierung* (vergleichbar mit der früheren Bezeichnung: „Schutzisolierung"),
- *Schutztrennung* (frühere, annähernd gleiche Bezeichnung: „Schutz durch Schutztrennung") und
- *Schutz durch Kleinspannung* mittels *SELV* und *PELV*. (SELV entspricht der früheren „Schutzkleinspannung" und PELV der früheren „Funktionskleinspannung mit sicherer Trennung".)

Schutzmaßnahmen sind in jeder elektrischen Anlage, in jedem Teil einer elektrischen Anlage und bei jedem elektrischen Betriebsmittel notwendig. Auswahl und Anordnung der Schutzmaßnahmen haben entsprechend den äußeren Einflüssen zu erfolgen. In der Regel ist die Grenze der dauernd zulässigen Berührungsspannung $U_L$ AC 50 V bzw. DC 120 V. Höhere Berührungsspannungen, die im Fehlerfall auftreten können, müssen in Abhängigkeit von der Nennspannung gegen Erde sowie der Art der Stromkreise und der angeschlossenen elektrischen Verbraucher innerhalb vorgegebener Zeiten (s. Tabellen 5.8 und 5.15) selbsttätig abgeschaltet werden. Bei z. B. AC 230 V Nennspannung gegen Erde darf im TN-System bei Endstromkreisen mit einem Nennstrom $\leq$ 32 A die Abschaltzeit maximal 0,4 s betragen (s. Abschn. 5.2.6 und 5.6.3).

In Bereichen, in denen wegen besonderer Umgebungsbedingungen mit erhöhter Gefährdung hinsichtlich des Schutzes gegen elektrischen Schlag zu rechnen ist, schreiben die VDE-Bestimmungen die Anwendung bestimmter Schutzmaßnahmen zwingend vor. Dies gilt (s. Kap. 14) u. a. für Bäder, Baustellen, fliegende Bauten, landwirtschaftliche Anwesen, leitfähige Bereiche mit begrenzter Bewegungsfähigkeit, medizinisch genutzte Bereiche, Unterrichtsräume mit Experimentierbereichen, Betonmischer und Handnassschleifmaschinen. Verschiedene Schutzmaßnahmen, die in derselben Anlage angewendet werden, dürfen sich nicht gegenseitig nachteilig beeinflussen.

# 5.1 Gefährliche Körperströme

VDE V 0140-479-1

Wenn man von Verbrennungen bei Hochspannung absieht, so wird dabei grundsätzlich die Gefahr des Herzkammerflimmerns als Hauptgrund für tödliche Unfälle betrachtet.

Im Normalzustand wird die Herzfrequenz vom Gehirn über den Schrittmacher (Sinusknoten) gesteuert. Dieser kann beim elektrischen Unfall so ausgeschaltet werden, dass die synchrone Tätigkeit der Herzkammerwände aufhört und einzelne Herzmuskelpartien unkoordiniert kontrahieren. Der Blutkreislauf bricht zusammen; *Herzkammerflimmern* tritt auf.

Das Elektrokardiogramm (EKG), d. h. der oszillografisch aufgezeichnete zeitliche Verlauf der Herzpotenziale, weist gegen Ende der Systole (Herzzusammenziehen) eine charakteristische Zacke (T-Zacke) auf. Beginnt der Fehlerstrom bei einem elektrischen Unfall genau zu diesem Zeitpunkt den Körper zu durchfließen, dann reagiert der Herzmuskel auch bei nur sehr kleinen und kurzen elektrischen Reizen mit Flimmern (sog. vulnerable (verwundbare) Phase).

Grundsätzlich ist die physiologische Wirkung von Körperströmen von der Stromart, der Höhe des Stroms, der Einwirkungsdauer des Stroms, der Frequenz und vom Stromweg abhängig.

## 5.1.1 Gefährdung durch technischen Wechselstrom 50/60 Hz

In VDE V 0140-479-1:2007-05 ist die Strom-Zeit-Abhängigkeit der Einwirkung auf Erwachsene beim Stromweg linke Hand – beide Füße dargestellt (**Bild 5.1**).

Im Bereich AC-1 (bis zu 0,5 mA, Grenzlinie a) ist zwar eine Wahrnehmung möglich, aber im Allgemeinen tritt keine Schreckreaktion ein. Die Grenzlinie a ist die *Wahrnehmbarkeitsschwelle*. Das ist der Minimalwert des Berührungsstroms, der von einer durchströmten Person noch wahrgenommen wird.

Im Bereich AC-2 (über 0,5 mA bis Grenzlinie b) wird eine Wirkung wahrgenommen und unwillkürliche Muskelkontraktionen sind wahrscheinlich, aber im Allgemeinen treten keine schädlichen physiologischen Wirkungen ein.

Im Bereich AC-3 (Grenzlinie b bis Grenzlinie c) erfolgen starke unwillkürliche Muskelkontraktionen. Es bestehen Schwierigkeiten beim Atmen. Reversible Störungen der Herzfunktion sind möglich. Eine Muskelverkrampfung kann auftreten, die das Loslassen unmöglich machen (*Loslassschwelle*). Die Wirkungen nehmen mit Stromstärke und Durchströmungsdauer zu. Im Allgemeinen ist kein organischer Schaden zu erwarten.

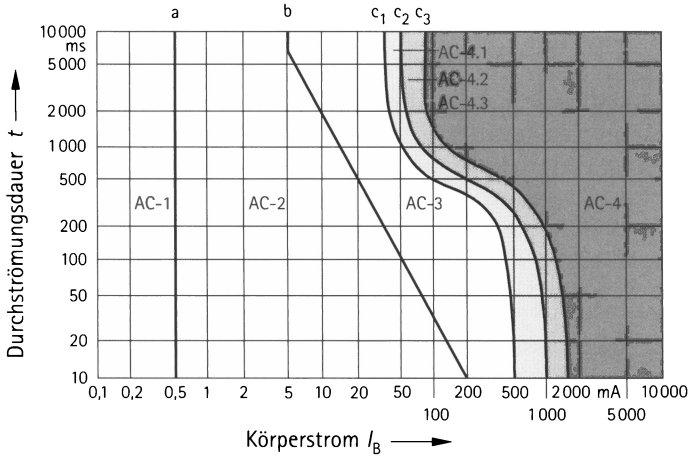



***Bild 5.1:*** *Wirkungsweise von Wechselstrom (AC) 15 Hz bis 100 Hz (Quelle: VDE V 0140-479-1:2007-05, Bild 20)*

Im Bereich AC-4.1 (über der Grenzlinie c) können pathophysiologische Wirkungen wie Herzstillstand, Atemstillstand und Verbrennungen oder andere Zellschäden auftreten. Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern steigt mit der Stromstärke und Durchströmungsdauer an. Im Bereich

AC-4.1 (c1-c2) ist die Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern ansteigend bis etwa 5 %,

AC-4.2 (c2-c3) ist die Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern ansteigend bis etwa 50 %,

AC-4.3 (über der Grenzlinie c3) ist die Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern über 50 %.

Weitere elektrische Wirkungen, wie Muskelkontraktionen, Anstieg des Blutdrucks, Störungen bei der Bildung und Leitung der Erregung des Herzens (einschließlich Vorhofflimmern und vorübergehende Herzrhythmusstörungen), können auftreten. Derartige Wirkungen sind im Allgemeinen nicht tödlich. Bei Stromstärken von einigen Ampere und Durchströmungsdauern länger als Sekunden sind tief liegende Verbrennungen und andere innere Verletzungen möglich. Auch Verbrennungen der Hautoberfläche können beobachtet werden. Herzkammerflimmern ist tödlich, weil es die Blutzirkulation verhindert, die den Transport des notwendigen Sauerstoffs sicherstellt. Elektrische Unfälle, die nicht Herzkammerflimmern auslösen, können trotzdem tödlich enden. Andere Wirkungen können die Atmung betreffen und

machen es der Person unmöglich, um Hilfe zu rufen. Diesbezügliche Mechanismen betreffen Funktionsstörungen des Atemzentrums, Paralyse der Atemmuskulatur, Schädigung des Nervenleitsystems für diese Muskeln und Schädigung des Atmungskontrollmechanismus im Hirnstamm. Diese Wirkungen führen, falls sie dauernd auftreten, unweigerlich zum Tod. Wenn sich eine Person vom reversiblen Atemstillstand erholen soll, ist unverzüglich angewendete künstliche Beatmung erforderlich. Trotzdem kann der Tod noch eintreten.

*Tabelle 5.1: Stromwirkungen*

| Berührungsspannung V | Körperstrom mA | physiologische Wirkungen |
|---|---|---|
| 25 | 7,6 | leichter Krampf in Fingern |
| 75 | 28,5 | Krampf in Fingern und Gelenken |
| 125 | 66,6 | Krampf wie vorher, leichtes Anheben des Oberkörpers |
| 200 | 129 | schmerzhaft, Anheben des Oberkörpers |

G. BIEGELMEIER berichtet über Wahrnehmungen beim Stromdurchgang mit Wechselspannungen, Stromweg Hand–Hand, die er an sich selbst bei einer Versuchsreihe verspürte; Abschaltung innerhalb von 20 ms, Einschaltzeitpunkt im Spannungsmaximum, je sechs Messungen (**Tabelle 5.1**).

## 5.1.2 Gefährdung durch Gleichstrom

Tödliche Unfälle können bei Längsdurchströmung auftreten. Die Wahrnehmbarkeitsschwelle liegt über 2 mA, die Loslassschwelle über 300 mA, die Flimmerschwelle zwischen 150 mA bei 1 min oder mehr Einwirkungsdauer und 500 mA bei 0,2 s oder kürzerer Dauer. Dies gilt für Längsdurchströmung und aufsteigenden Strom (Füße positiv). Bei abfallendem Strom sind die Schwellenwerte etwa doppelt so hoch.

Im Einschaltmoment treten wegen der Körperkapazität Stromspitzen auf, die 4-bis 5-mal so hoch sind wie der Dauerstrom und stechende Gelenkschmerzen verursachen. Bei höheren Strömen kommen Verbrennungen hinzu. Der Körperwiderstand ist für Spannungen über 100 V etwa derselbe wie bei Wechselstrom, bei geringeren Spannungen höher.

### 5.1.3 Gefährdung durch Wechselstrom mit Gleichstromkomponenten

Ströme dieser Art kommen z. B. bei Phasenanschnittsteuerungen oder Wellenpaketsteuerungen vor. Sie haben bei einer Einwirkungsdauer von über einer Herzperiode die gleiche Wirkung für die Auslösung von Kammerflimmern wie reiner Wechselstrom mit einer Stromstärke, die den gleichen Spitze-Spitze-Wert $i_{ss}$ hat wie die kombinierte Stromform. Damit ergibt sich der Effektivwert des wirkungsgleichen Wechselstroms zu

$$I_{eff} = \frac{i_{ss}}{2 \cdot \sqrt{2}} \cong \frac{i_{ss}}{2{,}8}.$$

Bei Einwirkungszeiten unter einer Herzperiode ist die Gleichheit der physiologischen Wirkung dann vorhanden, wenn die Scheitelwerte $i_s$ beider Stromarten gleich sind.

Elektrisierungen mit Strömen, die durch Wellenpaketsteuerungen entstehen, sind etwa gleich gefährlich wie die Elektrisierungen mit Dauerwechselströmen.

### 5.1.4 Gefährdung durch Impulsströme

Sinusförmige Halbschwingungsimpulse, aber auch Impulse von Kondensatorentladungen und elektrischen Weidezaungeräten können ein Herzkammerflimmern bewirken. Maßgebend dabei sind der Scheitelwert des Stromimpulses und die Stromflussdauer. Für Stromflussdauern von 10 ms...10 s und Längsdurchströmung des menschlichen Körpers (linke Hand – beide Füße) wurden nach IEC *Schwellenwerte* vorgeschlagen, bis zu denen mit Herzkammerflimmern nicht zu rechnen ist (**Tabelle 5.2**).

***Tabelle 5.2:*** *Schwellenwerte für Herzkammerflimmern*

| Stromflussdauer | Körperstrom A |
|---|---|
| 10 ms | 0,5 |
| 100 ms | 0,4 |
| 500 ms | 0,1 |
| 1 s | 0,05 |
| 10 s | 0,04 |

### 5.1.5 Elektrischer Widerstand des menschlichen Körpers

Nach **Bild 5.2** teilt sich die Gesamtimpedanz in die Hautimpedanzen und die innere Körperimpedanz auf. Die Hautimpedanzen fallen bei Spannungen > AC 100 V immer weniger ins Gewicht. Der Körperinnenwiderstand hat eine sehr kleine kapazitive Komponente, die nur wenige Grad Phasenverschiebung bewirkt; man kann daher einen ohmschen Körperwiderstand annehmen. Die Berührungsflächen sowie die Feuchtigkeit der Haut (z. B. nasse oder trockene Hände) spielen eine entscheidende Rolle. Dagegen ist der Anfangswiderstand bei AC 230 V kleiner als die Körperimpedanz $Z_T$, die spätestens nach etwa 0,1 s erreicht wird. Für den Stromweg Hand – Hand muss z. B. bei AC 230 V und 50 Hz für $Z_T$ = 1 000 Ω angenommen werden. Bei geringeren Spannungen sind die Widerstandswerte höher.

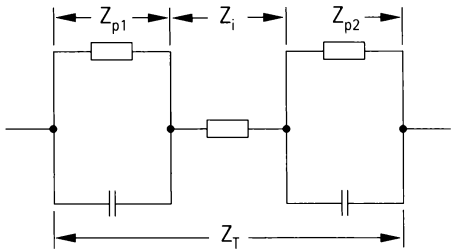



***Bild 5.2:*** *Körperimpedanz*
$Z_T$ Gesamt-Körperimpedanz, $Z_{P1}$, $Z_{P2}$ Hautimpedanz, $Z_i$ innere Körperimpedanz

Bei der im Normalfall dauernd zulässigen Berührungsspannung von AC 50 V ist mit einer Körperimpedanz von 1 450 Ω zu rechnen. Das kann zu einer Körperdurchströmung von 35 mA führen, einem Wert, der unterhalb der Flimmerstromstärke liegt (s. Bild 5.1). 95 % der Menschen haben höhere Körperimpedanzen als die angegebenen. Bei anderen Stromwegen als Hand – Hand sind jedoch auch wesentlich niedrigere Körperimpedanzen möglich. So beträgt die Körperimpedanz bei einer Durchströmung beide Hände – Brust nur 25 % des Werts von Hand – Hand. Berührungsspannungen von AC 50 V können bei einer derartigen Durchströmung durchaus lebensgefährlich werden. Dort, wo ungewöhnliche Körperdurchströmungen möglich sind, z. B. bei Arbeiten mit Elektrowerkzeugen in begrenzten leitfähigen Räumen, müssen deshalb Schutzmaßnahmen angewendet werden, die auch im Fehlerfall die Berührungsspannung auf Werte < AC 25 V begrenzen.

## 5.1.6 Körperstrom und Berührungsspannung

In einem metallgekapselten elektrischen Verbrauchsmittel ohne Schutzleiter sei die Isolierung eines unter Spannung stehenden Leiters (aktiver Teil) schadhaft.

Zwischen dem aktiven Leiter und den nicht zum Betriebsstromkreis gehörenden leitfähigen Teilen des Gehäuses (Körper) liegt dann ein *Fehlerwiderstand* $R_F$ (**Bild 5.3**) zwischen 0 und $< \infty$. Es herrscht ein vollkommener oder unvollkommener Körperschluss. Vorsichtshalber wird $R_F = 0$ gesetzt.

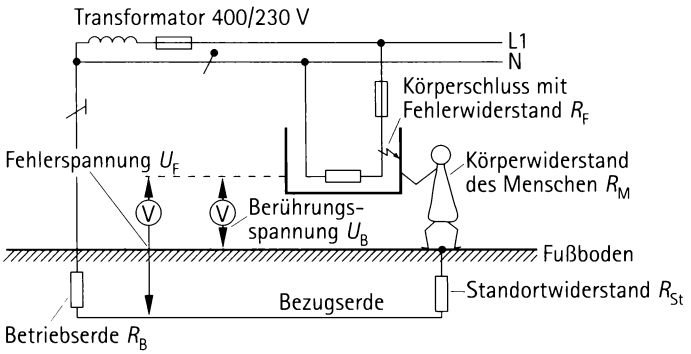



***Bild 5.3:*** *Fehlerstromkreis*

Vor dem Verbrauchsmittel stehe ein Mensch mit einem elektrischen *Körperwiderstand* $R_M$ von etwa 1 000 Ω und mehr. Der Mensch stehe mit Schuhen auf dem Boden. Isolierendes Schuhwerk und trockene Strümpfe haben einen erheblichen Widerstand, der durch Risse, Nägel, Feuchtigkeit oder Schweiß vermindert werden kann. Bei Sicherheitsbetrachtungen sollte man daher diesen Widerstand vernachlässigen.

Der auf dem Boden stehende Mensch hat einen Erdausbreitungswiderstand, den *Standortwiderstand* $R_{St}$. Dieser hängt vom spezifischen Widerstand $\rho$ des Bodens und von Größe und Form der Berührungsfläche ab. Als Faustformel kann man setzen:

$$R_{St} = 3\,\rho\,.$$

Die Leitung von der Stromquelle (Transformator) bis zum fehlerhaften Gerät hat einen Widerstand $R_L$ und der Erder des Transformators einen *Betriebserdungswiderstand* $R_B$, die bei dieser Betrachtung vernachlässigbar gering sind.

Die Widerstände sind in **Bild 5.4** nochmals zusammengestellt.

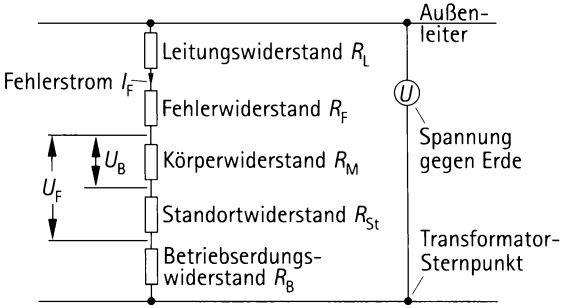



***Bild 5.4:*** *Die verschiedenen Widerstände bei einer Körperdurchströmung*

Es verbleiben noch der Körperwiderstand $R_M$ und der Standortwiderstand $R_{St}$. Die Spannung an diesen beiden in Reihe geschalteten Widerständen heißt *Fehlerspannung* $U_F$, während die Spannung am Menschen *Berührungsspannung* $U_B$ genannt wird (Bild 5.3). Bezeichnen wir den *Fehlerstrom* (Körperstrom) mit $I_F$, dann wird

$$I_F = \frac{U}{R_M + R_{St}}.$$

$U$ liegt i. Allg. mit 230 V, $R_M$ mit 1 000 Ω fest.

## 5.1.7 Gefahren durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder

Elektromagnetische Felder hoher Intensität können auf Menschen eine schädigende Wirkung haben. Das gilt sowohl für niederfrequente als auch für hochfrequente Felder.

Für die Errichtung und den Betrieb von Hochfrequenzanlagen, Niederfrequenzanlagen und Gleichstromanlagen sind bestimmte Anforderungen einzuhalten, die in der am 1. Jan. 1997 in Kraft getretenen „Sechsundzwanzigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2013 (BGBl. BI S. B3266) enthalten sind. Die Anforderungen dienen – wie es in der Verordnung heißt – dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen und zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder.

Nicht sämtliche elektrischen Anlagen erzeugen schädliche Wirkungen. Anlagen im Sinn der 26. BBImSchV sind deshalb:

- Hochfrequenzanlagen: ortsfeste Anlagen, die elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 9 kHz bis 300 GHz erzeugen, ausgenommen sind Anlagen, die breitbandige elektromagnetische Impulse erzeugen und der Landesverteidigung dienen,
- Niederfrequenzanlagen: ortsfeste Anlagen zur Umspannung und Fortleitung von Elektrizität mit einer Nennspannung von ≥ 1 000 V, einschließlich Bahnstromfern- und Bahnstromoberleitungen und sonstiger vergleichbarer Anlagen im Frequenzbereich von 1 Hz bis 9 kHz, also keine Niederspannungsanlagen der üblichen Elektroinstallation,
- Gleichstromanlagen: ortsfeste Anlagen zur Fortleitung, Umspannung und Umrichtung, einschließlich der Schaltfelder, von Gleichstrom mit einer Nennspannung von ≥ 2 000 V.

Die Grenzwerte für Niederfrequenz- und Hochfrequenzanlagen nach der 26. BImSchV sind frequenzabhängig und haben unter den in der Verordnung angegebenen Bedingungen die in den **Tabellen 5.3** und **5.4** angegebenen Werte.

Als Vergleichswerte sind folgende Werte der elektrischen und magnetischen Feldstärke bzw. Flussdichte interessant:

- Erdmagnetfeld (je nach Standort): 30 A/m bzw. 40 μT;
- im Fahrgastraum einer elektrischen Vollbahn (16⅔ Hz): 2...12 A/m;
- Computerbildschirme: Bei ≥ 0,5 A/m (14″-Schirm) bzw. ≥ 0,2 A/m (21″-Schirm) tritt deutliches Bildflackern auf, sodass ein Arbeiten nicht mehr möglich und eine Gesundheitsgefährdung aufgrund elektromagnetischer Einwirkungen in der Regel auszuschließen ist;
- bei Mobiltelefonen (Handys) in 5 cm Abstand von der Antenne (500...2 000 MHz): 40 V/m.
- unter Hochspannungsleitungen:
  - 110-kV-Leitung (1 kA Leiterstrom) ca. 1 m über den Boden: 0,6...2,2 kV/m und 5,6...20,1 μT,
  - 380-kV-Leitung ca. 1 m über den Boden: 2,5...6,3 kV/m und 5,2...12,7 μT,
  - 380-kV-Leitung bei Mindestabstand: ≈ 10 kV/m und ≈ 20 μT;
- magnetische Flussdichte an der Gehäuseoberfläche von Haushaltsgeräten:
  - Kühlschrank: 0,1...10 μT,
  - Fernsehgerät, Heizlüfter, Bohrmaschine: 100...500 μT,
  - Föhn, Lötkolben, Rührwerk: 1 000...2 500 μT (keine Langzeitwirkung!);
- elektrische Feldstärke an der Gehäuseoberfläche von Haushaltsgeräten: < 0,5 kV/m.

*Tabelle 5.3: Grenzwerte* der elektrischen und magnetischen Feldstärke nach der 26. BImSchV für Hochfrequenzanlagen*

| Frequenzbereich | elektrische Feldstärke V/m (Effektivwerte) | magnetische Feldstärke A/m (Effektivwerte) |
|---|---|---|
| 100 kHz bis 1 MHz | 87 | $0{,}73/f$ |
| 1 MHz bis 10 MHz | $87/\sqrt{f}$ | $0{,}73/f$ |
| 10 MHz bis 400 MHz | 28 | 0,073 |
| 400 MHz bis 2 GHz | $1{,}375\sqrt{f}$ | $0{,}0037\sqrt{f}$ |
| 2 GHz bis 300 GHz | 61 | 0,16 |

* quadratisch gemittelt über 6-Minuten-Intervalle

*Tabelle 5.4: Grenzwerte der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte nach der 26. BImSchV für Niederfrequenzanlagen*

| Netzfrequenz | elektrische Feldstärke kV/m (Effektivwerte) | magnetische Flussdichte µT (Effektivwerte) |
|---|---|---|
| 0 | – | 500 |
| 1 Hz bis 8 Hz | 5 | $40\,000/f^2$ |
| > 8 Hz bis 25 Hz | 5 | $5\,000/f$ |
| > 25 Hz bis 50 Hz | 5 | 200 |
| > 50 Hz bis 400 Hz | $250/f$ | 200 |
| > 400 Hz bis 3 kHz | $250/f$ | $80\,000/f$ |
| > 3 kHz bis 10 MHz | 0,083 | 27 |

Manche Personen können elektrische Feldstärken ab etwa 2,5 kV/m oder einer magnetischen Flussdichte von 20 µT spüren und als belästigend wahrnehmen. Gegenwärtig gibt es allerdings keine gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnisse darüber, dass solche Wahrnehmungen zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Allerdings könnten Felder > 2,5 kV/m bzw. > 100 µT implantierte Herzschrittmacher beeinflussen. Das Bundesamt für Strahlenschutz empfiehlt deshalb bei älteren Typen von Herzschrittmachern grundsätzliche eine Begrenzung auf 2,5 kV/m bzw. 20 µT.

Bisher waren in der Vornorm VDE V 0848-4/A3 von 1995 Grenzwerte angegeben. Die Vornorm ist am 01.09.2006 ersatzlos zurückgezogen worden. Bis zum Erscheinen einer neuen Norm kann auf die Unfallverhütungsvorschrift BGV B11

(neue Bezeichnung: DGUV Vorschrift 15) „Elektromagnetische Felder" vom 01.06.2001 zurückgegriffen werden. Danach werden – wie in der früher geltenden VDE V 0848-4/A3 – zwei Bereiche (Expositionsbereiche) unterschieden, denen sich bestimmte Personengruppen aussetzen können. Der *Expositionsbereich 1* umfasst kontrollierte Bereiche, z. B. Betriebsstätten und allgemein zugängliche Bereiche, bei denen sichergestellt ist, dass sich Personen elektromagnetischen Feldern nur kurzzeitig aussetzen. Dieser Bereich betrifft z. B. Mitarbeiter in Betrieben.

Im *Expositionsbereich 2* wird davon ausgegangen, dass Personen elektrischen und magnetischen Feldern längere Zeit ausgesetzt sind. Zu diesem Bereich gehören z. B. Gebiete mit Wohnbauten und -grundstücken, Sport- und Freizeiteinrichtungen sowie Betriebsstätten, in denen eine Felderzeugung bestimmungsgemäß nicht zu erwarten ist.

Darüber hinaus sind Grenzwerte in Abhängigkeit von der Frequenz angegeben. Zusätzlich wird beim Bereich 1 noch zwischen der Dauer der Exposition unterschieden (ganztägig, 1 Stunde und 2 Stunden am Tag).

Werte gemäß BGV B11 (neue Bezeichnung: DGUV Vorschrift 15) von Juni 2001 und BGR B11 (neue Bezeichnung: DGUV Regel 103-013) „Elektromagnetische Felder"; von Okt. 2001, Nachdruck Januar 2006, sind in den **Tabellen 5.5** bis **5.7** angegeben. Hierbei handelt es sich um Effektivwerte und berechnete Werte (Ersatzwerte), die aus Basiswerten abgeleitet sind. Die zulässigen Werte gelten nicht für Personen mit implantierten Herzschrittmachern.

Zur Begrenzung von Sekundäreffekten darf ein elektrisches Feld von 30 kV/m nicht überschritten werden.

***Tabelle 5.5:*** *Zulässige elektrische Ersatzfeldstärke (Werte aus DGUV Regel 103-013, bisher: BGR B11, Jan. 2006)*

| **Frequenzbereich** | **elektrische Feldstärke in kV/m** | |
|---|---|---|
| **Hz** | **Expositionsbereich 1** | **Bereich erhöhter Exposition 2 Std./Tag** |
| 0 bis 35,53 | 30 | 30 |
| 35,53 bis 66,67 | 1 066/(f/Hz) | 30 |
| 66,67 bis 1 000 | 1 066/(f/Hz) | 2 000/(f/Hz) |
| 1 000 bis 29 000 | 1,066 | 2 |
| 29 bis 48,5* | 1,066 | 2 |
| 48,5 bis 91* | 1,066 | 97/(f/Hz) |

* Die Festlegungen für diesen Frequenzbereich berücksichtigen den Übergang von niederfrequenten Reizwirkungen zu hochfrequenten Wärmewirkungen.

***Tabelle 5.6:*** *Zulässige magnetische Flussdichte (Werte aus DGUV Regel 103-013, bisher: BGR B11, Jan. 2006)*

| Frequenzbereich | magnetische Flussdichte* in mT | |
|---|---|---|
| Hz | Expositionsbereich 1 | Bereich erhöhter Exposition |
| 0 bis 1 | 67,9** | 127,3** |
| 1 bis 1 000 | 67,9/(f/Hz) | 127,3/(f/Hz) |
| 1 bis 29 000 | $67{,}9 \cdot 10^{-3}$ | $127{,}3 \cdot 10^{-3}$ |
| 29 bis 48,5*** | $67{,}9 \cdot 10^{-3}$ | $127{,}3 \cdot 10^{-3}$ |
| 48,5 bis 91*** | $67{,}9 \cdot 10^{-3}$ | $6\,176 \cdot 10^{-3}$/(f/Hz) |

* über Flächenelemente von 100 $cm^2$ zu ermitteln
** unter Beachtung § 14 DGUV Regel 103-013, bisher: BGR B11 (Nachdruck Jan. 2006)
*** Die Festlegungen für diesen Frequenzbereich berücksichtigen den Übergang von niederfrequenten Reizwirkungen zu hochfrequenten Wärmewirkungen.

***Tabelle 5.7:*** *Zulässige elektrische Ersatzfeldstärke und magnetische Flussdichte im Expositionsbereich 2 (Werte aus DGUV Regel 103-013, bisher: BGR B11, Jan. 2006)*

| Frequenzbereich Hz | elektrische Feldstärke kV/m | magnetische Flussdichte mT |
|---|---|---|
| 0 bis 1 | 20 | 21,22 |
| 1 bis 16,7 | 20 | 21,22/(f/Hz) |
| 16,7 bis 1 000 | 333,3/(f/Hz) | 21,22/(f/Hz) |
| 1 000 bis 29 000 | $333{,}3 \cdot 10^{-3}$ | $21{,}22 \cdot 10^{-3}$ |
| 29 bis 91* | $333{,}3 \cdot 10^{-3}$ | $21{,}22 \cdot 10^{-3}$ |

* Die Festlegungen für diesen Frequenzbereich berücksichtigen den Übergang von niederfrequenten Reizwirkungen zu hochfrequenten Wärmewirkungen.

Grundlegende Verhaltensweisen, das Risiko von Schäden durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder so gering wie möglich zu halten, sind

- das Vermeiden von unnötigen Aufenthalten z. B. unter Hochspannungsleitungen oder in der unmittelbaren Nähe von stromstarken elektrischen Betriebsmitteln, wie Transformatoren und Verteilern,
- das Halten von Abstand, da die Wirkung der Felder durch Vergrößern des Abstands überproportional abnimmt.

## 5.2 Schutzmaßnahmen

Mit Inkrafttreten des neuen Teils 410 der VDE 0100 im Juni 2007 änderten sich wichtige Begriffe.

Vorher hieß es: *Schutz gegen elektrischen Schlag unter normalen Bedingungen (Schutz gegen direktes Berühren oder Basisschutz) und Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen (Schutz bei indirektem Berühren oder Fehlerschutz).*

Nun heißt es: *Schutz gegen elektrischen Schlag, einschließlich Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren)* und *Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren).* Es brauchen nur die Begriffe *Basisschutz* und *Fehlerschutz* verwendet werden und nicht die Klammerausdrücke dazu. Die Klammerausdrücke *Schutz gegen direktes Berühren und bei indirektem Berühren* geben die seit Jahrzehnten bis zum Inkrafttreten von VDE 0100-410 im Juni 2007 verwendeten Begriffe wieder. In VDE 0100-410:1997-01, die nun mit der Ausgabe von Juni 2007 abgelöst worden ist, waren die Begriffe *Basis-* und *Fehlerschutz* in Klammern gesetzt. Damit war die Angleichung an die international verwendeten Begriffe erfolgt.

Nach VDE 0140-1 werden an den Schutz gegen elektrischen Schlag folgende zwei grundsätzlichen Anforderungen gestellt: *gefährliche aktive Teile* (z. B. Anschlussklemmen eines elektrischen Betriebsmittels, blanke Ader eines Leiters) dürfen *nicht* berührbar sein und *berührbare leitfähige Teile* (z. B. Gehäuse (Körper) eines elektrischen Betriebsmittels) dürfen sowohl unter normalen Bedingungen (bestimmungsgemäße Verwendung ohne Fehler) als auch unter Berücksichtigung von Einzelfehlern (Einzelfehlerbedingungen) *nicht gefährlich aktiv* sein. Unter einem *gefährlich aktiven Teil* versteht man ein Teil, von dem ein *schädlicher elektrischer Schlag* ausgehen kann. Die Anforderung an die Berührbarkeit gefährlicher aktiver Teile kann für Laien sowie für Elektrofachkräfte und unterwiesene Personen unterschiedlich sein. Der Schutz unter normalen Bedingungen wird durch den *Basisschutz* und unter Einzelfehlerbedingungen durch den *Fehlerschutz* erreicht.

Eine Maßnahme zum Schutz gegen elektrischen Schlag muss aus einer geeigneten Kombination aus Basisschutz und Fehlerschutz oder aus einer sogenannten *verstärkten Schutzvorkehrung*, die den Basisschutz *und* den Fehlerschutz bewirkt, z. B. verstärkte Isolierung (s. u.), bestehen. Der Begriff *Schutzvorkehrung* zieht sich wie ein roter Faden durch die Norm VDE 0100-410, ist aber kein Begriff nach VDE 0100-200. Nach VDE 0140-1:2007-03 werden unter Schutzvorkehrungen Bestandteile der Schutzmaßnahmen verstanden. Anders ausgedrückt kann man unter Schutzvorkehrung die Durchführung oder Ausführung einer Schutzmaßnahme oder die Einzelmaßnahme einer Schutzmaßnahme verstehen.

Folgende Schutzmaßnahmen sind erlaubt:

- Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung (s. Abschn. 5.6). Dies ist die in elektrischen Anlagen am häufigsten angewendete Schutzmaßnahme;
- Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung (s. Abschn. 5.7),
- Schutz durch Schutztrennung für die Versorgung eines einzigen Verbrauchsmittels (s. Abschn. 5.8),
- Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV (s. Abschn. 5.9).

Die speziellen *Schutzvorkehrungen* – nicht Schutzmaßnahmen genannt –

- Schutz durch nicht leitende Umgebung (s. Abschn. 5.10.1),
- Schutz durch erdfreien örtlichen Schutzpotenzialausgleich (s. Abschn. 5.10.2),
- Schutz durch Schutztrennung für die Versorgung von mehr als einem Verbrauchsmittel (s. Abschn. 5.10.3),
- Schutz durch Hindernisse (s. Abschn. 5.3.2.1) und
- Schutz durch Anordnung außerhalb des Handbereichs (s. Abschn. 5.3.2.2)

dürfen nur unter bestimmten Bedingungen in Anlagen angewendet werden.

## 5.3 Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren)

Als Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) gelten alle Maßnahmen zum Schutz von Personen und Nutztieren vor Gefahren, die sich aus einer Berührung aktiver Teile elektrischer Betriebsmittel ergeben. *Aktive Teile* sind Leiter und leitfähige Teile der Betriebsmittel, die unter normalen Betriebsbedingungen unter Spannung stehen. Das sind z. B. die Außenleiter und der Neutralleiter, nicht aber der PEN-Leiter und die mit diesem in leitender Verbindung stehenden Teile.

Der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) ist – unabhängig von der Spannungshöhe – in jedem Teil einer Starkstromanlage und bei jedem elektrischen Betriebsmittel notwendig. Ausnahmen sind unter bestimmten Voraussetzungen bei Schutz durch Kleinspannung erlaubt (s. Abschn. 5.9).

Der Schutz kann durch Basisisolierung aktiver Teile (Isolierung), Abdeckung, Umhüllung, Hindernisse oder Anordnung außerhalb des Handbereichs (Abstand) erreicht werden. Er kann absichtliches Berühren nicht immer ausschließen. So sind z. B. die aktiven Teile von Glühlampen und Schraubsicherungen wohl gegen direktes Berühren geschützt, aber beim Auswechseln der Lampen oder Sicherungen können aktive Teile durchaus absichtlich berührt werden.

Bei Schweißeinrichtungen, Glüh- und Schmelzöfen sowie elektrochemischen Anlagen kann von einem Berührungsschutz abgesehen werden, wenn dieser aus Betriebsgründen nicht durchführbar ist. In diesem Fall ist der Schutz durch isolierende Fußbekleidung oder isoliertes Werkzeug zu gewährleisten. Es ist ein Warnzeichen nach der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A1.3 (Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung) bzw. der noch geltenden DIN 4844-2 (... Registrierte Sicherheitszeichen) anzubringen.

Die Basisisolierung aktiver Teile und Abdeckungen oder Umhüllen sind ein *Basisschutz unter normalen Bedingungen.* Hindernisse und Anordnung außerhalb des Handbereichs (Abstand) sind ein *Basisschutz unter besonderen Bedingungen.*

## 5.3.1 Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) unter normalen Bedingungen

### 5.3.1.1 Basisisolierung aktiver Teile

Durch Isolierung kann ein vollständiger und zuverlässiger Schutz erzielt werden. Um den grundlegenden Schutz gegen elektrischen Schlag zu gewährleisten, reicht die *Basisisolierung* von aktiven Teilen (frühere Bezeichnung: Schutz durch Isolierung von aktiven Teilen) aus. Somit erfüllt eine einfache Aderisolierung, die Betriebsisolierung oder ein Isolierband die Anforderungen. Im Zweifelsfall kann der Nachweis durch Anlegen einer Prüfspannung von AC 1 500 V während 1 min erbracht werden.

Farben, Lacke u. dgl. sind jedoch für sich allein kein ausreichender Schutz gegen direktes Berühren. Die Isolierung muss die aktiven Teile vollständig umgeben, sie darf nur durch Zerstören entfernt werden können. Bei fabrikfertigen Betriebsmitteln muss die Isolierung den einschlägigen Normen genügen. Ist mit mechanischen, thermischen oder chemischen Beanspruchungen zu rechnen, so muss die Isolierung diesen dauerhaft standhalten.

### 5.3.1.2 Abdeckungen oder Umhüllungen

Durch Abdeckungen oder Umhüllungen (bisher genannt: Schutz durch Abdeckungen oder Umhüllungen) muss mindestens ein vollständiger Schutz gegen direktes Berühren aktiver Teile mit den Fingern sichergestellt werden. Es muss also mindestens die Schutzart IP2X oder IPXXB gegeben sein. Ausgenommen hiervon sind Betriebsmittel, die entsprechend den Gerätebestimmungen größere Öffnungen haben dürfen, z. B. Geräte mit glühenden Heizdrähten, deren Berührungsschutz mit einem 3 cm dicken Prüffinger nach VDE 0470-2 Abschn. 6.2.4 (Prüfsonde 41) nachzuweisen ist. Weitere Ausnahmen bestehen, wenn nur beim Auswechseln von

Teilen größere Öffnungen entstehen, z. B. bei Lampenfassungen und Schraubsicherungen. Haben Personen, z. B. Kinder, denen grundsätzlich nicht bewusst ist, dass z. B. Lampenfassungen ohne eingeschraubte Lampen oder Öffnungen von Steckdosen eine Gefahr bedeuten, Zugriff zu solchen größeren Öffnungen, so sollten diese Bereiche nicht leicht zugänglich sein oder Steckdosen mit Kindersicherungen versehen werden.

Obere horizontale Flächen von Abdeckungen oder Umhüllungen von Betriebsmitteln, die leicht zugänglich sind, müssen mindestens der Schutzart IP4X (Eindringen fester Fremdkörper über 1 mm Durchmesser ist verhindert) oder IPXXD (Schutz gegen Berühren mit Draht über 1 mm Durchmesser und über 100 mm Länge) entsprechen. Obere horizontale Flächen mit geringerer Schutzart, z. B. bei Installationsverteilern oder Zählerplätzen, die nach der Norm geringere Schutzarten aufweisen (IP2X, IP3X, IP3XC), sind daher so anzuordnen, dass sie nicht leicht zugänglich sind.

Die Abdeckungen und Umhüllungen müssen sicher befestigt sein und eine ausreichende Festigkeit haben. Wenn sie leitfähig sind, ist darauf zu achten, dass auch bei mechanischer Beanspruchung der Abstand zu den aktiven Teilen ausreichend bleibt. Abdeckungen und Umhüllungen, die den Schutz gegen direktes Berühren sicherstellen, dürfen nur mit Schlüssel oder Werkzeug entfernt oder geöffnet werden können. Ist ein Öffnen erst nach Ausschalten der Spannung möglich, z. B. wenn sich eine Schaltanlage erst nach dem Ausschalten des Hauptschalters öffnen lässt, dann gilt diese Forderung nicht, wobei ein Wiedereinschalten erst nach dem Wiederverschluss möglich sein darf.

Die Forderung, den Schutz durch Abdeckung oder Umhüllung nur durch Schlüssel oder Werkzeug aufzuheben, beruht auf dem Grundsatz der VDE-Bestimmungen, nach dem nur Elektrofachkräfte und elektrotechnisch unterwiesene Personen elektrische Anlagen und Betriebsmittel mithilfe von Werkzeug oder Schlüssel öffnen dürfen. Dem Laien sind nur Eingriffe erlaubt, für die kein Werkzeug erforderlich ist, z. B. das Wechseln von Lampen.

Wenn sich hinter den Abdeckungen Betätigungselemente, z. B. Schalter, Überstromschutzeinrichtungen, Meldelampen, verstellbare Potenziometer, in der Nähe berührungsgefährlicher aktiver Teile befinden, ist VDE 0660-514 zu beachten (s. Abschn. 7.6.8).

## 5.3.2 Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) unter besonderen Bedingungen

Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) unter besonderen Bedingungen ist der Schutz durch Hindernisse und Anordnung außerhalb des Handbereichs (frühere Bezeichnung: „Schutz durch Abstand") darf nur in elektrischen Betriebsstätten (s. Abschn. 14.12) und in Anlagen angewendet werden, zu denen ausschließlich Elektrofachkräfte, elektrisch unterwiesene Personen oder Personen, die von Elektrofachkräften oder elektrotechnisch unterwiesenen Personen beaufsichtigt werden, Zugang haben.

### 5.3.2.1 Hindernisse

Neben Abdeckungen und Umhüllungen können auch Hindernisse einen zumindest teilweisen Schutz gegen direktes Berühren bewirken. Hindernisse müssen eine unbeabsichtigte Annäherung an aktive Teile verhindern, z. B. durch Schutzleisten, Geländer oder Gitterwände. Sie dürfen ohne Schlüssel oder Werkzeug abnehmbar sein. Um ein unbeabsichtigtes Entfernen zu vermeiden, sind die Hindernisse durch Bügel, Klinken o. dgl. zu sichern. Leisten, Ketten, Geländer und Seile sollten auffällig gelb-schwarz oder rot-weiß gekennzeichnet sein. Sie sind in einer Höhe von 1,1...1,3 m über der Zugangsebene und in einem Mindestabstand von 0,2 m von den aktiven Teilen anzubringen.

### 5.3.2.2 Anordnung außerhalb des Handbereichs

Der Berührungsschutz durch Anordnung außerhalb des Handbereichs (frühere Bezeichnung: Schutz durch Abstand) ist am weitesten im Freileitungsbau verbreitet. Die diesbezüglichen Anforderungen sind in VDE 0210-10 und VDE 0211 festgelegt. Für sonstige Niederspannungsanlagen (Starkstromanlagen bis 1 000 V) enthält VDE 0100-410 Anforderungen an den Schutz durch Abstand. Danach darf diese Schutzmaßnahme nur dort angewendet werden, wo die entsprechenden Normen dies ausdrücklich gestatten, z. B. in abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten. Die berührbaren aktiven Teile müssen sich außerhalb des Handbereichs befinden, sofern sie nicht hinter einem Hindernis angeordnet sind (s. Abschn. 5.3.2.1). Dieses Hindernis in horizontaler Richtung (z. B. ein Maschengitter) muss aber mindestens die Schutzart IP2X (Eindringen fester Fremdkörper über 12,5 mm Durchmesser verhindert) oder IPXXB (Schutz gegen Berühren mit dem Finger) haben. Sonst beginnt der Handbereich ab diesen Hindernis. Der *Handbereich* ist der Bereich, dessen Grenzen mit der Hand ohne besondere Hilfsmittel von der Standfläche üblicherweise betretener Stellen aus erreicht werden können (**Bild 5.5**).

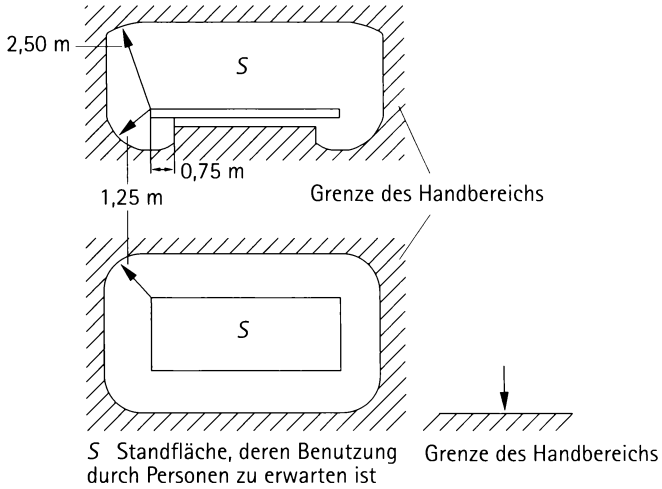



***Bild 5.5:*** *Handbereich (Quelle: VDE 0100-410:2007-06, Bild B.1)*

Im Handbereich dürfen sich aktive Teile gleichen Potenzials befinden, wenn sie von aktiven Teilen anderen Potenzials und von fremden leitfähigen Teilen (Fußboden, Wände) mindestens 2,5 m entfernt sind. Werden üblicherweise sperrige oder lange leitfähige Gegenstände in der Nähe der aktiven Teile gehandhabt, dann müssen die Abstände vergrößert oder geeignete Hindernisse angebracht werden.

## 5.4 Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren)

Als Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) sind i. Allg. Maßnahmen mit Schutzleiter erforderlich, die einen Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung gewährleisten. Daneben können für den Fehlerschutz in jeder elektrischen Anlage die Schutzmaßnahme *doppelte oder verstärkte Isolierung* (frühere Bezeichnung: „Schutz durch Verwenden von Betriebsmitteln der Schutzklasse II oder durch gleichwertige Isolierung", davor: „Schutzisolierung"), *Schutz durch Schutztrennung für die Versorgung eines* (einzigen) *Verbrauchsmittels* (bisher nur „Schutztrennung") oder *Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV* (früher: Schutzkleinspannung) angewendet werden.

## 5.5 Auswahl der Schutzmaßnahmen

Der Schutz durch automatisches Abschalten erfordert die Koordinierung von Verteilungssystem und Schutzeinrichtung. In der Praxis findet man drei Verteilungssysteme: das TN-System, das TT-System und das IT-System (s. Abschn. 5.6.1). Wenn die Anlage einen Transformator enthält, können zunächst alle Verteilungssysteme aufgebaut werden. Wird die Anlage niederspannungsseitig von einem Netzbetreiber versorgt, dann hat der Planer oder Errichter der elektrischen Anlage dessen Technische Anschlussbedingungen (TAB) zu beachten. In diesen könnte das TT-System vorgegeben sein. Damit scheiden Schutzmaßnahmen des TN- und IT-Systems aus. Dagegen sind alle noch verbleibenden Schutzmaßnahmen im TT-System sowie die Schutzmaßnahmen ohne Schutzleiter, z. B. durch die Schutzmaßnahme „doppelte und verstärkte Isolierung" (bisher: Verwendung von Betriebsmitteln der Schutzklasse II; frühere Bezeichnung: „Schutzisolierung"), Schutz durch Kleinspannung SELV und PELV, Schutztrennung – entweder nach dem freien Ermessen der verantwortlichen Elektrofachkraft oder aber zwingend nach den VDE-Bestimmungen oder Unfallverhütungsvorschriften (ggf. der Technischen Regeln für Betriebssicherheit) – ebenfalls möglich.

In den VDE-Bestimmungen wird z. B. vorgeschrieben:

- Schutzmaßnahme: *Doppelte und verstärkte Isolierung* (bisher: Schutz durch Verwendung der Schutzklasse II, frühere Bezeichnung: Schutzisolierung) für ortsveränderliche Trenntransformatoren, Spielzeugtransformatoren, Zählertafeln, Kleinverteiler, Handleuchten und für Steckvorrichtungen in landwirtschaftlichen Betriebsstätten sowie in feuchten und nassen Räumen;
- *Schutz durch Kleinspannung SELV* (Schutzkleinspannung) für elektromotorisch angetriebenes Spielzeug (24 V) (Spielzeug-RL 2009/48/EG);
- Schutzmaßnahme: *Doppelte und verstärkte Isolierung* (bisher: Schutz durch Verwendung der Schutzklasse II, frühere Bezeichnung: Schutzisolierung) oder *SELV* (Schutzkleinspannung) für Geräte für Haut- und Haarbehandlung und für Kükenaufzuchtbatterien;
- *SELV* (Schutzkleinspannung) oder *Schutztrennung* für Wechselstromwerkzeuge in engen leitfähigen Räumen, wie Kesseln, und für Handnassschleifmaschinen. Hierunter fallen nicht ortsfeste Nassschleifmaschinen. Eine der beiden Maßnahmen oder Schutz durch Verwendung von Betriebsmitteln der Schutzklasse II (Schutzisolierung) ist auch für Betonmischer anzuwenden, die z. B. über das Wochenende im Eigenbau, also nicht auf einer normalen Baustelle, betrieben werden, für die Abschn. 14.6 gilt.

- *Schutz durch Kleinspannung SELV* (Schutzkleinspannung) für Handleuchten, Fassausleuchten, bewegliche Backofenleuchten in Kesseln, Behältern und ähnlichen engen Räumen aus leitfähigen Stoffen, auch für Leuchten, die z. B. für Instandsetzungs- oder Reinigungsarbeiten in Kesseln o. dgl. vorübergehend ortsfest angebracht und über bewegliche Zuleitungen angeschlossen werden. Diese Bedingungen gelten nicht für die Fertigungsstätten der Herstellerbetriebe.

Für sehr viel mehr Geräte als bisher üblich wird man *Geräte der Schutzklasse II* (früher: Schutzisolierung) finden können. Dies gilt besonders für Geräte, die man beim Betrieb umfasst, z. B. Elektrowerkzeuge und Steckvorrichtungen. Eine zuverlässige Schutzisolierung kommt dem Gedanken des Unfallschutzes am nächsten.

In *medizinisch genutzten Räumen* sind nach VDE 0100-710 als Schutzmaßnahmen zulässig (s. Abschn. 14.10.5):

- Schutz durch Verwendung von Betriebsmitteln der Schutzklasse II (Schutzisolierung),
- SELV (Schutzkleinspannung) sowie PELV mit maximal AC 25 V oder DC 60 V,
- Schutztrennung mit einem Verbrauchsmittel,
- IT-System,
- Schutz durch automatisches Abschalten der Stromversorgung, wobei beim IT-System der erste Fehler durch eine Isolationsüberwachungseinrichtung angezeigt werden muss und beim TN- und TT-System netzspannungsunabhängige Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) einzusetzen sind. Die zulässige Berührungsspannung $U_L$ darf in allen drei Netzsystemen AC 25 V oder DC 60 V nicht überschreiten.

Das *TN-System mit Überstromschutzeinrichtung* empfiehlt sich durch seine Einfachheit. Ein weiterer, sehr bedeutender Vorteil dieser Schutzmaßnahme besteht darin, dass die Spannung eines Außenleiters gegen Erde bei sattem Körperschluss auf etwa die Hälfte, also z. B. von 230 V auf etwa 110 V, gesenkt wird. Dies vermindert nach schwedischen Untersuchungen die Unfallgefahr allein schon auf weniger als ein Viertel. Weitere Vorteile dieser Schutzmaßnahme liegen darin, dass

- sie bei geringem Aufwand für alle Gerätebemessungsleistungen und für alle Netzkurzschlussleistungen anwendbar ist,
- zumindest Schmelzsicherungen und Leitungsschutzschalter wartungsfrei sind und ein sehr hohes Maß an Zuverlässigkeit haben,
- bei Versagen der Schutzeinrichtung in der Regel die vorgeschaltete Einrichtung im Fehlerfall auch noch abschaltet,

- keine Probleme hinsichtlich Selektivität, atmosphärischer Stromspitzen und Oberschwingungen oder Gleichstromanteilen bestehen,
- der durch eine Schutzeinrichtung geschützte Stromkreis klein und übersichtlich sein kann.

Der Vorteil der *Schutzmaßnahme mit Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD)* liegt im niedrigen Bemessungsauslösestrom und in den extrem kurzen Abschaltzeiten. Diese Strom-Zeit-Werte können so niedrig liegen (z. B. < 30 mA, 0,1 s), dass sie selbst als Körperstrom für den Menschen in aller Regel ungefährlich sind. Gleichzeitig werden dadurch Erdschlüsse unverzüglich abgeschaltet und damit ein vorzüglicher Brandschutz gewährleistet. Auch der Tierschutz ist nur auf diese Weise möglich. Darüber hinaus wird sogar ein Schutz bei Schutzleiterunterbrechungen, bei Schutzleiterverwechslungen und bei Isolationsfehlern in Betriebsmitteln mit doppelter oder verstärkter Isolierung (Betriebsmitteln der Schutzklasse II) erreicht. Insbesondere in Räumen mit Badewanne, in landwirtschaftlichen und Baubetrieben sowie in nassen und feuergefährdeten Betriebsstätten, im Freien, in fliegenden Bauten, auf Campingplätzen und in allen sonstigen besonders gefährdeten Anlagen empfiehlt sich die Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) im TT- oder TN-System, möglichst mit einem Bemessungsfehlerstrom ≤ 30 mA, oder sie ist sogar zwingend vorgeschrieben.

Die *Wirksamkeit* der Schutzmaßnahmen mit Überstromschutzeinrichtungen hängt von der Sorgfalt bei der Errichtung und der erstmaligen Prüfung, die mit Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) von der dauernden Funktionstüchtigkeit der Fehlerstromschutzeinrichtung – auch ohne regelmäßige Überwachung – ab.

Bei besonderer Gewittergefährdung in Freileitungsnetzen und bei automatisch arbeitenden Anlagen, wie Intensivbetrieben, Tiefkühltruhen, Verkehrssignalen und Straßenbeleuchtungen, sollte man kurzverzögerte Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs), sog. *selektive Fehlerstromschutzeinrichtungen*, verwenden.

Wie immer auch entschieden wird – stets möge sich die verantwortliche Elektrofachkraft die sehr alte VDE-Grundregel vor Augen halten: Zusätzliche Schutzmaßnahmen sind nur eine Notbremse, die natürlich in Ordnung sein muss. Am wichtigsten aber sind die Verwendung normgerecht hergestellter Betriebsmittel, die auch eine ausreichende Qualität besitzen, eine gewissenhafte, sorgfältige Installation sowie eine regelmäßige Instandhaltung und Überwachung der elektrischen Anlage durch Fachkräfte.

Die Schutzmaßnahmen werden durch den *Schutzpotenzialausgleich* (Abschn. 5.6.11) wirkungsvoll unterstützt.

Bei *Gleichstrom* sind ebenfalls Schutzmaßnahmen erforderlich. In Betracht kommen alle genannten Schutzmaßnahmen mit Ausnahme der netzspannungsabhängi-

gen Fehlerstromschutzeinrichtungen. Überstromschutzeinrichtungen können in Gleichstrom- wie in Wechselstromnetzen verwendet werden. Leitungsschutzschalter (VDE 0641-11 und -12) und Leistungsschalter (VDE 0660-101) müssen jedoch für Gleichstrom geeignet sein.

## 5.6 Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung

Der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) wird bei Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung durch eine Basisisolierung der aktiven Teile (s. Abschn. 5.3.1.1) oder durch Abdeckung oder Umhüllungen (s. Abschn. 5.3.1.2) verwirklicht. Alle elektrischen Betriebsmittel müssen diesen Basisschutz besitzen. Bei Bereichen, die nur von Elektrofachkräften oder von sog. elektrotechnisch unterwiesenen Personen betrieben oder überwacht oder auch nur betreten werden (z. B. abgeschlossene elektrische Betriebsstätten (s. Abschn. 14.12.2)), kann als Basisschutz auch der Schutz durch Hindernisse oder Schutz durch Abstand angewendet werden.

Der Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) wird durch *Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene* (frühere Bezeichnung: Hauptpotenzialausgleich) und automatische Abschaltung im Fehlerfall verwirklicht. Dazu müssen alle Körper von elektrischen Betriebsmitteln mit einem Schutzleiter verbunden werden. Diese Erdung über den Schutzleiter bezeichnet man mit Inkrafttreten der VDE 0100-410:2007-06 als *Schutzerdung*. Der Begriff wird einigen älteren Lesern bekannt vorkommen. So wurde bis zum Inkrafttreten der VDE 0100-410:1983-11 die Schutzmaßnahme „Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung im TT-System" bezeichnet. Der hier „neue" Begriff Schutzerdung steht also nicht im Zusammenhang mit der früher so bezeichneten Schutzmaßnahme Schutzerdung. Deshalb sollte statt des neuen Begriffs *Schutzerdung* besser *Erdung über den Schutzleiter* gesagt werden [1].

Gleichzeitig berührbare Körper müssen mit demselben Erdungssystem einzeln, in Gruppen oder gemeinsam verbunden werden. Die Schutzerdungsleiter (Schutzleiter) müssen den Anforderungen entsprechen, wie sie in Abschn. 5.6.8 beschrieben sind. Für jeden Stromkreis muss ein Schutzleiter vorhanden sein, der durch Anschluss an die diesem Stromkreis zugeordnete Erdungsklemme oder Erdungsschiene geerdet ist. Darüber hinaus müssen in jedem Gebäude der Erdungsleiter und die leitfähigen Teile über die Haupterdungsschiene zum Schutzpotenzialausgleich verbunden werden. Der Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene (frühere Bezeichnung: Hauptpotenzialausgleich) ist in Abschn. 5.6.11.1 beschrieben.

Beim automatischen Abschalten im Fehlerfall muss eine Schutzeinrichtung im Falle eines Fehlers vernachlässigbarer Impedanz zwischen dem Außenleiter und einem Körper oder einem Schutzleiter des Stromkreises oder einem Schutzleiter des Betriebsmittels die Stromversorgung zu dem Außenleiter eines Stromkreises oder dem Betriebsmittel in einer bestimmten maximalen Abschaltzeit automatisch unterbrechen (s. Abschn. 5.6.2 bis 4).

Wenn im Falle eines Fehlers, d. h. bei Berührung eines aktiven Leiters mit dem Schutzleiter oder mit Erde, bei einer Nennspannung des Netzes über AC 50 V oder DC 120 V die Ausgangsspannung der Stromquelle innerhalb einer der Zeiten wie sie in den Tabellen 5.8 und 5.9 (TN-System) und 5.15 (TT-System) genannt sind, auf AC 50 V oder DC 120 V oder weniger absinkt oder auch begrenzt wird, ist die automatische Abschaltung nicht erforderlich. Allerdings nur aus Gründen des Schutzes gegen elektrischen Schlag; geforderte Abschaltzeiten z. B. für den Überstromschutz müssen natürlich beachtet werden. Solch ein Absinken oder Begrenzen der Spannung kann z. B. bei Verbrauchsmitteln auftreten, die durch einen Umrichter mit Strombegrenzung gespeist werden.

### 5.6.1 Versorgungssystem nach Art der Erdverbindung

VDE 0100-100

Zur einheitlichen Beschreibung elektrischer Versorgungsnetze im Hinblick auf deren sicherheitstechnische Konzeption und die Auswahl der Schutzmaßnahmen dienen die in VDE 0100-100 (seit Juni 2009), vorher in VDE 0100-300 (zurückgezogen: Juni 2009) aufgeführten Arten von Verteilungssystemen. Mit Inkrafttreten von VDE 0100-100:2009-06 wurden auch Gleichstromsysteme nach Art der Erdverbindung aufgenommen. Bei TN- und TT-Wechselstromsystemen werden nun Einfach- und Mehrfacheinspeisungen unterschieden. Im Folgenden werden die Versorgungssysteme nach Art der Erdverbindung nur für die im Verteilungsbereich gängigen Wechselstromsysteme mit Einfacheinspeisungen dargestellt und beschrieben:

- TN-System,
- TT-System,
- IT-System.

Der *1. Buchstabe* bezieht sich dabei auf die Erdungsverhältnisse des Stromversorgungssystems. So bedeutet „T" eine direkte Verbindung eines Netzpunkts mit der Erde (Betriebserdung). „I" steht entweder dafür, dass alle aktiven Teile von Erde getrennt („isoliert") sind oder dass ein Punkt über eine hohe Impedanz mit Erde verbunden ist, z. B. über eine Isolationsüberwachungseinrichtung.

Der *2. Buchstabe* kennzeichnet die Beziehung der Körper von elektrischen Betriebsmitteln der elektrischen Anlage zur Erde. Werden die Körper direkt geerdet, so steht hierfür das „T". Dies ist unabhängig von der etwa bestehenden Erdung eines Punkts des Versorgungssystems. Werden die Körper direkt elektrisch mit dem geerdeten Punkt des Stromversorgungssystems verbunden, so dient zur Kennzeichnung des Versorgungsystems das „N". In Wechselstromsystemen ist der geerdete Punkt des Stromversorgungssystems im Allgemeinen der Sternpunkt. Weiteren Buchstabe (S und C) werden im TN-System verwendet. Sie beschreiben die Anordnung des Neutralleiters (N) und des Schutzleiters (PE).

In TN-Systemen ist ein Punkt, meist der Sternpunkt, direkt geerdet (Betriebserdung). Falls keine Sternpunkt vorhanden ist, kann ein Außenleiter geerdet werden. Die Körper der elektrischen Anlage sind über Schutzleiter bzw. PEN-Leiter mit diesem Punkt verbunden (früher: „Nullungsnetz").

Nach der Anordnung der Neutralleiter und der Schutzleiter sind drei Arten von TN-Systemen zu unterscheiden:

- *TN-S-System:* Im gesamtem System wird ein getrennter Schutzleiter angewendet (früher: „moderne Nullung").
- *TN-C-System:* Im gesamtem System sind die Funktionen des Neutralleiters und des Schutzleiters in einem einzigen Leiter, dem PEN-Leiter, kombiniert (früher: „klassische Nullung").
- *TN-C-S-System* (**Bild 5.6**): In einem Teil des Systems sind die Funktionen des Neutralleiters und des Schutzleiters in einem einzigen Leiter kombiniert (PEN), im anderen Teil getrennt (PE + N).

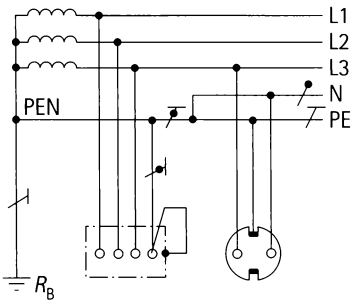



***Bild 5.6:*** *TN-C-S-System*

Das TN-C-S-System ist das TN-System, das in der Praxis wohl am häufigsten vorgefunden wird. In dem Teil des Verteilungssystems, in dem Querschnitte von

10 mm² Cu und größer verwendet werden, sind Neutral- und Schutzleiter in einem PEN-Leiter zusammengefasst, bei Querschnitten unter 10 mm² Cu sind sie aufgeteilt. In Sonderfällen, z. B. in Krankenhäusern, kann unabhängig vom Querschnitt ein TN-S-System erforderlich sein.

Inzwischen in die Normung der VDE-Reihe 0100 aufgenommene Gleichstromversorgungssysteme können mit einer Gleichstromquelle und zwei Außenleitern (L+ und L–) oder mit zwei in Reihe geschalteten Gleichstromquellen, ebenfalls zwei Außenleitern (L+ und L–) und einem zwischen den Gleichstromquellen herausgeführten *Mittelleiter* (M) gespeist werden.

Ebenso wie bei einem Dreiphasen-Wechselstromsystem (Drehstromsystem) kann in einem Gleichstromsystem (DC) ein TN-System gebildet werden, indem entweder einer der Außenleiter (z. B. L–) oder der Mittelleiter (M) am Beginn der elektrischen Verteilungsanlage geerdet wird (Erdung des Systems). Je nachdem wie der jeweils geerdete Leiter behandelt wird – getrennte Weiterführung als Außenleiter (L)/Mittelleiter (M) und Schutzleiter (PE) oder gemeinsame Weiterführung als PEL/PEM (s. Kap. 2) – kann, wie im Drehstromsystem, ein TN-C, TN-S oder ein TN-C-S-System gebildet werden. Im Gleichstromsystem wird an die jeweilige Bezeichnung noch die entsprechende Abkürzung DC angehängt. Daraus ergeben sich folgende Möglichkeiten:

TN-S-DC-System:

- Ein Außenleiter (z. B. L-) wird geerdet und z. B. vom Haupterdungspunkt werden der geerdete Außenleiter und der Schutzleiter (PE) getrennt geführt (3-Leiter-System mit L+, L– und PE);
- der *Mittelleiter* (M) wird geerdet und z. B. vom Haupterdungspunkt werden der geerdete Mittelleiter und der Schutzleiter (PE) getrennt geführt (4-Leiter-System mit L+, L–, M und PE).

TN-C-DC-System:

- Ein Außenleiter (z. B. L–) wird geerdet und z. B. vom Haupterdungspunkt wird der geerdete Außenleiter in einem einzigen Leiter als PEL geführt (2-Leiter-System mit L+ oder L– und PEL);
- der *Mittelleiter* (M) wird geerdet und z. B. vom Haupterdungspunkt wird der geerdete Mittelleiter in einem einzigen Leiter als PEM geführt (3-Leiter-System mit L+, L– und PEM).

Abhängig davon, an welcher Stelle des Verteilungssystems der PEL in z. B. L- und PE bzw. der PEM in M und PE aufgeteilt wird, gibt es auch wie beim TN-Drehstromsystem jeweils ein *TN-C-S-DC-System*.

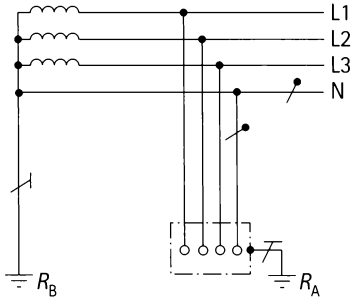



***Bild 5.7:*** *TT-System*

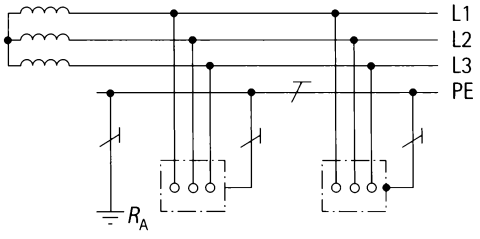



***Bild 5.8:*** *IT-System*

Im *TT-System* (**Bild 5.7**) ist ein Punkt direkt geerdet (Betriebserdung). Die Körper der elektrischen Anlage sind mit Erdern verbunden, die elektrisch vom Erder für die Erdung des Systems unabhängig sind (früher: „Schutzerdung"/„FI-Schutzschaltung").

Im *IT-System* (**Bild 5.8**) sind alle aktiven Teile von Erde getrennt, oder ein Punkt ist über eine Impedanz mit Erde verbunden. Die Körper der elektrischen Anlage sind entweder einzeln oder gemeinsam geerdet oder gemeinsam mit der Erdung des Systems verbunden (früher: „Schutzleitungssystem").

## 5.6.2 TN-System

VDE 0100-410 und -530

Es gibt zwei Arten des TN-Systems:

- Der PEN-Leiter ist gleichzeitig Schutzleiter (TN-C-System).
- Neben dem Neutralleiter wird ein besonderer Schutzleiter mitgeführt (TN-S-System).

In der Praxis findet man meist eine Kombination aus beiden, das TN-C-S-System (Bild 5.6).

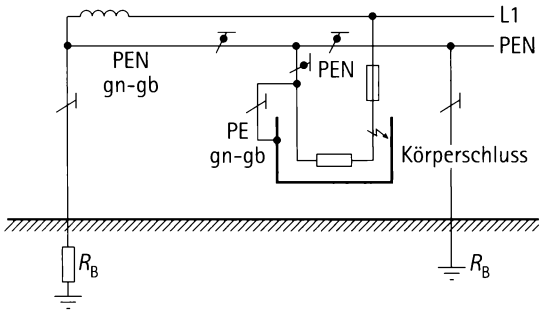



***Bild 5.9:*** *TN-C-System*

Das *TN-C-System* besticht durch seine Einfachheit. Es genügt, an der Schutzkontaktsteckdose vom PEN-Leiter aus ein kurzes Drahtstück zum Schutzkontakt zu führen. Da der PEN-Leiter gleichzeitig dem Betrieb dient (z. B. Beleuchtung), kann seine Unterbrechung beobachtet werden (**Bild 5.9**).

Der entscheidende Nachteil dieser Form ist jedoch die Gefahr, dass bei Unterbrechung sofort das „geschützte" Metallgehäuse (Körper) eines zweipoligen fehlerfreien Verbrauchsmittels unter die volle Spannung gegen Erde gesetzt wird. Da Unterbrechungen insbesondere an allen Klemmstellen möglich und auch schon vorgekommen sind, ist diese Art der Schutzmaßnahmen in Stromkreisen unter 10 $mm^2$ Cu bzw. 16 $mm^2$ Al nicht zulässig. Die Ankündigung der Unterbrechung, etwa durch Stillstand der Waschmaschine, veranlasst den Benutzer geradezu, das Gerät zu berühren, um die Ursache des Versagens zu ergründen.

Das *TN-S-System* hat den Vorteil, dass eine Unterbrechung des Schutzleiters keine Gefahr bringt, dass also nicht der Tod wegen der „Schutzmaßnahme" eintreten kann. Es müssen sich zwei Fehler – Unterbrechung und Körperschluss – ereignen, bevor ein Unfall geschieht. Ein weiterer Vorteil besteht in der gegen Erde isolierten Verlegung des Neutralleiters, sodass der Betriebsstrom seinen Rückweg nicht über Erde wählen kann. Der Schutz gegen Brandgefahr wird dadurch bedeutend erhöht. Schließlich kann eine Verbraucheranlage mit besonderem Schutzleiter auch leicht auf eine andere Schutzmaßnahme, z. B. das TT-System, umgestellt werden.

Wegen dieser eindeutigen Überlegenheit ist das TN-S-System – unabhängig vom Querschnitt – in feuer- und explosionsgefährdeten Betriebsstätten, in medizinisch genutzten Bereichen (s. Abschn. 14.10.3) und in Baulichen Anlagen für Menschenansammlungen (s. Abschn. 14.11.1) vorgeschrieben.

Nach VDE 0800-2-310:2011-05 müssen Schutzleiter (PE) und Potenzialausgleichsleiter eines informationstechnischen (IT) Kabel- und Leitungsnetzes entsprechend den Anforderungen der VDE-Bestimmung 0100-410 (Schutzmaßnahme Schutz

gegen elektrischen Schlag) und VDE 0100-540 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Erdungsanlagen und Schutzleiter) verlegt werden. Darüber hinaus wird für die Errichtung von Niederspannungsanlagen in IT-Netzen auf VDE 0100-444 (Schutz bei Störspannungen und elektromagnetischen Störgrößen) verwiesen, das bedeutet insbesondere, dass in einem Gebäude mit einem informationstechnischen (IT) Kabel- und Leitungsnetz die Anforderungen an das TN-S-System eingehalten werden müssen.

Beim Erweitern bestehender Anlagen, in denen die Schutzmaßnahme ohne besonderen Schutzleiter angewendet ist, muss vom Erweiterungspunkt, z. B. einer Abzweigdose, aus bei Leiterquerschnitten < 10 mm$^2$ die Schutzmaßnahme mit besonderem Schutzleiter nach **Bild 5.10** durchgeführt werden.

Schutzleiter s. Abschn. 5.6.8, Potenzialausgleich s. Abschn. 5.6.11.

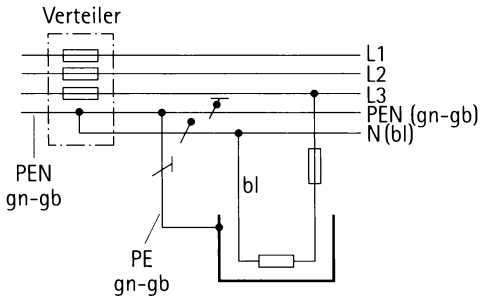



***Bild 5.10:*** *Besonderer Schutzleiter*

### 5.6.2.1 PEN-Leiter

VDE 0100-540 sowie VDE 0100-100, -410, -420, -430, -460, -510, VDE 0197

Die Ausführungen dieses Abschnitts gelten grundsätzlich auch für PEL- und PEM-Leiter (s. Kap. 2).

In *TN-Systemen* darf bei fester Verlegung und einem Leiterquerschnitt von mindestens 10 mm$^2$ Cu oder 16 mm$^2$ Al ein gemeinsamer Leiter (PEN-Leiter) verwendet werden, der die Funktion des Schutzleiters und die des Neutralleiters vereinigt (früher: Nullleiter). VDE 0100-540:2012-06 (Untertitel: Erdungsanlagen und Schutzleiter) spricht statt von „fester Verlegung" von „fest installierten elektrischen Anlagen". Gemeint ist hiermit dasselbe. Der Begriff „feste Verlegung" ist in Verbindung mit einem Leiter – nämlich dem PEN-Leiter – hier treffender.

Der PEN-Leiter ist zu isolieren, damit die Betriebsströme nicht über andere Wege fließen und somit eine Brandgefahr hervorrufen. Die Bemessungsspannung der Isolierung des PEN-Leiters muss der des Außenleiters entsprechen. Er ist ebenso

sorgfältig wie die Außenleiter zu verlegen und mit diesen in gemeinsamer Umhüllung zu führen. Eine Unterbrechung des PEN-Leiters muss mit allen nur denkbaren Mitteln verhindert werden. Deshalb darf in den PEN-Leiter keine Überstromschutzeinrichtung sowie keine Schalt- oder Trenneinrichtung eingesetzt werden. Alle Klemmstellen sind mit allergrößter Sorgfalt herzustellen. Das Unterklemmen zahlreicher Leitungen an eine einzige Klemme ist lebensgefährlich. Im Idealfall sollten die PEN-Leiterverbindungen geschweißt oder mit gesicherten Schrauben hergestellt werden.

Metallene Umhüllungen von Kabeln und Leitungen dürfen *nicht* als PEN-Leiter verwendet werden (konzentrische Leiter sind in diesem Zusammenhang keine Umhüllungen). Ausgenommen sind Stromschienensysteme nach VDE 0604-100 und Schienenverteilersysteme nach VDE 0660-600-6, die zu den Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen zählen (s. Abschn. 7.9).

Auch fremde leitfähige Teile dürfen nicht als PEN-Leiter verwendet werden.

Die Zuordnung eines gemeinsamen PEN-Leiters zu mehreren Stromkreisen ist nicht zulässig. Eine Ausnahme bilden Schienenverteiler, wo mehrere Stromkreise einen gemeinsamen PEN-Leiter haben dürfen, wenn sein Querschnitt dem Summenquerschnitt der Außenleiter angemessen ist.

PEN-Leiter sollten niemals mehr nachträglich verlegt werden. Wenn sich dies als notwendig erwiese, sollte man stets auf das TN-S-System übergehen (s. Kap. 10). Desgleichen sollte man nach Spannungsumstellungen keinen früheren Außenleiter als PEN-Leiter verwenden. Schon wegen der klaren Kennzeichnung sollte dann stets ein besonderer Schutzleiter verlegt werden.

Der *Mindestquerschnitt* des PEN-Leiters beträgt 10 $mm^2$ Cu bzw. 16 $mm^2$ Al. Für die weitere Bemessung sind sowohl die Festlegungen der Mindestquerschnitte für den Schutzleiter als auch die für den Neutralleiter zu beachten. Bei ortsveränderlicher Verlegung ist, unabhängig vom Querschnitt, ein getrennter Neutral- und Schutzleiter erforderlich. Bis zum Inkrafttreten der VDE 0100-540 am 01.06.2007 durfte der Mindestquerschnitt des PEN-Leiters 4 $mm^2$ betragen, wenn es sich um Kabel oder Leitungen mit konzentrischen Leitern gehandelt hat. Voraussetzung war, dass an allen Anschlussstellen und Klemmen im Verlauf der konzentrischen Leiter doppelte Verbindungen vorhanden sind. Diese Ausnahme eines Mindestquerschnitts von 4 $mm^2$ bei konzentrischen Leitern ist seit dem Inkrafttreten von VDE 0100-540:2007-06 nicht mehr zulässig. Alle PEN-Leiter, auch konzentrische Leiter, müssen aus mechanischen Gründen einen Mindestkupferquerschnitt von 10 $mm^2$ haben.

Bei der Einspeisung in Niederspannungsnetze durch Notstromaggregate, bei der Überbrückung von herausgetrennten Teilstücken in Freileitungs- und Kabelnetzen (TN-C-System) oder in ähnlichen Fällen stellt das Verwenden von 4-adrigen

beweglichen Leitungen (Querschnitte ≥ 16 mm$^2$ Cu) mit einer grün-gelb gekennzeichneten Ader keinen Verstoß gegen die sonst geltenden Forderungen nach fester Verlegung des PEN-Leiters dar.

In Verteilern sind die Anschlüsse des PEN-Leiters, z. B. auf einer Schiene, so anzuordnen, dass sie einzeln abgetrennt werden können, wobei ihre Zugehörigkeit zu den einzelnen Stromkreisen eindeutig erkennbar sein muss. Profilschienen dürfen als PEN-Leiter verwendet werden, wenn sie nicht aus Stahl bestehen und nur Klemmen tragen (Querschnitt s. Tabelle 5.22, S. 157). Innerhalb von Schaltanlagen braucht der PEN-Leiter nicht isoliert zu sein.

Wie oben beschrieben, muss bei Leiterquerschnitten < 10 mm$^2$ Cu oder < 16 mm$^2$ Al der PEN-Leiter in Neutralleiter (N) und Schutzleiter (PE) aufgeteilt werden (TN-S-System, s. Abschn. 5.6.1). Aus Gründen der elektromagnetischen Beeinflussung ist in Gebäuden mit umfangreichen informationstechnischen Betriebsmitteln je nach Bestand der Gebäude die Aufteilung des PEN-Leiters in Schutzleiter und Neutralleiter unabhängig vom jeweiligen Leiterquerschnitt vorzunehmen (s. Kap. 10).

Ebenfalls unabhängig vom Leiterquerschnitt muss in Betriebsstätten, Räumen und Anlagen besonderer Art der PEN-Leiter in Neutralleiter (N) und Schutzleiter (PE) aufgeteilt werden (TN-S-System), z. B. in

- feuergefährdeten Betriebsstätten (0100-420; s. Abschn. 14.7),
- landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten (VDE 0100-705; s. Abschn. 14.8),
- Einrichtungen zum Festmachen und Versorgen von Wassersportfahrzeugen mit festem Landeplatz, Anlegestellen, Piers oder Pontonanordnung zum Anlegen von einem oder mehreren Wassersportfahrzeug(en) (Marinas) (VDE 0100-709; s. Abschn. 14.23),
- Ausstellungen, Shows und Ständen (VDE 0100-711),
- vorübergehend errichteten elektrischen Anlagen für Aufbauten, Vergnügungseinrichtungen und Buden auf Kirmesplätzen, Vergnügungsparks und für Zirkusse (VDE 0100-740),
- explosionsgefährdeten Bereichen (VDE 0165-1; s. Abschn. 14.9),
- Bereichen, die durch Stoffe mit explosiven Eigenschaften gefährdet sind (z. B. Sprengstoffe) (VDE V 0166).

Nach dem Auftrennen des PEN-Leiters in Neutralleiter und Schutzleiter ist es nicht zulässig, den Neutralleiter mit irgendeinem anderen geerdeten Teil der Anlage zu verbinden, also auch z. B. nicht wieder mit dem Schutzleiter. Es ist jedoch zulässig, mehrere Neutralleiter und mehrere Schutzleiter vom PEN-Leiter abzuzweigen.

Bis zum Inkrafttreten der Ausgabe Juni 2007 der VDE-Bestimmung 0100-540 *mussten* an der Aufteilungsstelle des PEN-Leiters in Neutral- und Schutzleiter jeweils getrennte Klemmen oder Schienen für den Schutz- und Neutralleiter vorgesehen werden. Nach dem Inkrafttreten von VDE 0100-540 im Juni 2007 (zurückgezogen: 01.06.2012) war dies nicht mehr zwingend notwendig. Es hieß dann, für die Schutz- und Neutralleiter *dürfen* getrennte Klemmen oder Schienen vorgesehen werden. Von dem Grundsatz der „strikten" Trennung von Schutzleiter- und Neutralleiterabzweigen von getrennten Klemmen oder Schienen konnte nun abgewichen werden. Mit Inkrafttreten der neuen Ausgabe im Juni 2012 werden jeweils getrennte Schienen für Schutz- und Neutralleiter gar nicht mehr erwähnt, weder – wie oben beschrieben – als Forderung noch als Möglichkeit, dies zu tun.

Geblieben ist allerdings die generelle Forderung, dass der PEN-Leiter in jedem Fall an die für den Schutzleiter bestimmte Klemme oder Schiene anzuschließen ist. Diese Forderung galt schon in allen Vorgängerausgaben der VDE 0100-540 einschl. der VDE 0100 § 10 von Mai 1973.

In der im Juni 2012 in Kraft getretenen neuen Ausgabe der VDE-Bestimmung 0100-540 sind drei schematische Darstellungen wiedergegeben, die Beispiele für den PEN-Anschluss in einem Hauptverteiler wiedergeben.

In einem von den drei Beispielen wird der „klassische" Fall dargestellt. Der ankommende PEN ist an eine mit „PEN (PE)" bezeichnete Schiene angeschlossen. Bei dieser beispielhaften Darstellung, die einen Hauptverteiler zeigt, zweigen von der im Beispiel bezeichneten „PEN (PE)"-Schiene Schutzleiter (PE) und von der N-Schiene Neutralleiter ab. Von der PEN (PE)-Schiene geht eine Brücke zur N-Schiene. Die abzweigenden PE- bzw. N-Leiter können zu Endstromkreisen gehören, aber auch zu Unterverteilen abzweigen. Ebenso können von der PEN (PE)-Schiene auch noch PEN-Leiter zu Unterverteilern abzweigen, die ein TN-C- oder TN-C-S-System versorgen. Bei einem (Unter)-Verteiler, der nur noch der Versorgung eines TN-S-Systems dient, gäbe es statt der dargestellten „PEN (PE)"-Schiene nur eine Schutzleiterschiene (PE-Schiene), an die der ankommende PEN-Leiter angeschlossen werden müsste.

Von der dargestellten PEN-/PE-Schiene geht eine Brücke zu einer separaten Neutralleiterschiene (N-Schiene). An die Neutralleiterschiene sind abgehende Neutralleiter und an die PEN-/PE-Schiene abgehende Schutzleiter und ein Abzweig zur Haupterdungsschiene angeschlossen. Dies – alleinige Schutzleiterschiene oder erforderlichenfalls eine PEN-/PE-Schiene – sollte auch die grundsätzlich anzuwendende Variante sein. Auf diese schematische Darstellung wird auch im normativen Text der VDE 0100-540:2012-06 verwiesen, nach dem der PEN-Leiter mit der Schiene oder Klemme verbunden werden muss, die für den Schutzleiter vorgesehen ist. Die in der Beispielskizze dargestellte PEN-/PE-Schiene gilt für den Fall eines TN-C-S-

Systems (s. Abschn. 5.6.1), bei dem von dieser PEN-/PE-Schiene außer Schutzleiter auch PEN-Leiter für den TN-C-Teil abzweigen können.

Es besteht zwar die Forderung, dass der PEN-Leiter mit der Schiene oder Klemme verbunden werden muss, die für den Schutzleiter vorgesehen ist. Aber sollte eine spezielle Schiene oder Klemme, die für die Verbindung des PEN-Leiters vorgesehen ist, vorhanden sein, muss der PEN-Leiter an diese angeschlossen werden. Dazu wird in der seit Juni 2012 geltenden Ausgabe VDE 0100-540 ein weiteres Beispiel mit solch einer speziell für den Anschluss des PEN-Leiters vorgesehenen Klemme oder Schiene (PEN-Klemme/-Schiene) gezeigt. Im normativen Text wird auch auf diese bildliche Darstellung einer PEN-Klemme/-Schiene Bezug genommen. Von dieser speziellen PEN-Klemme oder -Schiene ist jeweils eine Verbindung zu einer separaten Schutzleiterschiene (PE) und zu einer separaten Neutralleiterschiene (N) dargestellt. Von der Schutzleiterschiene zweigen Schutzleiter und von der Neutralleiterschiene Neutralleiter ab. Die grundsätzliche Forderung, dass der PEN-Leiter mit der Schutzleiter-Schiene- oder -Klemme verbunden werden muss, wird durch die Brücke zwischen PEN-Klemme/-Schiene und Schutzleiterschiene umgesetzt. Allerdings wird – wie beschrieben – in der erwähnten beispielhaften Darstellung eben auch direkt eine Verbindung bzw. Brücke von der PEN-Klemme/-Schiene zur Neutralleiterschiene gezeigt. Dies verstößt eigentlich gegen den Grundsatz, dass der PEN-Leiter mit der PE-Schiene oder PE-Klemme zu verbinden ist. Diese beispielhafte Darstellung mit spezieller PEN-Klemme bzw. PEN-Schiene bedeutet deswegen eine gewisse „Aufweichung" der bisherigen Sicherheitsphilosophie. So könnte bei einwandfreier Verbindung zwischen PEN-Klemme/-Schiene und Neutralleiter-Schiene und bei gleichzeitigem Fehlen der Verbindung oder ungenügender Verbindung zwischen PEN-Klemme/-Schiene und PE-Schiene dieser Fehler unbemerkt bleiben, da die Neutralleiterfunktion und damit die betriebliche Funktion gegeben wäre. Würde die Neutralleiterschiene statt auch mit der PEN-Klemme/-Schiene, nur mit der Schutzleiterschiene verbunden sein, fiele der Fehler wegen der fehlenden Funktion des Neutralleiters auf. Deswegen wurde immer schon in allen Vorgängernormen und wird auch in der aktuell geltenden Norm – allerdings mit der aufgezeigten möglichen Abweichung – verlangt, dass der ankommende PEN-Leiter grundsätzlich an die PE-Schiene oder -Klemme anzuschließen ist.

In einer dritten Beispieldarstellung wird der ankommende PEN-Leiter an eine mit „PEN" bezeichnete Schiene angeschlossen, die in Klammern zusätzlich auch mit „(N)" (Neutralleiterschiene) bezeichnet wird. Von dieser „PEN-(N)"-Schiene zweigen Neutralleiter ab und es ist eine Brücke zur PE-Schiene dargestellt, von der dann die Schutzleiter abzweigen. Diese Variante, die der bisherigen Sicherheitsphilosophie bei der Behandlung des TN-S-Systems widerspricht, sollte nach Möglichkeit wegen der oben schon angeführten Gründe vermieden werden.

Zusammenfassend ist zu empfehlen, in der Regel die „klassische", in den bisher geltenden Ausgaben der VDE-Bestimmung 0100-540 vorgeschriebene Behandlung des PEN-Leiters nach Aufteilung in Schutzleiter und Neutralleiter anzuwenden. Das bedeutet, der PEN-Leiter wird an die Schutzleiterschiene angeschlossen und eine Brücke von der Schutzleiterschiene zur Neutralleiterschiene gelegt. Gegebenenfalls kann die Schutzleiterschiene gleichzeitig PEN-Schiene sein, z. B. in einem Haupt- oder Unterverteiler, der ein Teil-TN-C-System (TN-C-S-System) zu versorgen hat. Dies ist die beschriebene und in VDE 0100-540:2012-06 Bild 54.1a (Beispiel 1) dargestellte Variante.

Isolierte PEN-Leiter sind durchgehend *grün-gelb* zu kennzeichnen. Zusätzlich sind sie an den Leiterenden mit *blauer* Markierung zu kennzeichnen. Bei Kabeln und Leitungen, die in öffentlichen und damit vergleichbaren anderen Verteilungsnetzen, z. B. in der Industrie, Verteilungsnetzen eingesetzt werden, darf die zusätzliche Markierung an den Leiterenden entfallen. In Anlagen, die bis zum Inkrafttreten des neuen Teils 510 der VDE 0100 am 01.11.1995 errichtet wurden, ist die zusätzliche Kennzeichnung nicht erforderlich. Außerhalb Deutschlands ist es ggf. zulässig, PEN-Leiter umgekehrt durchgehend in ihrem ganzen Verlauf blau und an den Leiterenden mit grün-gelben Markierungen zu kennzeichnen. Bei Installationen außerhalb Deutschlands muss man sich daher ggf. nach den jeweils geltenden nationalen Einschränkungen erkundigen.

In Deutschland ist die durchgehend blaue Kennzeichnung mit grün-gelben Markierungen an den Leiterenden nicht zulässig. Eine Ausnahme ist, wenn in öffentlichen oder damit vergleichbaren Verteilungsnetzen (z. B. in der Industrie) diese von einem TT-System in ein TN-System geändert werden. Ummantelte einadrige Kabel und Leitungen sowie Aderleitungen, die als PEN-Leiter verwendet werden sollen und die es nach Norm nicht mit grün-gelber Isolierung gibt (z. B. bei Querschnitten $> 16\ mm^2$), dürfen als PEN-Leiter verwendet werden, wenn an jeder Anschlussstelle eine grün-gelbe *und* eine blaue Markierung angebracht wird. Da, wie am Anfang dieses Abschnitts erwähnt, die Ausführungen dieses Abschnitts über „PEN-Leiter" grundsätzlich auch für PEL- und PEM-Leiter gelten, trifft das auch für die Farbkennzeichnung zu, d. h., die Ausführungen über Farbkennzeichnungen für den PEN-Leiter gelten auch für PEL- und PEM-Leiter. Falls aber im Falle eines PEL-Leiters bzw. eines PEM-Leiters eine Verwechslung mit einem PEN- oder PEM-Leiter bzw. mit einem PEN- oder PEL-Leiter möglich ist, muss der PEL-Leiter mit dem alphanumerischen Zeichen „PEL" bzw. der PEM-Leiter mit dem alphanumerischen Zeichen „PEM" gekennzeichnet werden.

Haben *Anlagen im Freien* einzeln gespannte Leiter (also „Freileitungen" statt in Erde verlegte Kabel oder Feuchtraumleitungen), z. B. als Zuleitung zu einer Feldscheune, und wird das TN-System angewendet, dann soll der Schutzleiter bzw. PEN-Leiter am

Leitungsende von der Elektrofachkraft besonders geerdet werden, wenn die Strecke mehr als 200 m lang ist. Dabei wird ein Erdungswiderstand von 5 Ω für ausreichend erachtet, der bei Ackerboden mit ungefähr 50 m Bandstahl erreicht werden kann. Diese Maßnahme begrenzt beim Bruch des PEN-Leiters und einer einphasigen Belastung bis 3 kW die mögliche Berührungsspannung auf 50 V. Erdungen dieser Art sind „Betriebserdungen".

### 5.6.2.2 Neutralleiter und Mittelleiter

Neutralleiter (N-Leiter; früher: Mp-Leiter) sind Leiter, die vom Mittelpunkt (Sternpunkt) eines Einphasen- oder Zweiphasen-Wechselstromsystems oder eines Drehstromsystems ausgehen. Mittelleiter (in Normen auch neuerer Art fälschlicherweise Mittelpunktsleiter genannt) sind Leiter, die vom Mittelpunkt eines Gleichstromsystems ausgehen.

Nach Aufteilen des PEN-, PEL- oder PEM-Leiters in N-, Mittel-/aktiven und PE-Leiter darf der Neutral-/Mittel-/aktive Leiter in seinem weiteren Verlauf weder mit dem PE-Leiter noch mit geerdeten Teilen in Verbindung kommen. Er ist isoliert wie die Außenleiter zu behandeln und mit diesen in gemeinsamer Umhüllung zu führen. Für jeden Hauptstromkreis ist ein eigener Neutralleiter erforderlich. Aus einem Drehstromkreis mit einem Neutralleiter dürfen jedoch Einphasen-Wechselstromkreise aus je einem Außenleiter und dem Neutralleiter gebildet werden, wenn die Zugehörigkeit der Stromkreise durch ihre Anordnung erkennbar bleibt und der Drehstromkreis durch eine Einrichtung zum Trennen nach VDE 0100-537:1999-06, Abschn. 537.2, und VDE 0100-530:2011-06, Abschn. 536, getrennt werden kann, die alle Außenleiter trennt. Das Trennen muss nicht zum gleichzeitigen Abschalten aller Außenleiter führen. Einrichtungen zum Trennen sind z. B. außer den eigentlichen Trenneinrichtungen, wie Trenner, Lasttrennschalter, Trennlaschen, auch bestimmte Leitungsschutzschalter, Leistungsschalter mit Trennfunktion, Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs), austauschbare Sicherungen. Bei Hilfsstromkreisen, die an denselben Außenleiter angeschlossen sind, darf ein gemeinsamer Neutralleiter verwendet werden. Der *Querschnitt* dieses Neutralleiters muss für die Summe der Ströme bemessen sein. Sonst muss der Neutralleiter den gleichen Querschnitt wie der Außenleiter haben.

Querschnittsreduzierungen des Neutralleiters sind nur in Drehstromkreisen mit Außenleiterquerschnitten > 16 $mm^2$ Cu oder 25 $mm^2$ Al erlaubt, aber nur, wenn der maximal zu erwartende Belastungsstrom im Neutralleiter während des ungestörten Betriebs einschließlich Oberschwingungen nicht größer als die Strombelastbarkeit des Neutralleiters ist (hierbei wird von einer symmetrischen Belastung der Außenleiter im ungestörten Betrieb ausgegangen) und der Neutralleiter gegen

Überstrom geschützt ist (s. Abschn. 8.4.4). Außerdem muss der Neutralleiter einen Querschnitt von mindestens 16 $mm^2$ Cu oder 25 $mm^2$ Al haben. Diese Ausnahme der Querschnittsreduzierung des Neutralleiters sollte allerdings möglichst nicht in Anspruch genommen werden, weil die Strombelastung im Neutralleiter aufgrund möglicher Oberschwingungen unter Umständen sogar höher sein kann als in einem Außenleiter, z. B. durch die dritte Oberschwingung. Die Thematik der Belastung des Neutralleiters durch Oberschwingungsströme und die Auswirkung auf die Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen wird in dem VDE-Beiblatt eingehend informativ behandelt (VDE 0100-520 Beiblatt 3, s. Anhang A1.1).

Neutralleiter und auch Mittelleiter müssen in ihrem ganzen Verlauf durchgehend blau gekennzeichnet sein. Um eine Verwechslung mit anderen Farben zu vermeiden, wird eine – wie es in VDE 0197 (s. Anhang A1.1) heißt – ungesättigte Farbe Blau empfohlen, häufig „Hellblau" genannt. Ummantelte einadrige Kabel und Leitungen sowie Aderleitungen, die als Neutral- oder Mittelleiter verwendet werden sollen und die es nach Norm nicht mit blauer Isolierung gibt (z. B. bei Querschnitten > 16 $mm^2$), dürfen als Neutral- oder Mittelleiter verwendet werden, wenn an jeder Anschlussstelle eine blaue Markierung angebracht wird. In Kabeln und Leitungen (auch flexiblen Leitungen) mit mehr als fünf Adern können die Leiter statt farbig auch durch nummerische Zeichen (nach VDE 0100-510 u. VDE 0197) gekennzeichnet sein. Die alphanumerische Kennzeichnung eines Neutralleiters muss „N" und die eines Mittelleiters „M" sein. Leiter, die so durch nummerische Zeichen gekennzeichnet sind und als Neutral- oder Mittelleiter genutzt werden, müssen auch an jeder Anschlussstelle blau gekennzeichnet werden. Blanke Leiter, die als Neutral- oder Mittelleiter angewendet werden, müssen bei Farbkennzeichnung mit einem 15 mm bis 100 mm breiten blauen Streifen gefärbt sein. Diese Farbkennzeichnung muss in jeder Einheit, in jedem Gehäuse und an jeder zugänglichen Stelle einer Schaltgerätekombination vorgenommen werden oder der blanke Leiter muss über die ganze Länge blau gefärbt sein.

Wenn kein Neutral- oder Mittelleiter vorhanden ist und Verwechselungen ausgeschlossen werden können, darf ein blauer Leiter als Außenleiter oder für andere Zwecke verwendet werden, außer natürlich als Schutzleiter.

#### 5.6.2.3 Schutz durch automatisches Abschalten im TN-System

Beim Auftreten eines Kurzschlusses oder eines Körperschlusses zwischen einem Außenleiter und einem Schutzleiter bzw. PEN-Leiter oder damit verbundenem Körper muss eine automatische Abschaltung des fehlerbehafteten Stromkreises durch eine Schutzeinrichtung erfolgen. Als Schutzeinrichtungen dürfen im TN-System Überstromschutzeinrichtungen oder Fehlerstromschutzeinrichtungen

(RCDs) verwendet werden. Fehlerstromschutzeinrichtungen eignen sich jedoch nur im TN-S-System.

Die Schutzeinrichtungen müssen im Fehlerfall die automatische Abschaltung innerhalb einer bestimmten Zeit bewirken. Die maximalen Abschaltzeiten sind abhängig von der Höhe der Spannung $U_0$ (Nennspannung gegen Erde) und der Art der Stromkreise, z. B. Endstromkreis oder Verteilerstromkreis.

Mit der Norm VDE 0100-410 von Juni 2007 haben sich wieder wichtige Änderungen ergeben. Gegenüber der Norm von Januar 1997 wird bezüglich der Stromkreise nur noch unterschieden zwischen Endstromkreisen mit einem Nennstrom (Bemessungswert der Überstromschutzeinrichtung) von ≤ 32 A sowie Endstromkreisen mit einem Nennstrom von > 32 A und Verteilerstromkreisen. Bei den Endstromkreisen wird auch nicht mehr unterschieden zwischen der Versorgung von Handgeräten und ortsveränderlichen Betriebsmitteln der Schutzklasse I (Geräte und Betriebsmittel mit PE-Anschluss) über Steckdosen oder festen Anschluss oder der Versorgung von ortsfesten Verbrauchs- und Betriebsmitteln. Außerdem ist ein neuer Spannungsbereich dazu gekommen (> 50 V bis 120 V AC). Da bei Endstromkreisen nur noch nach dem Nennstrom (bis 32 A und über 32 A) unterschieden wird, fallen auch die Anforderungen an die Impedanz des Schutzleiters und an den bisher so genannten zusätzlichen Hauptpotenzialausgleich weg (s. u.). Neu ist auch, dass nun Abschaltzeiten für Gleichspannungsversorgungen angegeben werden (**Tabelle 5.8**).

Nach der neuen Norm gelten die in Tabelle 5.8 genannten maximalen Abschaltzeiten (**Bild 5.11**). Der in der Praxis am häufigsten vorkommende Wert ist fettgedruckt.

Für elektrische Anlagen, die *vor Inkrafttreten der Norm von Juni 2007* errichtet worden sind, gilt gegebenenfalls, dass die Schutzeinrichtungen im Fehlerfall die automatische Abschaltung innerhalb der in **Tabelle 5.9** genannten Zeiten bewirken müssen. Gegenüber dem noch früher gültigen Teil 410:1983-11 der VDE 0100

***Tabelle 5.8:*** *Maximale Abschaltzeiten in TN-Systemen*

| **Stromkreisart** | $U_0$ **V** | **maximale Abschaltzeit s** | |
|---|---|---|---|
| | | **AC** | **DC** |
| Endstromkreise mit einem Nennstrom (Bemessungswert der Überstromschutzeinrichtung) ≤ 32 A | > 50 bis 120 | 0,8 | – |
| | > 120 bis 230 | **0,4** | 5 |
| | > 230 bis 400 | 0,2 | 0,4 |
| | > 400 | 0,1 | 0,1 |
| Verteilerstromkreise* und sonstige Endstromkreise | > 50 | 5 | 5 |

* Abweichung in Verteilungsnetzen: s. Abschn. 5.6.2.7

waren die maximalen Abschaltzeiten für Steckdosenstromkreise unabhängig vom Bemessungsstrom der Steckdose, aber für Endstromkreise, die Geräte und ortsveränderliche Betriebsmittel der Schutzklasse I versorgen, abhängig von der Nennspannung gegen Erde. Bei Endstromkreisen, die nur ortsfeste Verbraucher und Betriebsmittel versorgen und bei denen die Versorgung von Handgeräten und ortsveränderlichen Betriebsmitteln der Schutzklasse I aus derselben Verteilung oder demselben Verteilerstromkreis erfolgt, waren eine der beiden folgenden Bedingungen zu erfüllen (s. Tabelle 5.9):

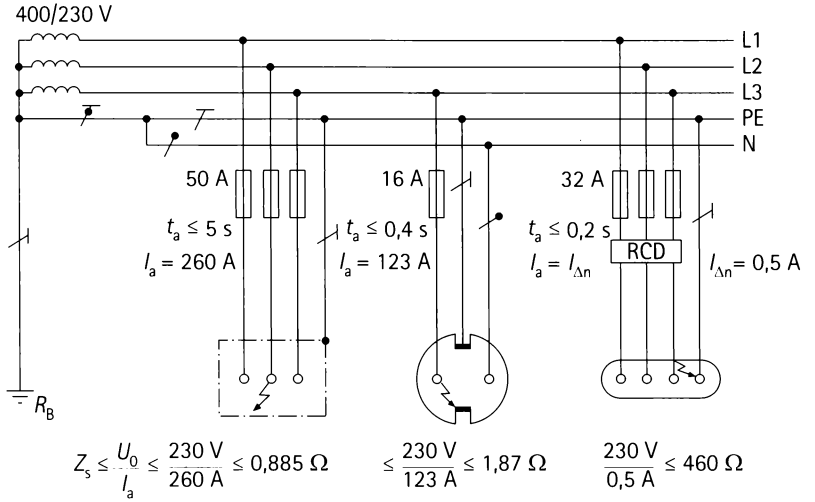



***Bild 5.11:*** *Abschaltbedingungen im TN-System*

***Tabelle 5.9:*** *Maximale Abschaltzeiten in TN-Systemen nach VDE 0100-410:1997-01*

| **Stromkreisart** | $U_0$ **V** | **maximale Abschaltzeit s** |
|---|---|---|
| Endstromkreise, die Handgeräte und ortsveränderliche Betriebsmittel der Schutzklasse I (mit PE-Anschluss) über Steckdosen oder festen Anschluss versorgen | 230 | 0,4 |
| | 400 | 0,2 |
| | > 400 | 0,1 |
| Verteilerstromkreise von Gebäuden | | ≤ 5 |
| Endstromkreise, die nur ortsfeste Verbrauchs- und Betriebsmittel versorgen, unter bestimmten Bedingungen (s. Text) | | ≤ 5 |

1. Die Impedanz des Schutzleiters zwischen der Verteilung und dem Punkt, an dem der Schutzleiter mit dem Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene (frühere Bezeichnung: Hauptpotenzialausgleich) verbunden ist, überschreitet nicht

$$\frac{50\ \text{V}}{U_0} \cdot Z_S ;$$

$Z_S$ Impedanz der Fehlerschleife, die aus der Stromquelle, dem aktiven Leiter bis zum Fehlerort und dem Schutzleiter zwischen dem Fehlerort und der Stromquelle besteht,

$U_0$ Nennwechselspannung gegen Erde.

2. Es ist ein Schutzpotenzialausgleich an der Verteilung durchzuführen, in den die gleichen Arten von fremden leitfähigen Teilen (Rohrleitungen für Warm- und Kaltwasser, Abwasser, Gas, Heizung) wie beim Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene (frühere Bezeichnung: Hauptpotenzialausgleich) örtlich einbezogen sind („zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich"). Es sind die Anforderungen wie für den Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene (frühere Bezeichnung: Hauptpotenzialausgleich zu erfüllen (s. Abschn. 5.6.11.2).

Insbesondere bei Verwenden von Überstromschutzeinrichtungen muss ein starker Kurzschlussstrom fließen, um die Abschaltung innerhalb der vorgeschriebenen Zeit zu erfüllen. Damit dies zuverlässig eintritt, müssen sowohl der NB als auch der Errichter oder Betreiber der elektrischen Anlage gewisse Bedingungen erfüllen.

#### 5.6.2.4 Überstromschutzeinrichtungen im TN-System

Es sind einzusetzen (s. Abschn. 7.4):

- Sicherungen nach VDE 0635 und Reihe VDE 0636: Typen D, D0, NH;
- Geräteschutzsicherungen nach der Reihe VDE 0820: G-Sicherungen FF, F, M, T, TT;
- Leitungsschutzschalter (LS-Schalter) nach Reihe VDE 0641: Typen, L B, C und D;
- Leistungsschalter nach VDE 0660-101.

Die Kennwerte der Schutzeinrichtungen und die Querschnitte der Leiter müssen so ausgewählt werden, dass bei einem satten Körperschluss (vernachlässigbare Impedanz) die Fehlerstelle innerhalb einer festgelegten Zeit (0,1 s, 0,2 s, 0,4 s bzw. 5 s) automatisch abgeschaltet wird. Dies ist erfüllt, wenn gilt

$$Z_S \cdot I_a \leq U_0 ;$$

$Z_S$ Impedanz der Fehlerschleife (Schleifenwiderstand), bestehend aus der Stromquelle, dem Außenleiter bis zum Fehlerort, dem Schutzleiter zwischen dem Fehlerort und der Stromquelle, s. Seite 105,

$I_a$ Abschaltstrom,

$U_0$ Nennspannung gegen geerdete Leiter.

Der Abschaltstrom ist der Strom, der das automatische Abschalten der Abschalteinrichtung innerhalb der in den Tabellen 5.8 und 5.9 angegebenen Zeit bewirkt. Bei einer Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) ist der Abschaltstrom der Fehlerstrom, der die Abschaltung innerhalb dieser Zeit erfolgen lässt. Der Fehlerströme im TN-System sind sehr viel höher als der Bemessungsdifferenzstrom der Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD), sodass die Abschaltzeiten beim Einsatz einer Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) immer eingehalten werden.

Der Abschaltstrom der *Sicherung* kann z. B. den Bildern 8.15 und 8.16 und der **Tabelle 5.10** entnommen werden (s. auch Tabelle 7.7). $U_0$ beträgt im 400/230-V-Netz 230 V. Mit diesen Angaben kann die **Tabelle 5.11** für den maximalen Schleifenwiderstand aufgestellt werden.

Für *LS-Schalter* Typ L und B nach VDE 0641 beträgt der Abschaltstrom sowohl bei 0,4 s (230 V gegen Erde) als auch bei 5 s etwa das 5-fache des Nennstroms. Daraus lässt sich die **Tabelle 5.12** aufstellen.

Für LS-Schalter des Typs C beträgt der Abschaltstrom etwa das 10-fache des Nennstroms. Die Werte der Tabelle 5.12 sind hier zu halbieren.

***Tabelle 5.10:*** *Abschaltstrom der Sicherung*

| **Bemessungsstrom der Schmelzsicherung** | **Abschaltstrom** | |
|---|---|---|
| | **bei 0,4 s** | **bei 5 s** |
| **A** | **A** | **A** |
| 6 | 50 | 28 |
| 10 | 81 | 47 |
| 16 | 123 | 70 |
| 20 | 156 | 85 |
| 25 | 213 | 118 |
| 35 | 311 | 173 |
| 50 | 468 | 260 |
| 63 | 617 | 350 |

*Tabelle 5.11: Höchstzulässiger Schleifenwiderstand*

| Bemessungsstrom der Sicherung[1)] | höchstzulässiger Schleifenwiderstand | |
|---|---|---|
| | bei 0,4 s | bei 5 s |
| A | Ω | Ω |
| 6 | 4,6 | 8,2 |
| 10 | 2,8 | 4,9 |
| 16 | 1,9 | 3,3 |
| 20 | 1,5 | 2,7 |
| 25 | 1,1 | 1,9 |
| 35 | 0,7 | 1,3 |
| 50 | 0,5 | 0,9 |
| 63 | 0,35 | 0,65 |
| 80 | 0,25 | 0,50 |
| 100 | 0,20 | 0,40 |

[1)] nach VDE 0635 und 0636

*Tabelle 5.12: Höchstzulässiger Schleifenwiderstand*

| Bemessungsstrom des Leitungsschutzschalters A | höchstzulässiger Schleifenwiderstand bei 0,4 s oder 5 s Abschaltzeit Ω |
|---|---|
| 6 | 7,7 |
| 10 | 4,6 |
| 16 | 2,9 |
| 20 | 2,3 |
| 25 | 1,8 |
| 40 | 1,15 |
| 63 | 0,73 |

Die Abschaltzeiten für *Leistungsschalter* sind beim Hersteller zu erfragen. Die Antwort könnte lauten, dass z. B. bis 16 A Bemessungsstrom bei einer Zeit von 0,4 s (230 V gegen Erde) der 10-fache Wert des eingestellten Stromwerts und bis 5 s der 5-fache Wert erforderlich sind. Bei Bemessungsströmen von 25 A bis 100 A sei bei 0,4 s (230 V gegen Erde) der 12-fache Einstellwert, und bei 5 s der 7-fache Wert erforderlich. Daraus ergibt sich die **Tabelle 5.13**.

*Tabelle 5.13: Höchstzulässiger Schleifenwiderstand*

| Bemessungsstrom des Leistungsschalters A | höchstzulässiger Schleifenwiderstand bei 0,4 s Ω | bei 5 s Ω |
|---|---|---|
| 6 | 3,8 | 7,7 |
| 16 | 1,4 | 2,9 |
| 25 | 0,77 | 1,3 |
| 63 | 0,30 | 0,52 |
| 100 | 0,19 | 0,33 |

Entscheidend ist also in allen Fällen die Impedanz der Fehlerschleife, die ermittelt werden muss (s. Abschn. 8.4).

### Schleifenimpedanz

Die *Fehlerschleife* ist der Stromkreis vom Transformator über einen Außenleiter (L) und zurück über den Schutzleiter PE zum Transformator. Ist $U_0$ die Netzspannung gegen den geerdeten Schutzleiter und $I_a$ der Abschaltstrom bei sattem Körperschluss, dann beträgt die Impedanz $Z_S = U_0 / I_a$. Beispiele sind vorstehend angeführt. Die Schleife muss zum entferntesten Punkt der geschützten Anlage führen.

Die Impedanz kann errechnet (s. Abschn. 8.4), über ein Netzmodell ermittelt oder in der Verbraucheranlage gemessen werden. Für die Elektrofachkraft ist es am einfachsten, sich die Widerstandswerte bis zum Hausanschlusskasten vom EVU bzw. NB geben zu lassen und bei Neuanlagen die Werte in der anschließenden Hausinstallation zu errechnen.

Den Gleichstromwiderstand von Kupferleitungen (Hin- und Rückleiter) je 100 m Leitungslänge enthält **Tabelle 5.14**.

Messungen in der Anlage liefern nur dann genaue Ergebnisse, wenn Messgeräte mit hoher Messgenauigkeit verwendet werden. Diese aber sind sehr teuer. Die nach VDE 0413-3 zugelassene Messunsicherheit von ±30 % ist sicherlich nicht ausreichend (s. Abschn. 15.3).

Dem TN-System mit Überstromschutzeinrichtungen haftet ein Nachteil an, der im **Bild 5.12** dargestellt ist. An der Einführungsstelle zum Motor habe der Außenleiter L3 satten Körperschluss, weshalb die Sicherung im Außenleiter L3 ausgelöst hat. Für die Sicherungen in L1 und L2 besteht bei nicht voll belastetem Motor oder – falls es sich um ein dreiphasiges Wärmegerät handelt – überhaupt keine Veranlassung, ebenfalls auszulösen. Die körperschlussbehafteten Geräte bleiben somit im Betrieb, wobei bedeutende Fehlerströme durch den Schutzleiter fließen können.

***Tabelle 5.14:*** *Gleichstromwiderstand von Kupferleitungen (Hin- und Rückleitung) bei 20 °C*

| **Leitungsquerschnitt mm²** | **Widerstand Ω/100 m** |
|---|---|
| 1,5 | 2,4 |
| 2,5 | 1,5 |
| 4 | 0,9 |
| 6 | 0,6 |
| 10 | 0,4 |
| 16 | 0,23 |
| 25 | 0,14 |
| 35 | 0,10 |
| 50 | 0,08 |

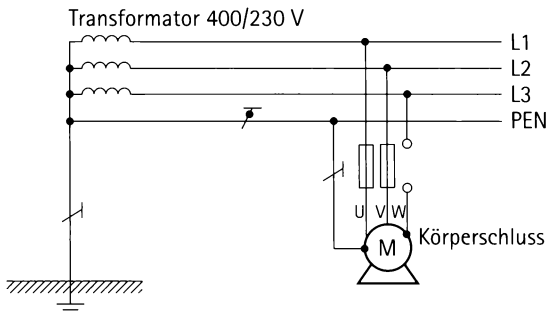



***Bild 5.12:*** *TN-System und Einphasenlauf*

Dieser Fehler ist nur zu beheben, wenn man in allen drei Außenleitern elektromagnetische Schnellauslöser anordnet, die dann den Körperschluss dreipolig abschalten. Selbst eine dreipolige Motorschutzeinrichtung mit nur thermischen Auslösern würde nichts nützen, weil bei Wärmegeräten und den meisten Motoren die Leitungen durch den Fehler nicht überlastet sind.

Wird der Fehler nicht allpolig abgeschaltet, dann kann bei Umkehrantrieben indirekt eine hohe Gefahr bestehen: Der Umkehrschalter wirkt nicht mehr, sondern der Motor läuft in gleicher Drehrichtung weiter.

Im TN-System mit Überstromschutzeinrichtungen sollten daher alle dreiphasigen Stromverbraucher mit allpoligen Schutzschaltern und elektromagnetischer Schnellauslösung ausgerüstet werden (**Bild 5.13**).

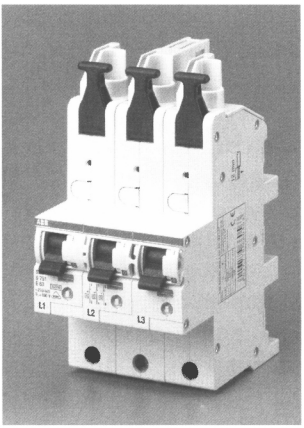



***Bild 5.13:*** *Dreipoliger Hochleistungs-Sicherungsautomat, 16 A (Werkbild: ABB)*

### 5.6.2.5 Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) im TN-System

s. auch Abschn. 5.6.7; VDE 0100-530

Wenn eine geforderte Abschaltung innerhalb von 0,1 s, 0,2 s, 0,4 s bzw. 5 s durch Überstromschutzeinrichtungen nicht erreichbar ist, kann die Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) gewählt werden. Der Bemessungsdifferenzstrom (eine der früheren Bezeichnungen: Nennfehlerstrom) der Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) gilt dann als Abschaltstrom, sodass die höchstzulässige Impedanz der Fehlerschleife $Z_S = U_0 / I_a$ sicher unterschritten wird (s. Bild 5.11).

Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) müssen, wie alle elektrischen Betriebsmittel, den einschlägigen Normen entsprechen. Da es zz. gültige nationale Normen nur für netzspannungsunabhängige Fehlerstromschutzeinrichtungen gibt, sind netzspannungsabhängige Fehlerstromschutzeinrichtungen nicht einsetzbar. Ihre Funktion hängt von einem eingebauten Verstärker ab, der bei einer Unterbrechung im Neutralleiter versagt. Sie dürfen daher derzeit nur dort als zusätzlicher Schutz eingesetzt werden, wo der Schutz durch das Abschalten der Überstromschutzeinrichtung sichergestellt ist.

Wenn die Körper der zu schützenden Betriebsmittel mit einem Erder verbunden sind, dessen Erdungswiderstand $R_A$ klein genug ist, dann braucht der Körper nicht mit dem Schutzleiter des TN-Systems verbunden zu sein. Die Beziehung

$$R_A \cdot I_{\Delta n} \leq 50\ \text{V} \quad \text{bzw.} \quad R_A \cdot I_{\Delta n} \leq 25\ \text{V}$$

muss jedoch erfüllt sein. 50 V bzw. 25 V sind die zulässigen Berührungsspannungen. Der so geschützte Stromkreis ist dann als TT-System zu betrachten.

Dennoch ist es meist zweckmäßiger, den Schutzleiter mit dem PEN-Leiter zu verbinden. Dadurch wird der Fehlerstrom so groß, dass selbst bei einem Versagen der netzspannungsunabhängigen Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) dann immer noch die zum Überstromschutz vorhandenen Leitungsschutzschalter oder Sicherungen ansprechen.

#### 5.6.2.6 TN-System und zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich

Wenn in einer Anlage oder in einem Teil einer Anlage die Bedingungen für das automatische Abschalten als Schutz bei indirektem Berühren nicht erfüllt werden können, ist ein *zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich* (bisher: Potenzialausgleich) vorzusehen. In diesen müssen alle gleichzeitig berührbaren Körper ortsfester Betriebsmittel, Schutzleiteranschlüsse – auch Schutzleiter der Steckdosen – und alle fremden leitfähigen Teile, z. B. Rohrleitungen, Stahlkonstruktionen – soweit praktikabel auch die metallenen Hauptbewehrungen von Stahlbeton –, einbezogen werden. Der Schutzpotenzialausgleichsleiter (bisher: Potenzialausgleichsleiter) muss Abschn. 5.6.11.2 entsprechen.

Falls Zweifel an der Wirksamkeit des zusätzlichen Schutzpotenzialausgleichs bestehen muss, nachgewiesen werden, dass der Widerstand zwischen gleichzeitig berührbaren Körpern untereinander sowie zwischen gleichzeitig berührbaren Körpern und fremden leitfähigen Teilen die Bedingung

$$R \leq \frac{50\ \text{V}}{I_\text{a}} \qquad \text{bei AC und}$$

$$R \leq \frac{120\ \text{V}}{I_\text{a}} \qquad \text{bei DC}$$

erfüllt. $I_\text{a}$ ist der Strom, der das automatische Abschalten der Schutzeinrichtung im Stromkreis des Betriebsmittels mit Körperschluss innerhalb der im Abschn. 5.6.2.3 angegebenen Zeiten bewirkt. Bei Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) ist dies der Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta\text{n}}$ und bei Überstromschutzeinrichtungen der Strom, der eine Abschaltung innerhalb von 5 s bewirkt. 50 V AC bzw. 120 V DC ist der Wert der dauernd zulässigen Berührungsspannung.

#### 5.6.2.7 TN-Verteilungsnetz

In Verteilungsnetzen, die als Freileitungen oder als im Erdreich verlegte Kabel ausgeführt sind, sowie in Hauptstromversorgungssystemen nach DIN 18015-1 mit

der Schutzmaßnahme „Doppelte oder verstärkte Isolierung" (frühere Bezeichnung: „Schutz durch Verwendung von Betriebsmitteln der Schutzklasse II oder durch gleichwertige Isolierung") genügt es, wenn am Anfang des zu schützenden Leitungsabschnitts eine Überstromschutzeinrichtung vorhanden ist und wenn im Fehlerfall mindestens der Strom zum Fließen kommt, der ein Auslösen der Schutzeinrichtung unter den in der Gerätebestimmung für den Überlastbereich festgelegten Bedingungen (großer Prüfstrom) bewirkt. Nach DIN 18015-1 ist das *Hauptstromversorgungssystem* die Zusammenfassung aller Hauptleitungen und Betriebsmittel hinter der Übergabestelle (Hausanschlusskasten) des Netzbetreibers (NB), die nicht gemessene Energie führen. Die *Hauptleitung* ist die Verbindungsleitung zwischen der Übergabestelle des NB und der Messeinrichtung (Zähleranlage), die nicht gemessene elektrische Energie führt. Über diese Begriffsbestimmung hinaus fallen jedoch auch die Verbindungsleitungen zwischen Zähler und Stromkreisverteiler in die genannte Regelung, wenn Leitungen und Stromkreisverteiler der Schutzklasse II (schutzisoliert) entsprechen. Bei einem Stromkreisverteiler der Schutzklasse I müsste jedoch die vorgeschaltete Sicherung innerhalb von 5 s abschalten.

In Verteilungsnetzen kommen hauptsächlich Sicherungen mit einem Bemessungsstrom > 32 A zum Einsatz, deren großer Prüfstrom $I_f = 1{,}6\ I_n$ beträgt. An der ungünstigsten Stelle muss daher bei vollkommenem Kurzschluss zwischen Außenleiter und PEN-Leiter mindestens folgender Strom fließen:

$$1{,}6\ I_n \geq U_0 / Z_S ;$$

$U_0$ Nennspannung gegen geerdeten Leiter,

$Z_S$ Impedanz der Fehlerschleife.

Die Ausschaltzeit der Sicherung beim Fließen des Prüfstroms kann 1...4 h betragen.

Bei im Ring geschalteten Verteilungsnetzen sollte die Einspeisung nur von einer Seite erfolgen. Vorsicht wegen der Abschaltbedingung ist auch bei parallel geschalteten oder vermaschten Netzen geboten. Gegen die Vermaschung des PEN-Leiters bestehen dagegen grundsätzlich keine Bedenken (s. Kapitel 10).

Der PEN-Leiter ist im Netz an möglichst gleichmäßig verteilten Punkten und in der Nähe jedes Transformators oder Generators zu erden. Durch Verbinden des PEN-Leiters mit dem Hauptpotenzialausgleich in den Verbraucheranlagen wird gewährleistet, dass das Potenzial des Schutzleiters bzw. PEN-Leiters im Fehlerfall nur wenig vom Erdpotenzial abweicht. Der Gesamterdungswiderstand in 400/230-V-Netzen soll 2 Ω und in 500-V-Netzen 1,5 Ω nicht überschreiten. Auf jeden Fall darf zwischen dem PEN-Leiter und einem beliebigen Erder keine höhere Spannung als 50 V bestehen bleiben können. Dies wird durch die Bedingung

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50\ V}{U_0 - 50\ V}$$

erfüllt (s. Abschn. 5.6.9).

Al- oder Cu-Mäntel von bestimmten Kabeln, z. B. NYCY, können als PEN-Leiter dienen, wenn sie an allen Trennstellen leitend verbunden und mindestens an den Enden geerdet sind.

In Drehstromnetzen, die in Stern geschaltet sind, ist der PEN-Leiter stets der Sternpunktleiter.

#### 5.6.2.8 Prüfungen im TN-System

Außer den Messungen nach Kapitel 15 ist durch Besichtigung zu ermitteln, ob die Schutzleiter die vorgeschriebenen Querschnitte haben, ob sie einwandfrei und ohne Unterbrechung verlegt und sorgfältig angeschlossen sind. Außerdem ist die im ganzen Leitungsverlauf notwendige Kennzeichnung von PEN- und Schutzleiter zu prüfen. Die Zugehörigkeit von Neutralleiter und PEN-Leiter zu ihren Stromkreisen muss gekennzeichnet sein. Auf das versehentliche Vertauschen von Außenleiter und PEN- bzw. Schutzleiter ist zu achten. Beim TN-System ist außerdem durch Isolationsmessung die Erdschlussfreiheit des Neutralleiters zu prüfen und festzustellen, ob Schutz- und Neutralleiter nicht verwechselt worden sind. Im PEN-Leiter dürfen weder Sicherungen noch Schalter vorhanden sein.

### 5.6.3 TT-System

VDE 0100-410, -530

Besonders im außerstädtischen Bereich wird von einigen EVUs bzw. NBs das TT-System vorgegeben. In den Verbraucheranlagen wird es fast ausschließlich mit netzspannungsunabhängigen Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) kombiniert. Daneben können in Sonderfällen Überstromschutzeinrichtungen und Fehlerspannungsschutzeinrichtungen als Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) angewendet werden.

Im TT-System muss der Neutralpunkt oder der Mittelpunkt des Versorgungssystems direkt geerdet werden. In der Regel ist das der Sternpunkt des Versorgungsnetztransformators. Wenn kein Neutralpunkt oder Mittelpunkt verfügbar oder zugänglich ist, muss ein Außenleiter direkt geerdet werden. Die Körper sind mit Erdern (Anlagenerder $R_A$, früher auch Schutzerder genannt) zu verbinden, die vom Betriebserder ($R_B$) getrennt sind (**Bild 5.14**). Jeder Körper darf mit einem eigenen Erder verbunden sein, was aber nicht die Regel ist.

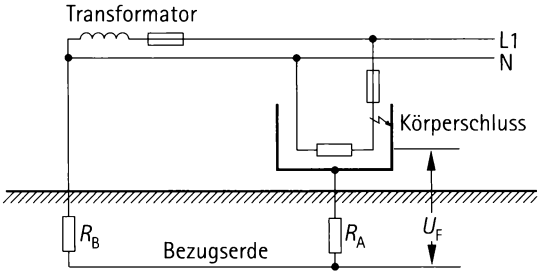



***Bild 5.14:*** *Schutz im TT-System*

Gleichzeitig berührbare Körper von Betriebs- oder Verbrauchsmitteln müssen mit demselben Erdungssystem verbunden werden, damit keine unterschiedlichen Potenziale überbrückt werden können. Als gleichzeitig berührbar gelten wieder Körper, die sich innerhalb des so genannten Handbereichs (≤ 2,5 m) befinden. Die Verbindung mit dem Erdungssystem oder Erder kann einzeln, gemeinsam oder in Gruppen erfolgen. Zusätzlich müssen alle durch eine gemeinsame Schutzeinrichtung geschützten Körper, d. h. eines Stromkreises, durch einen Schutzleiter an einen gemeinsamen Erder angeschlossen werden.

Neu ist, dass es nun mit Inkrafttreten von VDE 0100-410:2007-06 auch für das TT-System maximale Abschaltzeiten in Abhängigkeit von der Höhe der Spannung $U_0$ (Nennspannung gegen Erde) – auch unterschieden nach AC und DC – und der Art der Stromkreise, z. B. Endstromkreise oder Verteilerstromkreis gibt (vgl. Abschn. 5.6.2.3). Die Abschaltzeiten sind in **Tabelle 5.15** aufgeführt. Es gibt nicht mehr die einheitlich hohe maximale Abschaltzeit von 5 s, sondern mehrere, spannungsabhängige und sehr viel niedrigere Werte der maximalen Abschaltzeit.

***Tabelle 5.15:*** *Maximale Abschaltzeiten in TT-Systemen*

| **Stromkreisart** | $U_0$ | **maximale Abschaltzeit** s | |
|---|---|---|---|
| | **V** | **AC** | **DC** |
| Endstromkreise mit einem Nennstrom (Bemessungswert der Überstromschutzeinrichtung) ≤ 32 A | > 50 bis 120 | 0,3 | – |
| | > 120 bis 230 | **0,2** | 0,4 |
| | > 230 bis 400 | 0,07 | 0,2 |
| | > 400 | 0,04 | 0,1 |
| Verteilerstromkreise* und sonstige Endstromkreise | > 50 | 1 | 1 |

* Abweichung in Verteilungsnetzen: s. Abschn. 5.6.2.

Bei der üblichen Netzspannung gegen Erde von 230 V darf die Abschaltzeit maximal 0,2 s betragen. Dieser Wert ist in Tabelle 5.15 fettgedruckt. Auch die maximale Abschaltzeit für Verteilungsstromkreise beträgt nur 1 s (TN-System: 5 s). Auch hier im TT-System müssen die Schutzeinrichtungen im Fehlerfall die automatische Abschaltung innerhalb einer bestimmten Zeit bewirken.

Die Summe der Widerstände des Erders und des Schutzleiters der Körper ($R_A$) muss so klein sein, dass ein Strom $I_a$ (Abschalt- bzw. Auslösestrom), der das automatische Abschalten der Schutzeinrichtung bewirkt, zum Fließen kommt, bevor die Berührungsspannung am Körper den zulässigen Wert 50 V überschreitet. Bei Verwendung einer Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) ist $I_a$ der Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n}$ (früher: „Nennfehlerstrom" oder „Bemessungsfehlerstrom").

Um z. B. eine hohe Verfügbarkeit der Stromversorgung zu erreichen, kann es erforderlich sein, eine selektive Abschaltung zwischen in Reihe geschalteten Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) zu erreichen (s. Abschn. 5.6.3.1 und 5.6.7).

Nach den Erdungs- und Abschaltbedingungen in VDE 0100-410 können TT-Systeme mit nur geringem Aufwand zu TN-Systemen erklärt werden. Der Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene (früher Hauptpotenzialausgleich genannt) (s. Abschn. 5.6.11.1) muss nur an mehreren, im Netz möglichst gleichmäßig verteilten Stellen mit dem bisherigen Neutralleiter hergestellt werden.

### 5.6.3.1 Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) im TT-System

s. auch Abschn. 5.6.7

Wie bereits erwähnt, ist die Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) die am meisten, ja die fast ausschließlich verwendete Schutzeinrichtung im TT-System. Die höchstmögliche Berührungsspannung, die bestehen bleiben kann, richtet sich nach der Größe des Erdungswiderstands (Summe der Widerstände des Erders und der Schutzleiter der Körper) $R_A$. Will man sie auf 50 V begrenzen, dann darf der Erdungswiderstand bei einem Bemessungsdifferenzstrom (frühere Bezeichnung: „Nennfehlerstrom" oder „Bemessungsfehlerstrom") nur

$$R_A \leq \frac{50\ \text{V}}{I_{\Delta n}}$$

sein (**Tabelle 5.16**).

Wenn diese Bedingung eingehalten wird, fließt bei $U_0 = 230$ V (Spannung gegen Erde) im Fehlerfall ein Strom von

$$\frac{230\ \text{V}}{50\ \text{V}} \cdot I_{\Delta n} = 4{,}6 \cdot I_{\Delta n}\,.$$

*Tabelle 5.16: Erdungswiderstand im TT-System*

| Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n}$ A | Erdungswiderstand $R_A$ Ω |
|---|---|
| 0,03 | 1 600 |
| 0,1 | 500 |
| 0,3 | 160 |
| 0,5 | 100 |
| 1,0 | 50 |

Mit diesem Strom werden die Abschaltzeiten nach Tabelle 5.15 eingehalten. Die geforderten Abschaltzeiten werden bei $U_0 \leq 230$ V auch mit Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCD) vom Typ S erreicht, da bei diesen Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) schon ein Fehlerstrom von 2 $I_{\Delta n}$ ausreichend wäre.

In bestimmten *medizinisch genutzten Räumen* (s. Abschn. 14.10.5), darf der Erdungswiderstand an geschützten Betriebsmitteln nicht größer sein als

$$R_A = \frac{25\ \text{V}}{I_{\Delta n}}.$$

Die auch früher in der Landwirtschaft bei der Haltung von Nutztieren geforderte Grenze der dauernd zulässigen Berührungsspannung von AC 25 V oder DC 60 V ist entfallen.

Da die Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) nur die nachgeschaltete Anlage schützen kann, ist bis zu den Anschlussklemmen der Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) die Schutzmaßnahme *doppelte oder verstärkte Isolierung* (frühere Bezeichnung: Schutz durch Verwendung von Betriebsmitteln der Schutzklasse II oder durch gleichwertige Isolierung) anzuwenden. Am einfachsten ist dies durch Verteiler der Schutzklasse II (schutzisolierte Verteiler) zu erreichen. Stehen keine Verteiler der Schutzklasse II zur Verfügung, so kann vor den Verteilern eine gleichwertig isolierte zeitselektive Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) gesetzt werden, die die Verteiler in den Schutz gegen elektrischen Schlag einbezieht (**Bild 5.15**).

Es ist zu beachten, dass sich z. B. eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom von 0,5 A keineswegs selektiv zu einer mit 30 mA verhält, wenn im Fehlerfall ein höherer Strom als 0,5 A zum Fließen kommt. Allein entscheidend ist dann das zeitliche Auslöseverhalten der Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs), das für Einrichtungen bis einschließlich 63 A – unabhängig von der Größe des Bemessungsdifferenzstroms – gleich ist. Die Fertigungstoleranzen entscheiden somit, welche Fehlerstromschutzeinrichtung als erste fällt. Will man

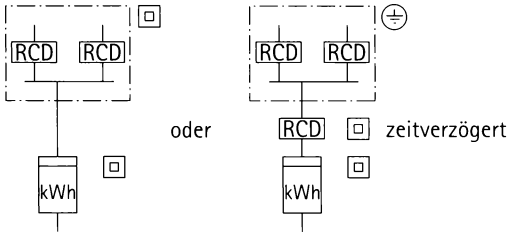



***Bild 5.15:*** *Kombination von Betriebsmitteln der Schutzklasse II und RCDs*

Selektivität, so muss die vorgeschaltete Einrichtung zeitselektiv gegenüber den nachgeordneten sein (s. Abschn. 5.6.7.8). Selektive Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) tragen das Zeichen [S]. In Verteilungsstromkreisen ist zum Erreichen der Selektivität mit Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) eine Abschaltzeit von maximal 1 s erlaubt.

Netzspannungsabhängige Fehlerstromschutzschalter (frühere Bezeichnungen: Differenzstromschutzschalter oder DI-Schutzschalter) mit eingebauter Überstromschutzeinrichtung sind nicht zugelassen; sie sind (noch) nicht genormt.

Netzspannungsunabhängige Fehlerstromschutzeinrichtungen s. Abschn. 5.6.7.

### 5.6.3.2 Überstromschutzeinrichtungen im TT-System

s. auch Abschn. 5.6.2.4

Wie oben schon erwähnt, gibt es mit Inkrafttreten der VDE-Bestimmung 0100-410:2007-06 auch für das TT-System maximale Abschaltzeiten in Abhängigkeit der Netzspannung, auch – wie im TN-System – unterschieden nach AC und DC.

Werden Überstromschutzeinrichtungen verwendet, so ist $I_a$ der Strom, der das automatische Abschalten dieser Überstromschutzeinrichtung innerhalb von 0,2 s (Tabelle 5.15) bewirkt. Das bedeutet, dass der Erdungswiderstand unter Verwendung z. B. einer D-Sicherung des Typs gG mit einem Abschaltstrom von 58,6 A (s. Abschn. 7.4.2.3, Tabelle 7.9) höchstens 0,85 Ω betragen darf, was in der Praxis nicht zu erreichen ist (**Bild 5.16**). Wie an diesem kleinen Beispiel zu sehen ist, ist der Einsatz von Überstromschutzeinrichtungen für den Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen im TT-System auf wenige Sonderfälle beschränkt. Meist wird man die Abschaltbedingungen nicht erfüllen können. Bisher war es schon so, dass meist die Abschaltbedingungen nicht erfüllt werden konnten. Bisher heißt, vor Inkrafttreten des neuen Teils der VDE 0100 im Juni 2007. Als Abschaltstrom $I_a$ einer Schutzeinrichtung galt der Strom, der das automatische Abschalten dieser Schutzeinrichtung innerhalb von 5 s bewirkt. Für eine 16-A-Leitungsschutzsicherung ist der Auslösestrom $I_a$ nach Tabelle 5.10 etwa 70 A. Bei einer zulässigen

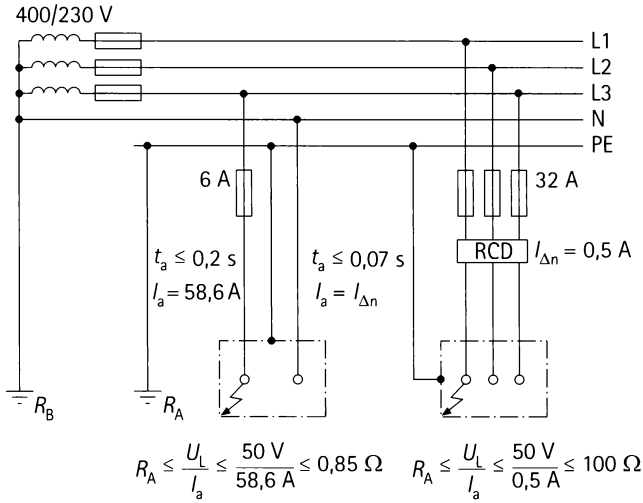



***Bild 5.16:*** *Abschaltbedingungen im TT-System*

Berührungsspannung von 50 V ergibt sich daraus ein erforderlicher Widerstand $R_A$ (Summe der Widerstände des Erders und des Schutzleiters der Körper) von

$$R_A \leq \frac{U}{I_a} = \frac{50\text{ V}}{70\text{ A}} = 0{,}71\,\Omega\,.$$

Auch aus diesem Beispiel erkennt man, dass es bereits für eine 16-A-Sicherung sehr schwierig wird, die Abschaltbedingungen zu erfüllen. Einen Erdungswiderstand von 0,71 Ω erreicht man meist nur mit einem Oberflächenerder von mindestens 500 m Länge.

Nun gilt nicht mehr alleine die maximale Abschaltzeit von 5 s, sondern die viel niedrigeren Zeiten nach Tabelle 5.15. Für Endstromkreise bis 32 A beträgt danach bei der üblichen Spannung von 230 V gegen Erde die maximale Abschaltzeit 0,2 s (s. Tabelle 5.15). Der entsprechende Abschaltstrom bei einer 16-A-Leitungsschutzsicherung muss dann schon ca. 129 A (s. Abschn. 7.4.2.3, Tabelle 7.9) betragen, woraus sich dann ein Widerstand $R_A$ von höchstens 0,39 Ω ergibt. Dies ist in der Praxis nicht zu erreichen. Auch bei Verteilerstromkreisen und Endstromkreisen > 32 A Nennstrom darf die maximale Abschaltzeit nur 1 s betragen. Auch in diesen Fällen ist dann der Einsatz von Überstromschutzeinrichtungen nicht mehr möglich.

Neu ist mit Inkrafttreten des neuen Teils 410 der VDE 0100 im Juni 2007 auch, dass folgende Bedingung erfüllt werden muss, wenn eine Überstromschutzeinrichtung verwendet wird:

$$Z_S \leq \frac{U_0}{I_a}$$

$Z_S$ ist die Impedanz der Fehlerschleife bestehend aus der Stromquelle, dem Außenleiter bis zum Fehlerort, dem Schutzleiter der Körper, dem Erdungsleiter, dem Anlagenerder und dem Erder der Stromquelle.

$I_a$ ist der Strom, der das automatische Abschalten der Schutzeinrichtung innerhalb der in Tabelle 5.15 angegebenen Zeit bewirkt.

$U_0$ ist die Nennspannung Außenleiter gegen Erde.

*Beispiel:*

D-Sicherung Typ gG;

Bemessungsstrom der Sicherung $I_n$ = 16 A; $I_a$ = 129 A (gem. Tabelle 7.9);

max. Abschaltzeit: 0,2 s (Tabelle 5.15)

$$Z_S \leq \frac{U_0}{I_a} = \frac{230\ \text{V}}{129\ \text{A}} = 1{,}78\ \Omega$$

Die zu messende Schleifenimpedanz darf max. ca. 1,8 Ω betragen.

Genau wie beim TN-System wird hier auch eine Schleifenimpedanz betrachtet. Im Unterschied zum TN-System befindet sich in der betrachteten Schleife hier beim TT-System die Erde (Verbindung zwischen Anlagenerder und Erder der Stromquelle) und nicht ein fester Leiter wie beim TN-System.

Wenn die Bedingung einer Mindestimpedanz nicht erfüllt werden kann, muss als Schutzeinrichtung eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) eingesetzt werden.

Bei einem Vergleich mit den Abschaltzeiten im TN-System ist zu beachten, dass diese auf der Annahme eines Kurzschlusses Außenleiter–Körper–Schutzleiter beruhen, während die Abschaltzeit im TT-System für einen widerstandsbehafteten Fehler festgelegt wurde, und zwar so, dass eine Abschaltung erfolgen muss, wenn die Spannung am Erdungswiderstand $R_A$ den Wert der zulässigen Berührungsspannung (50 V oder 25 V) überschreitet. Legt man auch hier den widerstandslosen Fehler zugrunde, so ist der Fehlerstrom z. B. in einem 230-V-Netz etwa 4-mal so hoch, sofern der Widerstand der Betriebserde $R_B$ klein ist gegenüber $R_A$.

Die Schutzmaßnahme TT-System mit Überstromschutzeinrichtung sollte aufgrund der sehr schwer einzuhaltenden Abschaltbedingungen nur dort angewendet werden, wo Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) nicht eingesetzt werden können. In allen anderen Fällen ist die netzspannungsunabhängige Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) zu bevorzugen. Wo hohe Versorgungssicherheit gefordert wird, können selektive Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) verwendet werden, bei

denen nicht mehr die Gefahr des ungewollten Auslösens, z. B. bei Gewitterüberspannung, besteht.

Aus Bild 5.15 sind die Abschaltbedingungen für einen derartigen 6-A-Stromkreis zu ersehen.

Praktisch angewendet werden Überstromschutzeinrichtungen im TT-System nur für Stromkreise mit einem sehr geringen Bemessungsstrom und großer erforderlicher Versorgungssicherheit, z. B. für den Stromkreis einer Tiefkühltruhe oder einer Öl- bzw. Gasheizungsanlage in Wohnhäusern.

### 5.6.3.3 Fehlerspannungsschutzeinrichtungen im TT-System

Fehlerspannungsschutzeinrichtungen werden nur noch in Sonderfällen eingesetzt, z. B. in Gleichstromanlagen, für die sich Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) nicht eignen. Der Einsatz ist nur in Eigenverantwortung möglich, weil Fehlerspannungsschutzeinrichtungen nicht mehr genormt sind. Diese Schutzschaltung verhindert das *Bestehenbleiben* zu hoher Berührungsspannung, weil der Schalter schon bei einem Auslösestrom von etwa 40 mA nach 0,2 s allpolig – einschl. Neutralleiter – abschaltet. Die FU-Spule (**Bild 5.17**) mit einem Scheinwiderstand von etwa 400 Ω ist zwischen Gerät und Bezugserde geschaltet, also „ungünstiger" als der Mensch, der meist nur einen Teil dieser Spannung überbrückt. Die Spule „misst" also die Fehlerspannung $U_F$. Soll diese einen bestimmten Wert nicht überschreiten, so darf der Hilfserdungswiderstand $R_H$ nicht zu groß, keinesfalls über 500 Ω sein. Damit z. B. $U_F$ nicht größer als 25 V wird, darf $R_H$ nicht größer sein als etwa

$$R_H = \frac{25\ \text{V}}{0{,}04\ \text{A}} - 400\ \Omega = 225\ \Omega\ .$$

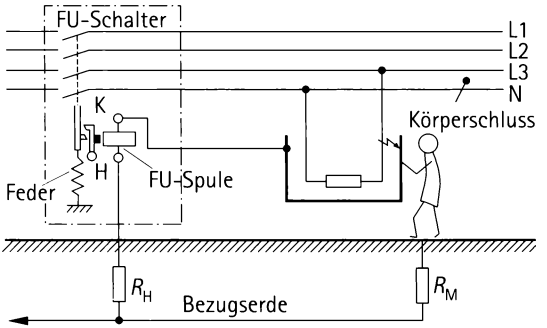



***Bild 5.17:*** *Fehlerspannungsschutzschaltung*

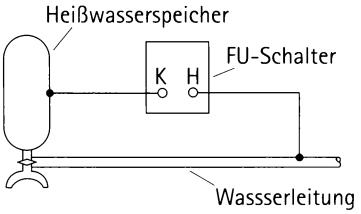



***Bild 5.18:*** *Überbrückung der Fehlerspannungsspule*

Da die Fehlerspannungsspule ebenso wenig wie ein Spannungsmesser eine Spannung messen kann, wenn die Klemmen kurzgeschlossen sind, darf man z. B. nicht etwa die Hilfserdung an die Wasserleitung legen, wenn die K-Klemme am Heißwasserspeicher angeschlossen ist (**Bild 5.18**).

Eine solche zufällige Verbindung braucht nicht metallisch zu sein. So hat z. B. in einer Waschküche oder in einer Küche im Erdgeschoss der Steinboden stets angenähert „Wasserleitungspotenzial". Man soll deshalb in solchen Räumen die Hilfserdung nicht ebenfalls an die Wasserleitung anschließen. Richtig dagegen wäre ein etwa 1,5 m tiefer Staberder von 10 mm Durchmesser, z. B. im Vorgarten, wobei aber darauf geachtet werden sollte, vom Wasserleitungsrohr im Erdboden und von anderen Erdern 10...20 m entfernt zu bleiben. Besser verwendet man in solchen Fällen Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs).

Man wird die *Erdungsleitung* – um jede mechanische Beschädigung hierbei unwahrscheinlich zu machen – vom Fehlerspannungsschalter ab z. B. als NYY-Kabel $1 \times 1{,}5\ \text{mm}^2$ Cu verlegen. Das Erderband muss mindestens 10 m lang in der Erde liegen.

Der *Neutralleiter* darf nicht als Hilfserder herangezogen werden.

Bei der Frage, ob man für mehrere Fehlerspannungsschutzschalter eine *gemeinsame Hilfserdungsleitung* verlegen darf, ist zu prüfen, ob diese Leitung nicht etwa einmal unterbrochen werden könnte. Ist dies möglich, dann würde eine Fehlerspannung auf alle nicht mit einem Fehler behafteten Geräte verschleppt. Einzelerder wären dann vorzuziehen. Hält man aber eine Unterbrechung für ausgeschlossen, so muss die gemeinsame Hilfserde gut, nämlich „besser" als etwa 30 Ω sein, um Spannungsverschleppungen zu entgehen. Um ungewollte „Kurzschlüsse" zu vermeiden, ist der *Schutzleiter* (K- bzw. PE-Leiter) vom Hilfserdungsleiter gut zu isolieren.

Der Schutzleiter (mindestens $1{,}5\ \text{mm}^2$ Cu) ist entweder mit den Außenleitern als grün-gelb gekennzeichneter isolierter Leiter in gemeinsamer Umhüllung, als konzentrischer Leiter oder als gesonderter blanker Leiter (mindestens $4\ \text{mm}^2$ Cu) zu führen. Der isolierte Hilfserdungsleiter darf nicht grün-gelb gekennzeichnet sein.

Er darf weder mit den Leitungen vor noch mit denen hinter dem Schutzschalter in einer gemeinsamen Umhüllung verlegt werden.

Werden mehrere Betriebsmittel an eine Fehlerspannungsschutzeinrichtung angeschlossen und ist eines dieser Betriebsmittel mit einem Erder verbunden, dessen Erdungswiderstand < 5 Ω ist, dann muss der Querschnitt jedes Schutzleiters mindestens gleich dem halben Außenleiterquerschnitt des am höchsten abgesicherten Betriebsmittels sein.

Sollen Betriebsmittel in Verbindung mit *galvanischen Bädern* geschützt werden, dann ist auch hier die Fehlerspannungsschutzschaltung mit Erfolg anzuwenden; sie erlaubt es, durch Einbau von Kondensatoren in die Hilfserdungsleitung oder in die Schutzleitung Gleichströme abzuriegeln, die zur Zerstörung von Schutz- und Erdungsleitungen häufig beitragen. Hierbei muss aber sichergestellt sein, dass der Kondensator noch den Durchgang des notwendigen Auslösestroms bei der noch zulässigen Berührungsspannung gewährleistet. Dies ist der Fall, wenn die Kapazität des Kondensators bei höchstens 200 Ω Erdungswiderstand und einen Auslösestrom der Fehlerspannungsschutzeinrichtung von etwa 40 mA mindestens 20 μF beträgt. Dabei ist $U_F$ = 50 V. Bei 25 V müsste die Kapazität rund 55 μF sein. In Räumen, in denen Schutzmaßnahmen erforderlich sind, sollten nur Fehlerspannungsschutzeinrichtungen der Schutzklasse II (schutzisoliert) installiert werden. Sind die Räume feucht oder nass und kann die Einrichtung nicht in einem trockenen Raum angebracht werden, dann muss sie außerdem mindestens tropfwassergeschützt sein (IPX1).

Die angegebene *Gebrauchslage*, z. B. senkrecht (⊥) ist zu beachten. Erschütterungsfreiheit ist zweckmäßig. In der Regel werden Fehlerspannungsschutzeinrichtungen als Trennschalter eingebaut. Deshalb müssen Sicherungen für den Kurzschlussschutz vorgeschaltet werden, und zwar

- bei Einrichtungen bis 25 A 63-A-Sicherungen,
- bei Einrichtungen von 25 A bis 40 A 100-A-Sicherungen.

Sie können entfallen, wenn die Hausanschlusssicherungen nicht größer sind. Ebenso wie die Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) hat die Fehlerspannungsschutzeinrichtung Freiauslösung, die verhindert, dass beim Bestehen zu hoher Berührungsspannung der Schalter in eingeschalteten Zustand festgehalten werden kann.

#### 5.6.3.4 TT-System und zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich

Wenn die Abschaltbedingungen (s. Bild 5.15) nicht erfüllt werden können, ist ein zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich nach Abschn. 5.6.2.6 erforderlich.

#### 5.6.3.5 Prüfungen in TT-System

s. auch Kap. 15

Die *Wirksamkeit* der Schutzmaßnahme ist durch den Errichter nachzuweisen. Dabei ist zunächst durch Besichtigen zu ermitteln, ob die Schutzleiter die vorgeschriebenen Querschnitte haben, ob sie einwandfrei und ohne Unterbrechung verlegt und sorgfältig angeschlossen sind. Die Prüfung der Erdungsleiter ist mit einem Widerstandsmessgerät nach VDE 0413-4 (s. Abschn. 15.7) vorzunehmen. Man kann sich dazu einer handelsüblichen Erdungsmessbrücke bedienen. In dicht besiedelten Gegenden oder in oberen Stockwerken von Gebäuden stößt dieses Verfahren häufig auf Schwierigkeiten, weil man nirgends Platz für die Sonde findet und auch aus dem Spannungstrichter des Erders nicht herauskommt.

Wenn der Transformatorsternpunkt geerdet ist (s. Bild 5.14), kann jedoch der Widerstand der Schleife Transformator – Außenleiter – $R_A$ – Erder – $R_B$ – Transformator mit dem Widerstandsmessgerät gemessen werden. Dieser Wert ist natürlich zu groß, weil er außer dem Widerstand $R_A$ auch alle anderen Widerstände der „Schleife" enthält. Man kann ihn verbessern, indem man auch die Schleife Transformator – Außenleiter – Neutralleiter – Transformator misst und diesen Betrag vom vorher gemessenen abzieht. Auch hier geht die Rechnung nicht ganz auf, weil man anstelle des Erdungswiderstands $R_B$ den Neutralleiterwiderstand eingesetzt hat. Immerhin liegt man aber auf der sicheren Seite.

### 5.6.4 IT-System

VDE 0100-410, -530

IT-Systeme müssen gegen Erde isoliert oder über eine ausreichend hohe Impedanz geerdet sein. Diese Impedanz kann ggf. zwischen Erde und dem Sternpunkt (Neutralpunkt oder Mittelpunkt) des Netzes oder einem künstlichen Sternpunkt liegen (**Bild 5.19**). Der Fehlerstrom beim Auftreten nur eines Körper- oder Erdschlusses ist niedrig.

Ein derartiger Fehler hat keinen Einfluss auf die Funktion der angeschlossenen Betriebsmittel. IT-Systeme finden als 500-V- und 660-V-Netze Anwendung in der Großindustrie. In der 400/230-V-Ebene verwendet man IT-Systeme, wenn erhöhte Anforderungen an die Versorgungssicherheit gestellt werden, z. B. für die OP-Einrichtungen in Krankenhäusern, für die Einrichtungen für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgung) und die Sicherheitsbeleuchtung.

Früher brauchte im IT-System entweder nur ein zusätzlicher Potenzialausgleich in der gesamten Anlage mit gleichzeitigem Einsatz einer Isolationsüberwachungseinrichtung (zur Meldung oder Abschaltung) oder der Schutz durch automatisches Abschalten der Stromversorgung angewendet zu werden, um den Schutz gegen elektrischen Schlag zu gewährleisten (Verhinderung des zweiten Fehlers).

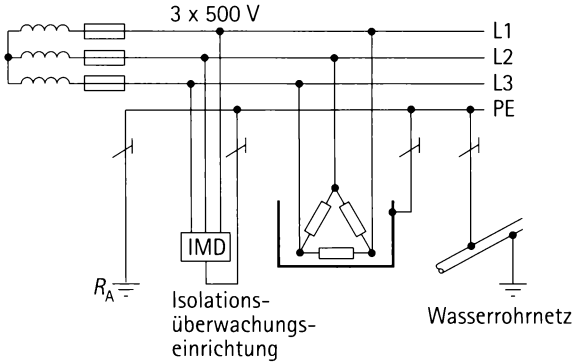



***Bild 5.19:*** *Schutz im IT-System*

Mit Inkrafttreten der VDE 0100-410 im Januar 1997 ist die *Isolationsüberwachungseinrichtung* zur Erkennung des ersten Fehlers durch ein akustisches und/oder optisches Signal immer vorgeschrieben. Der Fehler sollte so schnell wie möglich beseitigt werden, z. B. beim nächsten Stillstand der Anlage. Wenn sowohl hörbare als auch sichtbare Signale vorhanden sind, ist es zulässig, das hörbare Signal abzuschalten. Das sichtbare Signal muss jedoch bestehen bleiben, solange der Fehler besteht. Um beim Auftreten eines zweiten Fehlers (s. Abschn. 5.6.4.2) den Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen (Schutz bei indirektem Berühren) zu gewährleisten, ist *Schutz durch automatisches Abschalten* der Stromversorgung anzuwenden. Dies kann durch Überstromschutzeinrichtungen oder netzspannungsunabhängige Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) erfolgen. Ein zusätzlicher Potenzialausgleich ist nur noch erforderlich, wenn die Abschaltbedingungen nicht erfüllt werden können (s. u.) oder wenn es sich um besondere Anlagen und Bereiche nach der Gruppe 700 der VDE 0100 handelt.

Eine Anpassung bestehender Anlagen, die vor Januar 1997 errichtet wurden, an die neue VDE 0100-410 ist nicht erforderlich. Falls eine Isolationsüberwachungseinrichtung vorhanden ist, sollte jedoch in bestehenden Anlagen überprüft werden, ob der Schutz beim Auftreten des zweiten Fehlers gemäß den Anforderungen erfüllt ist, sodass die Anlage auch der neuen VDE 0100-410 entspricht. Als Erleichterung käme hinzu, dass u. U. der zusätzliche Potenzialausgleich in der gesamten Anlage nicht mehr erforderlich ist.

Ist das Mitführen eines *Neutralleiters* erforderlich, so müssen die Betriebsmittel, die zwischen einem Außenleiter und dem Neutralleiter angeschlossen werden, für die verkettete Spannung isoliert sein. Der Nachweis dafür ist meist schwer zu führen. Deshalb sollte auf das Mitführen eines Neutralleiters verzichtet werden.

Benötigt man verschiedene Spannungen, so sollten lieber zwei Transformatoren verwendet werden.

Kein aktiver Leiter der Anlagen darf direkt geerdet sein. Allerdings kann eine Erdung über Impedanzen oder künstliche Sternpunkte zur Herabsetzung von Überspannungen oder zur Dämpfung von Schwingungen notwendig sein. Alle Körper müssen einzeln, gruppenweise oder in ihrer Gesamtheit über einen Schutzleiter geerdet werden. Der Schutzleiterquerschnitt kann der Tabelle 5.18 entnommen werden.

Beim IT-System sind in erster Linie die Kapazitäten $C$ zwischen den Leitern und Erde (PE) die Ursache dafür, dass bei einem Erdschluss am gesunden Netz überhaupt ein Stromfluss zustande kommt (**Bild 5.20**). Dieser Fehlerstrom $I_d$, der beim ersten Fehler mit sattem Körperschluss zwischen einem Außenleiter und dem Schutzleiter auftritt, ist immer klein gegenüber dem z. B. im TN-System auftretenden Kurzschlussstrom. In Kleinstanlagen liegt er unter 1...10 mA. Das ist der Grund für die hohe Unfall- und Brandsicherheit kleiner Anlagen. In größeren Industrienetzen kann der kapazitive Erdschlussstrom dagegen bis 1 A und mehr betragen. Eine Auswahl kapazitiver Ableitströme enthält **Tabelle 5.17**.

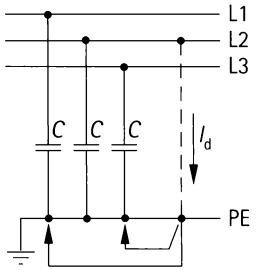



***Bild 5.20:*** *Fehlerstrom im Fall des ersten Fehlers*

***Tabelle 5.17:*** *Kapazitive Ableitströme von Leitungen*

| **Leitungsart** | **Querschnitt mm²** | **Ableitstrom mA/100 m** |
|---|---|---|
| Kunststoffkabel NYY | 35 | 3,7 |
| | 50 | 4,9 |
| | 70 | 5,4 |
| | 95 | 6,1 |
| Mantelleitung NYM | 1,5 | 1,2 |
| | 2,5 | 1,4 |
| | 4 | 1,7 |
| | 6 | 1,9 |
| | 10 | 2,2 |
| Gummileitung | 10 | 2,6 |
| | 16 | 2,9 |

Die vorgeschaltete Überstromschutzeinrichtung spricht infolge des Erdschlussstroms $I_d$ jedoch nicht an, und ein schadhaftes Betriebsmittel kann erforderlichenfalls bis zum Schichtende weiterbetrieben werden. Der Fehlerstrom $I_d$ berücksichtigt die Ableitströme und die Gesamtimpedanz der elektrischen Anlage gegen Erde.

Alle Körper sind einzeln, gruppenweise oder gemeinsam durch eine Verbindung zwischen Schutzleitern, Körpern und fremden leitfähigen Teilen zu erden.

Dieser Fehlerstrom $I_d$ in A muss, multipliziert mit der Summe der Widerstände in Ω des Erders und des Schutzleiters der Körper, kleiner sein als die zulässige Berührungsspannung $U_L$ in V. $U_L$ ist bei Wechselstromsystemen 50 V, bei Gleichstromsystemen 120 V:

$$R_A \cdot I_d \leq U_L .$$

Früher wurde unter $R_A$ der Erdungswiderstand aller mit dem Erder verbundenen Körper verstanden; nun ist in $R_A$ der Widerstand der Schutzleiter enthalten, d. h., um den maximal zulässigen Erderwiderstand zu erhalten, muss man von dem errechneten $R_A$ aus der umgestellten Formel $R_A \cdot I_d \leq 50$ V AC oder 120 V DC

$$R_A \leq \frac{50 \text{ V bzw. } 120 \text{ V}}{I_d}$$

den Widerstand der Schutzleiter abziehen.

Die Vor- und Nachteile des IT-Systems sollen zusammengefasst werden. Allgemein kann man folgende *Vorteile* geltend machen:

1. Unfallsicherheit wegen der natürlichen Begrenzung der Berührungsströme:
   - In kleineren Anlagen können die größtmöglichen Berührungsströme unterhalb der Unfallgrenze gehalten werden.
   - Anlagen mit selbstständiger Abschaltung durch die Isolationsüberwachungseinrichtung lassen sich mit einem hohen Sicherheitsgrad bauen.
2. Brandsicherheit:
   - Versteckte Isolationsschäden können schon im Entstehen erkannt und beseitigt werden.
   - Bei kleinen und mittleren Anlagen können keine Erdschlusslichtbögen als Zündursache auftreten.
3. Betriebssicherheit:
   - Ein Außenleiter kann vollen Körperschluss haben, ohne dass dadurch das betreffende Betriebsmittel ausfällt. Auch bei zweipoligem Körperschluss

an verschiedenen Betriebspunkten wird die kleinere Sicherung zuerst ansprechen, sodass für das Ansprechen einer Hauptsicherung geringe Wahrscheinlichkeit besteht.

- Die Betriebsmittel können bei unvollkommenem Körperschluss durch Lichtbögen nicht beschädigt werden.
- Mit Hilfe der nur hierbei möglichen ständigen Isolationsüberwachung während des Betriebs kann das Netz in einem Zustand hoher Zuverlässigkeit erhalten werden.

Als wesentlicher *Nachteil* ist anzuführen, dass sich die Fehlerstelle bei einpoligem Erdschluss nicht durch Ansprechen von Schutzeinrichtungen kenntlich macht, was besonders bei verzweigten Anlagen und ungeübtem Personal störend sein kann.

#### 5.6.4.1 Isolationsüberwachungseinrichtung

Die Isolationsüberwachungseinrichtung (IMD; vom Englischen **I**nsulation **M**onitoring **D**evice) muss den ersten Körper- oder Erdschluss akustisch und/oder optisch anzeigen (Bild 5.19). Der Wechselstrominnenwiderstand des Messgeräts darf 15 kΩ (VDE 0413-8, s. Anh. A1.1), in medizinisch genutzten Bereichen nach VDE 0100-710 100 kΩ nicht unterschreiten (s. Abschn. 14.10).

Die Isolationsüberwachungseinrichtung kann den Fehler auch automatisch abschalten, statt nur zu melden, z. B. aus Gründen des Brandschutzes. Eine Abschaltung beim ersten Fehler aus Gründen des Schutzes bei indirektem Berühren widerspricht aber eigentlich der Anwendung des IT-Systems.

Zur Isolationsüberwachung werden heute fast nur noch Geräte verwendet, die mit Gleichspannungsüberlagerung arbeiten. Diese erlauben während des Betriebs ein genaues Ablesen des jeweiligen Isolationswiderstands und melden das Unterschreiten eines Mindestwerts. Das Messen mit Gleichspannung schaltet die Wirkung der immer vorhandenen Leiterkapazitäten gegen Erde aus. Sie ist für Einphasenwechselstrom ebenso geeignet wie für Dreileiter- und Vierleiterdrehstrom.

Die Mindestwerte des Isolationswiderstands $R_E$ sind in den Vorschriften allgemein in Ω/V angegeben. Bei einer Nennspannung des Netzes von 500 V bedeuten 50 Ω/V also $R_E = 500\ \text{V} \cdot 50\ \Omega/\text{V} = 25\,000\ \Omega = 25\ \text{k}\Omega$.

Nach VDE 0100-710 muss eine Anzeige erfolgen, wenn der Isolationswiderstand 50 kΩ unterschreitet (s. Abschn. 14.10). In gesunden trockenen Anlagen ist der Isolationswiderstand natürlich bedeutend höher, weil ja für jede Teilstrecke der Leitungen 1 000 Ω/V, allerdings ohne angeschlossene Verbrauchsgeräte, vorgeschrieben sind.

Für sonstige normale Anlagen mag für die Einstellung des Auslösewerts der Relais von Isolationsmesseinrichtungen 50 Ω/V als Richtlinie gelten. In kleinen trockenen Anlagen ohne sonstige isolationsschädliche Einflüsse kann man auf 100 Ω/V und höher gehen. In größeren Industrieanlagen und in feuchten Anlagen wird man dagegen im Betrieb 50 Ω/V manchmal nicht einhalten können; dann muss der Auslösewert niedriger eingestellt werden.

Es ist notwendig, den ersten angezeigten Isolationsfehler so schnell wie möglich zu beseitigen.

Weitere erlaubte Überwachungseinrichtungen, die zwar international genormt sind, aber in Deutschland kaum Bedeutung haben, sind die Differenzstrom-Überwachungseinrichtung (RCM) und die Isolationsfehler-Sucheinrichtung.

### 5.6.4.2 Abschaltung im Doppelfehlerfall

Der erste Fehler zwischen einem aktiven Teil und einem Körper oder gegen Erde muss – wie im Abschn. 5.6.4.1 beschrieben – durch eine Isolationsüberwachungseinrichtung gemeldet werden. Danach muss im Fall eines zweiten Fehlers eine automatische Abschaltung erfolgen. Bis zum Inkrafttreten des neuen Teils 410 der VDE 0100 im Januar 1997 konnte bei der automatischen Abschaltung im Fall des zweiten Fehlers unter den geforderten Voraussetzungen auf eine Isolationsüberwachung verzichtet werden. Es sind zwei Möglichkeiten zu unterscheiden:

1. Alle Körper sind durch einen Schutzleiter miteinander verbunden und geerdet (**Bild 5.21**). Es gelten die Bedingungen des TN-Systems (s. Abschn. 5.6.2).

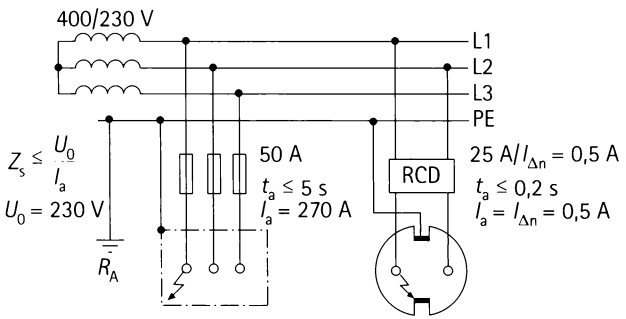



***Bild 5.21:*** *Abschaltbedingungen bei gemeinsamem PE*

2. Die Körper sind einzeln oder in Gruppen geerdet (**Bild 5.22**). Es gelten die Ausführungen über das TT-System (s. Abschn. 5.6.3), jedoch wird der Sternpunkt von Generatoren oder Transformatoren nicht geerdet.

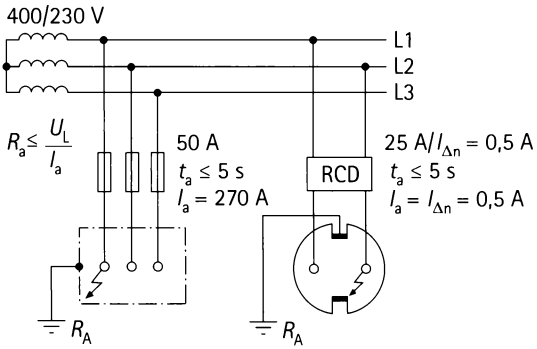



***Bild 5.22:*** *Abschaltbedingungen bei getrennter Erdung*

Im ersten Fall müssen, wie im Abschn. 5.6.2 dargestellt, Überstromschutzeinrichtungen oder Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) – je nach Nennspannung $U_0$ zwischen Außenleiter und Neutralleiter bzw. Nennspannung $U$ zwischen den Außenleitern und je nachdem, ob der Neutralleiter verteilt oder nicht verteilt ist, – innerhalb der in der Tabelle 5.8 (TN-System) angegebenen Zeiten den Doppelfehler abschalten; d. h., es müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

ohne Neutralleiter in AC-Systemen und
ohne Mittelleiter in DC-Systemen

$$Z_S \leq \frac{U}{2 \cdot I_a},$$

mit Neutralleiter bzw. Mittelleiter

$$Z_S' \leq \frac{U_0}{2 \cdot I_a};$$

$U$ Nennwechselspannung oder Nenngleichspannung zwischen Außenleiter und Neutralleiter oder Mittelleiter;

$U_0$ Nennwechselspannung oder Nenngleichspannung zwischen den Außenleitern,

$Z_S$ Impedanz der Fehlerschleife, bestehend aus dem Außenleiter und dem Schutzleiter des Stromkreises zwischen Spannungsquelle und betrachtetem Betriebsmittel (ggf. ist auch die Impedanz der Spannungsquelle zu berücksichtigen),

$Z_S'$ Impedanz der Fehlerschleife, bestehend aus dem Neutralleiter und dem Schutzleiter des Stromkreises,

$I_a$ Strom, der die Abschaltung innerhalb der in der Tabelle 5.8 angegebenen Zeiten bewirkt. Die in der Tabelle 5.8 für TN-Systeme angegebenen Zeiten werden hier für IT-Systeme mit oder ohne Verteilung von Neutral- oder Mittelleiter angewendet. Bei einer Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) ist $I_a = I_{\Delta n}$; $I_{\Delta n}$ muss allerdings so groß sein, dass die Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) nicht schon beim ersten Fehler anspricht.

Der Faktor 2 im Nenner der Formeln für die Schleifenimpedanzen berücksichtigt, dass im Doppelfehlerfall der Fehlerstrom über Teilimpedanzen von zwei Stromkreisen fließt, wobei der Faktor 2 eine Vereinfachung zur sicheren Seite hin bedeutet. Tatsächlich ist die Fehlerbetrachtung sehr viel aufwändiger, und je nach Anzahl der Stromkreise wären mehrfache Fehlerbetrachtungen nötig. Für die Impedanz der Fehlerschleife sollte der ungünstigste Fall berücksichtigt werden, z. B. ein Fehler am Außenleiter an der Stromquelle und gleichzeitig ein anderer Fehler an einem Außenleiter einer anderen Phase bzw. am Neutralleiter eines elektrischen Verbrauchsmittels des betrachteten Stromkreises.

Wenn die Bedingungen $Z_S \leq U / (2 \cdot I_a)$ bzw. $Z'_S \leq U_0 / (2 \cdot I_a)$ bei der Verwendung von Überstromschutzeinrichtungen nicht erfüllt werden können, muss ein zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich (s. Abschn. 5.6.2.6) oder auch der Schutz durch eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) für jedes Verbrauchsmittel vorgesehen werden.

Im zweiten Fall müssen alle Körper, die durch eine Schutzeinrichtung gemeinsam geschützt sind, durch Schutzleiter an einen gemeinsamen Erder angeschlossen werden. Gleichzeitig berührbare Körper müssen an denselben Erder angeschlossen werden. Auch hier muss ein Doppelfehler durch Überstromschutzeinrichtungen oder Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) abgeschaltet werden. Es gilt die Formel

$$R_A \cdot I_a \leq 50\ \text{V}\,,$$

die im Abschn. 5.6.3 näher erläutert wird.

### 5.6.4.3 Prüfungen im IT-System

s. auch Kap. 15

Die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen im IT-System ist vor Inbetriebnahme zu prüfen. Dies geschieht auf vierfache Weise:

a) Mit einem Widerstandsmessgerät (Messbereich etwa 20 Ω) wird festgestellt, ob alle zu schützenden Gerätegehäuse (Motoren, Schutzkontaktstücke) und – sofern ein zusätzlicher Potenzialausgleich notwendig ist – alle großen Metallteile (Wasserleitung, Gebäudekonstruktionen, Erder aller Art) zuverlässig mit dem gemeinsamen Schutzleiter verbunden sind. Ein Anhaltspunkt für den höchstzulässigen Widerstand des Schutzleiters ergibt sich daraus, dass bei einem Doppelerdschluss über den Schutzleiter der volle Netzkurzschlussstrom fließen muss. Der Spannungsfall am Schutzleiter darf dann nicht mehr als 50 V betragen. Widerstandsmessgeräte müssen VDE 0413-4 entsprechen.

b) Mit einer Erdungsmessbrücke wird der Erdungswiderstand gemessen. In Industrieanlagen wird es oft schwer sein, mit den Messsonden aus dem Spannungstrichter herauszukommen. Ein genauer Wert des Erdungswiderstands ist jedoch auch nicht von der gleichen großen Bedeutung wie der Zusammenschluss aller Erder und Metallmassen (Schutzpotenzialausgleich).

c) Das Isolationsüberwachungsgerät ist durch Betätigen der Prüfeinrichtung zu erproben.

d) Der Reihe nach sind die einzelnen Außenleiter und ggf. auch der Neutralleiter über den Widerstand von etwa 20 Ω/V Betriebsspannung mit dem Schutzleiter zu verbinden. Wenn eine Überspannungssicherung vorhanden ist, ist auch diese noch zu überbrücken. In allen Fällen ist zu beobachten, ob das Isolationsüberwachungsgerät den künstlichen Fehler ordnungsgemäß anzeigt.

e) Der Schutzleiter wird mit dem Sternpunkt des Transformators bzw. in Einphasennetzen mit einem Außenleiter verbunden. Anschließend wird die Schleifenimpedanz $Z_S$ Transformator–Außenleiter–Schutzleiter–Transformator bei allen drei Außenleitern gemessen, wie dies im Abschnitt 15.3 näher beschrieben wird. Auf diese Weise kann der Abschaltstrom $I_a$ errechnet werden.

f) Der Fehlerstrom $I_d$ ist durch ein zwischen Außenleiter und Schutzleiter einzubringendes Strommessgerät zu messen. Der so ermittelte Wert ist mit dem Erdungswiderstand nach b) zu multiplizieren. Das Ergebnis muss kleiner als die höchstzulässige Berührungsspannung (50 V) sein.

### 5.6.5 FELV

FELV (engl.: **f**unctional **e**xtra-**l**ow **v**oltage; frühere Bezeichnung: „Funktionskleinspannung ohne sichere Trennung") ist im Sinne der VDE-Bestimmung keine eigenständige Schutzmaßnahme, da die Bedingungen für SELV und PELV (s. 5.11) nicht erfüllt werden. Dies kann z. B. bei Kleinspannungsstromkreisen mit 50 V AC oder 120 V DC der Fall sein, wenn der Stromkreis Betriebsmittel, wie Transformatoren, Relais, ferngesteuerte Schalter, Schütze, enthält, deren Isolierung den Anforderungen für die sichere Trennung nicht entspricht. Um den Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) und Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) zu erreichen, müssen ergänzende Schutzmaßnahmen angewendet werden.

Der *Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren)* ist durch Abdeckung oder Umhüllung oder durch Isolierung entsprechend der Prüfspannung zu gewährleisten, die für den Primärstromkreis gefordert ist.

Beim *Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren)* muss in einem System, in dem Schutz durch automatisches Abschalten der Stromversorgung angewendet wird,

der Körper des FELV-Stromkreises mit dem Schutzleiter des Primärstromkreises verbunden werden, vorausgesetzt, der Primärstromkreis ist durch eine der Schutzmaßnahmen *automatische Abschaltung der Stromversorgung* im TN-, TT- oder IT-System (s. Abschn. 5.6.2 bis 5.6.4) geschützt. FELV wird nach mit dem im Juni 2007 in Kraft getretenen Teil 410 von VDE 0100 deshalb auch der Schutzmaßnahme *automatische Abschaltung der Stromversorgung* zugeordnet. In einem System, in dem Schutz durch *Schutztrennung mit mehr als einem Verbrauchsmittel* angewendet wird, die den FELV-Stromkreis versorgt, muss der Körper des FELV-Stromkreises mit dem isolierten, nicht geerdeten Schutzpotenzialausgleichsleiter verbunden werden (s. Abschn. 5.10.3).

Der Kleinspannungsstromkreis muss aus einem Steuertransformator (Symbol: ⚠) gespeist werden, d. h. aus einem Transformator mit getrennten Wicklungen, der jedoch nicht den Anforderungen eines Sicherheitstransformators nach VDE 0570-2-6 entspricht, oder wenn durch andere Betriebsmittel eine sichere Trennung nicht zu erreichen ist, ist für den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) der Körper der Betriebsmittel an den Schutzleiter des Primärstromkreises anzuschließen (**Bild 5.23**). Die Abschaltbedingungen im Fehlerfall müssen dabei nicht erfüllt sein. Dieser zweite Fall ist gegeben, wenn das FELV-System z. B. über einen Spartransformator, ein Potenziometer oder Halbleiterleitereinrichtungen gespeist wird. Der Ausgangsstromkreis wird dann als eine Erweiterung des Primärstromkreises angesehen, dessen Schutzmaßnahme dann wirken muss.

*Stecker* für FELV-Stromkreise dürfen nicht in Steckdosen anderer Spannungen oder Spannungssysteme, wie SELV, eingeführt werden können, auch nicht in Steckdosen von PELV-Stromkreisen. Umgekehrt dürfen FELV-Steckdosen keine Stecker anderer Spannung oder Spannungssysteme, wie SELV und PELV, zulassen.

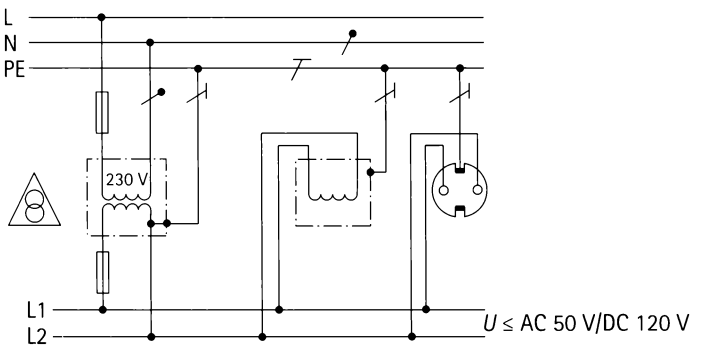



***Bild 5.23:** FELV*

Angewendet wird FELV u. a. in Steuer- und Hilfsstromkreisen bis AC 50 V. Für diese Stromkreise müssen die vorgenannten Bedingungen für FELV erfüllt werden, d. h., es muss sowohl der Schutz gegen direktes als auch bei indirektem Berühren erfüllt sein.

## 5.6.6 Zusätzlicher Schutz für Steckdosen und für Endstromkreise für den Außenbereich

### 5.6.6.1 Zusätzlicher Schutz für Steckdosen

Mit Inkrafttreten von VDE 0100-410 vom Juni 2007 gilt eine neue Anforderung, die es bisher in diesem Umfang noch nicht gegeben hat. Für bestimmte Wechsel- und Drehstromsteckdosen mit einem Bemessungsstrom ≤ 20 A muss bei Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung als Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) ein so genannter *zusätzlicher Schutz* durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom ≤ 30 mA vorgesehen werden. Dies gilt für Steckdosen, die dazu bestimmt sind,

- von *Laien* und
- zur *allgemeinen Verwendung*

benutzt zu werden.

Hierunter würde eigentlich ein Großteil aller Steckdosen fallen, weil zum einen als Laie im Sinne der VDE 0100-200 gilt, wer weder Elektrofachkraft noch eine elektrotechnisch unterwiesene Person ist, und zum anderen die meisten Steckdosen zur allgemeinen Verwendung vorgesehen sind oder zur allgemeinen Verwendung benutzt werden. Nach einer Anmerkung der Norm darf aber ein großer Teil der Steckdosen von der Forderung nach dem zusätzlichen Schutz ausgenommen werden und zwar Steckdosen, die durch Elektrofachkräfte oder elektrotechnisch unerwiesene Personen – wie es in der Norm heißt – *überwacht* werden, wie in einigen gewerblichen oder industriellen Anlagen.

Da der Begriff „Überwachen" in der Norm nicht erläutert wird, ist davon auszugehen, dass es sich bei *Überwachen durch Elektrofachkräfte oder elektrotechnisch unterwiesene Personen* um die Pflicht des Arbeitgebers (Begriff nach der Betriebssicherheitsverordnung) oder Unternehmers (Begriff nach der Unfallverhütungsvorschrift) handelt, nach der Betriebssicherheitsverordnung und der Unfallverhütungsvorschrift DGUV Vorschrift 3 (BGV A3) bzw. DGUV Vorschrift 4 (GUV-V A3) elektrische Anlagen regelmäßig durch wiederkehrende Prüfungen prüfen zu lassen, wozu auch Steckdosen oder Steckdosenstromkreise gehören, die Teil der elektrischen Anlage sind. Danach brauchen also Steckdosen oder Steck-

dosenstromkreise nicht zusätzlich durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) geschützt zu werden. Insofern ist die in der Norm als Anmerkung gemachte Aussage, eine Ausnahme dürfe gemacht werden für Steckdosen, die durch Elektrofachkräfte oder elektrotechnisch unterwiesene Personen überwacht werden wie *z. B. in einigen gewerblichen oder industriellen Anlagen*, unverständlich. Nach der Betriebssicherheitsverordnung und den einschlägigen Unfallverhütungsvorschriften müssen elektrische Anlagen in gewerblichen oder industriellen Anlagen alle überwacht werden. Eine zusätzliche (nationale) Anmerkung in der Norm kann bei den Elektrokräften, Arbeitgebern und Unternehmern zur Verwirrung führen. Es heißt in der Anmerkung, als *ständig überwachte* elektrische Anlagen und Betriebsmittel gelten solche, die von Elektrofachkräften in Stand gehalten werden und bei denen durch messtechnische Maßnahmen sichergestellt sei, dass dadurch Schäden rechtzeitig entdeckt und behoben werden könnten. Danach müsste dann jeder Arbeitgeber oder Unternehmer je nach Situation entscheiden, ob seine elektrischen Anlagen als ständig überwacht gelten können. Bei der Errichtung der elektrischen Anlage in einem Neubau, der z. B. erst nach der Fertigstellung auf einen Unternehmer übergeht, steht gegebenenfalls noch gar nicht fest, ob die elektrische Anlage und die elektrischen Betriebsmittel als *ständig überwacht* im oben dargestellten Sinne gilt. Dann weiß der Planer oder Errichter der elektrischen Anlage nicht, ob die Steckdosenstromkreise zusätzlich mit Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) geschützt werden müssen. Im Zweifelsfall muss der Planer und Installateur einer elektrischen Anlage die betroffenen Steckdosenstromkreise durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) schützen.

Von der Forderung nach einem zusätzlichen Schutz durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom von $\leq 30$ mA dürfen auch Steckdosen ausgenommen werden, die jeweils für den *Anschluss nur eines bestimmten Verbrauchsmittels* vorgesehen sind. Das können Verbrauchsmittel sein, an die z. B. erhöhte Anforderungen an die Verfügbarkeit gestellt werden, wie ein Gefriergerät, eine Sumpfpumpe im Kellerraum, Stromversorgung für die Heizungsanlage. Nach der Norm wird empfohlen, in Fällen, in denen die ausschließliche Verwendung der Steckdose für bestimmte Verbrauchsmittel in Zweifel gezogen wird, entweder auf die Ausnahme zu verzichten oder das bestimmte Verbrauchsmittel fest anzuschließen. Dies ist in der Praxis sicher schwierig umzusetzen. Eine Sumpfpumpe kann eher fest angeschlossen werden, obwohl diese steckerfertig geliefert wird. Bei einem Gefriergerät wird es schon schwierig. Ein Laie wird – da ein Gefriergerät steckerfertig geliefert wird – es auch über eine Steckdose anschließen, zumal der Käufer oder Benutzer des Gefriergeräts bei einem Festanschluss gegen die Betriebsanleitung für das Gefriergerät verstoßen würde, beim Abtauen und Reinigen des Geräts, den Stecker zu ziehen. Die Problematik dazu wird von den Experten, die

das Buch zur Erläuterung von VDE 0100-410:2007-06 [1] verfasst haben, ausgiebig beleuchtet. Auch eine Kennzeichnung solch einer Steckdose im Laienbereich ist praxisfremd. Ein Laie wird sich an eine Kennzeichnung in der Regel nicht halten.

#### 5.6.6.2 Zusätzlicher Schutz für Endstromkreise für den Außenbereich

*Endstromkreise für im Außenbereich verwendete tragbare Betriebsmittel* mit einem Bemessungsstrom ≤ 32 A müssen ebenfalls zusätzlich durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom ≤ 30 mA geschützt werden. Hier wird in der Norm von Endstromkreisen gesprochen. Endstromkreise sind Stromkreise, die dafür vorgesehen sind, elektrische Verbrauchsmittel oder Steckdosen unmittelbar mit Strom zu versorgen. Im Unterschied zu der oben genannten Forderung, wonach Wechsel- und Drehstromsteckdosen zusätzlich durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) zu schützen sind, wird hier für den Außenbereich von Endstromkreisen gesprochen. Es muss sich ja auch nicht immer um einen Stromkreis mit Steckdose handeln. Tragbare Betriebsmittel können auch fest angeschlossen sein. Es soll der gesamte Stromkreis geschützt werden, da der Stromkreis einer außen liegenden Steckdose, an die ein tragbares Betriebsmittel angeschlossen wird, oder eines fest angeschlossenen Betriebsmittels wenigstens zum Teil auch im Außenbereich verläuft (oberirdisch, unterirdisch oder in Erde). Wichtig ist auch zu beachten, dass der zusätzliche Schutz im Außenbereich nicht nur für den Fall der Verwendung von tragbaren Betriebsmitteln der Schutzklasse I (tragbare Verbrauchsmittel mit Schutzleiteranschluss), sondern auch der Schutzklasse II (elektrische Betriebsmittel mit doppelter oder verstärkter Isolierung; früher nach VDE 0100: schutzisolierte Verbrauchsmittel genannt) gilt.

Im Gegensatz zu der Forderung nach zusätzlichem Schutz für Steckdosen allgemeiner Nutzung, wird bei der Forderung nach zusätzlichem Schutz von Endstromkreisen für im Außenbereich verwendete tragbare Betriebsmittel mit einem Bemessungsstrom ≤ 32 A nicht unterschieden nach der Nutzung durch Laien sowie durch Elektrofachkräfte oder elektrotechnisch unterwiesenen Personen. Diese Endstromkreise für im Außenbereich verwendete tragbare Betriebsmittel müssen ausnahmslos durch eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) zusätzlich geschützt werden.

Zu beachten ist auch, dass der zusätzliche Schutz für im Außenbereich verwendete tragbare Betriebsmittel gilt. Das bedeutet, dass nicht nur im Außenbereich angebrachte Steckdosen diesen Schutz haben müssen, sondern gegebenenfalls auch im Innenbereich angebrachte Steckdosen, wenn daran tragbare Betriebsmittel angeschlossen werden, die im Außenbereich verwendet werden. Dies kann dazu führen, dass eine im Innenbereich eines Industrie- oder Gewerbebetriebs angebrachte

Steckdose, die durch Elektrofachkräfte oder elektrotechnisch unterwiesene Personen überwacht wird, trotzdem den zusätzlichen Schutz durch eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) haben muss. Um die Anforderung trotzdem zu erfüllen, könnten in solch einem Fall diese Steckdosen als ortsfeste Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) in Steckdosenausführung zur Schutzpegelerhöhung (SRCDs) ausgeführt sein (s. Abschn. 5.6.7).

Die Anforderung für Endstromkreise im Außenbereich ist nicht ganz neu. Bisher mussten auch schon bei Anlagen im Freien Steckdosen bis zu einem Bemessungsstrom von 20 A (ganz früher auch schon 32 A, nun wieder 32 A) bei Schutz durch automatisches Abschalten der Versorgung in TN- und TT-Systemen durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsfehlerstrom ≤ 30 mA geschützt werden. Steckdosen in Innenräumen, an die Geräte (tragbare Betriebsmittel) angeschlossen wurden, die gelegentlich im Freien benutzt wurden, mussten ebenfalls durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsfehlerstrom ≤ 30 mA geschützt werden. Das traf z. B. zu beim Anschluss des elektrischen Rasenmähers an eine Steckdose im Wohnzimmer oder Keller oder beim Anschluss eines elektrischen Werkzeugs der Schutzklasse I, das im Freien benutzt wurde, an eine Steckdose in der Werkstatt, also im gewerblichen und industriellen Bereich.

#### 5.6.6.3 Anwendung von Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) für den zusätzlichen Schutz

**Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCBOs) mit eingebautem Überstromschutz**

Die hier in den Abschn. 5.6.6.1 und 5.6.6.2 geforderten Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) (für Steckdosen und für Endstromkreise im Außenbereich) sollten zulässige Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCBOs) mit eingebautem Überstromschutz (s. Abschn. 5.6.7.2) (auch FI/LS-Schalter genannt) sein und in jedem Endstromkreis eingesetzt werden. Damit kann dann der Personen-, Brand- und Leitungsschutz mit einem Gerät erfüllt werden. Durch Schutzgeräte in jedem Endstromkreis werden auch unerwünschte Abschaltungen fehlerfreier Stromkreise vermieden, was die Anlagenverfügbarkeit erhöht. Solche unerwünschten Abschaltungen können durch Aufsummierung betriebsbedingter Ableitströme oder durch transiente Stromimpulse bei Schalthandlungen hervorgerufen werden.

**Einsatz von Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs)**

Der Einsatz von Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom ≤ 30 mA, hat sich in Wechselstromsystemen als zusätzlicher Schutz beim Versagen des Basisschutzes (Schutz gegen direktes Berühren) und des Fehlerschutzes (Schutz bei indirektem Berühren) und auch bei leichtsinnigem

Verhalten des Benutzers beim Umgang mit der elektrischen Energie bewährt. Die Norm spricht hier von Sorglosigkeit des Benutzers. Gemeint ist etwa das bekannte Beispiel des Benutzens eines Haarföns in der Badewanne.

Wichtig ist aber zu beachten, dass der in diesem Abschnitt beschriebene Einsatz von Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) als zusätzlicher Schutz nicht als alleiniges Mittel des Schutzes gegen elektrischen Schlag anerkannt ist. Es muss immer eine der Maßnahmen Schutz durch

- automatische Abschaltung der Stromversorgung,
- doppelte oder verstärkte Isolierung (bisher: Schutzisolierung) oder
- Schutztrennung

angewendet werden. Allerdings dürfen der *Fehlerschutz* (Schutz bei indirektem Berühren) und der *zusätzliche Schutz* durch dieselbe Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) erfüllt werden, vorausgesetzt, der Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n}$ ist $\leq 30$ mA und die Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) befindet sich an der Einspeisung des Stromkreises.

Für den zusätzlichen Schutz nur für eine Steckdose kann auch eine zusammen mit der fest installierten Steckdose in einer Einbaueinheit zusammengebaute Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) (s. Abschn. 5.6.7.1) eingesetzt werden (**Bild 5.24**).

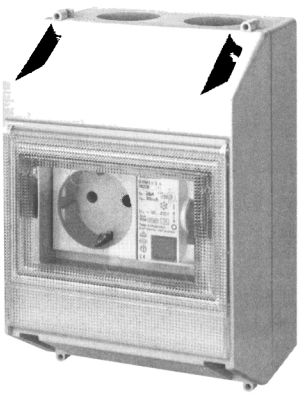


***Bild 5.24:*** *Fest installierte Steckdose in einer Baueinheit mit ortsfester Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) (Werkbild: Siemens)*

### Schutzpegelerhöhung

Eine *Schutzpegelerhöhung* ist ein ergänzender Schutz gegen elektrischen Schlag, ohne jedoch Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag zu ersetzen.

Nur zu solcher Schutzpegelerhöhung von Verbrauchsmitteln, die an einer Steckdose angeschlossen sind, und nicht für den zusätzlichen Schutz dürfen deshalb ortsfeste Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) in Steckdosenausführung zur Schutzpegelerhöhung eingesetzt werden. Dabei kann es sich um eine in der Steckdose integrierte Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) handeln (SRCD) (s. Abschn. 5.6.7 und **Bild 5.25**).

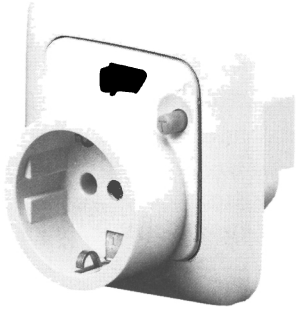


***Bild 5.25:*** *Ortsfeste Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) in Steckdosenausführung zur Schutzpegelerhöhung (SRCD) (Werkbild: ABB)*

Eine Schutzpegelerhöhung für elektrische Verbrauchsmittel, die ja nicht zu der elektrischen Anlage gehören, lässt sich durch ortsveränderliche Fehlerstromschutzeinrichtungen (PRCDs) erreichen (s. Abschn. 5.6.7.5).

#### 5.6.6.4 Zusätzlicher Schutz bei direktem Berühren in Wohnungen

Netzspannungsunabhängige Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) dienen dem Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren). Empfindliche Fehlerstromschutzeinrichtungen können darüber hinaus als zusätzlicher Schutz *bei direktem* Berühren angesehen werden.

Voraussetzung ist, dass der Bemessungsdifferenzstrom der Schutzeinrichtung $\leq 30$ mA ist. Die Schutzwirkung dieser Fehlerstromschutzeinrichtungen beruht auf der extrem kurzen Ausschaltzeit von 40 ms beim Überschreiten des sehr kleinen Bemessungsfehlerstroms. Berührt ein Mensch ein über eine derartige Schutzeinrichtung geschütztes aktives Teil, so fließt je nach Standortwiderstand, Stromweg und Körperwiderstand ein Strom von 30 mA. Liegt der Strom unter 30 mA, so muss normalerweise mit keinen organischen Schäden gerechnet werden. Liegt der Strom über 30 mA (der Strom wird durch den Körperwiderstand auf maximal 220 mA begrenzt), schaltet die Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) innerhalb von 40 ms ab, also bevor die Flimmerschwelle überschritten wird (s. Bild 5.1).

Nach der zz. noch geltenden Leitlinie (nicht VDE-Bestimmung) VDE 0100-739 „Zusätzlicher Schutz *bei direktem* Berühren in Wohnungen durch Schutzeinrichtungen mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA in TN- und TT-Systemen" aus dem Jahre 1989 darf in Wohnungen – auch in einzelnen Räumen von Wohnungen, die vorübergehend oder dauernd zu beruflichen oder gewerblichen Zwecken benutzt werden – durch *Schutzeinrichtungen* mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA der zusätzliche Schutz *bei* direktem Berühren angewendet werden, allerdings nur als Ergänzung zum Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren). Als alleiniger Schutz gegen direktes Berühren sind Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) natürlich nicht zulässig. Es ist immer eine der in Abschn. 5.3 beschriebenen Basisschutzmaßnahmen anzuwenden. In VDE 0100-739 wird vom zusätzlichen Schutz *bei* direktem und nicht *gegen* direktes Berühren gesprochen. Dies soll den Unterschied aufzeigen, dass der zusätzliche Schutz bei direktem Berühren in keinem Falle den Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) ersetzen kann. In VDE 0100-739 wird auch von *Schutzeinrichtungen* und nicht von Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) gesprochen. Dies sagt aus, dass für diesen speziellen Fall des zusätzlichen Schutzes bei direktem Berühren in Wohnungen praktisch alle nach dem Prinzip der Fehler- oder Differenzstromauslösung funktionierenden Schutzeinrichtungen eingesetzt werden können, also z. B. auch die für Schutzzwecke nicht zugelassenen netzspannungs*ab*hängige Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) (frühere Bezeichnung: Differenzstromschutzschalter oder DI-Schutzschalter).

Mit dem Inkrafttreten des neuen Teils 410 von VDE 0100 im Juni 2007 ist die VDE-Leitlinie, die sich nur auf Wohnungen bezieht, wegen des geforderten zusätzlichen Schutzes für bestimmte Steckdosen im so genannten Laienbereich (s. Abschn. 5.6.6.1), wozu Wohnungen in der Regel gehören, eher bedeutungslos. Die neue Forderung des zusätzlichen Schutzes bezieht sich zwar nur auf Steckdosen und nicht auf die Steckdosenstromkreise (Endstromkreise), aber die Gefahr durch den sorglosen Umgang mit elektrischen Verbrauchsmitteln und die fehlende Sorgfalt bei Beschädigungen, insbesondere von Anschlussleitungen, geht ja in erster Linie von den an Steckdosen angeschlossenen Verbrauchsmitteln und den zugehörigen Anschlussleitungen aus. In Wohnungen wird aber auch von Laien an der Elektroinstallation gearbeitet. Dies ist zwar natürlich nicht zulässig. Aber um in der Praxis auch für diesen Fall einen zusätzlichen Schutz *bei* direktem Berühren, wie er in VDE 0100-739 beschrieben ist, zu erreichen, sollten Schutzeinrichtungen mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA zum Schutz des gesamten Endstromkreises eingesetzt werden, wenn nicht sowieso – was bei neu errichteten Anlagen die Regel sein wird – die Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) für den zusätzlichen Schutz von Steckdosen gleich im elektrischen Verteiler, also am Anfang des Endstromkreises, eingebaut werden.

Für bestimmte Bereiche besonderer Gefährdung werden sowieso für Stromkreise oder Steckdosen Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA gefordert, z. B.:

- Räume mit Badewanne oder Dusche (VDE 0100-701) (s. Abschn. 14.3),
- Becken von Schwimmbädern und andere Becken (VDE 0100-702) (s. Abschn. 14.4),
- Räume und Kabinen mit Saunaheizungen (VDE 0100-703) (s. Abschn. 14.20),
- auf Baustellen alle Endstromkreise, die Steckdosen versorgen (VDE 0100-704) (s. Abschn. 14.6),
- bestimmte Wohnbereiche von landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten (VDE 0100-705) (s. Abschn. 14.8),
- auf Caravanplätzen, auf Campingplätzen und in ähnlichen Bereichen jede einzelne Steckdose und jeder Endstromkreis, der für die feste Verbindung zur Versorgung eines Mobilheimes oder eines Parkwohnheimes vorgesehen ist (VDE 0100-708) (s. Abschn. 14.24),
- jede einzelne Steckdose und jeder Endstromkreis, die/der für den festen Anschluss zur Versorgung von Hausbooten vorgesehen ist (VDE 0100-709) (s. Abschn. 14.23),
- alle Steckdosenstromkreise $\leq 32$ A und alle Endstromkreise (außer Notbeleuchtung) von Ausstellungen, Shows und Ständen (VDE 0100-711),
- alle Endstromkreise für bestimmte Beleuchtung im Handbereich, Steckdosen $\leq 32$ A und über flexible Leitungen ($I_Z \leq 32$ A) versorgte ortsveränderliche Betriebsmittel von vorübergehend errichtete Anlagen auf Kirmesplätzen und Vergnügungspark (Aufbauten, Vergnügungseinrichtungen, Buden) und für Zirkusse (VDE 0100-740) sowie
- Fußboden- und Decken-Flächenheizungen (VDE 0100-753) (s. Abschn. 11.4).

In TN- und TT-Systemen von Wohnungen ist der zusätzliche Schutz bei direktem Berühren durch Schutzeinrichtungen mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA in den nachstehend genannten Bereichen empfohlen, in denen ein aufgrund der Unfallstatistik erkanntes Unfallrisiko besteht oder zu erwarten ist:

- In alten Anlagen, in denen nach früheren Normen keine Automatische Abschaltung der Stromversorgung erforderlich war und
- bei Stromkreisen mit Steckdosen in bestehenden Anlagen, für die bei ihrer Neuinstallation Schutzeinrichtungen mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA noch nicht zwingend gefordert sind.

## 5.6.7 Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs)

VDE 0100-530 u. VDE 0664-10 Bbl. 1

### 5.6.7.1 Überblick, Begriffe

Im Zuge der internationalen Harmonisierung der technischen Regelwerke wurde vor einigen Jahren als Oberbegriff für die nach dem gleichen technischen Prinzip – Auftreten eines Differenzstroms – arbeitenden Schutzeinrichtungen „Fehlerstromschutzeinrichtung" und „Differenzstromschutzeinrichtung" das Kunstwort *RCD* (engl.: **r**esidual **c**urrent protective **d**evice; Geschlecht: weiblich – die RCD; Plural: RCDs) geschaffen. Die „Fehlerstromschutzeinrichtung" wurde im Sinne des VDE-Regelwerks als *RCD ohne Hilfsspannungsquelle* und die „Differenzstromschutzeinrichtung" als *RCD mit Hilfsspannungsquelle* bezeichnet. Diese Bezeichnung wurde in den letzten Jahren in die VDE-Bestimmungen der Reihe 0100 übernommen.

Allerdings stieß diese Festlegung auf Widerstand in Fachkreisen – vor allem im Bereich des Elektrohandwerks, das mit dem nichts sagenden Kunstwort RCD nicht glücklich war. Deshalb hatte das zuständige Komitee der „Deutschen Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik" (DKE) entschieden, für die verschiedenen Arten von Fehlerschutzschaltern, -schutzgeräten und -schutzeinrichtungen künftig einheitlich die Benennung *Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD)*, Plural: *Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs)*, zu verwenden, wobei der Klammerausdruck Bestandteil der Benennung ist. Damit wird einerseits erreicht, dass der in Deutschland eingeführte anschauliche Begriffe „Fehlerstromschutzeinrichtung" – im Fachjargon kurz „der FI" – weiter benutzt werden darf, dass aber andererseits auch die – nunmehr in Klammern genannte – internationale Bezeichnung „RCD" erhalten bleibt.

Allerdings ist zu beachten, dass jetzt – im Gegensatz zu früher, bevor der Begriff „RCD" eingeführt wurde – die Bezeichnung „Fehlerstromschutzeinrichtung" nun für alle auf dem Prinzip des Fehlerstroms beruhenden Schutzeinrichtungen gilt, also auch für die frühere „Differenzstromschutzeinrichtung".

Die drei genannten Teilbegriffe – Schutzschalter, Schutzgerät und Schutzeinrichtung – stehen für die verschiedenen Ausführungen der Fehlerstromschutzeinrichtungen, z. B. als klassischer Fehlerstromschutzschalter für den Festeinbau in einem Verteiler, als Fehlerstromschutzschalter mit zusätzlichem Überstromschutz, als Fehlerstromschutzeinrichtung in Steckdosenausführung oder als angebaute Fehlerstrom-Auslöseeinrichtung an einem Leistungsschalter.

Ebenfalls geändert wurden die erläuternden Zusätze: Anstelle von „RCD ohne Hilfsspannungsquelle" heißt es nun *netzspannungsunabhängige Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD)* und anstelle von „RCD mit Hilfsspannungsquelle" *netzspannungsabhängige Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD)*. Für den Auslösefehlerstrom

einer Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) gilt in der Normenreihe VDE 0100 nur der Begriff *Bemessungsdifferenzstrom* ($I_{\Delta n}$). Bisher wurde der Begriff Bemessungsfehlerstrom (mit dem klein geschriebenen Buchstaben n im Index) verwendet. Im Bereich der Produktnormen wird von Auslösefehlerstrom gesprochen und im Index ein kleines n verwendet.

Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) werden nach der Art des Fehlerstroms unterschieden, der Einfluss auf die Funktion von Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) hat. Die Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) vom *Typ A* dient dem Schutz bei sinusförmigen Wechselfehlerströmen und bei pulsierenden Gleichfehlerströmen, der *Typ B* dem Schutz bei sinusförmigen Wechselfehlerströmen, pulsierenden Gleichfehlerströmen und glatten Gleichfehlerströmen in Wechselspannungsnetzen. Kurvenverläufe von Fehlerströmen bei verschiedenen Schaltungen mit Halbleiterbauelementen sind im Anhang B der Norm VDE 0100-530:2011-06 dargestellt. Der Typ A ist nur für bestimmte Kurvenverläufe einsetzbar, der Typ B für alle in dem genannten Anhang dargestellten Kurvenverläufe. Es gibt noch eine dritte Ausführung von Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs), den Typ AC, der zum Schutz nur bei sinusförmigen Wechselfehlerströmen geeignet ist. Der Typ AC ist deshalb zum Einsatz als Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) zum Schutz gegen elektrischen Schlag und zum Brandschutz nicht zulässig – auch keine netzspannungs*un*abhängigen.

Informationen über Gleichstromanteile, die Fehlerströme von elektrischen Betriebsmitteln der fest errichteten Anlage gegen Erdpotenzial enthalten können, müssen im Zweifelsfall beim Hersteller des Betriebsmittels erfragt werden, damit entschieden werden kann, welcher Typ von Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) eingesetzt werden muss.

Zum Schutz gegen elektrischen Schlag und für den Brandschutz dürfen zurzeit nur folgende Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) eingesetzt werden:

- netzspannungs*un*abhängige Fehlerstromschutzschalter Typ A zur Auslösung bei Wechselfehlerströmen und pulsierenden Gleichfehlerströmen
  - ohne eingebaute Überstromschutzeinrichtung (RCCBs[1]) nach VDE 0664-10:2013-08 und VDE 0664-11:1999-12,
  - mit eingebauter Überstromschutzeinrichtung (RCBOs[2]) nach VDE 0664-20:2013-08 und VDE 0664-21:1999-12,
  - in einer Baueinheit mit einer *Steckdose* oder Fehlerstromschutzschalter (RCCBs), die ausschließlich für den örtlichen Zusammenbau mit einer Steckdose in derselben Einbaudose konstruiert sind, nach VDE 0664-10:2013-08 und VDE 0664-11:1999-12;

1 engl.: **r**esidual **c**urrent operated **c**ircuit-**b**reaker without overcurrent protection
2 engl.: **r**esidual **c**urrent operated circuit-**b**reaker with integral **o**vercurrent protection

- Fehlerstromschutzschalter Typ B zur Auslösung bei Wechselfehlerströmen, pulsierenden und glatten Gleichfehlerströmen
  - ohne eingebaute Überstromeinrichtung (RCCBs), die bei Wechsel- und pulsierenden Gleichfehlerströmen netzspannungs*un*abhängig, bei glatten Gleichfehlerströmen netzspannungsabhängig nach Entwurf VDE 0664-100: 2002-05 arbeiten,
  - mit eingebauter Überstromschutzeinrichtung (RCBOs); die bei Wechsel- und pulsierenden Gleichfehlerströmen netzspannungs*un*abhängig, bei glatten Gleichfehlerströmen netzspannungsabhängig nach Entwurf VDE 0664-200:2003-07 arbeiten,
  - mit und ohne eingebautem Überstromschutz für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen (Typ B RCCBs und Typ B RCBOs) nach VDE 0664-40:2013-08;
- Fehlerstromauslöser (eigentlich nach Norm: Fehlerstromeinheit) (RCUs[1] oder RC-Units) nach VDE 0664-20:2013-08, Anhang G; zum Anbau an Leitungsschutzschalter (die Bezeichnungen RCU und RC-Units sind Bezeichnungen nach VDE 0100-530 u. VDE 0663-10 Beiblatt 1);
- Leistungsschalter mit Fehlerstromschutz (CBRs[2]) nach VDE 0660-101:2014-01, Anhang B.

Ausdrücklich nicht zugelassen sind netzspannungsabhängige Fehlerstromschutzschalter (DI) (früher auch „Differenzstromschutzschalter (DI)" oder „DI-Schutzschalter" genannt), weil sie nicht oder auch noch nicht genormt sind.

Weitere Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs), die aber nur zur so genannten Schutzpegelerhöhung eingesetzt werden dürfen, sind

- ortsfeste Fehlerstromschutzeinrichtungen in Steckdosenausführung zur Schutzpegelerhöhung (SRCDs[3]) (genormte Steckdosen, die eine bauliche Einheit mit Fehlerstromschutzeinrichtungen bilden und für ortsfeste Installation geeignet sind) nach Entwurf VDE 0662:1993-08.

Ortsveränderliche Fehlerstromschutzeinrichtungen (PRCDs[4]) nach VDE 0661: 1988-04 und VDE 0661-10:2004-06 dienen auch der Schutzpegelerhöhung, sind aber nicht Bestandteil der elektrischen Anlage.

1 engl.: **r**esidual **c**urrent protective **u**nit
2 engl.: **c**ircuit **b**reaker with **r**esidual current protective device
3 engl.: **s**ocket outlets with **r**esidual **c**urrent operated **d**evice
4 engl.: **p**ortable **r**esidual **c**urrent operated **d**evice

Neben den Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) können für Überwachungsaufgaben z. B. folgende Geräte eingesetzt werden:

- Differenzstromüberwachungsgeräte (RCMs[1]) nach VDE 0663:2005-11,
- Isolationsüberwachungsgeräte (IMDs[2]) nach VDE 0413-8:2007-12.

### 5.6.7.2 Netzspannungsunabhängige Fehlerstromschutzeinrichtungen ohne eingebauten Überstromschutz (RCCBs)

VDE 0664-10

Netzspannungsunabhängige Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) sind Schutzschalter einschl. deren Zubehör, z. B. Stromwandler, die ausschalten, wenn ein Fehlerstrom in den geschützten Stromkreisen einen bestimmten Wert überschreitet. Bis einschl. 125 A Bemessungsstrom besteht die Schutzeinrichtung ausschließlich aus der Fehlerstromschutzeinrichtung (**Bild 5.26**). Schutzeinrichtungen für höhere Bemessungsströme können z. B. aus einer sog. *Fehlerstromeinheit* und einem davon getrennten Summenwandler bestehen (s. Bild 5.31). Die Abschaltzeit der Fehlerstromschutzeinrichtung beträgt 0,04 s.

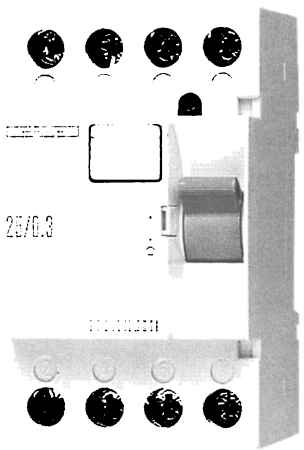



***Bild 5.26:*** *Fehlerstromschutzschalter; vierpolig, in schmaler Bauform mit 52,5 mm Breite, mit einem maximalen Bemessungsdifferenzstrom von 30 mA (Werkbild: Schupa)*

Netzspannungsunabhängige Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) enthalten einen Stromwandler, dessen Sekundärwicklung an ein Auslöserelais angeschlossen ist (**Bild 5.27**). Wenn alle in die Anlage einfließenden Ströme auch wieder durch den Stromwandler herausfließen, ist ihre Summe null. Es kommt dann kein

1 engl.: **r**esidual **c**urrent **m**onitor
2 engl.: **i**nsulation **m**onitoring **d**evice

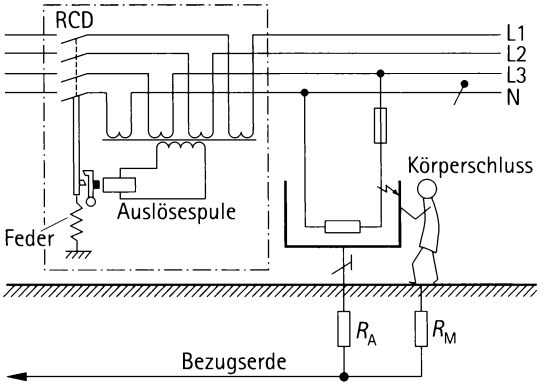



***Bild 5.27:*** *Schaltung mit Fehlerstromschutzeinrichtung*

Sekundärstrom zustande. Umgeht infolge eines Körperschlusses ein Fehlerstrom den Stromwandler, indem er z. B. durch den Erder $R_A$ abfließt, dann entsteht ein Sekundärstrom, der den Schalter auslöst. Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) werden für Wechselstromnetze und für Bemessungsdifferenzströme (in den Produktnormen *Bemessungsfehlerstrom* genannt) $I_{\Delta n}$ von z. B. 10 mA, 30 mA, 0,1 A, 0,3 A und 0,5 A gebaut. Sie haben eine Freiauslösung, wodurch das Wiedereinschalten bei bestehendem Fehler ausgeschlossen wird.

In der Aufschrift ist u. a. das Bemessungsschaltvermögen anzugeben. Werte des Bemessungsschaltvermögens sind z. B. 800 A, 1 000 A, 1 250 A, 6 kA, 10 kA. Früher wurde auf der Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) das Bemessungsschaltvermögen in Verbindung mit einer Sicherung in A angegeben (Symbol: ⊟—6000). Dieses Symbol ist auf älteren Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) zu finden. Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) ohne integrierten Schutz bei Überstrom benötigen Überstromschutzeinrichtungen, die der Hersteller der Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) angeben muss. Der Bemessungsstrom und die Art der Überstromschutzeinrichtung müssen nach den Angaben des Herstellers ausgewählt werden. Damit eine Überlastung von Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) vermieden wird, kann der zu erwartende Betriebsstrom als Bemessungsgrundlage herangezogen werden. Auch hierbei müssen die Angaben des Herstellers (Angaben im Katalog) zum Bemessungsstrom und zur Art der Überstromschutzeinrichtung beachtet werden. Außerdem muss sichergestellt sein, dass die Fehlerstromschutzeinrichtung nicht über ihren Bemessungsstrom hinaus betriebsmäßig belastet wird. Es gibt Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) in 2-, 3- und 4-poliger Ausführung. Sie sind in Anlagen mit 16⅔ Hz und 50/60 Hz verwendbar. Bei anderen Frequenzen, insbesondere über 200 Hz, sollte beim Hersteller angefragt werden.




***Bild 5.28:*** *Symbol für tiefe Temperaturen*

Eine *Sonderausführung* der Fehlerstromschutzeinrichtung für Temperaturen von +40 °C bis −25 °C ist mit dem Symbol nach **Bild 5.28** gekennzeichnet.

*Kurzverzögerte Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs)* werden in Anlagen verwendet, in denen kapazitive Einschaltstromspitzen durch hohe Ableitströme beim Einschalten von Verbrauchern wie Beleuchtungsstromkreise mit EVG oder von langen Leitungen und Kabeln auftreten, die bei serienmäßigen Fehlerstromschutzeinrichtungen zu Fehlauslösungen führen können (s. auch Abschn. 5.6.7.6).

Wenn der *Neutralleiter* hinter der Fehlerstromschutzeinrichtung eine Verbindung mit Erde hat, kann die Ansprechempfindlichkeit des Summenstromwandlers stark verringert werden oder beim Anschluss eines Verbrauchsmittels genügender Leistung zur Fehlauslösung führen. Der Neutralleiter muss daher hinter der Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) genauso isoliert werden wie die Außenleiter.

Die Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) soll an einer erschütterungsfreien Stelle installiert werden.

Im TT-System muss in der Regel vor den Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) der Schutz durch Verwendung von Betriebsmitteln der Schutzklasse II (Schutzisolierung) angewendet werden, weil bei Einsatz von Überstromschutzeinrichtungen vor der Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) der Widerstand $R_A$ (Summe der Widerstände des Erders im TT-System und des Schutzleiters der Körper) sehr klein sein müsste (s. auch Abschn. 5.6.3).

Der *Schutzleiter* ist vor der Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) (in Energieflussrichtung gesehen) als gesonderte einadrige Leitung, getrennt von den Außen- und Neutralleitern, bis zum Verteiler zu führen. Dies gilt auch für Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA. Der Schutzleiter darf jedoch dann in gemeinsamer Umhüllung mit den anderen Leitern geführt werden, wenn gewährleistet ist, dass bei einem vollkommenen Kurzschluss zwischen einem Außenleiter und dem Schutzleiter an der ungünstigsten Stelle im TN- oder TT-System der Fehler durch eine Überstromschutzeinrichtung abgeschaltet wird. Hinter der Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) ist der Schutzleiter entweder mit den Außenleitern zusammen als blanker oder als grün-gelber isolierter Leiter (mindestens 1,5 mm$^2$ Cu) oder als gesonderter blanker Leiter (mindestens 4 mm$^2$ Cu) zu führen. Für die Ausführung des Erders gelten die im Abschn. 5.6.9 erwähnten Bestimmungen.

Gegebenenfalls sind betriebsmäßige Ableitströme der Verbrauchsmittel (Wärmegeräte, Leuchten) zu berücksichtigen (s. auch Abschn. 11.3).

### 5.6.7.3 Netzspannungsunabhängige Fehlerstromschutzeinrichtungen mit eingebautem Überstromschutz (RCBOs)

VDE 0664-20

In Fehlerstromschutzeinrichtungen mit eingebautem Überstromschutz (RCBOs) sind *Fehlerstromschutzschalter und Leitungsschutzschalter* in einem Gerät vereinigt. Dadurch kann jeder Abgang wirtschaftlich seine eigene Fehlerstromschutzeinrichtung mit eingebautem Überstromschutz (RCBO) erhalten, die gleichzeitig Leistungsschalter ist, und ein Fehler wird selektiv abgeschaltet.

Ein Hersteller hat eine solche Kombination mit mehr als 6 000 A Abschaltvermögen bei 32 A Nennstrom und $I_{\Delta n} \leq 10$ mA bei weniger als 15 ms Abschaltzeit entwickelt. Diese wird durch elektronische Fehlerstromauslöser erreicht. Der Back-up-Schutz ist mit einer 100-A-Sicherung nach VDE 0636 gewährleistet. Darüber hinaus ist er auch bei pulsierenden Gleichströmen wirksam.

Fehlerstromschutzeinrichtungen mit eingebautem Überstromschutz (RCBOs) verbinden in allen Punkten die Eigenschaften von spannungsunabhängigen Fehlerstromschutzschaltern ohne eingebauten Überstromschutz und Leitungsschutzschaltern (**Bilder 5.29** und **5.30**).

Ein Hersteller bietet Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) von 25 A bis 63 A mit *Hilfsschalter* an. Für Überwachungszwecke bzw. in Steuerungen ist es manchmal erforderlich, den Schaltzustand der Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) zu signalisieren oder beim Ein- oder Ausschalten weitere Steuerbefehle zu geben.

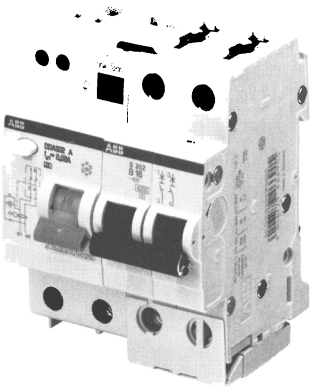


***Bild 5.29:*** *Fehlerstromschutzeinrichtung mit eingebautem Überstromschutz (RCBO) (Werkbild: ABB)*

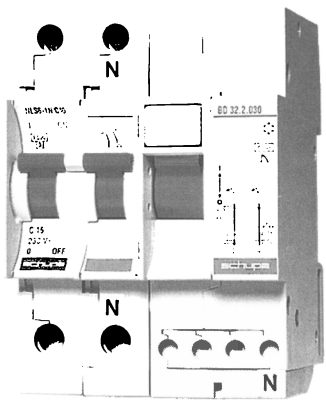



***Bild 5.30:*** *Fehlerstromschutzeinrichtung mit eingebautem Überstromschutz (RCBO), einpolig (Werkbild: Schupa)*

### 5.6.7.4 Leistungsschalter mit Fehlerstromeinheiten (CBRs) und mit Modularen Fehlerstromgeräten (MRCDs)

VDE 0660-101

In Drehstromanlagen größerer Leistung kann ein besonderer Summenstromwandler mit einer sog. *Fehlerstromeinheit* (in den Produktnormen auch Fehlerstrom*auslöser* bzw. *Auslöse*einheit genannt) und einem Hauptschalter (Leistungsschalter oder Schütz) nach VDE 0660-101, Anhang B (Leistungsschalter mit Fehlerstromschutz) (CBRs; s. Abschn. 5.6.7.1) eingesetzt werden (**Bild 5.31**). Diese Schaltgeräte müssen Ruhestromauslöser (Nullspannungs- bzw. Unterspannungsauslöser) enthalten. Ebenfalls kommen bei Leistungsschalter sog. *Modulare Fehlerstromgeräte* (MRCDs) ohne Abschaltvorrichtung nach VDE 0660-101, Anhang M, zum Einsatz. Ein MRCD enthält eine Stromerfassungseinrichtung und eine Auswerteeinheit. Die Auswerteeinrichtung dient der Erkennung und Bewertung des Fehlerstroms und steuert den Kontaktöffner einer Abschalteinrichtung des Leistungsschalters an. Die Funktion eines MRCDs kann oder darf auch nicht von einer Spannungsquelle abhängen.

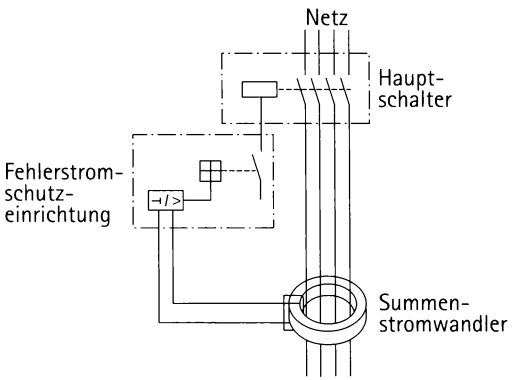



***Bild 5.31:*** *Leistungsschalter mit Fehlerstromschutz*

Ein Hersteller bietet Kompakt-Leistungsschalter mit Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) an. Gebaut werden drei- und vierpolige Ausführungen von 32 A bis 3 200 A Bemessungsstrom. Ein Differenzstrom-Auswertrelais ermöglicht das Einstellen der Bemessungsdifferenzströme. Die Auslösezeiten können zur selektiven Staffelung zwischen 20 ms und 5 s eingestellt werden. Der Schalter übernimmt Kurzschlussüberlast- und Fehlerstromschutz. Er kann somit für den Personen-, Brand- und Anlagenschutz verwendet werden.

### 5.6.7.5 Ortsveränderliche Fehlerstromschutzeinrichtungen (PRCDs)

VDE 0661, VDE 0661-10 u. VDE 0661-10 Beiblatt 1

Unter den – nicht normgerechten – Bezeichnungen *Personenschutzstecker* oder *Sicherheitsstecker* werden nach VDE 0661-10 und nach der älteren, aber noch geltenden nationalen VDE-Bestimmung 0661:1988-04 ortsveränderliche Schutzeinrichtungen gebaut. Diese Schutzeinrichtungen sind für den mobilen Anschluss an Rasenmähern, Heckenscheren, Betonmischmaschinen, handgeführten Werkzeugmaschinen u. dgl. gedacht. Sofern diese Betriebsmittel nicht bereits durch fest eingebaute 30-mA-Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) geschützt sind, empfehlen sich diese Schutzeinrichtungen grundsätzlich. Der Handel bietet ortsveränderliche Schutzeinrichtungen an, bei denen die Schutzeinrichtung mit einem Schutzkontaktstecker verbunden ist. Sie kann somit unmittelbar in Steckdosen der festen Installation, hineingesteckt werden (**Bild 5.32**). Die ortsveränderlichen Fehlerstromschutzeinrichtungen (PRCDs) dienen der *Schutzpegelerhöhung* und dürfen nicht für die Schutzmaßnahme *Automatisches Abschalten der Stromversorgung* oder für den *zusätzlichen Schutz* eingesetzt werden. Sie sind kein Teil der Festinstallation. Die Schutzeinrichtungen sind für das Abschalten der Netzspannung im Fehlerfall und nicht für eine Trennung vorgesehen. Die Trennung erfolgt nur durch Ziehen des Steckers. Die Schutzeinrichtungen nach VDE 0661 und 0661-10 können Fehlerströme erfassen, die vom Außenleiter, Neutralleiter oder Schutzleiter gegen Erde fließen. Dadurch wird im Gegensatz zu netzspannungsunabhängigen Fehlerstromschutzeinrichtungen nach der Reihe VDE 0664 auch noch ein Schutz erzielt, wenn die fehlerhaft angeschlossenen Schutzkontakte der Netzsteckdose Spannung führen.

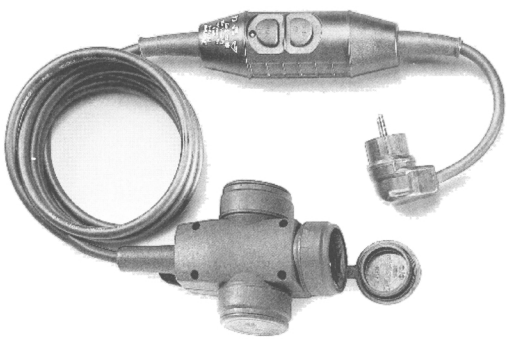


***Bild 5.32:*** *Anschlussleitung mit integrierter Fehlerschutzeinrichtung (RCD) für den Personenschutz (Werkbild: Kopp)*

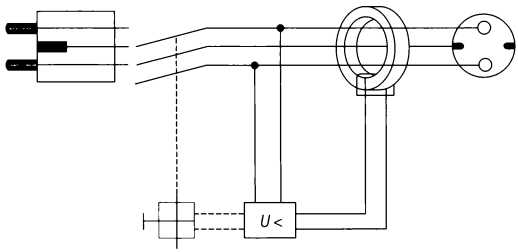



***Bild 5.33:*** *Schaltung des Personenschutzsteckers nach VDE 0661:1988-04 mit Schalten des Schutzleiters*

Bemessungswerte (Vorzugswerte) für ortsveränderliche Fehlerstromschutzeinrichtungen (PRCDs) nach VDE 0661 und 0661-10 sind: Bemessungsspannung 230 V; Bemessungsstrom 6 A, 10 A, 13 A oder 16 A; Bemessungsdifferenzstrom 10 mA oder 30 mA. Sie werden zwischen Verbrauchsgerät und eine fest installierte Steckdose geschaltet. Im Fehlerfall werden durch die Schutzeinrichtung Außenleiter und Neutralleiter sowie – bei Schutzeinrichtungen nach VDE 0661:1988-04 – der Schutzleiter unterbrochen, d. h., spannungslos geschaltet (**Bild 5.33**). Das Trennen im Sinne von VDE 0100-460 und -537 kann – wie oben beschrieben – durch Ziehen des Stecker vorgenommen werden.

Ortsveränderliche Fehlerstromschutzeinrichtungen (PRCDs) gibt es nach dem Fehlerstrom- und dem Differenzstrom-Auslöseprinzip. Beide Systeme können uneingeschränkt verwendet werden. Die Forderung von VDE 0100-410 nach dem Fehlerstromprinzip gilt nur für Schutzeinrichtungen in der Festinstallation, wenn die Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) dafür vorgeschrieben ist, z. B. TT-System mit Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD).

Schutzeinrichtungen nach dem *Fehlerstrom-Auslöseprinzip* arbeiten grundsätzlich spannungsunabhängig; ihre Auslösung ist nur vom Fehlerstrom abhängig. Eine Unterbrechung des Neutralleiters wirkt sich somit nicht auf das Auslöseverhalten aus.

*Netzspannungsabhängige Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs)* arbeiten dagegen aufgrund ihres eingebauten Verstärkers spannungsabhängig. Bei einer Unterbrechung des Neutralleiters wird der Verstärker nicht mehr versorgt. Die von der Messeinrichtung abgegebene Energie wird dann nicht mehr verstärkt, und Differenzströme bleiben unerkannt.

Für ortsveränderliche Fehlerstromschutzeinrichtungen (PRCDs) gilt:

- Bei spannungsunabhängigem Wirkungsprinzip wird die Auslösung, z. B. durch Unterspannungsauslöser, auch sichergestellt, wenn der Außenleiter oder/und der Neutralleiter ausfallen.

- Bei spannungsabhängigem Wirkungsprinzip erfolgt bei Spannungsabsenkung eine selbsttätige Abschaltung, bevor die Differenzstrom-Auslösung unwirksam wird.

Übrigens: *Differenzstrom* ist die Differenz zwischen dem in den elektrischen Verstärker hineinfließenden und dem aus dem elektrischen Verbraucher herausfließenden Strom.

Ausführliche Erläuterungen mit nützlichen Hinweisen zum Aufbau, zur Wirkungsweise, zum Einsatz und zur Verwendung für den Anwender von ortsveränderlichen Fehlerstromschutzeinrichtungen (PRCDs) können dem Beiblatt 1 zu VDE 0661-10 entnommen werden. Das Beiblatt enthält auch Informationen für den Anwender (z. B. verantwortliche Elektrofachkräfte) solcher Schutzeinrichtungen wie über 2-polige Ausführungen (Schalten nur des Außen- und Neutralleiters), über 3-polige Ausführungen (Schalten des Außen- u. Neutralleiters sowie des Schutzleiters mit zusätzlicher Überwachung der Versorgungsspannung und Spannung auf dem Schutzleiter) und über spezielle ortsveränderliche Fehlerstromschutzeinrichtungen (PRCD-S), die zusätzlich Anforderungen der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) und weiterer Unfallversicherungsträger erfüllen (u. a. zusätzliche Überwachung des Bruchs des Schutzleiters).

#### 5.6.7.6 Überspannungen und Stoßströme

Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) können bei Überspannungen in Freileitungsnetzen, z. B. infolge eines Gewitters, auslösen. Das Gleiche kann durch kapazitive Erdfehlerströme bei Verbrauchern geschehen, die über lange Erdkabel versorgt werden, z. B. bei Wasserpumpen.

Wenn das Auftreten übermäßig hoher Überspannungen auf der Netzseite (z. B. im Falle der Freileitungseinspeisung) wahrscheinlich ist, sollten besondere Vorkehrungen wie der Einbau von Überspannungsableitern getroffen werden. Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) neuerer Bauart sind unempfindlich gegen ungewolltes Auslösen durch Stoßspannungen infolge von Schalt- oder Blitzüberspannungen. Selektive Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) gelten gegen ungewolltes Auslösen als ausreichend unempfindlich, auch wenn durch die Stoßspannungen ein Überschlag und ein Folgestrom erzeugt werden. Für höhere Überspannungsbedingungen sollten Leistungsschalter mit Fehlerstromschutz (CBRs) oder Modulare Fehlerstromgeräte (MRCDs) (s. Abschn. 5.6.7.4) verwendet werden.

Ein zusätzlicher Schutz der Verbraucheranlage gegen Überspannung kann durch die Verwendung einer Gerätekombination, bestehend aus Fehlerstromschutzeinrichtung und Überspannungsableiter Typ 2, erreicht werden (**Bild 5.34**).

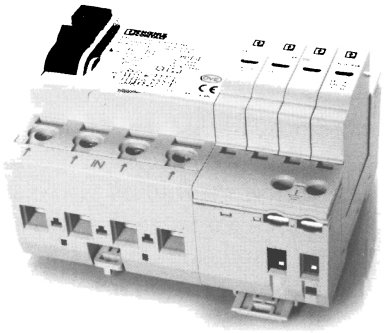


***Bild 5.34:*** *Stoßstromfest-selektive Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit integriertem Überspannungsschutz Typ 2 (Werkbild: Phoenix Contact)*

### 5.6.7.7 Selektivität

Zur Sicherstellung einer hohen Verfügbarkeit kann es erforderlich sein, dass zwei hintereinander liegende Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) *selektiv* abschalten. Selektivität liegt dabei vor, wenn bei einem Fehlerstrom gegen Erde nur die Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) abschaltet, die der Fehlerstelle unmittelbar vorgeschaltet ist. So kann z. B. im Hauptverteiler eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit $I_{\Delta n}$ = 1 A und im Unterverteiler eine solche mit $I_{\Delta n}$ = 0,5 A angebracht sein. Tritt nun in einem Verbrauchsgerät ein Körperschluss auf, so wird der Fehlerstrom meist > 1 A sein, sodass beide Schutzschalter abschalten.

Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs), die nach den Normen VDE 0664-10 (RCCBs) und nach VDE 0664-20 (RCBOs) hergestellt sind, sind zueinander selektiv, wenn die vorgeschaltete Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) vom Typ S (Kennzeichen S) ist und einen Bemessungsdifferenzstrom hat, der mindestens das 3-fache des Werts der nachgeschalteten Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) beträgt.

### 5.6.7.8 Schweißtransformatoren

Nach VDE 0545-1:2009-07 „Widerstandsschweißeinrichtungen – Teil 1: Sicherheitsanforderungen für die … Errichtung" kann zum Schutz gegen die Gefahren eines Übertritts von Primärspannung auf den Schweißstromkreis einschl. der Werkstücke eine direkte Verbindung zwischen jedem Sekundärstromkreis einschl. der Ausgangswicklung (Sekundärwicklung) des Transformators und dem Schutzleiter des speisenden Primärnetzes hergestellt werden. Diese Verbindung muss so bemessen sein, dass im Fehlerfall die bei der Errichtung vorgesehene Überstromschutzeinrichtung der Primärseite zeitgerecht anspricht.

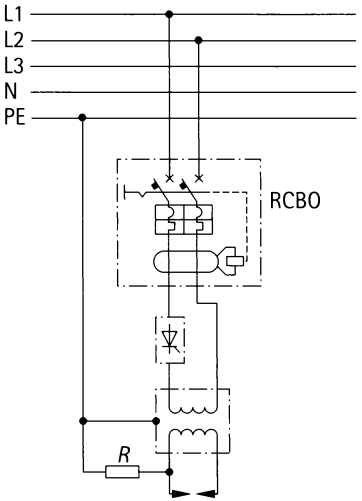



***Bild 5.35:*** *Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) für den Schutz von Schweißtransformatoren*

Wenn jedoch unzulässig hohe Querströme auftreten, kann u. a. auch eine netzspannungsunabhängige Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) eingebaut werden. In **Bild 5.35** ist beispielhaft ein Schweißtransformator für Gleichstromwiderstandsschweißen mit Netzfrequenz nach VDE 0545-1:2009-07 mit Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) dargestellt. Die Ausgangswicklung (Sekundärwicklung) muss durch einen geeigneten Widerstand *R* dauernd mit dem Schutzleiter verbunden sein. Dieser ist so zu bemessen, dass Querströme auf ein zulässiges Maß begrenzt werden. Der Differenzstrom im Fehlerfall muss jedoch so groß bleiben, dass die Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) zeitgerecht anspricht. Bei der Auswahl des RCD-Typs muss die mögliche Wellenform des Fehlerstroms berücksichtigt werden.

### 5.6.7.9 Prüfungen

Die Prüfung der Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) beginnt mit dem Betätigen der durch P oder T gekennzeichneten Prüftaste. Man erfährt dadurch jedoch nur, ob der Schaltmechanismus arbeitet. Die Schutzmaßnahme mit Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) ist nach Abschn. 15.4 zu prüfen.

## 5.6.8 Schutzleiter

VDE 0100-410 und -540

Alle Maßnahmen für den Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung benötigen einen Schutzleiter. Mit ihm müssen alle inaktiven Metallteile (Körper), die im Fehlerfall unmittelbar Spannung annehmen können, gut leitend verbunden werden. Gleichzeitig berührbare Körper müssen mit demselben Erdungssystem verbunden werden. Dies kann einzeln, in Gruppen oder gemeinsam erfolgen. Für jeden Stromkreis muss ein Schutzleiter vorhanden sein, der an die diesem Stromkreis zugeordnete Erdungsklemme oder Erdungsschiene angeschlossen wird und dadurch geerdet ist. Zu Schutzleitern zählen z. B. Schutzpotenzialausgleichsleiter, Schutzerdungsleiter und ein Erdungsleiter, wenn dieser zum Schutz gegen elektrischen Schlag verwendet wird.

Jede Verbindung, z. B. Schraub-, Klemm- oder Quetschverbindung, zwischen Schutzleitern untereinander oder zwischen einem Schutzleiter – ankommend und abgehend – und elektrischen Betriebsmitteln muss dauerhaft und elektrisch gut leitend sein. Die Verbindung muss den jeweiligen Umgebungsbedingungen entsprechend mechanisch geschützt sein und so fest sein, dass sie allen elektrischen, elektrodynamischen und anderen mechanischen sowie thermischen Beanspruchungen standhält. Lötverbindungen sind nicht zulässig.

Zum *Anschluss* des Schutzleiters findet sich an den elektrischen Betriebsmitteln eine besonders gekennzeichnete Klemme ⏚ oder das Zeichen PE. Schutzleiteranschlüsse dürfen keine andere Funktion haben. Das bedeutet, dass Befestigungsschrauben nicht als Anschlussstelle für den Schutzleiter verwendet werden dürfen.

Die Auswahl der Mindestquerschnitte erfolgt nach **Tabelle 5.18**. Die Werte der Tabelle sind nur gültig, wenn der Schutzleiter aus dem gleichen Werkstoff besteht wie die Außenleiter; sonst ist der Querschnitt des Schutzleiters so festzusetzen, dass sich die gleiche Leitfähigkeit ergibt wie bei Anwendung der Tabelle.

In TT-Systemen darf der Leiterquerschnitt der Schutzleiter auf 25 mm Cu oder 35 mm$^2$ Al begrenzt werden, vorausgesetzt, die Erder des Sternpunkts (Neutralpunkts) im Verteilungssystem und die fremden leitfähigen Teile in der Anlage sind elektrisch voneinander unabhängig.

***Tabelle 5.18:*** *Schutzleiterquerschnitt*

| Querschnitt des Außenleiters $S_L$ mm$^2$ | Mindestquerschnitt des Schutzleiters $S_{PE}$ |
|---|---|
| ≤ 16 | $S_L$ |
| 25...35 | 16 mm$^2$ |
| > 35 | $S_L / 2$ |

Wird in Ausnahmefällen der Querschnitt des Schutzleiters berechnet, dann gilt für Abschaltzeiten bis 5 s die Formel

$$S_{PE} = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k};$$

$S_{PE}$ Mindestquerschnitt in mm$^2$,

$I$ Fehlerstrom in A,

$t$ Ansprechzeit der Abschalteinrichtung in s,

$k$ Materialbeiwert, der vom Leiterwerkstoff des Schutzleiters, vom Werkstoff der Isolierung, vom Werkstoff anderer Teile und von Anfangs- und Endtemperatur des Schutzleiters abhängt; seine Einheit ist A/mm$^2$.

Der Materialbeiwert für isolierte Schutzleiter aus Cu, Al, Stahl oder Blei außerhalb von Kabeln und Leitungen, in mehradrigen Kabeln und Leitungen oder blanke Schutzleiter aus Cu, Al oder Stahl, die mit Kabel und Leitungsmänteln in Berührung kommen, kann den **Tabellen 5.19** bis **5.21** entnommen werden.

Eine Berechnung des Schutzleiterquerschnitts ist immer dann erforderlich, wenn der Querschnitt des Außenleiters durch den Kurzschlussstrom bestimmt wird (s. Abschn. 8.5).

Der Querschnitt jedes Schutzleiters, der nicht mit Außenleitern und Neutralleitern in einer gemeinsamen Umhüllung verlegt ist, darf in keinem Fall kleiner sein als

- 2,5 mm$^2$ Cu oder 16 mm$^2$ Al, wenn mechanischer Schutz vorgesehen ist,
- 4 mm$^2$ Cu oder 16 mm$^2$ Al, wenn kein mechanischer Schutz vorgesehen ist.

***Tabelle 5.19:*** *Materialbeiwert k für Schutzleiter als metallene Umhüllung von Kabeln und Leitungen, z. B. als Bewehrung, Metallmantel, konzentrischer Leiter*

| **Isolierung** | | **Materialbeiwert *k* für** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Werkstoff** | **$\vartheta_f$ in °C** | **Cu** | **Al** | **Blei** | **Stahl** |
| 60 °C G | 200 | 144 | 95 | 26 | 52 |
| 85 °C G | 220 | 140 | 93 | 26 | 51 |
| 70 °C PVC | 200 | 141 | 93 | 26 | 51 |
| 90 °C PVC | 200 | 128 | 85 | 23 | 46 |
| 90 °C D | 200 | 128 | 85 | 23 | 46 |
| Mineral[3)] | 200 | 135 | – | – | – |
| reines Mineral | 250 | 135 | – | – | – |

***Tabelle 5.20:*** *Materialbeiwert k für isolierte Schutzleiter in mehradrigen Kabeln und Leitungen, auch in gemeinsamer Bündelung mit anderen Kabeln und Leitungen oder Verlegung mit Aderleitungen*

| Isolierung | | Materialbeiwert *k* für | | |
|---|---|---|---|---|
| **Werkstoff** | **$\vartheta_f$ in °C** | **Cu** | **Al** | **Stahl** |
| 60 °C G | 200 | 141 | 93 | 51 |
| 85 °C G | 220 | 134 | 89 | 48 |
| 70 °C PVC | 160/140[1)] | 115/103[1)] | 76/68[1)] | 42/37[1)] |
| 90 °C PVC | 160/140[1)] | 100/86[1)] | 86/57[1)] | 38/31[1)] |
| 90 °C D | 250 | 143 | 94 | 52 |
| SK[2)] | 350 | 132 | 87 | 47 |

***Tabelle 5.21:*** *Materialbeiwert k für blanke Schutzleiter in Fällen, in denen keine Gefährdung benachbarter Teile infolge der angegebenen Temperaturen besteht*

| Bedingungen[4)] | | Materialbeiwert *k* für | | |
|---|---|---|---|---|
| | **$\vartheta_m$ in °C** | **Cu** | **Al** | **Stahl** |
| sichtbar und im abgegrenzten Bereich | 500/300[5)] | 228 | 125 | 82 |
| normale Bedingungen | 200 | 159 | 105 | 58 |
| Feuergefährdung | 150 | 138 | 91 | 50 |

[1)] > 300 mm² Leiterquerschnitt
[2)] Anfangs-Leitertemperatur 180 °C
[3)] PVC-umhüllt; Werte dürfen auch für blanke Leiter angewendet werden, bei denen die Möglichkeit einer Berührung mit brennbarem Material besteht.
[4)] Anfangstemperatur 30 °C
[5)] Aluminium

Erläuterungen zu den Tabellen 5.19 bis 5.21:
Werkstoff der Isolierung des Schutzleiters oder der Mäntel von Kabeln und Leitungen:
G Gummi
PVC Polyvinylchlorid
D Duroplast
SK Silikonkautschuk
$\vartheta_f$ zulässige Höchsttemperatur am Leiter
$\vartheta_m$ maximale Temperatur am Leiter

Für *mehrere Stromkreise* darf ein gemeinsamer Schutzleiter verwendet werden. Wenn ein Schutzleiter gemeinsam für mehrere Stromkreise verwendet wird, muss der Querschnitt dieses gemeinsamen Schutzleiters nach Tabelle 5.18 entsprechend dem größten Außenleiterquerschnitt dieser Stromkreise gewählt werden oder der Querschnitt muss wie oben beschrieben für die in diesen Stromkreisen ungünstigste

Bedingung von Fehlerstrom und Abschaltzeit berechnet werden. Der Schutzleiter kann dann mit den zugehörigen Stromkreisen in gemeinsamer Umhüllung geführt sein oder mechanisch geschützt und möglichst im Zuge der zugehörigen Stromkreise getrennt verlegt werden.

Wenn Überstromschutzeinrichtungen für den Schutz gegen elektrischen Schlag verwendet werden, muss der Schutzleiter in demselben Kabel bzw. in derselben Leitung enthalten sein wie die aktiven Leiter oder in unmittelbarer Nähe zu diesen verlegt sein, damit der Kurzschlussstrom, der die Überstromschutzeinrichtung zum Ansprechen bringen muss, nicht durch eine erhöhte Induktivität vermindert wird. Diese im Juni 2007 in Kraft getretene Anforderung war zuvor nur eine Empfehlung.

Als Schutzleiter dürfen verwendet werden:

- Leiter in mehradrigen Kabeln oder Leitungen,
- isolierte oder blanke Leiter in gemeinsamer Umhüllung mit aktiven Leitern,
- fest verlegte blanke oder isolierte Leiter,
- metallene Kabelmäntel, Kabelschirme, Kabelbewehrungen, Aderbündel (Bündel von 2 und mehr Adern von vieladrigen Kabeln), konzentrische Leiter,
- metallene Elektroinstallationsrohre (s. u.),
- Gehäuse von Stromschienensystemen, Elektroinstallationskanalsysteme für elektrische Installationen,
- Konstruktionsteile aus Metall von Anlagen (z. B. Krangerüste, Schalttafeln, Schienenverteiler, Kabelroste, die konstruktiv eine Einheit bilden), wenn eine Anlage Gehäuse von Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen oder metallgekapselten Stromschienensystemen enthält (s. u.). Die Gehäuse dieser Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen oder metallgekapselten Stromschienensystemen selbst dürfen dann auch als Schutzleiter genutzt werden.

Metallene Elektroinstallationsrohre umfassen nicht nur genormte Elektroinstallationsrohrsysteme nach Reihe VDE 0605, sondern auch metallene Rohre allgemeiner Art, in die Kabel, Leitungen oder Aderleitungen eingezogen werden.

Metallene Elektroinstallationsrohre, metallene Elektroinstallationskanalsysteme und Gehäuse oder Konstruktionsteile aus Metall von Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen oder metallgekapselten Stromschienensystemen dürfen nur als Schutzleiter verwendet werden, wenn eine dauernde gute Verbindung dieser Metallteile gewährleistet ist und sichergestellt ist, dass die elektrisch durchgehenden Verbindungen nicht durch mechanische, chemische oder elektrochemische Einflüsse verschlechtert werden und dass die oben aufgeführten Mindestquerschnitte für Schutzleiter eingehalten werden.

Konstruktionsteile sollten an den Verbindungsstellen verschweißt, verschraubt oder genietet werden, sodass die Verbindungsstellen gut leitfähig bleiben. Der Ausbau einzelner Teile darf keine Unterbrechung des Schutzleiters bewirken.

Beim Verwenden von Gehäusen oder Konstruktionsteilen aus Metall von Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen oder metallgekapselten Stromschienensystemen als Schutzleiter müssen an jeder dafür vorgesehenen Anschlussstelle andere Schutzleiter angeschlossen werden können (gilt nur für den Anschluss von außen herangeführter Schutzleiter).

Körper von Geräten dürfen als Teil eines Schutzleiters für andere Betriebsmittel nicht verwendet werden.

So genannte fremde leitfähige Teile (s. Kap. 2) dürfen *nicht* mehr als Schutzleiter verwendet werden. Bis zum 01.06.2007 war dies unter bestimmten Bedingungen noch erlaubt. Ebenfalls *nicht* als Schutzleiter oder Schutzpotenzialausgleichsleiter (frühere Bezeichnung: Potenzialausgleichsleiter) dürfen verwendet oder mitbenutzt werden:

- Wasserleitungen (Wasserverbrauchsleitungen),
- Heizungsrohrleitungen,
- Metallrohre, die brennbare Gase oder Flüssigkeiten enthalten,
- Konstruktionsteile, die im normalen Betrieb mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind,
- flexible oder bewegliche Elektroinstallationsrohre aus Metall, es sei denn, sie sind extra zur Verwendung als Schutzleiter hergestellt,
- flexible Metallteile,
- Tragseile,
- Kabelwannen und Kabelpritschen.

Bisher durften in Ausnahmefällen Wasserverbrauchsleitungen als Schutzleiter benutzt werden, wenn sichergestellt war, dass sie gut leitend durchverbunden waren. Der Wasserzähler musste dann z. B. mit einem verzinnten Cu-Seil 16 $mm^2$ oder durch eine leitfähige Haltekonstruktion überbrückt werden. Bei älteren Anlagen, bei denen die Wasserverbrauchsleitungen noch als Schutzleiter benutzt werden, kann dies so bleiben, sollte aber bei nächstmöglicher Gelegenheit den neuen Anforderungen angepasst werden und ein separater Schutzleiter verlegt werden.

Wenn elektrische Betriebsmittel mit höherer Spannung als Kleinspannung auf *Türen*, *Deckeln* oder *Abdeckplatten* angebracht werden, müssen die berührbaren Metallteile auf der Tür bzw. dem Deckel über einen beweglichen Schutzleiter mit dem fest verlegten Schutzleiter verbunden werden. Der Querschnitt des bewegli-

chen Schutzleiters muss der Anschlussleitung des Betriebsmittels mit dem größten Bemessungsstrom angepasst sein. Wenn die Tür bzw. der Deckel aus Metall ist und wenn die Betriebsmittel mit der Tür bzw. dem Deckel eine leitfähige Einheit bilden, genügt es, den beweglichen Schutzleiter nur mit der Schutzleiteranschlussklemme des Betriebsmittels mit dem größten Bemessungsstrom zu verbinden. Gut leitende und korrosionsgeschützte Scharniere reichen als Verbindung aus, nicht dagegen Metallschläuche.

Der Schutzleiter ist an die Konstruktionsteile mit gesicherten Verbindungen (Gegenmutter, Federringe, Schweißen) anzuschließen, sofern nicht VDE-geprüfte schraubenlose Anschlussklemmen nach Norm verwendet werden.

*Motoren* oder *Schaltgeräte* auf Metallgerüsten, z. B. von Waschmaschinen, Motortragen, Bearbeitungs- und Verarbeitungsmaschinen, müssen mit diesen dauerhaft und elektrisch gut leitend verbunden werden. Bei den Verbindungsleitungen, z. B. zwischen Schalter und Motor, ist die grün-gelbe Ader als Schutzleiter zu verwenden.

In Schaltanlagen und elektrischen Verteilern muss für jeden von außen herangeführten Schutzleiter eines jeden abgehenden Stromkreises ein separater Anschluss vorgesehen werden. Dies lässt sich nur bewerkstelligen, indem für den Schutzleiter eine eigene Schutzleiterschiene verlegt wird, die je nach Netzsystem (TN-, TT-, IT-System) mit dem ankommenden PEN-Leiter und der Neutralleiterschiene oder mit dem ankommenden Schutzleiter zu verbinden ist. Als Schutzleiterschienen oder Schutzleitersammelschienen können auch die im Verteilungsbau üblichen Tragschienen (auch Profilschienen genannt, je nach Profilform G-, C- oder Hut-Schiene) verwendet werden, wenn auf diese Schutzleiterreihenklemmen gesetzt werden. Aus **Tabelle 5.22** ist die Strombelastbarkeit der Tragschiene im Vergleich zu einem Cu-Leiter aus Elektrolytkupfer und der maximal zulässige thermische Bemessungsstrom als PEN-Leiter ersichtlich.

Profilschienen aus Stahl dürfen nicht als PEN-Leiter verwendet werden. Die Profilschienen aus Cu darf man auch als PEN-Leiter verwenden, wenn sie nur Klemmen tragen.

Die Anschlüsse des Schutzleiters sind so anzuordnen, dass sie einzeln abgetrennt werden können, wobei ihre Zugehörigkeit zu den einzelnen Stromkreisen eindeutig erkennbar sein muss.

Verbindungen in Schutzleitern müssen für das Besichtigen und Prüfen zugänglich sein. Dies gilt nicht für vergossene und gekapselte Verbindungen, für Verbindungen in Elektroinstallationsrohren, Kabelkanälen und Schienenverteilern, für Verbindungen, die Teil eines Betriebsmittels sind und die der Betriebsmittelnorm entsprechen, sowie für mittels Schweißen, Hartlöten oder Presswerkzeug hergestellte Verbindungen. In den Schutzleiter dürfen auch keine Schaltgeräte eingefügt werden.

*Tabelle 5.22: Tragschienen als Schutzleiter und PEN-Leiter (VDE 0611-3)*

| Tragschiene | Werkstoff Tragschiene | gleichwertiger E-Cu-Querschnitt in $mm^2$ | max. zulässiger thermischer Bemessungsstrom als PEN-Schiene in A |
|---|---|---|---|
| Hutschiene 15-5,5 | Stahl | 10 | – |
| | Cu | 25 | 101 |
| | Al | 16 | 76 |
| Hutschiene 35-7,5 | Stahl | 16 | – |
| | Cu | 50 | 150 |
| | Al | 35 | 125 |
| Hutschiene 35-15 | Stahl | 50 | – |
| | Cu | 150 | 309 |
| | Al | 95 | 232 |
| G-Schiene G32 | Stahl | 35 | – |
| | Cu | 120 | 269 |
| | Al | 70 | 192 |

Verbindungen, die für Prüfzwecke mit Werkzeug gelöst werden können, dürfen jedoch vorgesehen werden. Für eine elektrische Überwachung der Erdung dürfen keine Überwachungseinrichtungen (z. B. Sensoren, Spulen) in den Schutzleiter eingefügt werden.

Für jedes fest angeschlossene Verbrauchsmittel, das einen Schutzleiterstrom von mehr als 10 mA führt, muss der Schutzleiter verstärkt werden. Er muss entweder

- in seinem gesamten Verlauf einen Querschnitt von ≥ 10 $mm^2$ Cu oder ≥ 16 $mm^2$ Al aufweisen (wird vom PEN-Leiter erfüllt) oder
- ein zweiter Schutzleiter muss vom Verbrauchsmittel aus bis zu dem Punkt verlegt werden, an dem der allgemeine Schutzleiter einen Querschnitt von ≥ 10 $mm^2$ Cu oder ≥ 16 $mm^2$ Al aufweist. Der zweite Schutzleiter muss mindestens denselben Querschnitt haben, wie der Schutzleiter für den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren). Für den zweiten Schutzleiter muss eine getrennte Anschlussklemme am Verbrauchsmittel vorhanden sein.

In einem TN-C-System, bei dem der PEN-Leiter bis zu den Anschlussstellen des fest angeschlossenen Verbrauchsmittels verläuft, kann der Schutzleiterstrom als Betriebsstrom behandelt werden.

Der Schutzleiterstrom ist der Strom, der als Ableitstrom oder als elektrischer Strom infolge eines Isolationsfehlers im Schutzleiter auftritt. Die beschriebenen Maßnahmen bei Auftreten von Schutzleiterströmen > 10 mA beziehen sich natürlich nur auf den Ableitstrom. Isolationsfehler sind kein Normalzustand und müssen so schnell wie möglich behoben werden.

Schutzleiter von Anschlussleitungen *ortveränderlicher Betriebsmittel* müssen so lang sein, dass sie beim Versagen der Zugentlastung als letzte Leiter beansprucht werden.

Isolierte Schutzleiter müssen in ihrem ganzen Verlauf durchgehend mit der Zwei-Farben-Kombination grün-gelb gekennzeichnet sein. Diese Farbkennzeichnung Grün-Gelb darf für keinen anderen Zweck verwendet werden und ist die einzige Farbkombination zur Kennzeichnung des Schutzleiters. Auch die Einzelfarben Grün und Gelb dürfen für Außenleiter nicht verwendet werden. In Kabeln und Leitungen sowie flexiblen Leitungen mit mehr als fünf Adern muss der Schutzleiter gleichfalls grün-gelb gekennzeichnet sein. Bei nummerischer Kennzeichnung von anderen Leitern als dem Schutzleiter, üblicherweise bei Mehraderleitungen, muss der Schutzleiter durchgehend grün-gelb gekennzeichnet sein, eine grün-gelbe Kennzeichnung nur an jeder Anschlussstelle ist nicht ausreichend.

Die Kennzeichnung durch die Farbkombination Grün und Gelb muss auf einer Länge von 15 mm mindestens mit 30 %, aber nicht mehr als 70 % einer Farbe bedeckt sein. Die andere Farbe bedeckt dann den Rest dieser Oberfläche.

Ummantelte einadrige Kabel oder Leitungen und Aderleitungen, die nach ihren Betriebsmittelnormen nicht mit grün-gelber Isolierung erhältlich sind, z. B. bei großen Querschnitten > 16 $mm^2$, dürfen als Schutzleiter verwendet werden, wenn eine grün-gelbe Markierung an jeder Anschlussstelle angebracht wird. Die Kennzeichnungen müssen dauerhaft sein. Beim Verlegen der Leitungen und Kabel ist darauf zu achten, dass die Kennzeichnung nicht verloren geht oder beschädigt wird.

Bei nach November 1995 errichteten Anlagen müssen blanke Leiter wie Sammelschienen, die als Schutzleiter verwendet werden, grün-gelb gefärbt werden, entweder über die ganze Länge des Leiters oder in jedem Teil oder jeder Einheit der Sammelschiene oder an jeder zugänglichen Stelle. Wird Klebeband angewendet, dann muss zweifarbiges Band verwendet werden.

Die Kennzeichnung durch Farbe oder Markierung ist nicht notwendig für

- konzentrische Leiter von Kabeln und Leitungen,
- Schutzleiter, die durch Form, Aufbau oder Lage leicht zu erkennen sind, z. B. konzentrische Leiter,
- Metallmäntel oder Bewehrungen von Kabeln und Leitungen, die als Schutzleiter oder auch als PEN-Leiter verwendet werden,

- nicht isolierte Leiter in Fällen, in denen eine Kennzeichnung auf Dauer aufgrund von Umgebungsbedingungen, z. B. aggressive Atmosphäre und Verschmutzung, nicht möglich ist,
- metallene Konstruktionsteile von Gebäuden oder für ursprünglich fremde leitfähige Teile, die als Schutzleiter verwendet werden,
- Körper von elektrischen Betriebsmitteln, die nach VDE 0100-540 als Schutzleiter verwendet werden,
- blanke Leiter von Freileitungen.

Bei den Schutzleitern, die durch Form, Aufbau oder Lage leicht zu erkennen sind, z. B. den konzentrischen Leitern, sollten die Enden oder zugänglichen Stellen durch das grafische Symbol ⏚ oder die Zwei-Farben-Kombination grün-gelb oder die alphanumerische Kennung *PE* deutlich gekennzeichnet sein.

Ebenfalls nicht durchgehend grün-gelb gekennzeichnet werden brauchen

- Adern von flexiblen Flachleitungen ohne Umhüllung, die als Schutzleiter verwendet werden,
- Kabel und Leitungen, die eine Isolierung haben, die nicht durch Farbe gekennzeichnet werden kann, z. B. mineralisolierte Kabel und Leitungen.

In diesen beiden Fällen müssen die Adern, die als Schutzleiter oder auch als PEN-Leiter verwendet werden, mit Markierungen an den Enden in der entsprechenden Farbe versehen werden wie bei einadrigen Kabeln und Leitungen.

Isolierte *Schutzerdungsleiter* und isolierte *Schutzpotenzialausgleichsleiter* (frühere Bezeichnung: Potenzialausgleichsleiter) müssen als Schutzleiter gekennzeichnet werden.

Anschlüsse von außen herangeführter Schutzleiter und auch Schutzerdungsleiter müssen durch *PE* oder das Symbol ⏚ gekennzeichnet werden. Dieses Bildzeichen darf entfallen, wenn der von außen herangeführter Schutzleiter für den Anschluss an einem innen liegenden Schutzleiter vorgesehen ist, der grün-gelb gekennzeichnet ist.

Wird der Schutzleiter von einem *Verteiler* aus getrennt zu den einzelnen Verbrauchern geführt, dann sind seine Anschlüsse – ebenso wie beim Neutralleiter – z. B. auf einer Schutzleiterschiene so anzuordnen, dass sie einzeln abgetrennt werden können, wobei ihre Zugehörigkeit zu den einzelnen Stromkreisen eindeutig erkennbar sein muss.

## 5.6.9 Erder

VDE 0100-540, VDE 0151

Erder werden zur Betriebserdung, Schutzerdung und Funktionserdung benötigt. *Betriebserder* erden im TN-System den PEN-Leiter, im TT-System den Sternpunkt des Transformators.

Damit im TN-System bei einem Erdschluss eines Außenleiters (z. B. Freileitung fällt auf die Erde) sichergestellt ist, dass die anderen Leiter, insbesondere der Schutzleiter und die damit verbundenen Körper oder der PEN-Leiter, keine Spannung gegen Erde erreichen, die 50 V (maximal zulässige Berührungsspannung) überschreitet, muss die bisher als *Spannungswaage* bezeichnete Bedingung erfüllt sein:

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50\ \text{V}}{U_0 - 50\ \text{V}};$$

$R_B$ Gesamterdungswiderstand aller parallel geschalteten Erder,

$R_E$ angenommener kleinster Erdübergangswiderstand der nicht mit einem Schutzleiter verbundenen fremden leitfähigen Teile, über die ein Erdschluss entstehen kann,

$U_0$ Nennspannung gegen Erde.

In einem Gebäude mit umfassendem Potenzialausgleich könnte man als kleinstmöglichen Erdübergangswiderstand $R_E = 20\ \Omega$ annehmen. Für die Sternpunkterdung des Transformators in diesem Gebäude würde somit ein Betriebserdungswiderstand

$$R_B \leq R_E \cdot \frac{50\ \text{V}}{U_0 - 50\ \text{V}} = 20\ \Omega \cdot \frac{50\ \text{V}}{230\ \text{V} - 50\ \text{V}} \cong 5{,}6\ \Omega$$

ausreichen.

Umgekehrt bedeutet dies, dass wegen möglicher kleiner Erdübergangswiderstände der Gesamterdungswiderstand aller Betriebserder eines Niederspannungsnetzes einen niedrigen Wert haben muss. Bisher sollte dieser Gesamterdungswiderstand deshalb 2 Ω nicht überschreiten.

Wenn die Einhaltung der Spannungswaage überprüft werden muss, z. B. bei einem Brückengeländer unter einer Freileitung, kann bei der Planung der Schutzmaßnahme der Betriebserdungswiderstand des Versorgungsnetzes beim Versorgungsunternehmen bzw. Netzbetreiber (NB) erfragt werden.

Im TT- und IT-System werden die Körper elektrischer Betriebsmittel direkt geerdet (Höhe des Erdungswiderstands s. Abschn. 5.6.3 und 5.6.4).

Unter *Schutzerdung* versteht man in Starkstromanlagen mit Nennspannungen von mehr als 1 000 V die Erdung eines nicht zum Betriebsstromkreis gehörenden

leitfähigen Teils zum Schutz von Personen gegen zu hohe Berührungsspannung. Der hier im Zusammenhang mit elektrischen Anlagen > 1 000 V Nennspannung verwendete Begriff *Schutzerdung* ist nicht zu verwechseln mit dem wieder neu eingeführten Begriff *Schutzerdung* beim Schutz gegen elektrischen Schlag bei elektrischen Anlagen bis 1 000 V AC (s. Einleitung zu Abschn. 5.6).

Die *Funktionserdung* ist eine Erdung eines Punkts oder mehrerer Punkte eines Netzes, einer Anlage oder eines Betriebsmittels zu anderen Zwecken als der elektrischen Sicherheit. Sie hat nur den Zweck, die beabsichtigte Funktion eines Betriebsmittels, z. B. einer Fernmeldeanlage, zu ermöglichen. Erdungsanlagen dürfen für Schutz- und Funktionszwecke gemeinsam oder getrennt verwendet werden. In Fällen, in denen die Erdung für Schutz- und Funktionszwecke verwendet wird, haben die Festlegungen für die Schutzmaßnahmen Vorrang, z. B. hinsichtlich der Kennzeichnung.

Als Erder dürfen verwendet werden:

- Fundamenterder, in Beton oder in Erde verlegt (Ringerder) nach DIN 18014,
- metallene Elektroden, vertikal oder horizontal in Erde verlegt (z. B. Stäbe, Rohre, Bänder, Drähte oder Platten)

und so genannte natürliche Erder:

- unterirdische Konstruktionsteile aus Metall, die im Fundament eingebettet sind (s. u.),
- Bewehrung von in Erdreich eingebettetem Beton (s. u.),
- Metallmäntel und andere Metallumhüllungen von Kabeln, entsprechend den örtlichen Auflagen oder Anforderungen (s. u.),
- andere geeignete unterirdische Konstruktionsteile aus Metall, entsprechend den örtlichen Auflagen oder Anforderungen (s. u.).

In allen neuen Gebäuden muss als Erder ein Fundamenterder nach DIN 18014 (s. Abschn. 5.6.10) errichtet werden.

Erder werden in Beton eingebettet, um Korrosion zu vermeiden. Deswegen sollte der Beton in einer gewissen Qualität ausgeführt und ein Abstand von mindestens 5 cm zwischen dem Erder und der Betonoberfläche eingehalten werden.

Nicht erlaubt als Erder sind:

- Bewehrung von Spannbeton (bis Mai 2007 durften mit Zustimmung der zuständigen Baufachleute Konstruktionsteile aus Spannbeton als Erder einbezogen werden),

- Rohrleitungen aus Metall für brennbare Flüssigkeiten oder Gase,
- Wasserrohre,
- in Wasser eingetauchte Metallteile, da die Gefahr der Austrocknung besteht und Personen bei Eintauchen in das Wasser einem gefährlichen elektrischen Feld ausgesetzt sein können.

Rohrleitungen für brennbare Flüssigkeiten und Gase, aber auch Heizungsrohrleitungen dürfen wegen der oft elektrisch schlecht leitenden Rohrverbindungen und der Möglichkeit einer Unterbrechung nicht als Erder benutzt werden. Diese Rohrleitungen – auch solche für Wasser – dürfen aber bzw. müssen in den Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene (frühere Bezeichnung: Hauptpotenzialausgleich) einbezogen werden (s. Abschn. 5.6.11.1).

Bisher durften *metallene Wasserrohrnetze* als Erder benutzt werden, aber nur, wenn der Betreiber des Wasserleitungsnetzes, z. B. das Wasserversorgungsunternehmen, dem zugestimmt hatte und wenn die Eignung des Netzes als Erder für die vereinbarte Dauer gesichert ist. Die Verwendung sollte aber nur Sonderfällen vorbehalten bleiben, da sonst die Erdungsanlage von anderen Anlagen abhängt. Die Vereinbarung zwischen dem Betreiber der elektrischen Anlage und dem des Wasserleitungsnetzes muss auch enthalten, dass der Benutzer der elektrischen Anlage im Voraus von allen Änderungen im Wasserleitungsnetz in Kenntnis gesetzt wird. Es ist vor allem darauf zu achten, dass keine isolierenden Rohre und Rohrverbindungen die Erdungsanlage beeinträchtigen. Als Schutzleiter dürfen Wasserverbrauchsleitungen auch nicht mehr benutzt werden (s. Abschn. 5.6.8).

Wenn Wasserverbrauchsleitungen eines Gebäudes in der Vergangenheit für Erdungszwecke verwendet worden sind, muss der *Wasserzähler überbrückt* sein. Der Querschnitt des Überbrückungsleiters muss ausreichend sein. Als ausreichend gelten verzinntes Kupferseil mit einem Querschnitt von mindestens 16 $mm^2$, verzinntes Stahlseil mit einem Querschnitt von mindestens 25 $mm^2$, verzinkter Bandstahl mit einem Querschnitt von mindestens 60 $mm^2$ und einer Mindestdicke von 3 mm oder leitwertgleiche Haltekonstruktionen (Wasserzählerbügel). Diese Überbrückung muss auch bestehen bleiben, wenn der Wasserzähler ausgebaut wird.

*Unterirdische Konstruktionsteile aus Metall* (z. B. Stahlskelette), die im Fundament eingebettet sind, und *Betonbewehrungen*, können als Erder benutzt werden, wenn durch Messungen nachgewiesen ist, dass die Verbindungen eine ausreichende Güte haben. Zusätzliche Band- oder Rundeisen in das Betonfundament sind aus Gründen der elektrotechnischen Sicherheit nicht erforderlich; die üblichen Rödelverbindungen sind ausreichend.

Aus Gründen niedriger Störpegel beim Betrieb von fernmelde- und informationstechnischen Systemen, insbesondere in Bürogebäuden, ist das Einbeziehen von

Stahlkonstruktionen und Bewehrungen in die Erdungsanlage sogar vorteilhaft. Durch sehr gute leitende Verbindungen werden Verbesserungen der Störfestigkeit erzielt. Deshalb sind die Verbindungen durch Verschweißen, geeignete mechanische Verbindungselemente oder besonders sorgfältiges Verrödeln herzustellen. Es können auch zusätzliche Baustähle eingelegt werden, die miteinander verschweißt und mit der Bewehrung verrödelt werden. Der Anschlusspunkt des Erdungsleiters an die metallenen Konstruktionsteile und die Betonbewehrungen muss zugänglich sein.

*Metallmäntel* und andere *Metallumhüllungen von Kabeln, z. B. von Bleikabeln*, die unmittelbar im Erdreich verlegt sind, dürfen als Erder benutzt werden, wenn die Verbindung über die Muffen mindestens leitwertgleich mit dem Metallmantel ist und der Verfügungsberechtigte, z. B. der NB, die Benutzung gestattet.

Die Wirksamkeit eines Erders ist abhängig von den örtlichen Bodenverhältnissen. Es müssen ein oder mehrere Erder entsprechend den Bodenverhältnissen und dem geforderten Wert des Erdungswiderstands ausgewählt werden.

Bei der Auswahl von Erdern und ihrer Verlegetiefe müssen die örtlichen Gegebenheiten und auch örtliche Bestimmungen berücksichtigt werden. Bodenaustrocknung und Frost dürfen den Erdungswiderstand der Erder möglichst nicht auf einen Wert erhöhen, dass die Schutzmaßnahme gegen elektrischen Schlag beeinträchtigt wird.

Bänder, Drähte oder Seile werden als *Oberflächenerder* in geringer Tiefe verlegt, im Allgemeinen bis etwa 1 m Tiefe, und können als Strahlen-, Ring- oder Maschenerder oder als Kombination dieser Arten ausgeführt sein. Rohre, Rundstäbe oder anderes Profilmaterial werden als *Tiefenerder* in größeren Tiefen verlegt oder in größere Tiefe eingetrieben. Wenn bei einem Gebäude oder einer Anlage ein Blitzschutzsystem vorhanden ist, müssen bei der Erdungsanlage die Anforderungen der Normen für Blitzschutz beachtet werden (s. Abschn. 17.2.4).

Werkstoffe und Abmessungen von Erdern müssen so ausgewählt werden, dass sie Korrosion widerstehen und eine angemessene mechanische Festigkeit besitzen. Für Erder im Erdreich oder in Beton sind die gebräuchlichen Werkstoffe und die minimalen Abmessungen unter Berücksichtigung von Korrosion und mechanischer Festigkeit in **Tabelle 5.23** enthalten.

Feuerverzinkter oder nicht rostender Stahl sowie blankes Kupfer nach Tabelle 5.23 kann auch für *in Beton* eingebettete Erder verwendet werden.

Bei Lehm-, Ton- oder Ackerboden ergeben Banderder etwa die Widerstände in **Tabelle 5.24**.

Ein Stahlrohr von 25 mm Durchmesser hätte bei Lehm-, Ton- oder Ackerboden in 1 m Tiefe rund 70 Ω Ausbreitungswiderstand, in 2 m Tiefe rund 40 Ω Ausbreitungswiderstand gebracht. In feuchten Sandböden sind die Erdausbreitungswiderstände etwa doppelt so groß.

***Tabelle 5.23:*** *Werkstoffe und Mindestabmessungen für gebräuchliche Erder nach VDE 0100-540:2012-06*

| **Werkstoff/ Oberfläche** | **Form** | **Quer-schnitt** $mm^2$ | **Durch-messer** mm | **Dicke** mm | **Gewicht der Schutz-schicht** $g/m^2$ | **Dicke der Beschichtung/ Umhüllung** µm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Stahl im Beton verlegt; blank, feuer-verzinkt oder nicht rostend | massives Rundmaterial | – | 10 | – | – | – |
| | Band oder Flachmaterial | 75 | – | 3 | – | – |
| Stahl, feuerverzinkt[1)] | Bandstahl[2)] oder Stahlplatte | 90 | – | 3 | 500 | 63 |
| | Rundstange, senkrecht errichtet | – | 16 | – | 350 | 45 |
| | massives Rundmaterial, waagerecht errichtet | – | 10 | – | 350 | 45 |
| | Rohr | – | 25 | 2 | 350 | 45 |
| | Seil, in Beton verlegt | 70 | – | – | – | – |
| | Kreuzprofil, senkrecht errichtet | (290) | – | 3 | – | – |
| Stahl mit Cu-Umhüllung | Rundstange, senkrecht errichtet | – | (15) | – | – | 2.000 |
| Stahl, elektrolytisch verkupfert | Rundstange, senkrecht errichtet | – | 14 | – | – | 250[3)] |
| | massives Rundmaterial, waagerecht errichtet | – | (8) | – | – | 70 |
| | Band, waagerecht errichtet | 90 | – | 3 | – | 70 |
| nichtrostender Stahl[4)] | Bandstahl[2)] oder Stahlplatte | 90 | – | 3 | – | – |
| | Rundstange, senkrecht errichtet | – | 16 | – | – | – |
| | massives Rundmaterial, waagerecht errichtet | – | 10 | – | – | – |
| | Rohr | – | 25 | 2 | – | – |

***Tabelle 5.23:*** *(Fortsetzung) Werkstoffe und Mindestabmessungen für gebräuchliche Erder nach VDE 0100-540:2012-06*

| **Werkstoff/ Oberfläche** | **Form** | **Quer-schnitt** $mm^2$ | **Durch-messer** mm | **Dicke** mm | **Gewicht der Schutz-schicht** $g/m^2$ | **Dicke der Beschichtung/ Umhüllung** µm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Kupfer | Band | 50 | – | 2 | – | – |
| | massives Rundmaterial, waagerecht errichtet | (25)[5]/50 | – | – | – | – |
| | massive Rundstange, senkrecht errichtet | – | (12)/15 | – | – | – |
| | Rohr | – | 20 | 2 | – | – |
| | Seil | (25)[5]/50 | 1,7[6] | – | 1 | 5 |
| | massive Platte | – | – | (1,5)/2 | – | – |
| | Gitter | | | 2 | | |

*Anmerkung:* Werte in *Klammern* gelten nur für den Schutz gegen elektrischen Schlag. Werte ohne Klammern gelten sowohl für den Blitzschutz als auch für den Schutz gegen elektrischen Schlag.

1) Beschichtung muss glatt, gleichmäßig und frei von Flussmittelschutz sein
2) als aufgerollter Bandstahl oder Spaltbänder mit gerundeten Kanten
3) Die Schichtdicke ist vorgesehen als Widerstand gegen mechanische Beschädigung der elektrolytisch aufgetragenen Kupferschicht während der Errichtung. Sie darf reduziert werden, doch nicht kleiner als 100 µm, wenn besondere Vorkehrungen zur Verhinderung mechanischer Beschädigungen des Kupfers bei der Errichtung vorgesehen werden (z. B. vorgebohrte Löcher oder spezielle Schlagspitzen) entsprechend den Herstellerangaben.
4) Chrom ≥ 16 %, Nickel ≥ 5 %, Molybdän ≥ 2 %, Kohlenstoff ≤ 0,08 %
5) Wenn aufgrund von Erfahrungen bekannt ist, dass das Risiko der Korrosion und mechanischen Beschädigung extrem gering ist, kann 16 $mm^2$ verwendet werden
6) jeder einzelne Draht

***Tabelle 5.24:*** *Ungefähre Ausbreitungswiderstände von Banderdern*

| **Bandlänge m** | **Ausbreitungswiderstand Ω** |
|---|---|
| 10 | 20 |
| 25 | 10 |
| 50 | 5 |
| 100 | 3 |

Die Kenntnis des *spezifischen Bodenwiderstands* $\rho$ erleichtert nicht selten die Planung von Erdungsanlagen. Aus den genügend genauen Formeln

$$R_E = \rho / l \qquad \text{für Staberder und}$$

$$R_E = 2\,\rho / l \qquad \text{für Banderder}$$

kann die Tiefe $l$ des Staberders oder die Länge $l$ des Banderders ungefähr vorausbestimmt werden (**Tabelle 5.25**).

Beim Ringerder gilt

$$R_E = \rho / \left(0{,}6\sqrt{S}\right)$$

und beim Fundamenterder

$$R_E = 0{,}2\,\rho\,\sqrt[3]{V}\;;$$

$S$ Fläche in $m^2$, die vom Ringerder eingeschlossen wird,

$V$ Volumen des Fundaments in $m^3$.

Es darf so gerechnet werden, als ob der Stahlerder im umgebenden Erdreich wäre.

***Tabelle 5.25:*** *Spezifischer Bodenwiderstand* $\rho$

| **Bodenart** | $\rho$ **Ω · m** |
|---|---|
| frisch angesetzter Beton | 3...5 |
| blauer Beton, Moor | 10 |
| Zement | 50 |
| Humus, getrockneter Lehm | 100 |
| nasser Boden | 125 |
| feuchter Sand, Schlacke | 200 |
| sehr feuchter Holzboden, Asphalt | 100...500 |
| feuchter Beton, Kies | 200...500 |
| feuchte Fliesen | 800 |
| Ziegel, trockener Sand, feuchtes Kleinpflaster | 1 000...3 000 |
| Kies | 1 000...30 000 |
| trockener Terrazzo | 2 500 |
| trockenes Kleinpflaster | 8 000 |
| Felsen, Urgestein, Wasser | 10 000...10 000 000 |

Insbesondere bei Verwenden unterschiedlicher Werkstoffe in einer Erdungsanlage muss deren *elektrochemische Korrosion* berücksichtigt werden. So können Stahlerder durch mit ihnen verbundene Kupfererder zerstört werden. Verbindungsleiter zum Fundamenterder (z. B. Erdungsleiter, Funktionserdungsleiter für Blitzschutz) aus feuerverzinktem Stahl dürfen nicht in Erde verlegt werden, es sei denn, sie sind mit Kunststoff überzogen oder bestehen aus nichtrostendem Stahl nach Werkstoffnummer 1.4571 oder gleichwertig zum dauerhaften Schutz (nach „Zertifiziertes europäisches Referenzmaterial (EURONORMZRM) Nr. 284-2 DIN EN 10020") (VDE 0100-540:2012-06, Abschn. 542.2.5). Auch in chemischen Betrieben sind frühzeitige Zerstörungen mancher Werkstoffe zu berücksichtigen. Manchmal ist das Verlegen von Kupfer-Bleimantel-Leitungen mit mindestens 1 mm dickem Bleimantel zu empfehlen. Auch sollte berücksichtigt werden, dass in Beton eingebettete Fundamenterder aus Stahl ein elektrochemisches Potenzial ähnlich dem von Kupfer in Erde besitzen.

In der Nähe von Gleichstromanlagen, insbesondere von Gleichstrombahnen, galvanischen Anlagen usw. ist die Gefahr von *Streuströmen* zu berücksichtigen. Das Anwenden geeigneter Schutzmaßnahmen gegen die Streustromkorrosion erfordert vertrauensvolle Zusammenarbeit aller Beteiligten und eine genaue Beachtung von VDE 0150. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, z. B. kathodischer Korrosionsschutz, darf die Erde nicht betriebsmäßig zum Führen von Gleichstrom benutzt werden. Alle Strom führenden Leiter müssen gegen Erde isoliert sein. Auch der Gleichstrom-Neutralleiter darf nur an einer einzigen Stelle geerdet werden, weshalb ein TN-System als Schutzmaßnahme bei Gleichstrom meist ausscheidet. Erdungsanlagen dürfen keine metallene Verbindung mit den Schienen von Gleichstrombahnen haben.

*Erdungsleiter* (s. Kap. 2) verbinden einen zu erdenden Anlagenteil mit einem Erder. Ein Erdungsleiter muss an den Erder angeschweißt, durch Pressverbinder angeschlossen, angeklemmt oder auf andere Art mechanische verbunden werden. Bei mechanischen Verbindern müssen unbedingt die Herstellerangaben beachtet werden. Lötverbindungen sind nicht zulässig. Sie bieten keine ausreichend zuverlässige mechanische Festigkeit. Bei reinen Schraubverbindungen haben sich zwei gesicherte Schrauben mindestens M 10 bewährt. Für Anschlüsse an Seile bieten sich Hülsenverbinder, z. B. Kerbverbinder, an. An Anschlussklemmen darf nicht mehr als ein Leiter geklemmt werden, es sei denn der Hersteller lässt dies zu. Sind sie jedoch als Verbindungsklemmen ausgebildet, so dürfen sie auch für die Durchgangsverdrahtung verwendet werden. Die Verbindungsstellen sind gegen Korrosion zu schützen.

Erdungsleiter müssen den Anforderungen für Schutzleiter (s. Abschn. 5.6.8) entsprechen. Das bedeutet, dass der Mindestquerschnitt – da der Erdungsleiter

üblicherweise mehreren Stromkreisen dient – nach Tabelle 5.18 (Schutzleiterquerschnitt) bemessen werden muss, jedoch muss der Leiterquerschnitt mindestens 6 mm$^2$ Cu oder 50 mm$^2$ Stahl betragen. Wenn blanke Erdungsleiter in Erde verlegt werden, müssen ihre Mindestabmessungen und Werkstoffeigenschaften auch den Werten in Tabelle 5.23 entsprechen.

Neu ist, dass mit Inkrafttreten der Ausgabe 2012-06 der VDE 0100-540 Aluminiumleiter als Erdungsleiter nicht mehr zulässig sind.

Bei der Errichtung von Erdungsleitern, die als Verbindung zwischen Blitzschutzanlage und Fundamenterder dienen (Funktionserdungsleiter für Blitzschutz), sind auch die Anforderungen der Reihe VDE 0185-305 (Blitzschutz) zu beachten.

Wenn keine nennenswerten Fehlerströme über den Erder zu erwarten sind, z. B. in TN- oder IT-Systemen, braucht der Querschnitt von Erdungsleitern maximal 25 mm$^2$ Cu oder maximal einem entsprechenden Querschnitt eines anderen zulässigen Werkstoffs sein.

Bisher mussten die Querschnitte von in Erde eingebetteten Erdungsleitern den Werten der **Tabelle 5.26** entsprechen. Mit Inkrafttreten der Ausgabe 2012-06 der VDE 0100-540 ist diese Tabelle entfallen. Für bis zur Übergangsfrist der alten Ausgabe (27.04.2014) errichtete Anlagen gelten die Werte natürlich noch weiter.

***Tabelle 5.26:*** *Mindestquerschnitte für in Erde eingebettete Erdungsleiter (nach VDE 0100-540:2007-06, zurückgezogen)*

| **Erdungsleiter gegen Korrosion …** | **Mindestquerschnitt mm$^2$** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Verlegung, mechanisch …** | | | |
| | **… geschützt** | | **… ungeschützt** | |
| | **Cu** | **Stahl** | **Cu** | **Stahl** |
| … geschützt | 2,5 | 10 | 16 | 16 |
| … nicht geschützt | 25 | 50 | 25 | 50 |

Als mechanisch nicht geschützt nach der nur noch für Altanlagen geltenden Tabelle 5.26 gilt ein Erdungsleiter, wenn der mechanische Schutz einem Schlag mit einer Schlagenergie von 5 Joule oder gleichwertig nicht widersteht. In der Praxis entspricht dies einem so genannten „schweren Grad" der Schlagbeanspruchung von Elektroinstallationsrohren. Solche Rohre weisen als Klassifizierungscode für Elektroinstallationsrohrsysteme an zweiter Stelle einer 12-ziffrigen Zahl die Ziffer „4" (schwere Schlagfestigkeit) auf.

Alle Erdungsleiter müssen über eine Haupterdungsschiene mit den Schutzleitern und den Schutzpotenzialausgleichsleitern (frühere Bezeichnung: Hauptpotenzialausgleichsleiter) einer Anlage verbunden werden. Die Erdungsleiter müssen einzeln mit Werkzeug lösbar und von der zugänglichen Schiene trennbar sein, um die Erdungswiderstände messen zu können.

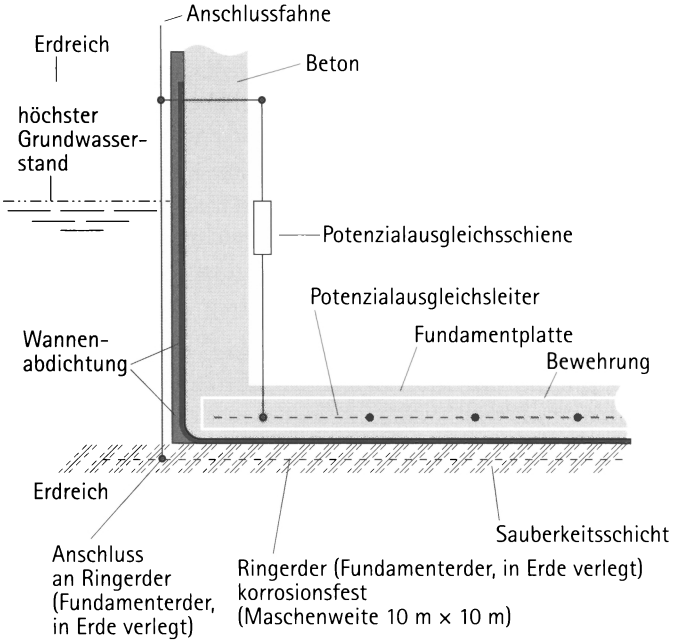
Erdungsleiter, die Schutzerdungsleiter (Schutzleiter in einer elektrischen Anlage) sind, sind wie Schutzleiter grün-gelb oder mit den für Schutzleiter zulässigen Symbolen zu kennzeichnen (s. Abschn. 5.6.8; Kennzeichnung). Dies gilt in der Regel für blanke oberirdische Erdungsleiter. Isolierte Erdungsleiter sind wie isolierte Schutzleiter zu kennzeichnen.

## 5.6.10 Fundamenterder

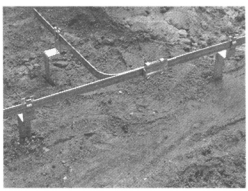
VDE 0100-540, DIN 18014, DIN 18015-1

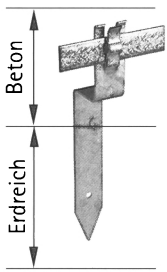
Der Fundamenterder ist Bestandteil der elektrischen Anlage. Er dient der Umsetzung von Maßnahmen zum Schutz gegen den elektrischen Schlag, verbessert die Wirksamkeit des Schutzpotenzialausgleichs, zumal im Wassernetz sehr viel nichtmetallene Rohre und Wasserrohre mit Inkrafttreten von VDE 0100-540 im Juni 2007 sowieso nicht mehr als Erder benutzt werden dürfen und im Kabelnetz viele kunststoffummantelte Kabel verwendet werden. Außerdem dient der Fundamenterder als Erder für Starkstromanlagen (Potenzialsteuerung für das Gebäude) und Blitzschutzanlagen sowie als Funktionserder (Funktionspotenzialausgleich). Eine wichtige Funktion ist die Erhöhung der Wirksamkeit des Schutzpotenzialausgleichs (frühere Bezeichnung: Hauptpotenzialausgleich). Nach DIN 18015-1 und den „Technischen Anschlussbedingungen" (TAB) der NBs muss er bei jedem Neubau von Wohngebäuden vorgesehen werden. Für die Planung und Errichtung von Erdungsanlagen allgemein und speziell für Fundamenterder gilt VDE 0100-540 (aktueller Stand: Juni 2012) und DIN 18014 (aktueller Stand: März 2014).

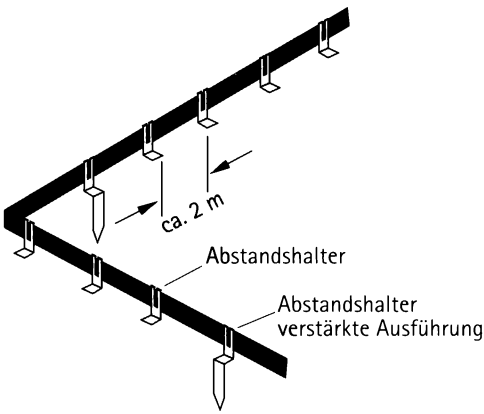
Seit Inkrafttreten von VDE 0100-540:2012-06 wird der Begriff „Fundamenterder" unterteilt in „*Fundamenterder, in Beton verlegt*" und „*Fundamenterder, in Erde verlegt*". Die beiden Begriffe sprechen für sich. Im Detail ist die eine Ausführung ein Fundamenterder in Beton eines *Gebäudefundaments* verlegt, im Allgemeinen als geschlossener Ring, die andere Ausführung ein Fundamenterder in Erde *außerhalb* eines Gebäudefundaments verlegt, im Allgemeinen auch als geschlossener Ring. Nach DIN 18014 wird dieser Erder als Ringerder bezeichnet. Der Fundamenterder, in Beton verlegt, wird in die Umfassungsfundamente der Gebäude unterhalb der Bauwerksabdichtung in die Fundamente der Außenwände eingebracht (**Bilder 5.36** und **5.37**). Als Material ist Bandstahl von mindestens 30 mm × 3,5 mm oder Rundstahl mit mindestens 10 mm Durchmesser zu verwenden. Der Stahl darf sowohl verzinkt als auch unverzinkt sein. Der Erdungswiderstand liegt zwischen 1 Ω und 15 Ω.




a)






b)

***Bild 5.36:*** *Fundamenterder (Werkbilder: Dehn + Söhne)*
*a) Anordnung bei Wannenabdichtung;*
*b) Anwendung der Abstandshalter*

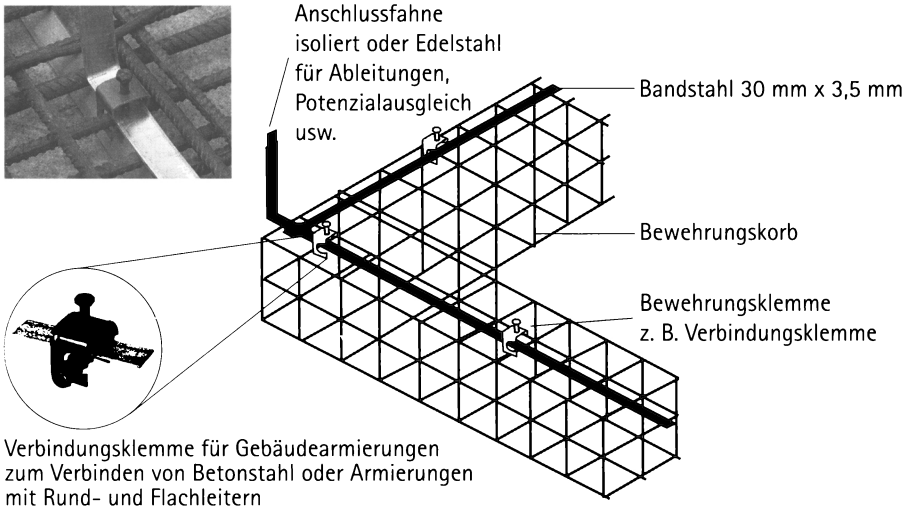



***Bild 5.37:*** *Fundamenterder, in Beton verlegt, Anwendung von Flachband/Runddraht auf der Fundamentarmierung (Werkbilder: Dehn + Söhne)*

Die Anschlussteile wie Anschlussfahnen und Anschlussplatten müssen aus dauerhaft korrosionsgeschützten Materialien hergestellt sein. Es sind feuerverzinkte Stähle, nichtrostende Edelstähle zu verwenden. Neu mit Inkrafttreten der Norm DIN 18014 im Sept. 2007 ist, dass die Anschlussfahnen zusätzlich eine Kunststoffummantelung haben müssen. Die Maße der Anschlussfahnen aus Rundstahl oder Bandstahl sind dieselben wie bei den Erderleitungen.

Bei größeren Gebäuden darf die Maschenweite nicht größer als 20 m × 20 m sein. Dies ist zu erreichen, indem man den Fundamenterder durch Querverbindungen aufteilt. Gegebenenfalls ist die Verlegung von Erdern unter Mittelmauern notwendig.

Bei Stahlskelettbauten tritt an die Stelle des Fundamenterders die Stahlkonstruktion mit ihren Sockelfundamenten.

Der Erder ist so in den Beton einzubetten, dass er mindestens 5 cm hoch von Beton bedeckt ist. Ein freies Ende des Bandstahls wird bis in den Hausanschlussraum hochgeführt, damit es an die Haupterdungsschiene (bisher auch Potenzialausgleichsschiene genannt) in der Nähe des elektrischen Hausanschlusses angeschlossen werden kann. Bei größeren Gebäuden sind weitere Anschlussfahnen zweckmäßig, z. B. zum Anschluss von Aufzugsführungsschienen, Klimaanlagen und Stahlkonstruktionen.

Beim Verlegen des Fundamenterders sollten immer Anschlussmöglichkeiten für eine Blitzschutzanlage geschaffen werden. Dazu sind an allen Stellen, an denen

Regenfallrohre geplant sind, bzw. in Abständen von maximal 20 m Anschlussfahnen nach oben zu führen (s. Kap. 17).

Austrittsstellen des Bandstahls aus Beton in Erde sind wegen erhöhter Korrosionsgefahr zu vermeiden. Der Bandstahl ist im Beton über Erdniveau hochzuführen. Andernfalls muss durch rechtzeitig angebrachte Umhüllungen gegen Korrosion (z. B. Bitumenbinden) ein dauerhafter Schutz gegen Korrosion erfolgen.

Gut leitende Verbindungen und Abzweige erzielt man durch Keilverbinder, Federverbinder, Schrauben oder Schweißen. Wenn der Beton maschinell verdichtet wird (z. B. mittels Rüttler), dürfen als Klemmverbindung keine Keilverbinder verwendet werden. Alle Anschlussteile untereinander und an Fundament- oder Ringerder müssen einen niederohmigen Durchgang haben (Richtwert nach Norm: $< 1\ \Omega$). Beim Herstellen von Schweißverbindungen sind die einschlägigen Normen über das Schweißen einzuhalten. Schweißverbindungen mit Bewehrungsstäben sind nur mit Zustimmung des Bauunternehmens zulässig. Das Verlegen des Fundamenterders ist vom Bauherrn oder Architekten zu veranlassen. Die Ausführung erfolgt durch die zuständigen Fachkräfte des Bau- oder Elektrohandwerks. Das Verbinden des PEN- oder Schutzleiters, der Wasserverbrauchsleitung und der Heizungsanlage mit der Schutzpotenzialausgleichsleitung und deren Anbringung obliegt *nur der zuständigen Fachkraft des Elektrohandwerks (Elektrofachkraft).*

Der Erdungswiderstand des Fundamenterders ist durch Messung zu prüfen.

Für den Fundamenterder, in Beton verlegt, ist bedeutsam, dass sich der spezifische Widerstand des Betons dem seiner Umgebung annähert. Bei Abdichtungen der Fundamente (geschlossene Wanne) mit Bitumen oder Kunststoff (schwarze Wanne genannt) oder mit einer Konstruktion aus wasserundurchlässigem Beton (weiße Wanne genannt) ist statt des Fundamenterders, in Beton verlegt, ein – wie es nun heißt – Fundamenterder, in Erde verlegt, nach DIN 18014 als Ringerder bezeichnet, und wie in DIN 18014 beschrieben außerhalb der Wanne zu verlegen. Der Ringerder (Fundamenterder, in Erde verlegt) muss die gleiche Maschenweite wie ein Fundamenterder, in Beton verlegt, haben.

Bei einer Wärmedämmung der Fundamente, die den erdberührten Bereich des Bauwerkes von außen umschließt (Perimeterdämmung), sind zwei Fälle zu unterscheiden. Wird die Dämmung nur an den Umfassungswänden vorgesehen, ist für den Fundamenterder noch eine bestimmte Erdfühligkeit gegeben. In diesem Fall kann der Fundamenterder wie oben beschrieben ausgeführt werden. Ist jedoch die Dämmung sowohl an den Umfassungswänden als auch unter der Bodenplatte vorhanden, ist die Erdfühligkeit nicht mehr gegeben. Hier ist der Fundamenterder wie bei einer geschlossenen Wanne als Ringerder (Fundmenterder, in Erde verlegt) außerhalb der Dämmung auszuführen.

## 5.6.11 Schutzpotenzialausgleich

VDE 0100-410 und -540, DIN 18 015-1

Potenzialausgleich ist das Beseitigen von elektrischen Potenzialunterschieden (Spannungen), z. B. zwischen Körpern elektrischer Betriebsmittel und fremden leitfähigen Teilen (z. B. leitfähigen Rohrleitungen) sowie ggf. zwischen diesen Rohrleitungen und Gebäudeteilen untereinander. Zu den fremden leitfähigen Teilen gehören auch leitfähige Fußböden und Wände, wenn über sie ein elektrisches Potenzial einschl. des Erdpotenzials eingeführt werden kann. Im Zusammenhang mit dem Schutz gegen elektrischen Schlag wird der Potenzialausgleich nun Schutzpotenzialausgleich („Potenzialausgleich zum Zweck der Sicherheit") genannt. Dient der Potenzialausgleich betrieblichen Gründen, nicht zum Zweck der Sicherheit, wird er *Funktionspotenzialausgleich* genannt. Der Potenzialausgleich wird in den VDE-Bestimmungen wiederholt gefordert oder eingehend behandelt, z. B. in VDE 0100-410, -444, -551, -701, -702, -703, -705, -706, -710, -711, -723, -740 und -753, VDE 0165 und VDE 0800-2, -2-310, 174-2 und -500.

### 5.6.11.1 Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene

In jedem Gebäude oder jeder Anlage muss ein so genannter *Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene* (frühere Bezeichnung: *Hauptpotenzialausgleich*) durchgeführt werden. Dazu sind im Hausanschlussraum (s. Abschn. 6.2.4) bzw. in der Nähe der Hausanschlüsse eine Haupterdungsschiene (übliche deutsche Bezeichnung: *Potenzialausgleichsschiene*) vorzusehen. Der Erdungsleiter (s. Kap. 2; frühere Bezeichnung: *Haupterdungsleiter*, z. B. die Anschlussfahne des Fundamenterders) und die folgenden leitfähigen Teile sind über die Haupterdungsschiene zum Schutzpotenzialausgleich (frühere Bezeichnung: *Hauptpotenzialausgleich*) zu verbinden:

- Schutzleiter; üblicherweise Schutzleiter zwischen elektrischen Verteilern und Haupterdungsschiene (bisher *Hauptschutzleiter* genannt, nicht genormte Bezeichnung);
- metallene Rohrleitungen von Versorgungssystemen, die von außen in Gebäude führen, z. B. für Gas, Wasser, auch Abwasser;
- fremde leitfähige Teile der Gebäudekonstruktion, sofern im üblichen Gebrauchszustand berührbar;
- andere metallene Versorgungssysteme, z. B. Zentralheizungs- und Klimasysteme;
- Metallteile der Gebäudekonstruktion soweit möglich (z. B. Stahlskelette) sowie wesentliche metallene Verstärkungen von Gebäudekonstruktionen aus stahlbewehrtem Beton, wenn die Verstärkungen berührbar und zuverlässig untereinander verbunden sind;

- Blitzschutzerder;
- gegebenenfalls auch Funktionserdungsleiter.

Die Verbindungsleiter von der Haupterdungsschiene (*Potenzialausgleichsschiene*) zu den metallenen Rohrleitungen, anderen metallenen Versorgungssystemen und fremden leitfähigen Teilen der Gebäudekonstruktion sind Schutzpotenzialausgleichsleiter (frühere Bezeichnung: *Hauptpotenzialausgleichsleiter*). Nicht jeder einzelne Schutzleiter muss direkt mit der Haupterdungsschiene verbunden werden. Sie können auch über andere Schutzleiter mit der Haupterdungsschiene (Potenzialausgleichsschiene) verbunden werden. Die Haupterdungsschiene (Potenzialausgleichsschiene) des Gebäudes kann grundsätzlich für Funktionserdungszwecke verwendet werden. Für Zwecke der Informationstechnik ist sie in diesem Fall der Verbindungspunkt zum Erdernetz.

Wenn leitfähige Teile ihren Ausgangspunkt außerhalb des Gebäudes haben, müssen sie so nahe wie möglich an ihrer Eintrittsstelle innerhalb des Gebäudes miteinander verbunden werden (s. Abschn. 10.4).

Nach der am 01.06.2007 zurückgezogenen VDE 0100-540:1991-11 mussten metallene Gas- und Wasserversorgungsleitungen *innerhalb* des Gebäudes in den – wie es damals hieß – Hauptpotenzialausgleich einbezogen werden. Nach der nun gültigen, neuen Norm müssen metallene Gas- und Wasserversorgungsleitungen, die *in Gebäude eingeführt* sind, zum Schutzpotenzialausgleich verbunden werden. Daraus könnte man schließen, dass Gas- und Wasserversorgungsleitungen, die *in Gebäude eingeführt* und nicht aus Metall sondern aus Kunststoff sind – was heute nicht unüblich ist – nicht mehr zum Schutzpotenzial verbunden werden müssten, weil sie ja dann kein Erdpotenzial mehr einführten. Wenn man dem folgte, bräuchten nach Meinung des Autors auch keine metallene Zentralheizungs- und Klimasysteme innerhalb eines Gebäudes mehr in den Schutzpotenzialausgleich einbezogen werden, was aber ausdrücklich gefordert wird. Außerdem können auch metallene Gas- und Wasserrohrleitungen im Inneren eines Gebäudes, die außerhalb des Gebäudes aus Kunststoff sind, unter Umständen Erdpotenzial annehmen, z. B. wenn metallene Befestigungselemente der metallenen Rohrleitungen in Wänden mit Betonbewehrung eingebracht werden oder auf Metallskelettkonstruktionen befestigt werden, die in der Regel Erdpotenzial habe. Somit ist es ratsam, auch metallenen Gas- und Wasserrohrleitungen innerhalb eines Gebäudes immer in den Schutzpotenzialausgleich einzubeziehen, selbst wenn die Versorgungsleitungen von außen nicht aus Metall sind.

Die genannten Rohrleitungen für Gas wurden früher *Hauptgasrohre* und für Wasser *Hauptwasserrohre* genannt. Blitzschutzerder werden über Erdungsleiter auch direkt an den Fundamenterder angeschlossen (s. Kap. 17).

Der Zusammenschluss der Schutzpotenzialausgleichsleiter (frühere Bezeichnung: Potenzialausgleichsleiter) erfolgt mittels einer *Potenzialausgleichsschiene* – jetzt Haupterdungsschiene genannt – nach VDE 0618-1. Nach DIN 18012 „Haus-Anschlusseinrichtungen – Allgemeine Planungsgrundlagen" sind die Anschlussfahne des Fundamenterders und die Haupterdungsschiene (Potenzialausgleichsschiene) für den Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene (frühere Bezeichnung: Hauptpotenzialausgleich) (s. auch VDE 0800-2-310) im Hausanschlussraum, in der Hausanschlussnische oder an der Hausanschlusswand anzuordnen. Die Haupterdungsschiene (Potenzialausgleichsschiene) ist in der Nähe des Hausanschlusses und möglichst oberhalb der Anschlussfahne des Fundamenterders anzubringen (**Bild 5.38**).

An die Haupterdungsschiene (Potenzialausgleichsschiene) sind auch die Erdungsleiter von Einrichtungen der Informationstechnik (Fernmeldeanlagen nach Reihe VDE 0800) anzuschließen, mit Zustimmung des Eigentümers oder Betreibers auch die Metallmäntel von informationstechnischen Leitungen und Kabeln, ebenso die Erdungsleiter von Antennen, sofern sie nicht unmittelbar mit einer Gebäudeblitzschutzanlage verbunden sind. Wenn metallene Rohrsysteme isolierende Verbindungsstücke enthalten (z. B. in Abwasserleitungen oder Lüftungskanälen), müssen diese nicht überbrückt werden; ein Einbeziehen in den Schutzpotenzialausgleich kann entfallen. Nach DVGW G 459-1 darf das Isolierstück der Gashausanschlussleitung nicht überbrückt werden. Der Anschluss des Schutzpotenzialausgleichsleiters darf in Fließrichtung erst hinter dem Isolierstück zu erfolgen.

Jede anzuschließende Anlage muss für sich allein den für sie geltenden Bestimmungen entsprechen. Man kann also nicht eine unzureichende Erdung, z. B. der Blitzschutzanlage, durch Anschluss an die Potenzialausgleichsschiene zu verbessern suchen. Ebenso müssen die Schutzmaßnahmen in den elektrischen Verbraucheranlagen auch ohne Schutzpotenzialausgleichsleitungen wirksam sein.

Jeder Leiter, der an der Haupterdungsschiene angeschlossen ist, muss einzeln getrennt werden können. Der Anschluss muss zuverlässig ausgeführt werden und darf nur mit Werkzeug lösbar sein. Trennmöglichkeiten dürfen der Einfachheit halber an der Haupterdungsschiene angeordnet sein, um eine Messung des Widerstands der Erdungsanlage zu ermöglichen. Für die Anschlüsse an die Haupterdungsschiene (Potenzialausgleichsschiene) gibt es keine spezielle Forderung nach Kennzeichnung. Die angeschlossenen Leiter müssen jedoch so angeordnet oder bezeichnet werden, dass sie bei Inspektion, Prüfung, Instandhaltung oder Änderung der Anlage zugeordnet werden können. Da Schutzpotenzialausgleichsleiter auch Schutzleiter sind, nämlich Schutzleiter zur Herstellung des Schutzpotenzialausgleichs (VDE 0100-200), sind sie genauso grün-gelb zu kennzeichnen wie Schutzleiter (s. Abschn. 5.6.8).

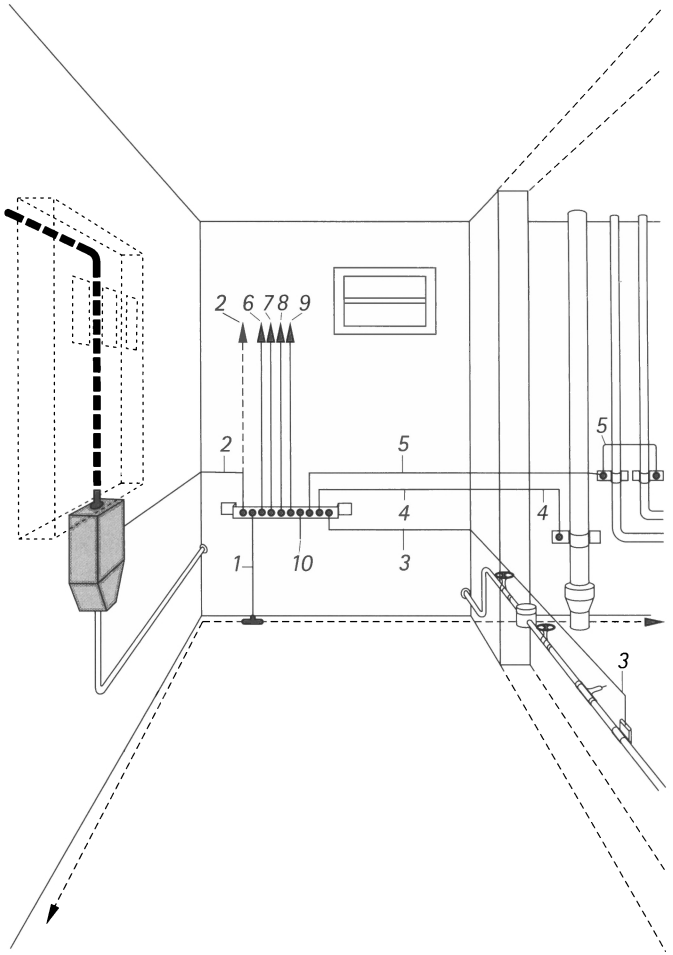



***Bild 5.38:*** *Anschlüsse an die Haupterdungsschiene (Potenzialausgleichsschiene) (VDEW)*
*1* Anschlussfahne des Fundamenterders; *2* Verbindung mit dem PEN-Leiter bei Kabelanschluss (gestrichelt: bei Freileitungsanschluss Verbindung zum nächsten Zählerplatz oder zum Hauptleitungsabzweig); *3* Verbindung zur Wasserverbrauchsleitung; *4* Verbindung zur Abwasserleitung; *5* Verbindung mit der zentralen Heizungsanlage (Vorlauf, Rücklauf); *6* Verbindung mit der Antennenanlage; *7* Verbindung mit der Fernmeldeanlage; *8* Verbindung mit dem Blitzschutzerder; *9* Verbindung mit dem Schutzleiter; *10* Reserve

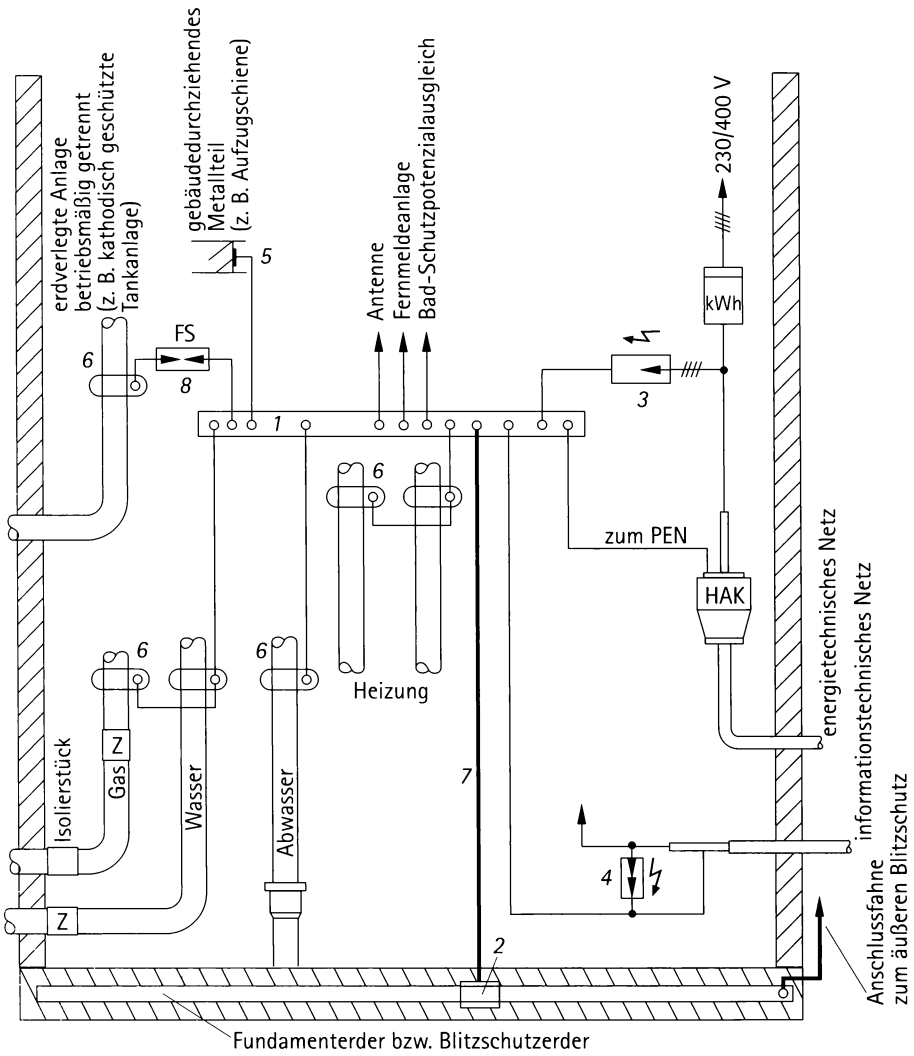



***Bild 5.39:*** *Beispiel für den Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene (frühere Bezeichnung: Hauptpotenzialausgleich) nach VDE 0100-410 und den Blitzschutzpotenzialausgleich nach VDE 0185-305-3 (Quelle: Dehn + Söhne)*
*1* Haupterdungsschiene (Potenzialausgleichsschiene); *2* Keilverbinder;
*3* Blitzstromableiter; *4* Blitzstromableiter in einem informationstechnischen System;
*5* Anschlussklemme; *6* Rohrschelle; *7* Anschlussfahne; *8* Trennfunkenstrecke; *Z* Zähler

Die Kennzeichnung kann auch durch die Buchstaben PB (engl.: **P**rotective-equipotenzial-**B**onding) oder PBE (geerdeter Schutzpotenzialausgleichsleiter) oder das graphische Symbol  nach IEC 60417-5021 erfolgen.

Ein Beispiel für den Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene (frühere Bezeichnung: Hauptpotenzialausgleich) im TN-System zeigt **Bild 5.39**. Man beachte den Einbau von Ventilableitern (s. Abschn. 17.3) und das Isolierstück in der Gasleitung.

### Querschnitt

Bisher musste der Leitwert der Schutzpotenzialausgleichsleiter für den Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene (frühere Bezeichnung: Hauptpotenzialausgleichsleitung) mindestens dem halben Leitwert des – wie er bisher bezeichnet wurde – Hauptschutzleiters entsprechen, der der Hauptleitung (s. Abschn. 5.6.2.7) zugeordnet war, mindestens aber 6 $mm^2$ Cu und höchstens 25 $mm^2$ Cu (**Tabelle 5.27**). Nun mit Inkrafttreten der Änderung der Norm VDE 0100-540 im Juni 2007 ist nur noch ein Mindestquerschnitt von 6 $mm^2$ Cu, 16 $mm^2$ Al oder 50 $mm^2$ Stahl vorgeschrieben, d. h., es besteht keine Abhängigkeit mehr vom Querschnitt des Schutzleiters. Es muss aber vom Planer der elektrischen Anlagen beachtet und gegebenenfalls untersucht werden, ob aufgrund der zu erwartenden Kurzschlussströme und der Abschaltzeiten der Schutzeinrichtungen der Mindestquerschnitt nicht ausreicht. So sollte der Querschnitt des Schutzpotenzialausgleichsleiters für den Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene (frühere Bezeichnung: Hauptpotenzialausgleichsleitung) wie ein Schutzleiter z. B. durch Berechnung ermittelt werden (s. Abschn. 5.6.9) [Lit.: H. Zander, Fachzeitschrift „de" 13/14-2007, Seite 41].

***Tabelle 5.27:*** *Mindestquerschnitte von Schutzleitern und Schutzpotenzialausgleichsleitungen (bis Juni 2007)*

| Außenleiter der Hauptleitung (Steigleitung) $mm^2$ Cu | Schutzleiter $mm^2$ Cu | Potenzialausgleichsleitung $mm^2$ Cu |
|---|---|---|
| 10 | 10 | 6 |
| 16 | 16 | 10 |
| 25 | 16 | 10 |
| 35 | 16 | 10 |
| 50 | 25 | 16 |
| 70 | 35 | 25 |
| 95 | 50 | 25 |

Bei zentraler Anordnung der Zählerstationen hinter dem Hausanschluss gelten die von den Zählern abgehenden und zu den Wohnungen führenden Leitungen als Hauptleitungen.

Der Querschnitt von Potenzialausgleichsleitungen braucht nicht größer als 25 $mm^2$ Cu zu sein.

Da Schutzpotenzialausgleichsleiter auch Schutzleiter sind, können alle Arten von Schutzleitern verwendet werden (s. Abschn. 5.6.8), so insbesondere isolierte oder blanke ein-, mehr- oder feindrähtige Leiter. Wasserleitungen, Rohre, die brennbare Gase oder Flüssigkeiten enthalten, Konstruktionsteile, die im normalen Betrieb mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind, flexible oder bewegliche Elektroinstallationsrohre aus Metall (es sei denn, sie sind für diesen Zweck hergestellt), flexible Metallteile oder Kabelwannen und Kabelpritschen dürfen *nicht* als Schutzpotenzialausgleichsleiter verwendet werden (s. auch Abschn. 5.6.9).

Die Anschlüsse an Wasserverbrauchsleitungen, Gasinnenleitungen und Heizrohrleitungen sind von der zuständigen *Fachkraft des Elektrohandwerks* (Elektrofachkraft) fachgerecht auszuführen. Die Anschlüsse an Rohrleitungen müssen mit Rohrschellen, z. B. nach VDE 0185-561-1, durch Klemmen mit Spannband oder Hartlot- bzw. Schweißverbindungen vorgenommen werden. Befestigungsschrauben sind keine Anschlussschrauben! Alle Anschlüsse müssen gut und dauerhaft Kontakt geben. Sie müssen gegen *Korrosion* geschützt sein, bei besonderer Gefährdung durch wasserdichte und säurefeste Umhüllungen, plastische Binden oder Umgießen, u. U. genügt auch ein Anstrich. Der Oberflächenschutz der Rohrleitungen muss sorgfältig wiederhergestellt werden. Alle außerhalb des Erdbodens liegenden Anschlüsse sollten trennbar und überprüfbar sein.

Vor Inbetriebnahme – ggf. während der Errichtung – der Verbraucheranlage ist die einwandfreie Beschaffenheit des Schutzpotenzialausgleichs (VDE 0100-600; s. Abschn. 15.6) durch *Besichtigen* und Messen zu überprüfen. Als Richtwert gilt ein maximaler Widerstand von 3 Ω zwischen Schiene und Ende der Rohrleitungen.

### 5.6.11.2 Zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich

In *Bereichen besonderer Gefährdung* ist neben dem Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene (Hauptpotenzialausgleich) ein zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich erforderlich (frühere Bezeichnung: zusätzlicher Potenzialausgleich). Dies gilt für

- Räume mit Badewanne oder Dusche (u. U.) (s. Abschn. 14.3),
- Becken von Schwimmbädern und andere Becken (s. Abschn. 14.4),

- Elektrische Anlagen von landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten (s. Abschn. 14.8),
- Leitfähige Bereiche mit begrenzter Bewegungsfreiheit (s. Abschn. 14.17)
- Medizinisch genutzte Bereiche (s. Abschn. 14.10),
- Bereiche von Ausstellungen, Shows und Stände (s. VDE 0100-711),
- Unterrichtsräume mit Experimentiereinrichtungen (s. Abschn. 14.14),
- in für Tiere vorgesehene Bereiche auf Kirmesplätzen, in Vergnügungspark und Zirkussen (s. VDE 0100-740),
- Fußboden- und Deckenheizungen (s. VDE 0100-753),
- Elektrische Anlagen von Caravans und Motorcaravans (s. Abschn. 14.25),
- Explosionsgefährdete Bereiche (s. Abschn. 14.9),
- Niederspannungsstromerzeugungseinrichtungen (VDE 0100-551),
- Bereiche, die durch Stoffe mit explosiven Eigenschaften (z. B. Sprengstoffe) gefährdet sind (VDE V 0166).

In Verbraucheranlagen, in denen der Schutz durch automatische Abschaltung aufgrund zu langer Abschaltzeiten nicht erfüllt ist, muss als ein *Zusatz zum Fehlerschutz* (Schutz bei indirektem Berühren) ein *zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich* (frühere Bezeichnung: zusätzlicher Potenzialausgleich) vorgesehen werden. Er kann für die gesamte Anlage, einen Teil der Anlage, ein Gerät oder einen Bereich vorgenommen werden. Dazu müssen alle gleichzeitig berührbaren Körper ortsfester elektrischer Betriebsmittel und alle fremden leitfähigen Teile einschließlich – soweit praktikabel – die metallene Hauptbewehrung von Stahlbeton untereinander und mit den Schutzleitern aller Betriebsmittel, eingeschlossen die Schutzleiter der Steckdosen, verbunden werden (s. auch Abschn. 5.6.2.6 und 5.6.3.4).

Zwischen zwei Körpern von elektrischen Betriebsmitteln muss der Querschnitt des zusätzlichen Schutzpotenzialausgleichsleiters (frühere Bezeichnung: zusätzlicher Potenzialausgleichsleiter) mindestens gleich dem Querschnitt des kleineren PE sein. Zwischen einem Körper und einem fremden leitfähigen Teil muss der Querschnitt des zusätzlichen Schutzpotenzialausgleichsleiters (frühere Bezeichnung: zusätzlicher Potenzialausgleichsleiter) mindestens gleich dem halben Schutzleiterquerschnitt des betreffenden Betriebsmittels sein jedoch mindestens 2,5 $mm^2$ Cu, wenn der Leiter mechanisch geschützt ist, oder 4 $mm^2$ Cu, wenn der Leiter mechanisch *un*geschützt ist. Unabhängig von den Schutzleiterquerschnitten gilt als *Mindestquerschnitt für Leiter des zusätzlichen Schutzpotenzialausgleichs* 2,5 $mm^2$ Cu oder 16 $mm^2$ Al bei mechanischem Schutz und 4 $mm^2$ Cu oder 16 $mm^2$ Al ohne mechanischen Schutz. Ein Schutzpotenzialausgleichsleiter oder ein Schutzleiter gilt als mechanisch geschützt,

wenn er Bestandteil eines Kabels oder einer Leitung ist. Wenn sie nicht Bestandteil eines Kabels oder einer Leitung sind, gelten sie auch als mechanisch geschützt, wenn sie in einem Elektroinstallationsrohr, in einem Elektroinstallationskanal oder in einem baulichen Hohlraum verlegt oder auf ähnliche Weise geschützt sind. Durch Messen ist festzustellen, ob der Widerstand zwischen den Körpern und fremden leitfähigen Teilen so niedrig ist, dass beim maximal möglichen Fehlerstrom, der nicht zur Abschaltung führt, die Grenze der dauernd zulässigen Berührungsspannung nicht überschritten wird.

## 5.7 Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung

VDE 0100-410

Die Schutzmaßnahme *Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung* (s. Kap. 2) ist vorgesehen, um bei einem Fehler in der Basisisolierung das Auftreten einer gefährlichen Spannung an dann berührbaren Teilen der elektrischen Betriebsmittel zu verhindern. Sie ist keine neue Schutzmaßnahme. Der neue Begriff ersetzt nur die frühere Bezeichnung *Schutz durch Verwendung von Betriebsmitteln der Schutzklasse II oder durch gleichwertige Isolierung*. Davor war die Schutzmaßnahme kurz unter der Bezeichnung *Schutzisolierung* bekannt. In der nun gültigen Norm vom Juni 2007 wird auch angemerkt, dass die Schutzmaßnahme mit dem neuen Begriff „Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung" mit der früheren Benennung „Schutzisolierung" vergleichbar ist.

Der *Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung* kann dadurch erreicht werden, dass

- der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) durch *Basisisolierung* und der Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) durch eine *zusätzliche* Isolierung (doppelte Isolierung) oder
- der Basisschutz und Fehlerschutz durch *verstärkte* Isolierung zwischen aktiven Teilen und berührbaren Teilen

verwirklicht wird.

*Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung* ist überall für eine gesamte Anlage oder einen Anlagenteil anwendbar. In Betriebsstätten, Räumen und Anlagen besonderer Art – das sind die Anlagen nach der Gruppe 700 der VDE 0100 – wird die Anwendung der Schutzmaßnahme teilweise eingeschränkt.

Bei Anwenden der Schutzmaßnahme werden im Hinblick auf die Anforderungen an elektrische Betriebsmittel drei Fälle unterschieden. Entweder müssen elektrischen Betriebsmittel

- typgeprüft sein, einer bestimmten Bauart entsprechen (s. u.) und nach den einschlägigen Normen durch das Symbol ⧈ nach DIN EN 60617 gekennzeichnet sein (Betriebsmittel der Schutzklasse II) oder
- eine *zusätzliche* Isolierung haben, wenn sie nur eine Basisisolierung besitzen, und bestimmte Anforderungen an die Umhüllungen erfüllen (s. u.) oder
- eine *verstärkte* Isolierung haben, wenn sie nicht isolierte Teile besitzen, und ebenfalls bestimmte Anforderungen an die Umhüllungen erfüllen (s. u.).

Typgeprüfte elektrische Betriebsmittel müssen entweder mit doppelter oder verstärkter Isolierung ausgeführt sein (Betriebsmittel der Schutzklasse II) oder in den Produktnormen als gleichwertig mit Schutzklasse II deklariert sein. Das trifft z. B. auf Niederspannungsschaltgerätekombinationen mit vollständiger Isolierung (VDE 0660-600-1 und -2, bisher: VDE 0660-500) zu. Diese Betriebsmittel und Gerätekombinationen sind durch das Symbol ⧈ nach DIN EN 60617 gekennzeichnet.

Alle leitfähigen Teile eines Betriebsmittels, die von aktiven Teilen nur durch eine Basisisolierung (s. Kap. 2) getrennt sind, müssen zusätzlich von einer *isolierenden Umhüllung* mindestens der Schutzart IP2X oder IPXXB (Fingerschutz) umschlossen sein. Ist das Anbringen einer doppelten Isolierung (Basisisolierung + zusätzliche Isolierung) z. B. wegen der Konstruktion des Betriebsmittels nicht möglich, so können stattdessen nicht isolierte, aktive Teile mit einer sog. *verstärkten Isolierung* versehen werden. Die zusätzliche oder die verstärkte Isolierung wird während des Errichtens der elektrischen Anlage angebracht und muss einen Grad an Sicherheit haben, der elektrischen Betriebsmitteln mit doppelter oder verstärkter Isolierung (Betriebsmittel der Schutzklasse II) gleichwertig ist. Das Errichten der genannten Betriebsmittel (Befestigung, Anschluss von Leitern usw.), auch der typgeprüften, muss so erfolgen, dass der nach der Betriebsmittelnorm geforderte Schutz nicht beeinträchtigt ist.

Die isolierenden Umhüllungen (zusätzliche und verstärkte Isolierung) müssen den mechanischen, elektrischen und thermischen Beanspruchungen standhalten, die beim Betrieb auftreten. Lack- oder Emailleüberzüge, Oxidschichten oder Faserstoffumhüllungen (Gewebebänder, Isolierband), auch wenn sie getränkt sind, erfüllen in der Regel nicht die Anforderungen an die Schutzklasse II oder an einen gleichwertigen Schutz.

An der Außen- und Innenseite der Umhüllung muss das Symbol ⧆ nach DIN EN 60617 an sichtbarer Stelle angebracht werden, da es sich in diesem Fall nicht um ein typgeprüftes Betriebsmittel (Betriebsmittel der Schutzklasse II oder fabrikfertige Gerätekombination mit vollständiger Isolierung) handelt. Das Symbol ⧈ darf an diesen Betriebsmitteln n i c h t angebracht werden.

Bei Schaltgerätekombinationen kann die zuständige Elektrofachkraft gezwungen sein, die der Schutzklasse II gleichwertige Isolierung des Betriebsmittels selbst herstellen und garantieren zu müssen. Hierbei sind einige Grundsätze zu beachten:

Man sollte stets *Isolierumhüllung* wählen. Sind Deckel oder Türen in der isolierenden Umhüllung ohne Werkzeug oder Schlüssel zu öffnen, dann müssen alle leitfähigen Teile, die bei geöffnetem Deckel oder bei geöffneter Tür berührbar sind, hinter einer isolierenden Abdeckung angeordnet sein, die mindestens in Schutzart IP2X oder IPXXB (Schutz gegen Berühren mit dem Finger) ausgeführt ist, damit verhindert wird, dass Personen mit diesen leitfähigen Teilen unbeabsichtigt in Berührung kommen. Die isolierende Abdeckung darf auch nur mithilfe eines Schlüssels oder Werkzeugs abnehmbar sein. Die isolierende Umhüllung darf an keiner Stelle von leitfähigen Bauteilen durchbrochen werden, die ein Potenzial nach außen verschleppen könnten. Dabei ist auch der Fall zu prüfen, dass sich ein unter Spannung stehender Leiter von seiner Klemme lösen und z. B. an metallene Schalterwellen, Wand- oder Deckelschrauben geraten könnte. Die isolierende Umhüllung darf auch keine Schrauben oder andere Befestigungsmittel aus isolierendem Material enthalten, wenn die Gefahr besteht, dass beim Ersetzen dieser Schrauben durch Metallschrauben Befestigungsmittel aus Metall die Isolierung beeinträchtigt wird.

Leitfähige Teile innerhalb der Umhüllung dürfen nicht an einen *Schutzleiter* angeschlossen werden, wenn dies nicht in den Normen für die betreffenden Betriebsmittel ausdrücklich vorgesehen ist. Das schließt jedoch nicht aus, dass Anschlussmöglichkeiten für Schutzleiter vorgesehen sind, die zwangsläufig durch die Umhüllung durchgeschleift werden, weil sie für andere Betriebsmittel benötigt werden, deren Stromkreis ebenfalls durch die Umhüllung führt. Innerhalb der Umhüllung müssen solche Leiter und ihre Anschlussklemmen wie aktive Teile isoliert werden. Ihre Anschlussklemmen sind entsprechend als Schutzleiteranschlussklemmen zu kennzeichnen.

Bisher durfte die an einem Verbrauchsmittel fest angeschlossene bewegliche Leitung k e i n e n Schutzleiter enthalten. Wurde beim Instandsetzen eine dreiadrige Anschlussleitung verwendet, dann durfte deren Schutzleiter nicht an das Verbrauchsgerät, wohl aber an den Schutzkontakt im Schutzkontaktstecker angeschlossen werden. Nun m u s s für einen Stromkreis, der Betriebsmittel der Schutzklasse II versorgt, ein Schutzleiter in der gesamten Leitungsanlage durchgehend leitend mitgeführt und in jedem Installationsgerät an eine Klemme angeschlossen werden. Das hat den Sinn, das Ersetzen von Schutzklasse-II-Betriebsmitteln durch Schutzklasse-I-Betriebsmittel durch den Benutzer zu berücksichtigen.

Wird Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung als *alleinige* Schutzmaßnahme angewendet, braucht ein Schutzleiter nicht mitgeführt werden. Das Anwenden

des Schutzes durch doppelte oder verstärkte Isolierung als alleinige ist aber ein eher seltener Fall. Im Wohn- oder vergleichbaren Bereich wird dies überhaupt nicht vorkommen. Die Schutzmaßnahme mit Schutzleiter (Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung) ist die am häufigsten angewendete Schutzmaßnahme in elektrischen Anlagen.

In Fällen, in denen Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung als alleinige Schutzmaßnahme angewendet wird, z. B. wenn für einen Stromkreis oder einen Teil einer Anlage vorgesehen ist, nur Betriebsmittel mit doppelter oder verstärkter Isolierung zu errichten, muss nachgewiesen werden, dass sich dieser Stromkreis oder der Teil der Anlage im normalen Betrieb unter *wirksamer Überwachung* befindet, wie es in der Norm heißt. Dies soll sicherstellen, dass keine Änderung gemacht werden kann, die die Wirksamkeit der Schutzmaßnahme beeinträchtigt. Was unter „wirksamer Überwachung" zu verstehen ist, wird in der Norm weder erläutert noch ist es ein in den einschlägigen Normen bestimmter Begriff. Selbst die Kommentatoren der Norm VDE 0100-410 spekulieren darüber, ob hiermit gemeint ist, dass – im engeren Sinne – die Anlage unter Überwachung einer Elektrofachkraft (gegebenenfalls sogar einer verantwortlichen Elektrofachkraft) oder einer elektrotechnisch unterwiesenen Person steht oder – im erweiterten Sinne – hiermit auch ein elektrotechnischer Laie gemeint ist, der für eine Anlage oder einen Betrieb verantwortlich tätig ist, z. B. ein Betriebsleiter oder Inhaber eines Betriebs, der nicht die Voraussetzungen für eine Elektrofachkraft oder eine elektrotechnisch unterwiesene Person erfüllt. Nach den einschlägigen Normen und Unfallverhütungsvorschriften darf natürlich sowieso nur eine Elektrofachkraft oder gegebenenfalls eine elektrotechnisch unterwiesene Person (, die die Normen kennen muss;) Änderungen an der elektrischen Anlage vornehmen.

Wo Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung als alleinige Schutzmaßnahme angewendet wird, dürfen (natürlich) keine Steckdosen installiert werden, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass Schutzklasse-I-Betriebsmittel eingesteckt werden könnten. Elektrische Betriebsmittel – auch ortsveränderliche – bzw. elektrische Handgeräte müssen deshalb fest angeschlossen werden. Umgekehrt bedeutet das, dass Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung nicht für Stromkreise angewendet werden darf, die Steckdosen enthalten. Auch wo ein „Anwender ohne Berechtigung" – wie es in der Norm heißt –, Teile von Betriebsmitteln auswechseln kann, darf Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung nicht angewendet werden. Dies trifft in der Regel für den Wohnbereich zu, wo Laien – unzulässigerweise – in die elektrische Anlage und in elektrische Betriebsmittel eingreifen.

Kabel- und Leitungsanlagen sind gleichwertig einer doppelten oder verstärkte Isolierung, wenn

- sie nach den Anforderungen der Norm über Kabel- und Leitungsanlagen (VDE 0100-520, s. Abschn. 8.2) verlegt sind,
- die Kabel und Leitungen mindestens für die Nennspannung 300/500 V ($U_0/U$) bemessen sind und
- ein ausreichender mechanischer Schutz der Basisisolierung vorhanden ist, was nur Aderleitungen betrifft. Der mechanische Schutz kann entweder ein nicht metallener Kabel- oder Leitungsmantel sein (= einadriges Kabel oder einadrige Leitung) oder die Aderleitungen werden in normgerechte, nicht metallene, geschlossene oder zu öffnende Installationskanäle (s. Abschn. 8.2.11) oder in normgerechte, nicht metallene Elektroinstallationsrohre (s. Abschn. 8.2.10) verlegt.

In der Norm über die Verwendung nicht harmonisierter Starkstromanlagen (VDE 0298-3) ist für verschiedene Leitungstypen angegeben, ob sie – wie es in dieser Norm heißt – für Schutzklasse II geeignet sind. Dort sind einige Leitungstypen für feste Verlegung angegeben, die zwar einen Nennspannungswert $U_0/U$ von 300/500 V und größer haben, aber in der Norm als nicht geeignet für Schutzklasse II angegeben werden. Im Zweifelsfall darf die Leitung dann nicht eingesetzt werden, um einer doppelten oder verstärkten Isolierung gleichwertig zu sein. Hierzu müsste im konkreten Anwendungsfall dann der Hersteller der Leitung befragt werden.

Kabel- und Leitungsanlagen, die nach der Installation einer doppelten oder verstärkten Isolierung gleichwertig sind, sollten nach der Norm nicht mit den Symbolen ⧈ (Symbol 5172 nach DIN EN 60617) und ⊛ (Symbol 5019 nach DIN EN 60617) gekennzeichnet werden. Ausdrücklich unzulässig ist es damit nicht. Die Hersteller von Kabeln und Leitungen versehen ihre Produkte nicht mit den genannten Symbolen.

Werden leitfähige Teile innerhalb der Umhüllung an einen Schutzleiter angeschlossen, dann gilt das Betriebsmittel nicht mehr als Betriebsmittel der Schutzklasse II. Diese Anschlussstelle ist mit dem Symbol ⏚ zu kennzeichnen, und das Symbol ⧈ ist unkenntlich zu machen, z. B. durch Überstreichen oder Ausschleifen.

Innerhalb einer Umhüllung eines Verteilers mit doppelter oder verstärkter Isolierung (Schutzklasse II), bei dem sich die Umhüllung nur mit Werkzeug öffnen lässt, dürfen Steckdosen, Schraubsicherungen und Lampenfassungen, eingebaut werden. Am Schutzkontakt der Steckdose muss ein Schutzleiter angeschlossen werden. Dieser Schutzleiter darf aber nicht mit Körpern oder leitfähigen Metallteilen innerhalb der Umhüllung verbunden sein. Ragen die Schraubsicherungen oder Lampenfassungen aus der isolierenden Umhüllung des Verteilers heraus, entstehen beim Auswechseln der Sicherungen oder Lampen vorübergehend Öffnungen, die die für den Schutz gegen direktes Berühren erforderliche Schutzart reduzieren. Dieser vorübergehende

Zustand kann toleriert werden, da der Charakter des Schutzes durch doppelte oder verstärkte Isolierung nicht in Frage gestellt wird. Ragen Steckdosen aus der isolierenden Umhüllung des Verteilers heraus, müssen diese einen Klappdeckel haben. Der Klappdeckel muss fester Bestandteil der Steckdose sein und sowohl die Öffnungen für Außen- und Neutralleiter als auch für den Schutzleiter abdecken. Verteiler bleiben Betriebsmittel, die den Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung erfüllen. Das Symbol ⧈ braucht nicht entfernt zu werden. Metallverschraubungen sind an Verteilern der Schutzklasse II und Verteilern mit gleichwertiger Isolierung nicht zulässig.

Schutz durch Schutzklasse II oder gleichwertige Isolierung ist z. B. für Zählerplätze, Installationskleinverteiler, Zählertafeln, Spielzeugtransformatoren und ortsveränderliche Sicherheitstransformatoren ≤ 630 VA zwingend vorgeschrieben.

## 5.8 Schutztrennung mit nur einem Verbrauchsmittel

Schutz durch Schutztrennung beruht darauf, dass wegen der Trennung vom geerdeten System bei einem Fehler der Basisisolierung eines einzelnen Stromkreises keine für Personen und Nutztiere gefährlichen Ströme zum Fließen kommen können. Es gibt die Schutztrennung nur für einen einzigen elektrischen Verbraucher und für mehr als einen Verbraucher. In der bisher gültigen Norm wurden beide Fälle als Schutz gegen elektrischen Schlag zusammen behandelt und waren damit eigentlich gleichgestellt. Mit Inkrafttreten der Norm VDE 0100-410 im Juni 2007 wird Schutz durch Schutztrennung für die Versorgung nur eines (festinstallierten) Verbrauchsmittels durch eine ungeerdete Stromquelle als allgemein erlaubte Schutzmaßnahme eingeordnet und deswegen *Schutz durch Schutztrennung* genannt. Die Maßnahme *Schutztrennung mit mehr als einem Verbrauchsmittel* (nicht Betriebsmittel) gehört nun nicht mehr zu den allgemein erlaubten Schutzmaßnahmen, sondern zu *Schutzvorkehrungen*, die nur angewendet werden dürfen, wenn die Anlage durch Elektrofachkräfte oder elektrotechnisch unterwiesene Personen betrieben und überwacht wird, weil durch fehlenden oder falsche zusätzliche Maßnahmen Gefahren hervorgerufen werden können (s. Abschn. 5.10.3). Die allgemein erlaubte Schutzmaßnahme Schutz durch Schutztrennung sollte – entsprechend der Schutzvorkehrung *Schutztrennung mit mehr als einem Verbrauchsmittel* – heißen *Schutz durch Schutztrennung mit nur einem Verbrauchsmittel.*

Bei der Schutztrennung wird der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) durch Basisisolierung der aktiven Teile oder durch Abdeckungen (s. Kap. 2 und Abschn. 5.3) oder Umhüllungen (s. Kap. 2 und Abschn. 5.3) verwirklicht.

Der Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) wird durch *einfache* Trennung (s. Kap. 2) des Schutztrennungsstromkreises von anderen Stromkreisen *und* von Erde vorgenommen. Der Stromkreis muss von einer Stromquelle mit mindestens einfacher Trennung versorgt werden.

Die Spannung eines Stromkreises mit Schutztrennung (getrennte Seite) darf nicht höher als 500 V sein.

Zur Versorgung wird ein *Trenntransformator* nach VDE 0570-2-4 (früher: VDE 0551) oder ein *Motorgenerator* nach VDE 0530-1 vorgeschaltet. Die Isolierung der Wicklungen des Motorgenerators muss der eines Trenntransformators gleichwertig sein.

Trenntransformatoren sind durch das Zeichen  (alt:  ) gekennzeichnet. Bewegliche (ortsveränderliche) Trenntransformatoren und Rasiersteckdosen-Transformatoren sind entweder *unbedingt kurzschlussfest* (alt:  ) oder *bedingt kurzschlussfest*  (alt:  ). Bei bedingt kurzschlussfesten Trenntransformatoren wird die Kurzschlussfestigkeit durch Schutzeinrichtungen, wie Schmelzsicherungen, Überlastauslöser, Temperatursicherungen, Temperaturbegrenzer und automatisch mechanisch auslösende Schutzschalter, erreicht.

Nach der am 01. Juni 2007 zurückgezogenen VDE-Bestimmung 0100-410:1997-01 mussten ortsfeste Trenntransformatoren und Motorgeneratoren als Betriebsmittel der Schutzklasse II oder mit gleichwertiger Isolierung ausgeführt sein. In der nun geltenden Norm werden keine Anforderungen gestellt. Es müssen nun Stromquellen mit mindestens einfacher Trennung eingesetzt werden. Natürlich dürfen diese Stromquellen auch Betriebsmittel der Schutzklasse II sein. Zu beweglichen (ortsveränderlichen) Trenntransformatoren und Motorgeneratoren werden keine Aussagen mehr gemacht, was auch klar ist. Die Norm mit dem Abschnitt *Schutztrennung* umfasst nur die Errichtung elektrischer Anlagen. Ortsveränderliche Betriebsmittel wie Trenntransformatoren gehören nicht zur elektrischen Anlage und sind auch keine ortsfesten Betriebsmittel. Natürlich können ortsveränderliche Stromerzeuger zur Versorgung von Verbrauchsmitteln eingesetzt werden. Dies betrifft aber nicht die Schutzmaßnahme Schutztrennung. Solche zum Einsatz kommenden beweglichen (ortsveränderlichen) Trenntransformatoren ≤ 630 VA müssen nach der Baunorm (VDE 0570-2-4) als Betriebsmittel der Schutzklasse II oder mit gleichwertiger Isolierung ausgeführt sein.

Die *aktiven Teile des Sekundärstromkreises* (Schutztrennungsstromkreis) dürfen weder mit einem anderen Stromkreis n o c h mit Erde verbunden werden. Diese elektrische Trennung, die Basisisolierung entsprechen muss, ist besonders zwischen den aktiven Teilen von Relais, Schützen, Hilfsschaltern und Teilen eines anderen Stromkreisen notwendig.

Es wird empfohlen, Kabel und Leitungen der Schutztrennungsstromkreise von Kabeln und Leitungen anderer Stromkreis getrennt zu verlegen. Falls eine gemeinsame Verlegung nicht zu vermeiden ist, müssen mehradrige Kabel oder Leitungen ohne Metallmantel (metallene Umhüllung) oder isolierte Leiter in isolierenden Elektroinstallationsrohren oder in geschlossenen oder zu öffnenden isolierten Elektroinstallationskanälen verlegt werden. Ihre Bemessungsspannung muss mindestens der höchsten vorkommenden Nennspannung entsprechen. Jeder Stromkreis muss gegen Überstrom geschützt sein.

*Flexible Kabel und Leitungen* müssen an allen Stellen, an denen sie mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind, über ihre gesamte Länge sichtbar sein. Es sollten Gummileitungen mindestens der Bauart H07RN-F oder A07RN-F (Produktnorm zurückgezogen) verwendet werden.

Die Körper der Betriebsmittel des Stromkreises der Schutztrennung dürfen weder mit dem Schutzleiter noch mit den Körpern anderer Stromkreise verbunden werden. Das Berühren der Körper sollte weder zufällig noch absichtlich passieren, da dann der Schutz gegen elektrischen Schlag nicht mehr allein von der Schutzmaßnahme Schutztrennung, sondern auch von den Schutzvorkehrungen für die Körper der anderen Stromkreise abhängt.

Wird Schutztrennung in *leitfähigen Bereichen mit begrenzter Bewegungsfreiheit* (s. Abschn. 14.17) angewendet (Freizügigkeit bei der körperlichen Bewegung zur Arbeit ist nicht möglich; das Betreten und Verlassen des Bereichs ist nur unter großen physischen Anstrengungen möglich; VDE 0100-706), so darf jede Sekundärwicklung der Stromquelle (Trenntransformator, Motorgenerator) nur ein einziges Verbrauchsmittel speisen, egal ob handgehaltene Werkzeuge, tragbare Betriebsmittel oder fest angebrachte Betriebsmittel. Ein Trenntransformator darf jedoch mehrere Sekundärwicklungen haben. Bewegliche Stromquellen müssen außerhalb des leitfähigen Bereichs mit begrenzter Bewegungsfreiheit angeordnet sein.

Da die Schutztrennung nur wirksam ist, solange die Isolierung der Sekundärseite fehlerfrei ist, müssen Vorkehrungen getroffen werden, um den Stromkreis mit Schutztrennung vor Schäden und Isolationsfehlern zu schützen. Die Isolierung der Leitungen und Handgeräte sollte deshalb täglich von einem Fachmann überprüft werden.

Schutztrennung wird auch vielfach in *Baderäumen* für Rasiersteckdosen verwendet.

## 5.9 Schutz durch Kleinspannung mittels SELV und PELV

Mit Inkrafttreten der VDE 0100-410:1997-01 sind anstelle der früheren Bezeichnungen „Schutzkleinspannung" und „Funktionskleinspannung mit sicherer Trennung" die Kunstwörter *SELV* (für Schutzkleinspannung) und *PELV* (für Funktionskleinspannung mit sicherer Trennung) verbindlich geworden. Die Begriffe sind aus dem Englischen abgeleitet von **s**afety (Sicherheit) **e**xtra-**l**ow **v**oltage (SELV) und **p**rotective (Schutz) **e**xtra-**l**ow **v**oltage (PELV). Es werden jedoch nur die Kunstwörter mit den vier Großbuchstaben verwendet.

Schutzmaßnahmen, die Spannung, Strom oder Kapazität auch im einfachen Fehlerfall so begrenzen, dass beim Berühren aktiver Teile keine Gefahr für Personen entstehen kann, gewähren sowohl den Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) als auch den Fehlerschutz (bei indirektem Berühren). Dies ist beim Schutz durch Kleinspannung mittels SELV und unter bestimmten Bedingungen mittels PELV jeweils mit AC 25 V (Effektivwert) bzw. DC 60 V. Bei Spannungen bis AC 50 V (Effektivwert) und DC 120 V wird dieser Schutz in Verbindung mit einer einfachen Isolierung erreicht, die in der Regel den Basisschutz Schutz (gegen direktes Berühren) gewährt, bei deren Versagen jedoch keine unmittelbare Gefahr entsteht.

Die Grundidee des Schutzes durch Kleinspannungen mittels SELV (frühere Bezeichnung: Schutzkleinspannung) und PELV (frühere Bezeichnung: Funktionskleinspannung mit sicherer Trennung) besteht in einer niedrigen, ungefährlichen Spannung und einer sicheren Trennung von anderen Stromkreisen. Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV ist eine allgemein erlaubte Schutzmaßnahme für alle Situationen wie Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung, Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung und Schutz durch Schutztrennung für die Versorgung eines Verbrauchsmittels. In bestimmten Fällen ist in elektrischen Anlagen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art wie in bestimmten Bereichen von Räumen mit Badewanne oder Dusche, von Becken von Schwimmbädern, von medizinisch genutzten Bereichen sowie von bestimmten Kleinspannungsbeleuchtungsanlagen, der Wert der Kleinspannung auf einen Wert maximal AC 25 V bzw. DC 60 V oder AC 12 V bzw. DC 30 V begrenzt. Der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) und Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) wird bei Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV durch Einhalten der genannten maximalen Spannungswerte, durch Versorgen aus Stromquellen, an die besondere Anforderungen gestellt werden (s. u.), und durch Einhalten bestimmter Anforderungen an die SELV- und PELV-Stromkreise (s. u.) erreicht.

Als Stromquellen, die eine ungefährliche Nennspannung bis AC 50 V (Effektivwert) bzw. DC 120 V erzeugen, kommen für SELV- und PELV-Systeme Sicherheitstransformatoren nach VDE 0570-2-6 (früher nach VDE 0551), Stromquellen, die den gleichen Grad an Sicherheit erfüllen wie ein Sicherheitstransformator, z. B. Motorgeneratoren mit gleichwertig isolierten, getrennt voneinander angeordneten Wicklungen oder Akkumulatoren oder andere Stromquellen, die unabhängig von Stromkreisen höherer Spannung sind, wie ein Generator, der von einem Verbrennungsmotor angetrieben wird, in Frage. Sicherheitstransformatoren gibt es nach Norm bis zu einer Bemessungsleistung von 10 kVA für Einphasentransformatoren und bis zu 16 kVA für Mehrphasentransformatoren. Auch kommen bestimmte *elektronische Einrichtungen* als Stromquellen in Frage, die entsprechend den für sie geltenden Normen gebaut sind und bei denen durch Vorkehrungen sichergestellt ist, dass auch bei Auftreten eines inneren Fehlers die Spannung an den Ausgangsklemmen nicht über die Werte AC 50 V bzw. DC 120 V oder – je nach besonderer Anforderung – über niedrigere Werte ansteigen kann. Höhere Spannungen an den Ausgangsklemmen sind jedoch zulässig, wenn sichergestellt ist, dass im Falle des Berührens eines aktiven Teils oder im Fehlerfalle zwischen einem aktiven Teil und einem Körper, die Spannung an den Ausgangsklemmen unmittelbar auf die genannten oder auf niedrigere Werte herabgesetzt wird. Zu solchen Einrichtungen gehören Isolationsprüfgeräte und Isolationsüberwachungseinrichtungen. Wenn an den Ausgangsklemmen höhere Spannungen auftreten, kann man folgenden Test durchführen. Man misst mit einem Voltmeter, das einem inneren Widerstand von mindestens 3 000 Ω besitzt, an den Ausgangsklemmen die Spannung. Werden die Werte AC 50 V bzw. DC 120 V oder je nach besonderer Anforderung niedrigere Werte nicht überschritten, kann die elektronische Einrichtung als Stromquelle für SELV und PELV genutzt werden.

Bei SELV- oder PELV-Systemen kann der Fehlerstrom, der im Menschen fließen könnte, in der Regel nicht größer als

$$I_F = \frac{50\ \text{V}}{1\,300\ \Omega} = 0{,}04\ \text{A} = 40\ \text{mA}$$

werden.

Ortsveränderliche Stromquellen, wie Sicherheitstransformatoren oder Motorgeneratoren, müssen nach der Errichtungsnorm die Schutzmaßnahme „Doppelte oder verstärkte Isolierung" (Betriebsmittel der Schutzklasse II) haben – unabhängig von der Bemessungsleistung der Stromquelle. Dabei muss beachtet werden, dass nach der Produktnorm ortsveränderliche Sicherheitstransformatoren nur bis zu einer Bemessungsleistung von 630 VA als Betriebsmittel der Schutzklasse II ausgeführt

sein müssen. Das bedeutet, dass dies dem Hersteller oder Lieferanten des Sicherheitstransformators ausdrücklich mitgeteilt werden sollte.

Sicherheitstransformatoren tragen das Bildzeichen (früher ).

Nach der Art der Kurzschlussfestigkeit wird unterschieden in:

- kurzschlussfeste Transformatoren (bedingt oder unbedingt), Bildzeichen ,
- nicht kurzschlussfeste Transformatoren, Bildzeichen .

*Unbedingt kurzschlussfeste Transformatoren* benötigen keinerlei Schutzeinrichtungen zur selbsttätigen Öffnung des Eingangs- oder Ausgangskreises im Fall der Kurzschließung oder Überlastung.

Die *bedingt kurzschlussfesten Transformatoren* enthalten eine Schutzeinrichtung (z. B. Sicherung oder Temperaturbegrenzer) für den Kurzschluss- und Überlastfall. Werden sie durch Sicherungen geschützt, so ist der Bemessungsstrom der enthaltenen Sicherung auf dem Leistungsschild angegeben.

*Nicht kurzschlussfeste Transformatoren* müssen mittels einer Schutzeinrichtung in der Installation gegen übermäßige Temperaturerhöhung geschützt werden. Ortsveränderliche Sicherheitstransformatoren müssen unbedingt oder bedingt kurzschlussfest oder Fail-safe-Transformatoren sein.

Transformatoren für *Spielzeuge* müssen nach VDE 0570-2-7 hergestellt sein. Sie dürfen bis AC 24 V oder 33 V geglättete Gleichspannung und bis zu einer Bemessungsleistung von 200 VA gebaut werden. Sie müssen mit dem Symbol gekennzeichnet und „unbedingt kurzschlussfest", „bedingt kurzschlussfest" oder Fail-safe-Transformatoren sein. Jedoch sind Sicherungen zulässig. Sie müssen nach Schutzklasse II (frühere Bezeichnung: „schutzisoliert") gebaut sein.

Die Transformatoren müssen mit Ausnahme der Ausgangsklemmen mindestens der Schutzart IP4X (Eindringen von festen Fremdkörpern über 1 mm Durchmesser verhindert) und Spielzeugtransformatoren für den Betrieb im Freien mindestens der Schutzart IP67 (vollkommener Staub- und Berührungsschutz, Schutz beim zeitweiligen Untertauchen) entsprechen. Selbst nach Entfernen der mit gebräuchlichen Werkzeugen ausbaubaren Abdeckung darf es nicht möglich sein, unter Spannung stehende Teile des Eingangsstromkreises oder Metallteile zu berühren, die von unter Spannung stehenden Teilen nur durch die Basisisolierung getrennt sind. Die Transformatoren dürfen nur eine Bemessungs-Eingangsspannung haben, d. h., die Primärwicklung darf nicht angezapft sein. Ortsveränderliche Spielzeugtransformatoren müssen mit fester Anschlussleitung ausgerüstet sein. Die Leerlaufspannung darf AC 33 V oder 46 V geglättete Gleichspannung nicht überschreiten.

Aktive Teile von SELV- und PELV-Stromkreisen müssen

- von den aktiven Teilen aller anderen Stromkreisen, die nicht SELV- oder PELV-Stromkreise sind – auch von FELV-Stromkreisen (s. Abschn. 5.6.5) –, *sicher getrennt sein* und
- von aktiven Teilen der SELV- und PELV-Stromkreise und anderen SELV- oder PELV-Stromkreisen elektrisch *einfach getrennt* (*Basisisolierung*) sein.

SELV-Stromkreise müssen zwischen den aktiven Teilen des SELV-Stromkreises und von Erde *einfach elektrisch getrennt* (*Basisisolierung*) sein.

Neu ist, dass mit Inkrafttreten des neuen Teils 410 der VDE 0100 im Juni 2007 zwischen dem SELV- oder PELV-System und anderen SELV- oder PELV-Systemen nur noch die einfache elektrische Trennung (Basisisolierung) verlangt wird. Bisher war die sichere Trennung gefordert.

Sichere Trennung ist die gegenseitige Trennung von Stromkreisen mittels doppelter Isolierung oder verstärkter Isolierung oder Basisisolierung zusammen mit elektrischer Schutzschirmung.

Die *sichere Trennung* der Kabel- und Leitungsanlagen von SELV- und PELV-Stromkreisen von den aktiven Teilen anderer Stromkreise kann durch eine der folgenden Anordnungen oder Maßnahmen erreicht werden, wobei die Leiter der anderen Stromkreise mindestens Basisisolierung haben müssen:

- Leiter von SELV- oder PELV-Stromkreisen müssen zusätzlich zur Basisisolierung von einem nicht metallischen Mantel oder einer isolierenden Umhüllung umschlossen sein.
- Von Leitern der Stromkreise mit einer Spannung > AC 50 V bzw. > DC 120 V müssen die Leiter der SELV- und PELV-Stromkreise durch einen geerdeten metallenen Mantel oder durch eine geerdete metallene Schirmung getrennt sein.
- In einem mehradrigen Kabel, einer mehradrigen Leitung oder einem Elektroinstallationsrohr dürfen Leiter von Stromkreisen mit einer Spannung > AC 50 V bzw. > DC 120 V und Leiter von SELV- oder PELV-Stromkreisen gemeinsam enthalten sein, wenn die SELV- oder PELV-Leiter für die höchste vorkommende Spannung isoliert sind. Dies ist in den meisten Fällen gegeben.
- Es werden Kabel- und Leitungen für die anderen Stromkreise eingesetzt, die nach den Kabel- und Leitungsnormen als geeignet für Schutzklasse II gelten (s. Tabellen 8.6 und 8.7).
- Die Leiter der Kabel- und Leitungsanlagen werden räumlich getrennt angeordnet.

Unbedingt zu beachten ist, dass auch die sichere Trennung zwischen den aktiven Teilen von elektrischen Betriebsmitteln wie Relais, Schütze, Hilfsschalter, und allen Teilen eines Stromkreises höherer Spannung oder eines FELV-Stromkreises eingehalten werden muss.

*Stecker* von SELV- und PELV-Stromkreisen dürfen nicht in Steckdosen anderer Spannungssysteme, auch nicht in Steckdosen mit FELV, eingeführt werden können. *Steckdosen* von SELV- und PELV-Stromkreisen dürfen nicht für Stecker anderer Spannungssysteme geeignet sein. Speziell für SELV-Stromkreise gilt, dass die Stecker und Steckdosen keinen Schutzkontakt haben dürfen. PELV-Stecker und PELV-Steckdosen dürfen Schutzkontakte haben. SELV-Stecker dürfen nicht in PELV-Steckdosen und PELV-Stecker nicht in SELV-Steckdosen eingeführt werden können.

Speziell für SELV-Stromkreise (frühere Bezeichnung: „Schutzkleinspannung") gilt: Aktive Teile von SELV-Stromkreisen dürfen nicht mit Erde oder mit anderen aktiven Teilen oder Schutzleitern anderer Stromkreise verbunden sein. Die Körper von SELV-Stromkreisen dürfen nicht absichtlich oder auch zufällig mit Erde, mit Schutzleitern oder Körpern anderer Stromkreise oder mit fremden leitfähigen Teilen verbunden werden, weil dann der Schutz gegen elektrischen Schlag nicht allein vom Schutz durch SELV abhängt, sondern auch von der Schutzmaßnahme der anderen Stromkreise. Das Symbol an Verbrauchsmitteln für SELV ist  (DIN EN 60617-1; Nr. 5180).

Wenn die Nennspannung AC 25 V (Effektivwert) bzw. DC 60 V oberschwingungsfrei überschreitet oder wenn Betriebsmittel in Wasser eingetaucht werden, muss sowohl für SELV- als auch für PELV-Stromkreise ein Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) sichergestellt werden. Der Schutz ist zu gewährleisten durch Abdeckung, Umhüllung oder Isolierung. Der Schutz durch Abdeckung oder Umhüllung muss mindestens in Schutzart IP2X oder IPXXB (Fingerschutz), bei horizontalen Oberflächen von Abdeckungen oder Umhüllungen, die leicht zugänglich sind, mindestens in Schutzart IPXXD oder IP4X gewährleistet sein. Die Isolierung (Basisisolierung aktiver Teile) muss das Berühren aktiver Teile verhindern. Die aktiven Teile müssen vollständig mit einer Isolierung abgedeckt sein, die nur durch Zerstörung entfernt werden kann. Für Betriebsmittel muss die Isolierung mit der entsprechenden Norm für das Betriebsmittel übereinstimmen. Bei *normalen, trockenen Umgebungsbedingungen* ist für SELV- und PELV-Stromkreise, deren Nennspannung AC 25 V oder DC 60 V nicht überschreitet, im Allgemeinen ein Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) nicht notwendig. Körper und/oder aktive Teile von PELV-Stromkreisen müssen über einen Schutzleiter mit der Haupterdungsschiene verbunden sein. Unter trockenen Räumen sind Orte zu verstehen, an denen die Wände – abgesehen von kurzen Zeitabschnitten (z. B. Baderäume im Wohnbereich) – i. Allg. keine Feuchtigkeitsspuren aufweisen.

In allen anderen Fällen ist ein Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) nicht notwendig, wenn die Nennspannung des SELV- oder PELV-Systems AC 12 V oder DC 30 V nicht überschreitet.

Bei bestimmten Umgebungsbedingungen, z. B. in Räumen mit Badewanne oder Dusche, in Schwimmanlagen oder Saunen, bei Springbrunnen, in leitfähigen Bereichen mit begrenzter Bewegungsfreiheit oder in feuer- und explosionsgefährdeten Bereichen, ist ein Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) auch unter AC 25 V (Effektivwert) oder DC 60 V erforderlich.

Die Kleinspannung PELV (frühere Bezeichnung: „Funktionskleinspannung mit sicherer Trennung") ist als Schutz gegen elektrischen Schlag der Kleinspannung SELV gleichwertig. Der Unterschied zu SELV besteht darin, dass z. B. aus Funktionsgründen aktive Teile des Kleinspannungsstromkreises oder Körper der durch die PELV-Stromkreise versorgten Betriebsmittel oder auch beides mit Erde bzw. mit dem Schutzleiter verbunden sind (**Bild 5.40**).

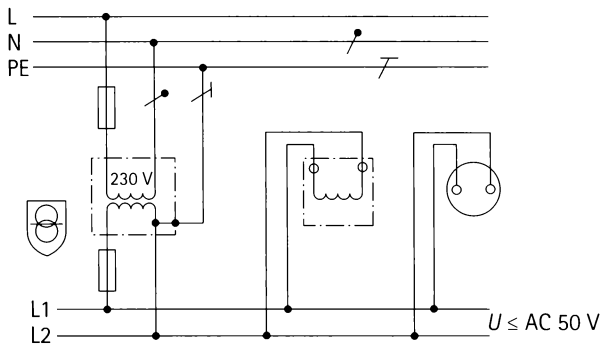



***Bild 5.40:*** *PELV*

PELV wird angewendet, wenn aus funktionalen Gründen der Kleinspannungsstromkreis geerdet bzw. an den Schutzleiter angeschlossen werden muss und wenn SELV nicht gefordert wird. Die Erdung darf durch eine Verbindung mit dem Schutzleiter des Primärstromkreises der Anlage hergestellt werden.

**Prüfungen.** Die Prüfung der Kleinspannungen SELV und PELV umfasst sowohl bei Erstprüfungen als auch bei wiederkehrenden Prüfungen eine Überprüfung der sicheren Trennung aktiver Teile von aktiven Teilen anderer Stromkreise und von Erde. Diese Überprüfung geschieht durch eine Messung des Isolationswiderstands. Die Messspannung beträgt DC 250 V. Der Isolationswiderstand muss wenigstens 0,25 MΩ betragen. Bei der Messung gegen Stromkreise höherer Spannung gilt:

- Nennspannung ≤ 500 V: Messspannung DC 500 V,
- Nennspannung > 500 V: Messspannung DC 1 000 V.

Bei Erstprüfungen gilt:

- Nennspannung ≤ 500 V: Isolationswiderstand ≥ 0,5 MΩ,
- Nennspannung > 500 V: Isolationswiderstand ≥ 1,0 MΩ.

Bei wiederkehrenden Prüfungen muss der Isolationswiderstand mindestens 1 000 Ω je V Nennspannung und bei Anlagen im Freien sowie in feuchten oder nassen Räumen mindestens 500 Ω je V Nennspannung sein. Bei Geräten der Schutzklasse III (Betrieb mit SELV oder PELV) muss der Isolationswiderstand bez. berührbarer leitfähiger Teile ebenfalls wiederkehrend geprüft werden. Er darf hierbei nicht unter 0,25 MΩ liegen. Die Messung erfolgt ebenfalls mit DC 250 V Messspannung. Gemessen wird zwischen den aktiven Teilen und berührbaren leitfähigen Teilen des Geräts. Ferner ist zu prüfen, ob die Stromquelle, die Steckvorrichtungen und Leitungen richtig gewählt sind und die Spannung weniger als AC 50 V bzw. AC 25 V beträgt.

## 5.10 Besondere Schutzvorkehrungen

Neben den in den Abschn. 5.6 bis 5.9 beschriebenen allgemein erlaubten Schutzmaßnahmen gibt es noch weitere – wie es in der Norm heißt – *Schutzvorkehrungen*, die nur angewendet werden dürfen, wenn die betroffene Anlage nur durch Elektrofachkräfte oder elektrotechnisch unterwiesene Personen betrieben und überwacht wird. Diese Schutzvorkehrungen sind

- Schutz durch nicht leitende Umgebung,
- Schutz durch erdfreien örtlichen Schutzpotenzialausgleich,
- Schutztrennung mit mehr als einem Verbrauchsmittel.

Voraussetzung für das Anwenden dieser Schutzvorkehrungen ist, dass wie beim Anwenden der allgemein erlaubten Schutzmaßnahmen alle elektrischen Betriebsmittel einen Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) haben.

### 5.10.1 Schutz durch nicht leitende Umgebung

Bisher wurde in der Norm von nicht leitenden *Räumen* statt von *Umgebung* gesprochen. Das drückt aus, dass diese Schutzvorkehrung auch auf Bereiche in z. B. sehr

großen Räumen angewendet werden kann oder auch nicht auf Räume im engeren Sinne beschränkt ist.

Mit dieser Schutzvorkehrung kann ein gleichzeitiges Berühren von Teilen verschiedenen Potenzials verhindert werden. Solch ein unterschiedliches Potenzial kann durch Fehler der Basisisolierung aktiver Teile entstehen. Früher sprach man bei dieser Schutzvorkehrung auch von *Standortisolierung*.

In einer nicht leitenden Umgebung darf kein Leiter mit Schutzleiterfunktion vorhanden sein. Das Nichtanschließen des Schutzleiters an Betriebsmittel der Schutzklasse I (Geräte mit Schutzleiter) und an Steckdosen genügt nicht. Sonst sind Betriebsmittel der Schutzklasse I erlaubt, auch Betriebsmittel der Schutzklasse 0 (Betriebsmittel nur mit Schutz gegen direktes Berühren).

Körper müssen so angeordnet sein, dass Personen unter normalen Umständen nicht

- zwei Körper oder
- einen Körper und irgendein fremdes leitfähiges Teil

gleichzeitig berühren können, wenn die Körper im Falle eines Fehlers der Basisisolierung aktiver Teile ein unterschiedliches Potenzial annehmen können. Dazu müssen der Fußboden und die Wände der Umgebung isolierend ausgeführt sein und

- ausreichende Abstände zwischen Körpern und fremden leitfähigen Teilen, wie auch zwischen Körpern vorhanden sein oder
- wirksame Hindernisse zwischen Körpern oder zwischen Körpern und fremden leitfähigen Teilen angebracht werden oder
- fremde leitfähige Teile isoliert sein oder isoliert angeordnet werden.

Ausreichende Abstände sind gegeben, wenn der Mindestabstand zwischen Körpern oder zwischen Körpern und fremden leitfähigen Teilen 2,5 m beträgt. Er kann außerhalb des Handbereichs auf 1,25 m herabgesetzt werden. Als ausreichend wirksam können Hindernisse (z. B. Abdeckungen oder Trennwände) gelten, wenn sie aus möglichst isolierendem Material bestehen und auch die Mindestabstände haben, wie sie oben angegeben sind (2,5 m und 1,25 m außerhalb des Handbereichs). Weder Körper noch fremde leitfähigen Teile dürfen geerdet sein.

Bei der Isolierung oder isolierten Anordnung fremder leitfähiger Teile muss die Isolierung ausreichende mechanische Festigkeit haben und einer Prüfspannung von mindestens 2 000 V standhalten. Hierbei darf der Ableitstrom unter normalen Betriebsbedingungen 1 mA nicht überschreiten.

Der *Widerstand isolierender Fußböden* und isolierender Wände darf an keiner Stelle die folgenden Werte unterschreiten (s. Abschn. 15.9):

- 50 kΩ, wenn die Bemessungsspannung UC 500 V nicht überschreitet,
- 100 kΩ, wenn die Bemessungsspannung diese Werte überschreitet.

Liegt der Widerstand an einer Stelle unter dem festgelegten Wert, so gelten die Böden und Wände im Sinne des Schutzes gegen elektrischen Schlag als fremde leitfähige Teile (Messen nach Abschn. 15.9). Ziegelmauern gelten i. Allg. als nicht leitend, Beton- und Stahlbetonwände als leitend. In solchen Räumen genügt daher eine Messung des Fußbodenwiderstands.

Bei Anwendung der Schutzvorkehrung Schutz durch nicht leitende Räume ist sicherzustellen, dass durch fremde leitfähige Teile keine Spannungen aus dem betreffenden Raum nach außen verschleppt werden. Umgekehrt muss der Schutz durch nicht leitende Räume auch sichergestellt sein, wenn bewegliche und ortsveränderliche Betriebsmittel verwendet werden. Vor allem unter dem Gesichtspunkt, dass Anlagen oder Räume auch von elektrotechnischen Laien betrieben bzw. benutzt werden, muss sichergestellt sein, dass keine leitfähigen Teile (z. B. bewegliche Betriebsmittel der Schutzklasse I, Wasserrohre aus Metall) in die Anlage eingeführt werden können, wodurch die Maßnahmen wieder aufgehoben würden. Auch darf die Isolierung von Fußböden und Wänden nicht durch Feuchtigkeit beeinträchtigt werden.

Der Schutz durch nicht leitende Räume sollte die Ausnahme bleiben und darf nur dort angewendet werden, wo ein Schutz durch automatisches Abschalten der Stromversorgung unerwünscht oder nicht praktikabel ist.

### 5.10.2 Schutz durch erdfreien örtlichen Schutzpotenzialausgleich

Der *Erdfreie örtliche Schutzpotenzialausgleich* (frühere Bezeichnung: Potenzialausgleich) hat den Zweck, das Auftreten einer gefährlichen Berührungsspannung zu verhindern.

Alle gleichzeitig berührbaren Körper und fremde leitfähige Teile müssen durch einen *Schutzpotenzialausgleichsleiter* miteinander verbunden werden (**Bild 5.41**). Dieser darf keine Verbindung mit Erde haben.

Ebenso darf das gesamte örtliche Schutzpotenzialausgleichssystem weder direkt, noch durch Körper, noch durch fremde leitfähige Teile mit Erde elektrisch verbunden sein. Dies kann dadurch erreicht werden, dass z. B. fremde leitfähige Teile,wie Wasser- und Heizungsleitungen, durch Isoliermuffen vom Erdpotenzial getrennt oder von Teilen, die mit dem Schutzpotenzialausgleichsleiter in Verbindung stehen, mindestens 2,5 m entfernt installiert werden. Wenn die Erdpotenzialfreiheit des

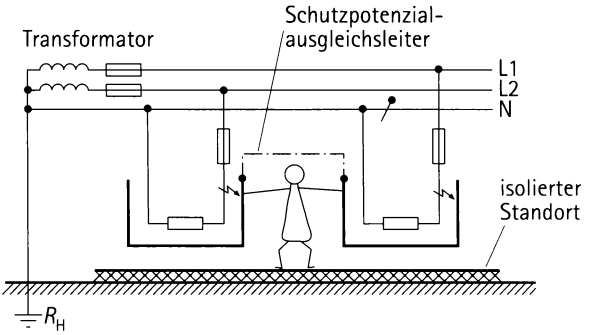



***Bild 5.41:*** *Gleichzeitiges Berühren zweier Geräte vom isolierten Standort aus*

örtlichen Schutzpotenzialausgleichssystem nicht erreicht werden kann, kann der Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung angewendet werden (s. Abschn. 5.6).

Es muss auch sichergestellt werden, dass Personen, die den potenzialgleichen Raum betreten, nicht einem gefährlichen Potenzialunterschied ausgesetzt werden können, z. B. in Fällen, in denen ein leitender, gegen Erde isolierter Fußboden an das erdfreie örtliche Schutzpotenzialausgleichssystem angeschlossen ist. Der Schutz durch erdfreien örtlichen Schutzpotenzialausgleich sollte nur dort angewendet werden, wo ein Schutz durch automatisches Abschalten der Stromversorgung unerwünscht oder nicht praktikabel ist oder in Sonderfällen, z. B. für Messlabors, deren Messanordnungen keine Verbindung zum Schutzleiter haben dürfen, um Störeinflüsse zu vermeiden. Wird der Raum zusätzlich abgeschirmt, so ist der *Schirm* (Metallfolie, Kupfergeflecht usw.) in den örtlichen Schutzpotenzialausgleich einzubeziehen. Gegenüber dem Fußboden bzw. den Wänden ist der Schirm zu isolieren, sofern es sich nicht um isolierende Fußböden und Wände nach Abschn. 5.10.1 handelt. Nach Auftreten des ersten Fehlers nehmen alle an den örtlichen Schutzpotenzialausgleich angeschlossenen Körper und fremde leitfähige Teile dieselbe Spannung gegen Erde an. Da der Schutzpotenzialausgleich gegen Erde isoliert ist, kann keine gefährliche Berührungsspannung entstehen (**Bild 5.42**).

Kommt ein zweiter Fehler hinzu, so müssen die Abschaltbedingungen nach Abschn. 5.6.2.3 erfüllt sein, oder der Potenzialausgleichsleiter muss so dimensioniert werden, dass an ihm keine höhere Spannung als die zulässige Berührungsspannung von 50 V bzw. 25 V entstehen kann. Das heißt, der Leitungswiderstand des Schutzpotenzialausgleichsleiters, multipliziert mit dem Abschaltstrom der Schutzeinrichtung, darf den Wert der zulässigen Berührungsspannung nicht überschreiten ($R_{PA} \cdot I_a \leq U_L$).

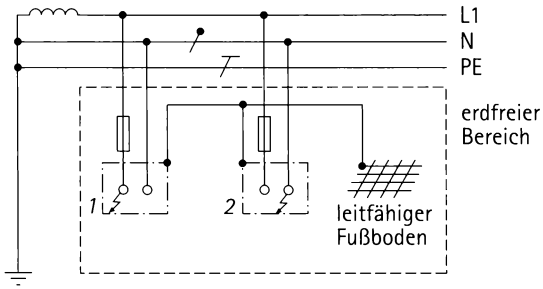



***Bild 5.42:*** *Schutz durch erdfreien örtlichen Potenzialausgleich*

## 5.10.3 Schutztrennung mit mehr als einem Verbrauchsmittel

Bis zum Inkrafttreten des geänderten Teils 410 der VDE 0100 im Juni 2007 wurde die Schutztrennung bei Speisung eines Verbrauchsmittels und mehrerer Verbrauchsmittel als e i n e Schutzmaßnahme des Schutzes gegen elektrischen Schlag behandelt. Neu ist nun, dass als allgemein erlaubte Schutzmaßnahme nur Schutz durch Schutztrennung für die Versorgung eines Verbrauchsmittels angewendet werden darf. Soll mehr als ein Verbrauchsmittel versorgt werden, handelt es sich nach neuem Sprachgebrauch um eine *Schutzvorkehrung* mit der Bezeichnung *Schutztrennung mit mehr als einem Verbrauchsmittel.*

Für die Schutzvorkehrung Schutztrennung mit mehr als einem Verbrauchsmittel müssen alle Anforderungen erfüllt werden wie sie für die Schutzmaßnahme *Schutztrennung* gelten (s. Abschn. 5.8). Da die Schutztrennung nur wirksam ist, solange die Isolierung der Sekundärseite fehlerfrei ist, müssen Vorkehrungen getroffen werden, um den Stromkreis mit Schutztrennung vor Schäden und Isolationsfehlern zu schützen. Die Isolierung der Leitungen und Handgeräte sollte deshalb täglich von einer Elektrofachkraft oder einer elektrotechnisch unterwiesenen Person überprüft werden.

Die Körper der Verbrauchsmittel müssen miteinander durch isolierte, aber *ungeerdete* Schutzpotenzialausgleichsleiter verbunden werden. Die Schutzpotenzialausgleichsleiter dürfen nicht mit den Schutzleitern und den Körpern anderer Stromkreise und auch nicht mit fremden leitfähigen Teilen verbunden werden. Wenn die Körper des Stromkreises mit Schutztrennung zufällig oder absichtlich mit Körpern anderer Stromkreise in Berührung kommen, hängt der Schutz gegen elektrischen Schlag nicht mehr allein von dieser Schutzvorkehrung Schutztrennung ab, sondern auch von den Schutzmaßnahmen für die Körper der anderen Stromkreise. Alle Steckdosen in dem Schutztrennungsstromkreis müssen mit Schutzkontakten ausgestattet sein, die in das vorher angesprochene Schutzpotenzialausgleichssystem

einbezogen werden müssen. Die Schutzkontakte dürfen natürlich auch nicht mit (geerdeten) Schutzleitern anderer Schutzsysteme verbunden werden. Die flexiblen Anschlussleitungen der Betriebsmittel müssen einen Schutzleiter enthalten, der auch als Schutzpotenzialausgleichsleiter wie oben beschrieben dient. Anschlussleitungen von Betriebsmitteln mit der Schutzmaßnahme *doppelte oder verstärkte Isolierung* (Betriebsmittel der Schutzklasse II, bisher: Schutzisolierung) brauchen diesen Schutzleiter nicht.

Tritt je ein Fehler in zwei verschiedenen Betriebsmitteln (Körperschlüsse) in unterschiedlichen Außenleitern auf, muss sichergestellt sein, dass eine Schutzeinrichtung die Stromversorgung innerhalb von

- 0,4 s bei 230 V AC bzw. 5 s bei 230 V DC,
- 0,2 s bei 400 V AC bzw. 0,4 s bei 400 V DC,
- 0,1 s bei > 400 V AC/DC

abschaltet (s. Abschn. 5.6.2.3).

Beim Anwenden des Schutzes durch Schutztrennung sollte das Produkt aus Spannung in V und Leitungslänge in m den Wert 100 000 nicht überschreiten, wobei die Leitungslänge nicht größer als 500 m sein sollte. Bei einer Spannung von 400 V ist danach für drei- oder vieradrige Drehstromleitungen eine Länge von 250 m, für Wechselstromleitungen von 435 m zulässig.

### 5.10.4 Begrenzung von Beharrungsberührungsstrom und elektrischer Ladung

VDE 0140-1, VDE 0660-600-1

Schutz durch *Begrenzung von Beharrungsberührungsstrom und elektrischer Ladung* (frühere Bezeichnung: „Begrenzung der Entladungsenergie") ist keine Schutzmaßnahme im Sinne der Errichtungsnorm VDE 0100-410 („Errichten von Niederspannungsanlagen – Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag"), allerdings nach der Grundnorm VDE 0140-1 („Schutz gegen elektrischen Schlag – Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel"), die eben auch für Betriebsmittel gilt.

Dieser Schutz begrenzt Spannung, Strom oder Kapazität auch im einfachen Fehlerfall so weit, dass beim Berühren aktiver Teile keine Gefahr für Personen und Tiere entstehen kann. Dies kann dadurch bewirkt werden, dass die Versorgung des Stromkreises durch eine Stromquelle mit begrenztem Strom oder über eine Schutzimpedanz erfolgt. Zusätzlich muss der Stromkreis sicher von gefährlichen aktiven Teilen getrennt sein.

Nach den Durchführungsanweisungen zur Unfallverhütungsvorschrift „Elektrische Anlagen und Betriebsmittel" (DGUV Vorschrift 3 (bisher BGV A3)) darf an Anlagen, deren Kurzschlussstrom höchstens AC 3 mA oder DC 12 mA (10 mA nach VDE 0140-1) bzw. deren Energie nicht mehr als 350 mJ beträgt, an aktiven Teilen gearbeitet werden. Bei den genannten Werten können die bei einer Berührung durch den menschlichen Körper fließenden Ströme oder Energien keine Gefährdung bewirken. Können an elektrisch aktiven Teilen keine höheren Werte als die genannten auftreten, so erübrigen sich weitere Maßnahmen für den Basisschutz (Schutz gegen direktes) und den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren).

Wenn hinter einer Abdeckung oder in einer Umhüllung Betriebsmittel errichtet sind, die nach ihrem Abschalten gefährliche elektrische Ladungen behalten (Kapazitäten usw.), ist eine Warnaufschrift erforderlich. Kleine Kondensatoren, wie sie z. B. zur Lichtbogenlöschung oder zur Verlängerung der Ansprechzeit von Relais verwendet werden, gelten nicht als gefährlich. Zufälliges Berühren von aktiven Teilen wird als nicht gefährlich angesehen, wenn die Spannung statischer Ladungen nach dem Abschalten der Stromversorgung innerhalb von 5 s auf DC 120 V absinkt.

## 5.11 Entfallen von Vorkehrungen für den Fehlerschutz

Vorkehrungen für den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) darf für folgende Betriebsmittel sowie für folgende Teile und Komponenten entfallen:

- Stahlbetonmaste, bei denen die Stahlarmierung nicht zugänglich ist.
- Metallene Stützen von Freileitungsisolatoren, die am Gebäude befestigt sind und sich nicht im Handbereich befinden,
- Körper, die so klein (Maße etwa 50 mm × 50 mm) oder so angebracht sind, dass sie nicht umgriffen werden oder in nennenswerten Kontakt mit Teilen des menschlichen Körpers kommen können, vorausgesetzt, der Anschluss eines Schutzleiters ist nur mit Schwierigkeiten möglich oder unzuverlässig. Beispiele sind Schrauben, Bolzen, Niete, Schilder, Kabelbefestigungen.
- Metallrohre oder andere Metallumhüllungen zum Schutz von elektrischen Betriebsmitteln mit doppelter oder verstärkter Isolierung (Betriebsmittel der Schutzklasse II, vergleichbar frühere Benennung *Schutzisolierung*) oder mit gleichwertiger Isolierung. Dazu zählen Metallrohre zum Schutz von Kabeln und Leitungen, die für Schutzklasse II geeignet sind, z. B. die Bauarten NYY, NYM, und Metallrohre mit isolierenden Auskleidungen sowie Metalldosen mit isolierenden Auskleidungen (Unterputzdosen, Verbindungs- und Abzweigdosen).

- Werden Leitungen und Kabel verlegt, die nicht für die Schutzklasse II geeignet sind, so sind dagegen Metallrohre ohne isolierende Auskleidung in den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) einzubeziehen.
- Wenn bei Straßenbeleuchtungsmasten die Zuleitung zur Leuchte, z. B. Kabel der Bauart NYY, ungeschnitten von der Kabelmuffe aus hochgeführt wird und sowohl die eingebauten Schalt-, Steuer- oder Sicherungsgeräte als auch die Leuchte als Betriebsmittel der Schutzklasse II (schutzisoliert) ausgeführt sind, brauchen die Maste ebenfalls nicht in den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) einbezogen zu werden.

Bisher war auch in öffentlichen Verteilungsnetzen und auch in vergleichbaren nichtöffentlichen Verteilungsanlagen, z. B. in der Industrie, bei Stahlmasten, Stahlbetonmasten mit zugänglicher Armierung, Dachständern und mit diesen leitend verbundene Metallteile der Fehlerschutz nicht gefordert worden. Mit Inkrafttreten des neuen Teils 410 der VDE 0100 im Juni 2007 ist diese Ausnahme entfallen, wie auch schon früher mit Inkrafttreten des damals neuen Teil 410 vom Januar 1997 bei Anlagen und Betriebsmitteln der öffentlichen Stromversorgung zur Messung elektrischer Arbeit und Leistung (Zähler, Tarifschaltgeräte) mit Spannungen bis 250 V gegen Erde, die in regelmäßigen Fristen von Prüfstellen überprüft wurden.

## 5.12 Überlagerung mehrerer Netze

In größeren Gewerbebetrieben findet man nicht selten mehrere voneinander getrennte Verbrauchernetze unterschiedlicher Stromart und Spannung. Sie dienen der Verteilung, der Speisung von Motoren und Beleuchtung, der Steuerung, galvanischen Bädern usw. Ein Teil der Netze mag geerdet, der andere ungeerdet betrieben werden.

Hinsichtlich des zu wählenden Schutzes gegen elektrischen Schlag muss jedes Netz für sich betrachtet werden. Dabei kann sich herausstellen, dass sich für das eine das TN-System, für ein anderes das IT-System und für ein drittes Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV (früher: „Schutzkleinspannung") am besten eignet. Jede der gewählten Maßnahmen ist dann für sich und unabhängig von den Nachbarnetzen durchzuführen.

Eines aber gilt immer: der *Schutzpotenzialausgleich* (*Potenzialausgleich*). Alle unterirdischen Stahlkonstruktionen, Metallrohrsysteme, Fundamente und Erder sind durch verzinkten Bandstahl (s. Abschn. 5.6.9) gut leitend miteinander zu verbinden. Dieses Erdungssystem dient sowohl zum betriebsmäßigen Erden von Netzen oder Einzelstromkreisen (Betriebserdung) als auch zum Anschluss aller Schutzleiter.

Dabei ist es unerheblich, ob die angeschlossenen Schutzleiter zu einem TN-, TT- oder IT-System gehören.

Sind Betriebsmittel eines Hochspannungsnetzes in den Potenzialausgleich einbezogen, dann muss der Erdungswiderstand so niedrig sein, dass der Erdschlussstrom auf der Hochspannungsseite am Erdungswiderstand keinen höheren Spannungsfall als 50 V hervorruft, was in der Praxis unschwer zu erreichen ist.

# 6 Stromversorgung

## 6.1 Hochspannungsnetze

VDE 0101-1 u. -2, VDE-AR-N 4120

Unter *Hochspannung* werden nach dem Internationalen Elektrotechnischen Wörterbuch (IEV) nach allgemeiner Bedeutung alle Spannungsebenen oberhalb der Niederspannung und speziell in Elektrizitätsversorgungssystemen die Gesamtheit der höheren Spannungsebenen verstanden, die der Fortleitung großer Mengen elektrischer Energie dienen. Oberhalb der Niederspannung bedeutet danach eine Nennwechselspannung > 1 kV. Ebenfalls nach dem IEV wird als *Mittelspannung* die Gesamtheit aller Spannungsebenen zwischen Nieder- und Hochspannung bezeichnet, was natürlich ein Widerspruch ist. Angemerkt wird, dass die Grenze zwischen Mittel- und Hochspannung je nach örtlichen und historischen Gegebenheiten von 30 kV bis 100 kV reicht. Nach den „Technischen Anschlussbedingungen für den Anschluss an das Mittelspannungsnetz – TAB Mittelspannung 2008", herausgegeben vom BDEW (vorherige Herausgeber: VDEW, VDN) ist ein Mittelspannungsnetz ein Netz mit einer Nennspannung > 1 kV bis < 60 kV. Die „TAB Mittelspannung 2008" soll abgelöst werden durch eine vom FNN herausgegebene VDE-Anwendungsregel VDE-AR-N 4110 „Technische Anschlussregeln für die Mittelspannung". Ein Entwurf soll bis Ende 2015 veröffentlicht werden. In verschiedenen VDE-Bestimmungen werden die Grenzen wieder anders angegeben. Nach der neuesten Norm DIN EN 50160 vom Febr. 2011 werden die Grenzen der Mittelspannung mit > 1 kV und ≤ 36 kV, die der Hochspannung mit > 36 kV und ≤ 150 kV angegeben. Nach der vom Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN) erarbeiteten neuen Anwendungsrichtlinie VDE-AR-N 4201 „Netzdokumentation" von Nov. 2010 wiederum wird als Spannungsbereich für das Mittelspannungsnetz zwischen > 1 kV und < 100 kV genannt. Da diese VDE-Anwendungsrichtlinie im Nov. 2010 erschienen ist, kann dieser Bereich als für Deutschland neuester Stand der Technik angesehen werden. Ungeachtet dieser unterschiedlichen Bereiche der Mittel- und Hochspannung wird in diesem Buch für elektrische Anlagen mit einer Nennwechselspannung > 1 kV (Nennfrequenz bis 60 Hz) der allgemeine Begriff

Hochspannung verwendet, zumal in der am 01.12.2014 in Kraft getretenen neuen Ausgabe der VDE-Bestimmung 0101-1 der Begriff *Hochspannung* als „Wechselspannung größer 1 000 V" angegeben ist.

Großbauten werden aus wirtschaftlichen Gründen meist aus dem Hochspannungsnetz der Netzbetreiber (NBs) gespeist. Diese Netze sind, abgesehen von wenigen Ausnahmen, meist Hochspannungsnetze mit Nennspannungen von 10 kV oder 20 kV. Während in den Großstädten in der Regel Hochspannungsnetze mit 10 kV betrieben werden, hat in der Regionalversorgung das 20-kV-Netz den Vorzug. In der Industrie werden für Hochspannungsmotoren eigene Hochspannungsnetze errichtet.

Die Planung eines abnehmereigenen Hochspannungsnetzes sollte in enger Zusammenarbeit mit dem NB erfolgen. VDE 0101-1 u. -2, die EltBauV (s. Abschn. 1.2.8) und die Auflagen des NB müssen bei der Planung beachtet werden. Die VDE-Bestimmung 0101 mit dem Titel „Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV" wurde zum 01.11.2011 aufgeteilt in VDE 0101-1 mit dem Titel „Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV – Teil 1: Allgemeine Bestimmungen" und in VDE 0101-2 mit dem Titel „Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV". Regelungen dieses neuen Teils 2 waren vorher in der VDE-Bestimmung 0141 mit dem allgemeinen Titel „Erdungen für Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV" enthalten. Da dieser Aspekt der Erdung von Starkstromanlagen nun in VDE 0101-2 enthalten ist und in der aktuellen VDE-Bestimmung 0141 nur noch Anforderungen an die Erdung spezieller Starkstromanlagen enthalten sind (z. B. für Starkstrom-Freileitungen > 1 kV, für elektrische Anlagen in Tagebauen, Steinbrüchen), heißt der Titel von VDE 0141 nun etwas eingeschränkt „Erdungen für spezielle Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV". Der aktuelle Teil 1 der VDE 0101 ist am 01.12.2014 neu in Kraft getreten und enthält die Anforderungen aus der VDE-Bestimmung 0100-736 mit dem Untertitel „Niederspannungsstromkreise in Hochspannungsschaltfeldern". Diese VDE-Bestimmung aus der VDE 0100-Reihe wurde deswegen ersatzlos zurückgezogen.

Ein übersichtlicher Netzaufbau, Wirtschaftlichkeit durch hochspannungsseitigen Energietransport in die Lastschwerpunkte, Versorgungs- und Betriebssicherheit durch Selektivität und Redundanz, Wartungsfreundlichkeit und leichte Anpassung an Veränderungen, z. B. bei Laständerungen, sind weitere wichtige Planungsgrundsätze. Das **Bild 6.1** zeigt mehrere je nach Anforderungen brauchbare Varianten von Hochspannungsnetzen.

Bei der Planung und Errichtung von Hochspannungsanlagen sind die Technischen Anschlussbedingungen für den Anschluss an das Mittelspannungsnetz (aktuelle Ausgabe „TAB Mittelspannung 2008") zu beachten, u. a. Anforderungen an den

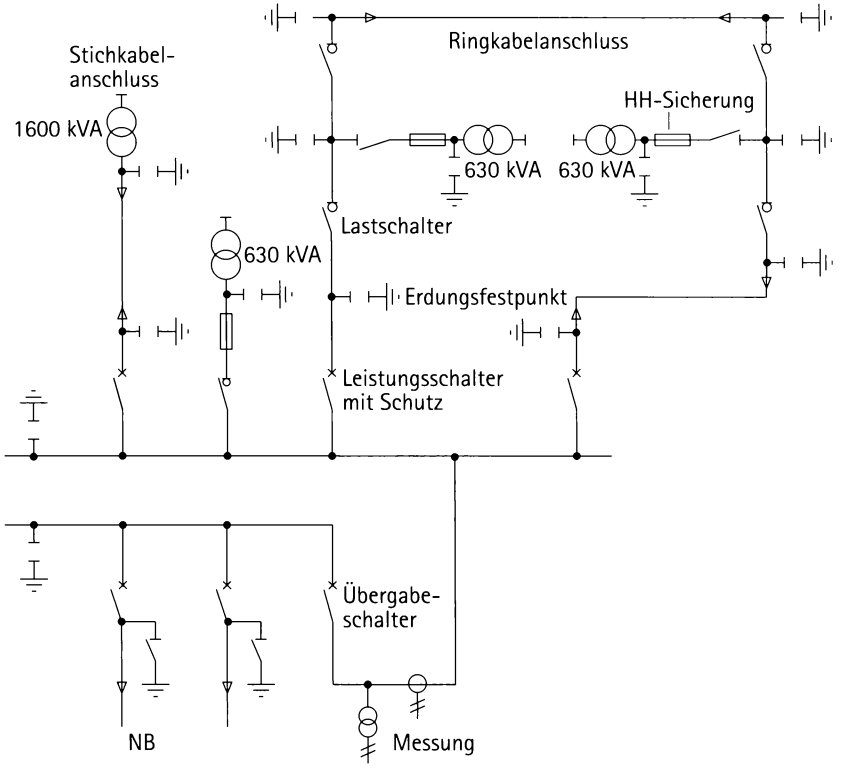



***Bild 6.1:*** *Anschlussmöglichkeiten der Transformatoren an das Hochspannungsnetz*

Netzanschluss (u. a. Ermittlung des Netzanschlusses, Anschlussart (Kabel, Freileitung, Einschleifung, Stichanschluss), Bemessung der Netzbetriebsmittel, Betriebsspannung, Netzrückwirkungen), die Übergabestation (u. a. bauliche Ausführung, Berücksichtigung elektrischer und elektromagnetischer Felder, elektrischer Teil (Isolation, Kurzschlussfestigkeit, Schutz gegen Störlichtbögen, Überspannungsableiter, Schaltanlagen, Sternpunktbehandlung, Sekundärtechnik, Erdungsanlage)), Hinweisschilder und Zubehör.

Die meisten 10-kV- und 20-kV-Netze werden mit *Erdschlusslöschung* betrieben, d. h., der Sternpunkt des Netzes ist über eine Kompensationsspule mit Erde verbunden. Ausgedehnte verkabelte Netze haben auch eine Erdschlusskompensation mit vorübergehender niederohmiger Erdung. Durch die vorübergehende niederohmige Erdung lassen sich Erdschlüsse in Schnellzeit abschalten.

Die *Isolierung des Sternpunkts* ist nur für Netze kleinerer Ausdehnung mit Betriebsspannungen unter 20 kV von Bedeutung. Jedes galvanisch getrennte Netz mit isoliertem Sternpunkt oder mit Erdschlusskompensation muss mit einer Erdschlussüberwachung versehen sein, die einen Erdschluss unverzüglich erkennen lässt.

Betriebe der Industrie und des Großgewerbes, die einen sehr hohen Verbrauch an elektrischer Energie haben, werden in der Regel direkt aus dem 110-kV-Hochspannungsnetz versorgt. Dazu sind u. a. die neuen Anschlussbedingungen Hochspannung zu beachten, die am 01.01.2015 als VDE-Anwendungsregel VDE-AR-N 4120 „Technische Bedingungen für den Anschluss und Betrieb von Kundenanlagen an das Hochspannungsnetz (TAB Hochspannung)" erschienen sind. Die Anwendungsregel ist für neue Hochspannungsanlagen spätestens bis zum 01.01.2017 umzusetzen.

### 6.1.1 Transformatorenstationen

Innerhalb von Gebäuden sollten aus brandschutztechnischen Gründen Transformatoren und Schaltanlagen für Nennspannung über 1 kV in jeweils eigenen elektrischen Betriebsräumen untergebracht werden. Transformatoren mit der Kühlmittelart O (Öltransformatoren) sind gegen Nachbarräume feuerbeständig, Türen feuerhemmend, zu trennen. In Gebäuden im Geltungsbereich der EltBauV (s. Abschn. 1.2.8) gilt dies für alle Transformatoren. Angaben für Anfrage und Bestellung von Leistungstransformatoren (Drehstrom- und Einphasentransformatoren, Öl- und Trockentransformatoren) sind in VDE 0532-76-1:2012-03 Anhang A zu finden. Über die Installation und Sicherheit von Trockentransformatoren werden Angaben in VDE 0532-76-11:2005-04 gemacht. Grenzmaße für ölgefüllte Drehstrom-Verteilungstransformatoren sind VDE 0532-222-1:2007-12, Bilder 1, 2 und 5 zu entnehmen.

Für Transformatoren mit Bemessungsleistungen unter 630 kVA sollten die Abmessungen des 630-kVA-Transformators zugrunde gelegt werden, um spätere Leistungserhöhungen zu ermöglichen. Analog dazu sollten die Stationen für Transformatoren mit Bemessungsleistungen von 800 kVA bis 1 600 kVA nach den Maßen des 1 600-kVA-Transformators bemessen werden. Die lichte Höhe des Betriebsraums soll mindestens die Höhe des Transformators zuzüglich 500 mm sein.

*Zuluft-* und *Abluftöffnungen* führen die Verlustwärme der Transformatoren ab. Die Zuluft soll in Bodennähe zugeführt, die Abluft nach oben abgeführt werden. Natürliche Lüftung ist zu bevorzugen. Die erforderliche Abluftöffnung muss z. B. bei einem 630-kVA-Transformator etwa 1 $m^2$ betragen, bei einem Höhenunterschied zwischen Zuluft und Abluft von 2 500 mm. Für die Zuluftöffnung gilt ein Abschlag von 10 %, im vorliegenden Fall reicht eine Öffnung von 0,9 $m^2$. Sind die Öffnungen

nicht nur mit einem Gitter, sondern mit Jalousien versehen, müssen sie bis um den Faktor 2 größer gewählt werden.

Transformatoren mit Isolier- bzw. Kühlflüssigkeit benötigen eine *Auffangwanne*. Bei höchstens drei Transformatoren mit weniger als jeweils 1 000 l Flüssigkeit ist als Auffangwanne ein undurchlässiger Fußboden mit entsprechend hohen Schwellen zulässig. Öldichte Auffangwannen bzw. Fußböden sind solche mit verdichtetem Beton oder einem Dichtungsputz aus Zementmörtel. Auffangwannen bzw. Sammelgruben für mehrere Transformatoren müssen nur die Flüssigkeit des größten Transformators aufnehmen können.

Weitere Hinweise über die bauliche Ausführung von Transformatorenstationen konnten bisher den Arbeitsblättern J 11 und J 21 Teile 1 bis 3, herausgegeben von der Arbeitsgemeinschaft Industriebau (AGI) entnommen werden (s. Abschn. A1.6 u. A2). Die Arbeitsblätter sind zurückgezogen worden, sodass sie nur noch in Eigenverantwortung angewendet werden können und gegebenenfalls nur der fachlichen Information und als Basiswissen dienen. Die Inhalte sind zwar nicht falsch, aber nicht mehr aktuell. Die Herausgeber können leider keinen Zeitpunkt angeben, wann die AGI-Arbeitsblätter wieder auf aktuellem Stand erscheinen.

Die *Transformatoren* (Reihe VDE 0532) werden nach der Kühlmittelart eingeteilt in *Trockentransformatoren* (bisher auch gebräuchliche Bezeichnung: Gießharztransformatoren) und *flüssigkeits- oder ölgefüllte Transformatoren*. Als Kühlmittel für Trocken- oder Gießharztransformatoren dient Luft (Kurzzeichen A). Flüssigkeitsgefüllte Transformatoren werden unterteilt in solche mit Mineralöl oder synthetischer Isolierflüssigkeit mit einem Brennpunkt ≤ 300 °C (Kennzeichen O) und solche mit Isolierflüssigkeit mit einem Brennpunkt ≥ 300 °C (Kennzeichen K). Askarele bzw. polychlorierte Biphenyle (PCB) stehen als Kühlmittel nicht mehr zur Verfügung. Innerhalb von Gebäuden sollten aus Gründen des Brandschutzes vorzugsweise Transformatoren mit dem Kühlmittel A oder K verwendet werden. Transformatoren mit dem Kühlmittel O (Öltransformatoren) dürfen sich in Gebäuden im Geltungsbereich der EltBauV (s. Abschn. 1.2.8) nicht in Geschossen befinden, deren Fußboden mehr als 4 m unter der festgelegten Geländeoberfläche liegt. Sie dürfen auch nicht in Geschossen über dem Erdgeschoss liegen.

Ansonsten wird die Auswahl der Transformatoren durch die Anforderungen des Netzes bestimmt. Für die Festlegung der *Bemessungsleistung* ist der zu erwartende höchste Wirkleistungsbedarf maßgebend, aus dem über einen zu ermittelnden Leistungsfaktor $\cos \varphi$ die benötigte Transformatorbemessungsleistung $S_N$ errechnet wird. Um den Spannungsfall niedrig zu halten, ist bis zu einer Bemessungsleistung von 630 kVA eine Bemessungskurzschlussspannung von 4 % üblich. Zu bevorzugen sind Transformatoren mit den Bemessungsleistungen 100 kVA, 160 kVA, 250 kVA, 400 kVA und 630 kVA. Bei größerer Leistung empfiehlt sich mit Rücksicht auf die

sich ergebende Kurzschlussbeanspruchung eine Bemessungskurzschlussspannung von 6 %. Bevorzugt werden die Bemessungsleistungen 1 000 kVA und 1 600 kVA.

In Abhängigkeit von der Schaltung der Stränge der beiden Wicklungen und deren Phasenlage zueinander werden die Transformatoren in *Schaltgruppen* eingeteilt. Die bevorzugte Schaltgruppe für Verteilertransformatoren von Orts- und Industrienetzen ist:

Dyn5 bei einer Bemessungsleistung von 250 kVA...2 500 kVA und

Yzn5 bis zu einer Bemessungsleistung von 200 kVA.

Die Kurzzeichen bedeuten:

D Oberspannungsseite in Dreieckschaltung,

y Unterspannungsseite in Sternschaltung

n herausgeführter Sternpunkt,

5 Phasenverschiebung $5 \times 30° = 150°$ zwischen den Wicklungen,

Y Oberspannungsseite in Sternschaltung,

z Unterspannungsseite in Zickzackschaltung.

Zur Anpassung an die örtlichen Spannungsverhältnisse erhalten die Oberspannungswicklungen Anzapfungen, mit denen durch Umstellen oder Umklemmen die Nennspannung um z. B. ±4 % verändert werden kann.

Zum Schutz der Transformatoren gegen die Auswirkungen von Kurzschluss und Überlast s. Abschnitt 6.1.3.

### 6.1.2 Hochspannungsschaltanlagen

Reihe VDE 0671

Die Räume sind so zu bemessen, dass die verbleibenden Gänge vor Schaltanlagen mindestens 800 mm breit sind. Die Mindestgangbreite darf durch fest angebrachte Antriebe, Schaltwagen in Trennstellung o. dgl. nicht unterschritten werden. Vor gekapselten Anlagen genügt eine Gangbreite von 500 mm. Die Türen von Schaltzellen oder Schaltfeldern sollten grundsätzlich in der Fluchtrichtung schließen. Schaltfeldtüren müssen in Fluchtrichtung zuschlagen, wenn bei geöffneter Tür die verbleibende Gangbreite nicht mindestens 500 mm beträgt. Zugangstüren müssen grundsätzlich nach außen aufschlagen und über Sicherheitsschlösser verfügen, die als sog. Panikschlösser ausgeführt sind, d. h., die Türen müssen sich auch im abgeschlossenen Zustand von innen öffnen lassen. Fenster sind z. B. zu vergittern, um einen Einstieg zu erschweren. Nach der EltBauVO (s. Abschn. 1.2.8) dürfen in

elektrischen Betriebsräumen nur Leitungen und Einrichtungen vorhanden sein, die zum Betrieb der jeweiligen elektrischen Anlagen erforderlich sind. Rohrleitungen und andere Einrichtungen dürfen nach VDE 0101-1 die elektrische Anlage auch im Schadensfall nicht gefährden. Ausführliche Anforderungen an $SF_6$-isolierte elektrische Anlagen und an Räume mit diesen Anlagen können VDE 0101-1:2014-12 Abschnitt 8.8 entnommen werden. Empfehlungen für den Gebrauch und den Umgang mit $SF_6$-Gas sind in der separaten Norm VDE 0671-4:2014-06 enthalten.

Für die bauliche Ausführung von Übergabe- und Unterstationen konnte bisher das Arbeitsblatt J 12, herausgegeben von der Arbeitsgemeinschaft Industriebau (AGI), herangezogen werden, das weitere wertvolle Hinweise enthalten hat (Bezugsquelle, s. Abschn. A1.6 u. A2). Dieses Arbeitsblatt, wie auch weitere Arbeitsblätter für elektrotechnische Anlagen, sind fast alle von der AGI zurückgezogen worden, sodass sie nur noch in Eigenverantwortung angewendet werden können (s. o.).

Als Schaltanlagen werden heute fast ausschließlich *gekapselte, typgeprüfte Anlagen* nach VDE 0671-200 bis -202 eingesetzt (metallgekapselte Schaltanlagen ≤ 52 kV (Teil 200), isolierstoffgekapselte Schaltanlagen ≤ 52 kV (Teil 201), fabrikfertige Schaltanlagen für Hochspannung/Niederspannung (Teil 202)). Für die Hochspannungs- und Niederspannungsschaltanlagen empfehlen sich getrennte Räume. Oft fordern NBs eine räumliche Trennung der Einspeisefelder von den übrigen Anlagen durch separate Zugänge. Für Hilfsanlagen, wie Batterien, Druckluft, sind geeignete Räume vorzusehen.

Für die vielfältigen Aufgaben der Schaltanlagen stehen verschiedene typgeprüfte und fabrikfertige Systeme zur Verfügung. Sie unterscheiden sich im Geräteeinbau, in der Isolierung und der Art der Umhüllung. Schaltanlagen mit fest eingebauten Geräten bestehen aus mehreren aneinander gebauten Schaltfeldern, in die alle für eine Schaltanlage erforderlichen Betriebsmittel fest eingebaut sind. Im Gegensatz dazu tragen bei Schaltanlagen mit herausziehbaren Geräten die Leistungsschalter oder Lastschalter Einfahrkontakte, durch deren Lösen eine Trennstrecke hergestellt wird.

Anlagen für kleinere Installationsnetze werden mit Einfachsammelschiene aufgebaut. Umfangreiche Schaltanlagen können mit Doppelsammelschiene ausgerüstet werden. Dies bringt Vorteile in der Versorgungssicherheit, z. B. in Verbindung mit einer Eigenerzeugung, Lastabwurfschaltung, Trennung kritischer Verbraucher und dgl. Für den Sammelschienenwechsel ohne Unterbrechung der Energieversorgung ist dann eine Querkupplung erforderlich.

### 6.1.3 Schutz bei Kurzschluss und Überlast. Selektivität

Kurzschlussströme sind i. Allg. durch Überstromschutzeinrichtungen so zu begrenzen, dass alle Anlagenteile den thermischen und dynamischen Beanspruchungen standhalten. Kabel und isolierte Leitungen, die nicht im Erdreich verlegt sind, müssen zudem einen Schutz gegen zu hohe Erwärmung erhalten, wenn mit einer Überlastung gerechnet werden muss. Transformatoren mit der Kühlmittelart K oder A, die in Gebäuden außerhalb von separaten feuersicheren Räumen untergebracht sind, sind mit schnell wirkenden Schutzeinrichtungen zu schützen, die das Abschalten im Fehlerfall bewirken.

**Transformatorabzweige**

Transformatorabzweige werden im Regelfall durch *Hochspannungs-Hochleistungs-(HH-)Sicherungen* in Verbindung mit Lasttrennschaltern oder durch *Leistungsschalter* gegen die Auswirkungen eines Kurzschlusses geschützt. Leistungsschaltern wird man bei Transformator-Bemessungsleistungen ab 800 kVA und bei häufigem Schalten den Vorzug geben. Auch die Selektivitätsverhältnisse können Leistungsschalter erfordern. Für die Dimensionierung der HH-Sicherung gilt: Der kleinstzulässige Bemessungsstrom der HH-Sicherungen wird durch die Rush-Ströme beim Einschalten des Transformators bestimmt. Er liegt beim etwa 2-fachen des Transformator-Bemessungsstroms. Der größtzulässige Bemessungsstrom der HH-Sicherungen hängt von der Höhe der Kurzschlussströme bei einem Kurzschluss unmittelbar vor den dem Transformator nachgeordneten Überstromschutzeinrichtungen ab. In der Regel liegt der größtzulässige Bemessungsstrom der HH-Sicherung beim etwa 5-fachen des Transformator-Bemessungsstroms. Zwischen den genannten Grenzwerten kann der Sicherungseinsatz nach der Selektivität ausgewählt werden.

Bei den Leistungsschaltern als Schutz gegen die Auswirkung von Kurzschlussströmen ist zu unterscheiden zwischen solchen mit Primärauslösern und solchen mit Sekundärauslösern.

Den einfachsten Schutz bilden *Primärauslöser*, die direkt am Leistungsschalter angebaut sind und vom Kurzschlussstrom durchflossen werden. Mit Primärauslösern lassen sich Stichleitungen und Transformatoren gegen die Auswirkungen von Kurzschluss und Überlast schützen. Primärauslöser werden in der Regel nur für Leistungsschalter bis 630 A Bemessungsstrom angeboten. Ihre Kurzschlussfestigkeit ist zudem eingeschränkt, sodass sie nur begrenzt Anwendung finden.

*Sekundärauslöser* verstärken die ihnen elektrisch oder mechanisch zugeführten Auslöseimpulse und geben diese an die Aus-Verklinkung weiter, die das Ausschalten des Schalters bewirkt. In Verbindung mit Schutzrelais, die an Stromwandler angeschlossen werden, können alle Schutzaufgaben, unabhängig von der Höhe

der Kurzschlussströme und der Bemessungsbetriebsströme der erforderlichen Leistungsschalter, erfüllt werden.

Mit derartig ausgestatteten Leistungsschaltern lässt sich dann auch leicht die Selektivität zu nachgeschalteten NH-Sicherungen bzw. Leistungsschaltern auf der Niederspannungsseite herstellen. Bei Fehlern auf der Niederspannungsseite, die aufgrund der Transformatorimpedanz zu eng begrenzten Kurzschlussströmen auf der Hochspannungsseite führen, spricht der Hochspannungs-Leistungsschalter erst mit einer Verzögerung von z. B. 0,5 s an. Die dem Transformator nachgeordnete Schutzeinrichtung muss dagegen schneller reagieren. Kurzschlüsse auf der Hochspannungsseite führen zu höheren Fehlerströmen, die dann unverzögert abgeschaltet werden, um die Anlagenkomponenten thermisch geringer zu belasten. Der Überlastschutz kann bei Transformatoren erfolgen:

- spannungsseitig durch auf den Bemessungsstrom des Transformators abgestimmte NH-Sicherungseinsätze oder durch thermisch verzögerte Überstromauslöser,
- durch eine in den Transformator eingebaute Temperaturüberwachung, die zur Meldung bzw. selbsttätigen Auslösung eines Schalters bei Erreichen der zulässigen Grenztemperatur führt.

Flüssigkeitstransformatoren mit einer Bemessungsleistung ab 250 kVA werden zudem meist mit einem *Buchholzrelais* ausgestattet, welches bei Störungen und Schäden, wie Gasentwicklung oder Flüssigkeitsverlust, Meldung gibt.

**Kabel und Leitungen**

In Reihe geschaltete Hochspannungs-Leistungsschalter entlang einer Stichleitung gewährleisten die Selektivität durch gestaffelte Kommandozeiten ihrer Überstromzeitschutzeinrichtungen.

Bei Paralleleinspeisung und zum Schutz von Ringleitungen eignet sich besonders der *Leitungs-Differenzialschutz*. Jeder Streckenabschnitt muss dabei beidseitig mit Leistungsschaltern und Stromwandlern versehen werden. Der Leitungs-Differenzialschutz ist ein Stromvergleichsschutz mit außerordentlich kurzen Kommandozeiten (10...20 ms), der bei einem Fehler in einem Streckenabschnitt diesen selektiv aus der Ringleitung herausschaltet.

### 6.1.4 Kabel in Hochspannungsnetzen

Auf der 10-kV- und 20-kV-Ebene werden Kabel mit VPE-Isolierung (vernetztes Polyethylen) nach VDE 0276-620 (Ersatz für VDE 0273), aber auch noch papierisolierte Gürtelkabel nach VDE 0276-621 (Ersatz für VDE 0255) eingesetzt.

VPE-Kabel nach VDE 0276-620 haben zur Feldbegrenzung über dem Leiter eine innere und über der Isolierhülle aus VPE eine äußere Leitschicht sowie einen Schirm aus Kupfer. Zwischen diesem und dem Mantel aus PE oder PVC befindet sich eine Folie.

VPE-Kabel für die Bemessungsspannung 10 kV sind ein- und dreiadrig erhältlich. Der Querschnittsbereich geht von 25 $mm^2$ bis 500 $mm^2$ bei Kupferleitern und von 35 $mm^2$ bis 500 $mm^2$ bei Aluminiumleitern.

Die Bezeichnung für ein solches Hochspannungskabel lautet z. B.:

NA2XS2Y 3 × 1 × 50 RM/16 6/10 kV

Die Bauartkurzzeichen haben folgende Bedeutung:

| | |
|---|---|
| N | Kabel nach Norm |
| A | Aluminiumleiter (für Kupferleiter steht kein Kurzzeichen) |
| 2X | VPE-Isolierung (vernetztes Polyethylen) |
| S | Kupferschirm |
| 2Y | PE-Mantel (thermoplastisches Polyethylen) |
| 3 × 1 × 50 | drei einadrig verseilte Kabel mit Leiterquerschnitt 50 $mm^2$ |
| RM | mehrdrähtiger Rundleiter |
| 16 | Bemessungsquerschnitt des Schirms 16 $mm^2$ |
| 6/10 kV | Bemessungsspannung $U_0/U$ 6/10 kV |

Weitere Kurzzeichen sind:

| | |
|---|---|
| (F) | Längswasserdichtheit |
| Y (statt 2Y) | PVC-Mantel |
| E | eindrähtiger Leiter |

Bei Kabeln für die Bemessungsspannung 20 kV geht der Querschnittsbereich von 35 $mm^2$ bis 500 $mm^2$ bei Cu-Leitern und von 50 $mm^2$ bis 500 $mm^2$ bei Al-Leitern. Das Bauartkurzzeichen für ein 20-kV-Hochspannungskabel mit Cu-Leitern lautet z. B.:

N2XS2Y 1 × 35 RM/16 12/20 kV.

Die höchste zulässige Temperatur für die Isoliermischung beträgt bei ungestörtem Betrieb 90 °C und bei Kurzschluss 250 °C bei max. 5 s Dauer. Der Außenmantel aus PVC ist rot, der aus PE schwarz. Auf dem Außenmantel stehen der Name des Herstellers und das Herstelljahr; anstelle des Firmennamens kann auch das Firmenzeichen stehen, aus dem der Hersteller ersichtlich ist. Weiter sind das Bauartkurzzeichen und die Bemessungsspannung in kV angegeben. Die Kennzeichen wiederholen sich in Abständen von max. 50 cm. Außerdem sind auf dem Mantel 4-stellige Maßzahlen als Längenmarkierung aufgebracht.

**Verlegen der Kabel**

Die Kabel dürfen überall verlegt werden: in Innenräumen, im Freien, in Erde und in Wasser. Wichtig ist, dass die Kabelenden während des Transports, der Lagerung und der Verlegung wasserdicht verschlossen sind, damit kein Wasser eindringen kann. Kurze Kabellängen dürfen in Ringen liegend transportiert und gelagert werden, andernfalls werden sie auf Spulenscheiben aufgerollt.

Die Eigenschaften der Kabel dürfen durch das Verlegen und Betreiben nicht gefährdet werden. Hierzu sind zu beachten: die Betriebsbedingungen (Häufung der Kabel, äußere Wärmequellen, Bodenaufbau und Bodenart, Schutz gegen Sonneneinstrahlung), Ableit- oder Streuströme und Korrosion, Bodenbewegungen, Schwingungen, Erschütterungen, Verlegemethode, Bettungsmaterial wegen des Außenmantels, Schutz gegen äußere Einflüsse, wie chemische Lösungsmittel. Oberirdisch verlegte Kabel müssen gegen mechanische Beschädigungen geschützt werden. In Erde verlegte Kabel sind mechanisch ausreichend geschützt, wenn sie mindestens 0,6 m unter der Erdoberfläche verlegt werden, unter Fahrbahnen von Straßen jedoch 0,8 m. Bei geringeren Verlegetiefen ist das Kabel durch andere Maßnahmen entsprechend zu schützen.

Innendurchmesser von Durchzügen und Rohren müssen mindestens das 1,5-fache des Kabeldurchmessers betragen. Werden mehrere Kabel in einem gemeinsamen Rohr verlegt, so ist dessen Innendurchmesser so zu wählen, dass die Kabel sich nicht gegenseitig verkeilen. Wenn Kabel eines Wechselstromsystems durch Stahlrohre gelegt werden sollen, sind alle zu einem System gehörenden Kabel durch ein gemeinsames Rohr zu führen. Außerdem sind Kabel so zu verlegen, dass die Gefahr der Ausbreitung von Bränden und deren Folgen begrenzt sind (s. Kap. 12).

Beim Verlegen der Kabel ist zu beachten, dass die tiefste zulässige Temperatur –5 °C bei Kabeln mit PVC-Mantel und –20 °C bei Kabeln mit PE-Mantel beträgt. Diese Temperaturen beziehen sich auf das Kabel selbst und nicht auf die Umgebung, ggf. ist das Kabel zu erwärmen. Die angegebene tiefste Temperatur darf während der gesamten Verlegearbeiten nicht unterschritten werden. Außer dem normalen Verlegen in Luft oder in Erde dürfen die Kabel auch eingepflügt oder in durch

Spülen gewonnene Erdröhren verlegt werden. Beim Verlegen muss die Zugkraft ständig überwacht werden. Die Biegeradien müssen mindestens dem 15-fachen Kabeldurchmesser entsprechen. Der Biegeradius kann aber bei einmaligem Biegen, fachgerechter Verlegung, Erwärmung des Kabels auf 30 °C und Biegen des Kabels über Schablone um 50 % verringert werden.

Einadrige Kabel dürfen nebeneinander oder im „Dreieck" verlegt werden. Gebündelte Kabel, die zu einem Drehstrom- oder Wechselstromsystem gehören, dürfen wie mehradrige Kabel behandelt werden. Bei Einzelbefestigung einadriger Kabel dürfen nur Kunststoffschellen oder Schellen aus nichtmagnetischem Metall verwendet werden. Wenn aber kein geschlossener magnetischer Kreis vorliegt, dürfen Schellen aus Stahl eingesetzt werden. Die Kabel und Kabelbündel müssen so befestigt werden, dass Beschädigungen, z. B. durch Druckstellen infolge Wärmedehnung, vermieden werden. Der waagerechte Abstand zwischen den Befestigungsschellen darf höchstens gleich dem 20-fachen Kabeldurchmesser sein. Diese Abstände gelten auch für Auflagestellen bei Verlegen auf Kabelpritschen oder Gerüsten. Ein Abstand von 80 cm sollte nicht überschritten werden. Bei senkrechtem Verlegen an Wänden dürfen die Schellenabstände vergrößert werden, sollten jedoch 1,5 m nicht überschreiten.

**Bemessung der Kabel**

VDE 0276-1000, VDE 0276-620, VDE 0265

Der Leiterquerschnitt ist sowohl für die Belastung im ungestörten Betrieb als auch für den Kurzschlussfall zu bestimmen. Der größere der beiden ermittelten Querschnitte ist zu wählen. Für den Kurzschlussfall ist neben der thermischen auch die dynamische Kurzschlussfestigkeit zu berücksichtigen.

Hinsichtlich der *thermischen Kurzschlussfestigkeit* ist der Leiter ausreichend dimensioniert, wenn für eine durch den thermisch wirksamen Kurzzeitstrom $I_{th}$ und eine Kurzschlussdauer $T_k$[1] bestimmte Belastung folgende Bedingung erfüllt ist:

$$I_{th} \leq I_{thz} = I_{thr} \sqrt{\frac{1\,s}{T_k}}$$

1 Die Kurzschlussdauer $T_k$ in s, ergibt sich aus der Auslösekennlinie der Überstromschutzeinrichtung; für unverzögerte Auslöser lassen sich 0,05 s ansetzen. Es werden unterschiedliche Formelzeichen für die „Kurzschlussdauer" verwendet: $t_k$ in VDE 0276-1000:1995-06; $T_k$ in VDE 0102:2002-07 u. VDE 0103:2012-09.

$I_{th}$ ist nach VDE 0103 zu ermitteln ($I_{thz}$: Kurzschlussbelastbarkeit). $I_{thr}$, der Bemessungs-Kurzzeitstrom, ergibt sich aus dem Leiterquerschnitt $A$, multipliziert mit der Bemessungs-Kurzzeitstromdichte $S_{thr}$. Diese beträgt

- für VPE-Kabel mit Cu-Leiter $S_{thr} = 143\ \text{A/mm}^2$,
- für VPE-Kabel mit Al-Leiter $S_{thr} = 94\ \text{A/mm}^2$.

Die *dynamische Kurzschlussfestigkeit* der Kabel erfordert in der Regel keine Maßnahmen, da mehradrige Kabel bis zu einen Scheitelwert von 63 kA kurzschlussfest sind. Einadrige Kabel müssen gegen die Auswirkungen von Stoßkurzschlussströmen lediglich sicher befestigt werden.

In der Regel bestimmt die thermische Kurzschlussfestigkeit den Leiterquerschnitt, was im folgenden Beispiel gezeigt wird.

*Beispiel:* Ein Transformator, $S_n = 630\ \text{kVA}$, wird über eine Stichleitung, $U = 10\ \text{kV}$, versorgt. Vom VNB wird die Anfangs-Kurzschlusswechselstromleistung mit $S_k'' = 250\ \text{MVA}$ angegeben. Welcher Querschnitt ist dafür erforderlich?

a) Zu erwartende Strombelastung im ungestörten Betrieb:

$$I_b = \frac{S_n}{\sqrt{3}\cdot U} = \frac{630\ \text{kVA}}{\sqrt{3}\cdot 10\ \text{kV}} = 36{,}4\ \text{A}\ .$$

Für die Strombelastbarkeit im ungestörten Betrieb würde ein Leiterquerschnitt von sehr viel weniger als 25 mm² Cu ausreichen. Der Querschnitt von 25 mm² ist der den Tabellen über die Strombelastbarkeit (z. B. VDE 0276-620 für VPE-Kabel) zu entnehmende minimale Leiterquerschnitt.

b) Thermische Kurzschlussfestigkeit:

Annahme: VPE-Kabel mit $A = 15\ \text{mm}^2$ Cu (kleinster erhältlicher Querschnitt), $T_k = 0{,}05\ \text{s}$.

Forderung: $I_{th} \le I_{thr}\sqrt{\frac{1\ \text{s}}{T_k}}$.

$$I_k'' = \frac{S_k''}{\sqrt{3}\cdot U} = \frac{250\ \text{MVA}}{\sqrt{3}\cdot 10\ \text{kV}} = 14{,}4\ \text{kA}\ ,$$

$$I_{th} = I_k''\sqrt{m+n} = 14{,}4\ \text{kA}\sqrt{1{,}5+1} = 22{,}8\ \text{kA} \quad (m \text{ und } n \text{ nach VDE 0103}),$$

$$I_{thz} = I_{thr}\sqrt{\frac{1\ \text{s}}{T_k}} = A\cdot S_{thr}\sqrt{\frac{1\ \text{s}}{T_k}} = 25\ \text{mm}^2\cdot 143\frac{\text{A}}{\text{mm}^2}\sqrt{\frac{1\ \text{s}}{0{,}05\ \text{s}}} = 16\ \text{kA}\ .$$

Der thermisch wirksame Kurzzeitstrom $I_{th}$ ist größer als der zulässige Bemessungs-Kurzzeitstrom $I_{thz}$ (22,8 kA > 16 kA). Die thermische Kurzschlussfestigkeit ist deshalb nicht gegeben. Es ist ein Querschnitt von 50 mm² zu wählen, um den Schutz sicherzustellen.

### 6.1.5 Schutz gegen gefährliche Körperströme

VDE 0101, VDE 0105-1 u. -2 bzw. -100

Während bei Spannungen bis 1 000 V nur das direkte Berühren der Oberfläche von unter Spannung stehenden Teilen Gefahr bringend ist, ist bei höheren Spannungen bereits bei Erreichen der sog. *Gefahrenzone* mit einem Spannungsüberschlag zu rechnen. Das Erreichen der Gefahrenzone wird dem Berühren spannungsführender Teile gleichgesetzt. Die Gefahrenzone beträgt bei 10-kV-Innenraumanlagen 120 mm, bei 20-kV-Anlagen 220 mm als Abstand in Luft von unter Spannung stehenden Teilen. Somit müssen z. B. Isolierkörper von Isolatoren gegen direktes Berühren geschützt werden, da ja ein Berühren derselben ein Eindringen in die Gefahrzone bedeutet und somit einem Berühren unter Spannung stehender Teile gleichkommt. Der Schutz gegen direktes Berühren von Hochspannungsanlagen erfordert somit weiter gehende Maßnahmen als der in Niederspannungsanlagen. So muss auch die Leiterisolierung von Kabeln und Leitungen, an deren Enden die leitfähige Umhüllung entfernt ist, in den Schutz einbezogen werden. Der Schutz gegen direktes Berühren kann durch Umhüllung, Abdeckung, Hindernis oder Abstand hergestellt werden.

Zum Schutz bei indirektem Berühren sind die nicht zum Betriebsstromkreis gehörenden leitfähigen Teile an eine Schutzerdung anzuschließen (s. Abschn. 6.1.6).

Für den Schutz bei Arbeiten an Anlagen sind Reihe VDE 0105 und die Unfallverhütungsvorschrift DGUV Vorschrift 3/BGV A3 (frühere Bezeichnung: VBG 4) bzw. DGUV Vorschrift 4/GUV-V A3 zu beachten. In der Anlage müssen Einrichtungen zum Herstellen und Sicherstellen des *spannungsfreien Zustands* vor Arbeitsbeginn vorhanden sein. Dazu sind erforderlich:

- Schalter zum Freischalten einzelner Anlagenteile oder der gesamten Anlage,
- Sicherungen gegen unbefugtes Wiedereinschalten,
- Spannungsprüfer,
- Erdschluss- und Kurzschlussvorrichtungen,
- Abdeckungen, um benachbarte, unter Spannung stehende Teile abzudecken.

Näheres regeln VDE 0101-1 und VDE 0105-100 und die UVV DGUV Vorschrift 3/BGV A3 bzw. DGUV Vorschrift 4/GUV-V A3 sowie die TAB Mittelspannung (s. Abschn. 6.1 Absatz 1 u. A1.8).

### 6.1.6 Erdung

VDE 0101-2

Bisher galt für die Projektierung und Errichtung von Hochspannungsanlagen die VDE-Bestimmung 0101 und speziell für Erdungsanlagen die VDE-Bestimmung 0141. Am 01.11.2011 ist die bisherige VDE- Bestimmung VDE 0101 aufgeteilt in zwei Teilen in Kraft getreten. Speziell der Teil VDE 0101-2 mit dem Titel „Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV" gilt für Erdungsanlagen im Bereich von Hochspannungsanlagen. Dieser Teil 2 enthält Anforderungen an Erdungsanlagen, die bisher in der VDE-Bestimmung 0101 und teilweise in der VDE-Bestimmung 0141 aufgeführt waren. In VDE 0101-2 sind nun die grundlegenden Anforderungen speziell an Erdungsanlagen für Hochspannungsanlagen enthalten. Anforderungen werden gestellt an

- die Auslegung im Hinblick auf Korrosion, mechanische Beanspruchung, thermische Beanspruchung und Berührungsspannungen,
- Maßnahmen zur Vermeidung von Potenzialverschleppung von Hochspannungsanlagen zu Niederspannungsanlagen, Telekommunikationsanlagen und anderen Systemen,
- die Errichtung von Erdungsanlagen mit der Ausführung von Erdern und Erdungsleitern unter der Berücksichtigung von Blitzeinschlägen und transienten Spannungsbeanspruchungen sowie Maßnahmen zur Erdung an Betriebsmitteln und Anlagen.

In Transformatorenstationen und Hochspannungsschaltanlagen sind zum Schutz von Personen gegen zu hohe Berührungsspannung Metallteile zu erden, wenn sie bei Fehlern mit unter Spannung stehenden Teilen durch direkten Kontakt oder Lichtbogen in Verbindung kommen können (*Schutzerdung*). Dies gilt sowohl für Metallteile elektrischer Betriebsmittel als auch für Metallteile, die nicht zu elektrischen Betriebsmitteln gehören. Soweit vorhanden, sind die elektrischen Betriebsmittel an der dafür vorgesehenen und gekennzeichneten Anschlussstelle an die Erdungsleitung anzuschließen. Sind die Metallteile mit geerdeten Grundplatten oder Metallgerüsten elektrisch leitend verbunden, brauchen sie nicht gesondert geerdet zu werden. Zu erden sind auch die Mauerhaken von Abspannisolatoren und die Füße von Stützisolatoren.

Überspannungsableiter müssen auf möglichst kurzem Weg geerdet werden. Kabelpritschen brauchen nicht geerdet zu werden, wenn die metallenen Schirme oder Mäntel der auf ihnen verlegten Kabel den Erdfehlerstrom führen können; in der Regel ist dies gegeben.

Die Schirme bzw. Mäntel der Kabel müssen jedoch mindestens an einem Ende mit der Erdungsanlage verbunden werden.

Sofern metallene Rohrleitungen in die Anlage führen, sollen diese mit der Erdungsanlage verbunden werden.

**Erdungsleitungen**

Erdungsleitungen, d. h. die Verbindungsleitung eines Erders mit einem zu erdenden Anlagenteil, sind mit Rücksicht auf die thermische und mechanische Beanspruchung zu bemessen. Im Hinblick auf die *mechanische Festigkeit* sind Mindestquerschnitte von 50 $mm^2$ bei Stahl, 16 $mm^2$ bei Kupfer und 35 $mm^2$ bei Aluminium erforderlich.

Bezüglich der *thermischen Beanspruchung* gilt: In den meistverbreiteten Netzen mit Erdschlusskompensation und in Netzen mit isoliertem Sternpunkt ist für die thermische Belastung der Erdungsleitung der Erdschlussreststrom bzw. der kapazitive Erdschlussstrom maßgebend. Diese sind in aller Regel so klein, dass die Mindestquerschnitte aufgrund der mechanischen Festigkeit völlig ausreichend sind. Ausnahmen gelten für eine besondere Erdungsleitung, an die mehrere Erdungsleitungen angeschlossen sind (zurückgezogener Normenbegriff: Erdungssammelleitung). Diese spezielle Erdungsleitung muss bez. ihrer thermischen Belastung auf den Doppelerdschlussstrom ausgelegt werden. Für den Doppelerdschlussstrom ($I''_{kEE}$) dürfen 85 % des dreipoligen Anfangs-Kurzschlusswechselstroms ($I''_k$) eingesetzt werden. Aus Bild D.1 der VDE 0101-2:2011-11 („Kurzschlussstromdichte $G$ für Erdungsleiter und Erder in Abhängigkeit von der Fehlerstromdauer $t_f$) kann nun die zulässige Kurzschlussstromdichte $G$ für Erdungssammelleitungen in Abhängigkeit von der Dauer des Fehlerstroms $t_f$ entnommen werden. Damit lässt sich dann der Mindestquerschnitt für die Erdungssammelleitung berechnen.

*Beispiel:* Der Anfangs-Kurzschlusswechselstrom $I''_k$ soll wie im Beispiel auf S. 216 14,4 kA betragen, die Ausschaltzeit der vorgeschalteten Überstromschutzeinrichtung 0,2 s. Es interessiert der erforderliche Querschnitt bei Verwendung von Bandstahl:

$$I''_{kEE} = 0{,}85 \cdot I''_k = 12{,}24\ \text{kA}\,,$$

$G$ = 150 A/$mm^2$ aus Bild D.1 von VDE 0101-2:2011-11,

$$A = \frac{I''_{kEE}}{G} = \frac{12{,}24\ \text{kA}}{150\ \text{A/mm}^2} = 81{,}6\ \text{mm}^2\,.$$

Für die spezielle Erdungsleitung ist somit der nächste Normquerschnitt von 100 $mm^2$ (Bandstahl 30 mm × 3,5 mm oder 25 mm × 4 mm) erforderlich.

Für die Erdung der Sekundärkreise von Messwandlern genügt grundsätzlich ein Querschnitt von 2,5 $mm^2$ Cu, bei mechanisch ungeschütztem Erdungsleiter sind 4 $mm^2$ Cu erforderlich.

**Erder**

In Gebäuden mit eigenen Transformatorenstationen sollen die Hochspannungs-Schutzerdung und die Niederspannungs-Betriebserdung zu einer gemeinsamen Erdungsanlage zusammengeschlossen werden. In der Regel wird man den Gebäudefundamenterder für beide Zwecke benutzen.

In Netzen mit isoliertem Sternpunkt und in Netzen mit Erdschlusskompensation wird die zulässige Berührungsspannung in Abhängigkeit von der Fehlerdauer angegeben. Bei einer unterstellten Fehlerdauer (Zeit bis zum Abschalten des Fehlers in einem Hochspannungsnetz) von > 3 s beträgt der Wert der höchsten zulässigen Berührungsspannung ca. 83 V (bis Jan. 2000: 65 V), die berührbare Metallteile der Anlage bei Erdschluss annehmen können. Für wesentlich längere Fehlerzeiten sollte nach VDE 0101-2:2011-11, Bild 4, ein Wert von 80 V angenommen werden. Dagegen gilt bei Niederspannungsanlagen als Grenze der dauernd zulässigen Berührungsspannung ein Wert von 50 V. Der scheinbare Widerspruch erklärt sich damit, dass in Hochspannungsanlagen bei einem Erdschluss in einem isolierten oder kompensierten Netz unverzüglich Maßnahmen getroffen werden, die zur Abschaltung der fehlerhaften Anlage oder zur Gefahrenbegrenzung führen, was bedeutet, dass die zulässige Berührungsspannung nicht auf Dauer ansteht. Dagegen handelt es sich bei dem Wert der zulässigen Berührungsspannung in Niederspannungsanlagen nach VDE 0100-410 um die *dauernd* zulässige Berührungsspannung.

Der zulässige Ausbreitungswiderstand $R_E$ des Schutzerders errechnet sich nach VDE 0101-2 und kann dort für *Oberflächenerder* (aus Band, Rundmaterial oder Seil) bei gestreckter Verlegung oder als Ring in homogenem Erdreich (Diagramm Bild J.1, VDE 0101-2:2011-11) und von senkrecht in homogenem Erdreich eingebrachten *Tiefenerdern* (Diagramm Bild J.2, VDE 0101-2:2011-11) entnommen werden. Für den Planer einer 10-kV- oder 20-kV-Verteilerstation ist dieser jedoch von untergeordneter Bedeutung, da der erforderliche Erdungswiderstand durch Parallelschalten vieler Einzelerder in der Regel vom NB gewährleistet wird.

Die mit Rücksicht auf mechanische Festigkeit und Korrosion erforderlichen Mindestabmessungen der Erder betragen bei Verwenden von feuerverzinktem Bandstahl 100 $mm^2$, bei Kupferseil 35 $mm^2$. Die üblicherweise für den Gebäudefundamenterder verwendeten Werkstoffe (Bandstahl 30 mm × 3,5 mm bzw. 25 mm × 4 mm) erfüllen also diese Bedingung.

Im Hinblick auf die thermische Beanspruchung brauchen Erder nur in Netzen mit niederohmiger Sternpunkterdung bemessen zu werden. In Netzen mit isoliertem Sternpunkt und in Netzen mit Erdschlusskompensation genügt das Einhalten der Mindestmaße bez. Korrosion und mechanischer Festigkeit.

## 6.2 Niederspannungsnetze

Den Bau von Starkstrom-Freileitungen mit Nennspannungen bis 1 000 V regelt VDE 0211.

Niederspannungs-Freileitungsnetze verlieren zugunsten von Kabelnetzen ständig an Bedeutung. Durch Kabelnetze wird nicht nur das Ortsbild verschönert. Die geringere Störanfälligkeit und damit die höhere Versorgungssicherheit sind entscheidende Vorteile.

Isolierte *Freileitungsseile* mit Nennspannung $U_0/U$ ($U_m$): 0,6/1 (1,2) kV für oberirdische Verteilungsnetze nach VDE 0276-626 werden vorwiegend für öffentliche Verteilungsnetze bis 1,2 kV eingesetzt. Die Freileitungsseile werden im Freien an Leitungsmasten fest verlegt, können aber auch an Wänden oder Decken mit oder ohne Zugbeanspruchung verlegt werden. In Erde dürfen isolierte Freileitungsseile nicht verlegt werden.

### 6.2.1 Kabel und Leitungen

In Niederspannungskabelnetzen werden in erster Linie Kunststoffkabel, wie NYY (**Bild 6.2**) bzw. NAYY und NYCWY (**Bild 6.3**) bzw. NAYCWY oder N2XY bzw. NA2XY nach VDE 0276-603, eingesetzt. Für die Verwendung von Niederspannungskabeln (Anwendung, Lagerung, Verlegung) gilt i. Allg. dasselbe wie für Hochspannungskabel (s. Abschn. 6.1.4). Speziell für Niederspannungskabel gilt: Sie dürfen – außer in Erde, Wasser und in Innenräumen in Luft – auch in Beton verlegt werden. Kabel ohne Metallumhüllung sind geeignet für Schutzklasse II („Schutzmaßnahme „Doppelte oder verstärkte Isolierung", frühere Bezeichnung „schutzisoliert"). Der konzentrische Leiter darf als PE-, PEN-Leiter oder als Schirm, aber nicht als Neutralleiter verwendet werden. Der zulässige Biegeradius beim Verlegen muss bei einadrigen Kabeln mindestens dem 15-fachen und bei mehradrigen Kabeln mindestens dem 12-fachen Kabeldurchmesser entsprechen.



***Bild 6.2:*** *Kunststoffisoliertes Kabel NYY (Werkbild: Nexans)*

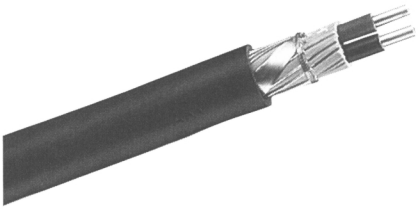


***Bild 6.3:*** *Kunststoffisoliertes Kabel mit konzentrischem Außenleiter NYCWY (Werkbild: Nexans)*

Durch den Einsatz von Kabeln mit isolierendem Außenmantel wurden die Erdungsverhältnisse ungünstiger als bei den früher verwendeten Bleimantelkabeln mit leitender Außenhülle (NKBA, NAKBA). Deshalb sollte beim Verwenden von Kabeln mit isolierendem Außenmantel dadurch Ersatz geschaffen werden, dass die metallenen Verbindungs- und Abzweigmuffen mit dem PEN-Leiter verbunden werden und die Kabelverteilerschränke eigene Erder erhalten.

Der Mindestquerschnitt für die Kabel richtet sich nach der zu erwartenden maximalen Strombelastung. Für die im Erdreich verlegten Kabel ist die Strombelastbarkeit, die sich aus VDE 0276-603 und VDE 0265 zusammen mit VDE 0276-1000 ergibt, aus **Tabelle 6.1** zu ersehen. Die Werte gelten nicht für Dauerlast, sondern für die sog. EVU-Lastkurve. Bei Verlegung in Rohrsystemen wird eine Reduktion der Belastbarkeit mit dem Faktor 0,85 empfohlen.

Bettungs- und Abdeckungsarten, z. B. Abdeckhauben, haben keinen belastbarkeitsmindernden Einfluss.

Auf den Schutz bei Überlast und Kurzschluss darf für die im Erdreich verlegten Kabel verzichtet werden.

***Tabelle 6.1:** Belastbarkeit von Kabeln, Verlegung in Erde*[1)]

| Querschnitt mm² | Belastbarkeit in A | | |
|---|---|---|---|
| | Cu Vierleiter, NYY[2)] | NYKY | Al Vierleiter, NAYY[2)] |
| 10 | 79 | 80 | – |
| 16 | 102 | 103 | – |
| 25 | 133 | 134 | 102 |
| 35 | 159 | 162 | 123 |
| 50 | 188 | 192 | 144 |
| 70 | 232 | 235 | 179 |
| 95 | 280 | 283 | 215 |
| 120 | 318 | 323 | 245 |
| 150 | 359 | 363 | 275 |
| 185 | 406 | 412 | 313 |
| 240 | 473 | 478 | 364 |
| 300 | 535 | 542 | 419 |

1) gemäß VDE 0276-603 bzw. VDE 0265

2) Die Strombelastbarkeit der Kabeltypen NYCWY, NAYCWY sowie NYKY weicht nicht oder nur geringfügig von der der Kabeltypen NYY u. NAYY ab.

Kabel müssen in der Regel durch Ziegel- oder Formsteine zum Schutz gegen Pickel- und Spatenhiebe abgedeckt werden. Werden Ziegelsteine verwendet, sind die Kabel zunächst mit einer etwa 10 cm dicken Schicht, möglichst aus Sand, andernfalls aus steinfreiem Boden, zu bedecken. Die Ziegel werden sodann auf die Sandschicht aufgelegt.

Es gibt Kabelschutzrohre aus PVC von 5…6 m Länge, die zusammengesteckt und mit PVC verklebt worden können. Sie sind gegen aggressive Stoffe im Boden beständig und werden bei Kabelverlegungen durch Bahndämme, unter Flussläufen, in Mooren und Sümpfen sowie für wasserfeste Mauerdurchführungen verwendet.

An den Netzknotenpunkten befinden sich *Kabelverteilerschränke* (**Bild 6.4**) in verschiedenen Baugrößen. Sie sind für 4 bis 10 dreipolige Kabelabzweige gebaut und mit NH-Sicherungsunterteilen für 200 A oder 400 A Bemessungsstrom bestückt. Zu jedem Schrank gehört eine Kabelhalterung, die in den Betonsockel eintaucht.

Die Kabeladern werden meist unmittelbar an den Anschlussstellen der NH-Sicherungsunterteile angeschlossen. Reserve-NH-Schmelzeinsätze, eine Schrankaufbauskizze und Netzpläne sollten im Schrank aufbewahrt werden.

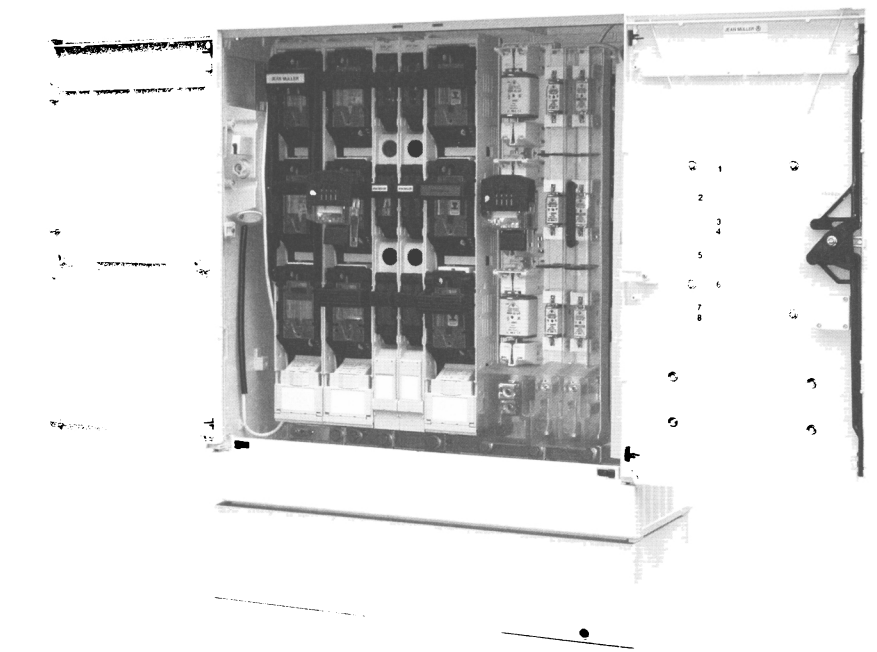


***Bild 6.4:*** *Kabelverteilerschrank (Werkbild: Jean Müller)*

Kabelverteilerschränke (VDE 0660-600-5; Ersatz für VDE 0660-503) sind in den Schutz vor indirektem Berühren einzubeziehen. Da sie aus Isolierstoff, also schutzisoliert, hergestellt werden, ist dies die einfachste Lösung. Bestehen sie aus Stahlblech auf Betonsteinen, so sollten die Abschaltbedingungen nach Abschnitt 5.6 erfüllt werden, andernfalls empfiehlt sich die *Potenzialsteuerung*. Zu diesem Zweck ist ein Bandstahl mit dem Blechkasten zuverlässig zu verbinden und im Zickzack vor dem Verteilerschrank im Erdboden zu verlegen. Das Band muss seitlich etwa 1 m über den Schrank hinausragen und nach vorn sich über etwa 1,5 m erstrecken. Die einzelnen Stufen des Zickzacks haben also etwa 0,5 m Abstand voneinander und werden außerdem vom Schrank weg zunehmend tiefer verlegt. Das Band liegt beim Schrank z. B. 0,5 m tief, während die äußerste Lage etwa 1 m tief verlegt wird. Es gibt „Mini-Kabelverteilerschränke" aus Polyester in Schutzklasse-II-Ausführung, die auch als Hausanschlusskästen für Reihen- und Mehrfamilienhäuser verwendet werden können, da sie bis zu 10 dreipolige Abzweige der Größe 00 aufnehmen. Kunststoff-Fertigfundamente werden mit angeboten.

## 6.2.2 Hausanschlüsse in Freileitungsnetzen

VDE 0100-732, VDE 0211, DIN 18012, NAV[1] und TAB

Der Hausanschluss umfasst die Hausanschlussleitung vom Verteilungsnetz, die Hauseinführungsleitung und den Hausanschlusskasten (**Bild 6.5**).

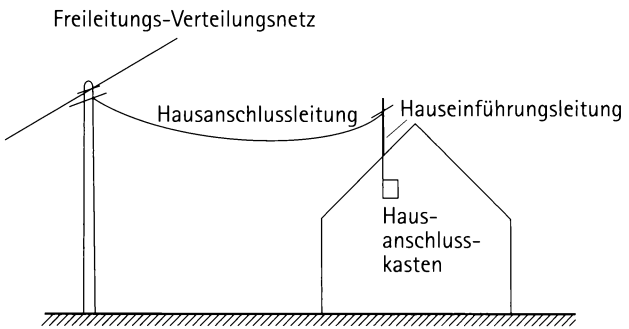



***Bild 6.5:*** *Hausanschluss in Freileitungsnetzen*

### 6.2.2.1 Hausanschlussleitung

Für die Hausanschlussleitung gelten die allgemeinen Anforderungen für Freileitungen nach VDE 0211. Es können je nach Umständen blanke Leiter, isolierte Freileitungsseile oder isolierte Leiter verlegt werden.

1 NAV (Niederspannungsanschlussverordnung)

Sollen isolierte Freileitungsseile auch den Schutz gegen direktes Berühren aktiver Teile bieten, so muss dieser Schutz durch alle Bauteile (z. B. Klemmen) sichergestellt werden.

Blanke Leiter müssen einen gegenseitigen Abstand von mindestens 0,35 m horizontal und 0,5 m vertikal haben. Als Mindestabstände von Bauwerksteilen gelten für blanke Leiter:

- 2,5 m von Balkonen, Flachdächern (Neigung ≤ 15°) u. dgl. nach oben,
- 1,25 m von Fenstern, Balkonen, Laufstegen u. dgl. nach unten und seitlich,
- 0,4 m von Fenster- und Türöffnungen nach oben sowie von Bauteilen der Blitzschutzanlage,
- 1 m von Antennen und Sirenen, wobei abknickende Bauteile der Antenne die Freileitung nicht berühren dürfen. Ein Abknicken des Standrohrs braucht jedoch nicht berücksichtigt zu werden.

Von Bäumen ist ein Abstand von mindestens 0,5 m einzuhalten. Werden die Bäume, z. B. zum Einbringen der Obsternte, bestiegen, müssen die blanken Leiter mindestens 1 m entfernt sein.

Für isolierte Freileitungsseile und isolierte Leiter ist weder ein gegenseitiger Abstand noch einer von Bauwerksteilen vorgeschrieben.

Gegenüber dem freien Gelände müssen isolierte wie blanke Leiter einen Mindestabstand von 5 m aufweisen. Befindet sich die Hausanschlussleitung über nicht unterfahrbarem Gelände, so genügt ein Abstand von 4 m.

#### 6.2.2.2 Hauseinführungsleitung

Die Führung der Hauseinführungsleitung bis zum Hausanschlusskasten wird vom NB festgelegt; Wünsche des Abnehmers werden nach Möglichkeit berücksichtigt.

Je nach der Art des Anschlusses oder der Gestaltung des Hauses wird die Hauseinführungsleitung durch das Dach (Dachständeranschluss) oder durch die Wand (Wandanschluss) bis zu den Klemmen des Hausanschlusskastens geführt.

Der Mindestquerschnitt für Hauseinführungsleitungen oder -kabel in Abhängigkeit von der Leitungsart und der Bemessungsstromstärke der Überstromschutzeinrichtung ist **Tabelle 6.2** zu entnehmen.

*Schutzabstand* liegt vor, wenn die Leitungen so verlegt sind, dass sie auf ihrer gesamten Länge einen gegenseitigen Abstand von mindestens dem Leitungsaußendurchmesser haben.

*Tabelle 6.2: Mindestquerschnitt von Hauseinführungsleitungen und -kabeln und Bemessungsstrom der Überstromschutzeinrichtungen nach VDE 0211:1985-12*

| Bemessungsquerschnitt Cu $mm^2$ | Bemessungsstromstärke der Überstromschutzeinrichtung in A | | |
|---|---|---|---|
| | bei mehradrigen kunststoffisolierten Kabeln und Mantelleitungen | bei kunststoffisolierten Aderleitungen | |
| | | ohne Schutzabstand | mit Schutzabstand |
| 10 | 35 | 50 | 63 |
| 16 | 50 | 63 | 80 |
| 25 | 63 | 80 | 100 |
| 35 | 80 | 100 | 125 |
| 50 | 100 | 125 | 160 |
| 70 | 125 | 160 | 200 |
| 95 | 160 | – | – |

Leitungen, auch isolierte Freileitungsseile und Kabel, müssen so angebracht sein, dass bei einem Lichtbogenkurzschluss das Leitungs- bzw. Kabelstück ausbrennen kann, ohne dass die Gefahr der Ausweitung des Brands besteht. Hauseinführungsleitungen dürfen nicht durch explosionsgefährdete Bereiche geführt werden oder in ihnen münden.

### Wandanschlüsse

Als Hauseinführungsleitung oder -kabel werden bevorzugt verwendet: NYM, NYY, N2XY, NFA2X oder NFYW. Mantelleitungen und Kabel müssen bei Verlegung auf Bauteilen aus brennbaren oder zum Teil brennbaren Baustoffen von diesen durch eine mindestens 300 mm breite lichtbogenfeste Unterlage getrennt sein. Als lichtbogenfeste Unterlage eignet sich eine mindestens 20 mm dicke Fibersilikatplatte.

Werden isolierte Freileitungsseile verwendet, so müssen diese von brennbaren Bauteilen durch isolierende nicht brennbare Abstandsschellen getrennt werden. Der Abstand der Leitungen voneinander und von der Wand muss mindestens 30 mm betragen. Leicht entzündliche Stoffe, z. B. Heu, dürfen nicht in der Nähe der Hauseinführungsleitungen oder -kabel gelagert werden; ggf. ist durch bauliche Maßnahmen, wie durch eine Absperrung, sicherzustellen, dass ein Mindestabstand von 600 mm eingehalten wird.

Wanddurchführungen sind mit Gefälle nach außen auszuführen. Mantelleitungen und Kabel können ohne besonderen Schutz durch eine nicht brennbare Wand geführt werden. Sind Teile der Wand brennbar, z. B. bei Fachwerkwänden, so müssen

die Leitungen und Kabel durch eine nicht brennbare Füllung geführt werden und von den brennbaren Teilen allseits mindestens 20 mm entfernt sein.

Aderleitungen H07 V oder gleichwertige sind einzeln in Rohren aus Kunststoff oder Keramik durch die Wand zu führen. Leitungen der Bauarten NFYW oder NFA2X können gemeinsam durch ein Rohr geführt werden.

Bei brennbaren Wänden sind Aderleitungen einzeln in Elektroinstallationsrohren der Bauart CF bzw. dem entsprechenden Zahlencode (mit elektrischen Leit- und Isolationseigenschaften, Widerstand gegen Flammenausbreitung) oder in Keramikrohren zu führen. Mantelleitungen, Leitungen der Bauarten NFA2X oder NFYW oder gleichwertige sowie Kabel der Bauarten NYY, NAYY oder NA2XY sind lichtbogenfest zu führen. Als lichtbogenfeste Durchführung gelten Rohre, z. B. aus Fibersilikat, Keramik oder Ton, deren Wanddicke mindestens 12 mm beträgt.

**Dachständeranschlüsse**

Bei Dachständeranschlüssen verläuft die Hauseinführungsleitung von den Klemmen der Freileitung bis zu den Klemmen im Hausanschlusskasten.

Die Einführungsleitung wird durch das Dachständerrohr geführt. Der Hausanschlusskasten wird unmittelbar an oder unter dem Dachständerrohr befestigt.

Es dürfen nur folgende Leitungen und Kabel oder gleichwertige Ausführungen verwendet werden:

- Leitungen NFA2X oder NFYW (keine gültige Produktnorm mehr),
- Aderleitungen H07 V,
- Mantelleitungen NYM,
- Kabel NYY und NAYY, N2XY und NA2XY,
- Dachständerleitungen NYDY-J oder NYDY-0.

**Dachständer nach DIN 48175-1 und -2**

Der Hausanschlusskasten in Schutzart IP40 ist am Dachständerrohr angeschellt (**Bild 6.6**). Diese *Normalausführung* wird gewählt,

- wenn die Hauseinführungsleitungen in trockenen, nicht feuergefährdeten Räumen enden,
- wenn dort mit der Bildung von Kondenswasser in größerem Umfang nicht zu rechnen ist,
- wenn außerdem die Dachhaut aus harter Bedachung besteht, z. B. Ziegel.

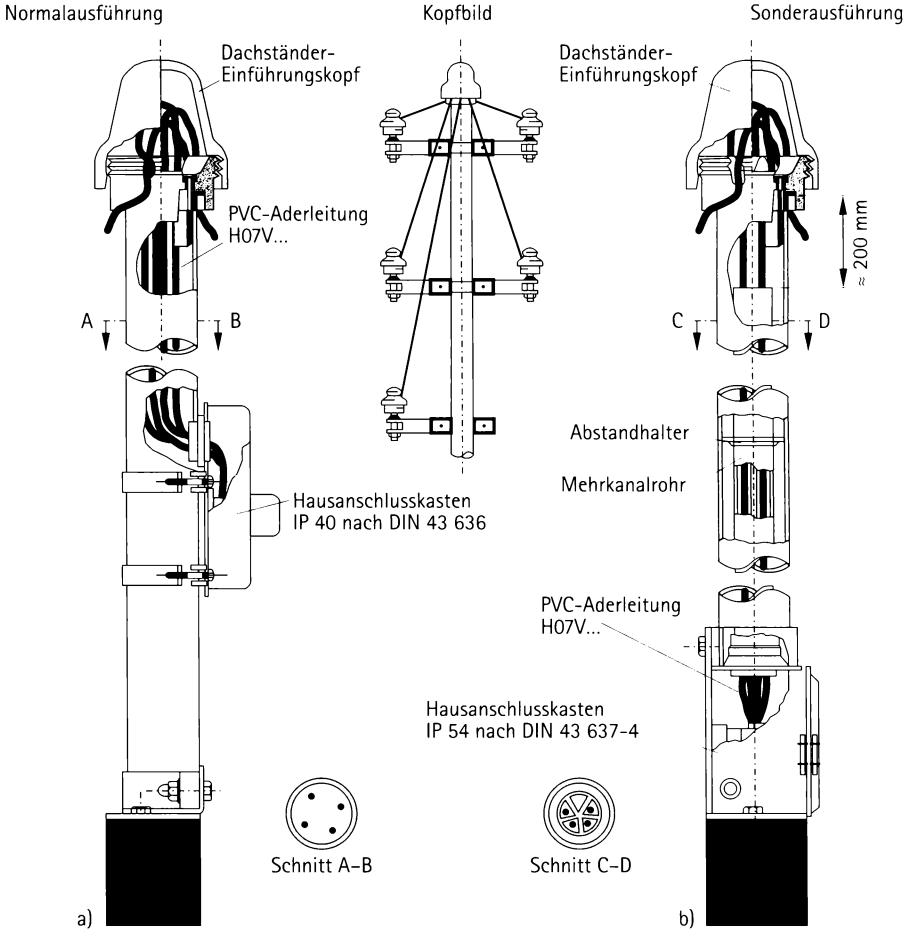



***Bild 6.6:*** *Dachständer-Normalausführung N (a) und Dachständer-Sonderausführung S (b) nach DIN 48175-1 und -2*

Das Dachständerrohr darf oberhalb der Hausanschlusssicherung nicht mehr als eine Balkenbreite an Holz anliegen.

Sind diese Bedingungen nicht zu erfüllen, dann muss ein Dachständer in *Sonderausführung* oder in einer dieser gleichwertigen Bauart gewählt werden. Dachständer und Hausanschlusskasten bilden bei der Sonderausführung „S" immer eine Einheit. Verwendet werden Dachständer der Ausführung S in Getreidemühlen, Holzbearbeitungsbetrieben und in Wohngebäuden mit Heu- und Strohlagern, wenn diese nicht durch eine Brandmauer vom Wohnhaus getrennt sind.

**Schutzmaßnahmen bei Dachständern**

Dachständer und mit diesen leitend verbundene Anlagenteile dürfen weder direkt noch indirekt, z. B. über den PEN-Leiter, geerdet werden, um die Brandgefahr durch Erdschluss zu vermindern. Als Schutzmaßnahme gegen elektrischen Schlag eignet sich die Standortisolierung. In trockenen Räumen kann z. B. ein mit dem Fußboden fest verbundener Holzlattenrost gute Dienste tun. Wird das Dachständerrohr in eine *Blitzschutzanlage* einbezogen, so ist es über eine allseitig geschlossene Funkenstrecke anzuschließen (VDE 0185-305-3 und -4). Andernfalls ist zwischen Freileitungs-Dachständern samt ihren Verankerungen und der Blitzschutzanlage ein Mindestabstand von 1,25 m einzuhalten.

Installations-Dachständer innerhalb der Abnehmeranlage sind dagegen unabhängig vom Abstand über geschlossene Trennfunkenstrecken an eine etwa vorhandene Gebäude-Blitzschutzanlage anzuschließen.

Auf Blechdächern, auf Stahlkonstruktionen oder Stahlbetonkonstruktionen sowie auf wärmegedämmten Dächern mit metallener Dampfsperre sind das Dachständerrohr und der Anker gegen elektrisch leitende Bauteile zu isolieren. Ein Warnschild am Dachständer, das vor einem gleichzeitigen Berühren des Dachständerrohrs und des etwa geerdeten Blechdachs warnt, ist empfehlenswert. Am besten werden derartige Gebäude aus dem Kabelnetz versorgt.

**Mastanschlüsse**

Lässt sich die Verbindungsleitung nicht unmittelbar am Haus abspannen (z. B. bei einem zu niedrigen Haus oder nicht genügend fester Wand), so empfiehlt es sich, einen Wandanschluss über einen Mast vorzusehen. Wenn die Außenwand aus Mauerwerk besteht, kann der Hausanschlusskasten innerhalb des Hauses angebracht werden. Muss die Einführungsleitung durch Holz, z. B. bei Behelfsheimen, Baracken, Holzhäusern, hindurchgeführt werden, so kann der Hausanschlusskasten in Schutzart IP54 an einem Mast außerhalb des Handbereichs angebracht werden.

### 6.2.2.3 Hausanschlusskasten

VDE 0211, DIN 18 012

Der Platz, an dem der Hausanschlusskasten angebracht ist, muss für Kontrollen und zur Auswechslung von Sicherungen ungehindert zugänglich sein. Der Hausanschlusskasten muss in trockenen Innenräumen in der Schutzart IP40, im Freien, in feuchten Räumen sowie in Kellern in der Schutzart IP54 ausgeführt sein. Die entsprechenden Ausführungen sind nach DIN 43636, 43637-4 und 48175-1 u. -2 genormt. Hausanschlusskästen dürfen nicht in feuergefährdeten Räumen oder an feuergefährdeten Stellen angebracht werden, es sei denn, es handelt sich um

die Dachständereinführung in Sonderausführung „S". Zwischen Hausanschlusskasten und brennbaren Unterlagen, wie Holz, ist eine lichtbogenfeste Unterlage anzuordnen, die allseitig mindestens 150 mm überstehen muss. Hiervon ist die Sonderausführung S ausgenommen. Als lichtbogenfest kann z. B. eine 20 mm dicke Fibersilikatplatte angesehen werden.

Nach den TAB und DIN 18012 („Hausanschlusseinrichtungen") dürfen in Räumen, in denen die Funktion der Hausanschlusssicherung durch zu hohe Temperaturen beeinflusst werden kann, grundsätzlich keine Hausanschlusskästen oder Hauptverteiler angebracht werden. Das Verbot gilt auch für feuer- und explosionsgefährdete Bereiche.

Als Schutzmaßnahme gegen elektrischen Schlag ist – wenn nötig – ein Hausanschlusskasten in Schutzklasse II (frühere Bezeichnung: „Schutzisolierung") oder der Schutz durch nicht leitende Räume zu empfehlen. Hausanschlusskästen dürfen weder direkt noch indirekt, z. B. über den PEN-Leiter, geerdet werden. Von ihnen müssen andere Anlagenteile, die in eine solche Schutzmaßnahme einbezogen werden müssen, isoliert werden.

### 6.2.3 Hausanschlüsse in Kabelnetzen

VDE 0100-732

Der Hausanschluss umfasst das Hausanschlusskabel und den dazugehörigen Hausanschlusskasten (**Bild 6.7**).

Das *Hausanschlusskabel* ist die Verbindung zwischen dem Verteilungsnetz und dem Hausanschlusskasten. Der Mindestquerschnitt des Hausanschlusskabels hängt vom Bemessungsstrom der Überstromschutzeinrichtung im Hausanschlusskasten ab. Für die Strombelastbarkeit $I_z$ der Kabel gilt VDE 0276-603 (s. Tabelle 6.2). Unter der Bedingung, dass nur ein kurzes Stück des Hausanschlusskabels im Gebäude

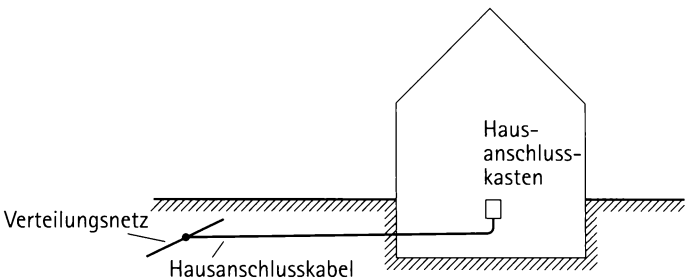



***Bild 6.7:*** *Hausanschluss in Kabelnetzen*

*Tabelle 6.3: Empfohlene Bemessungsströme $I_n$ der Überstromschutzeinrichtungen für Hausanschlusskabel*

| Bemessungs-querschnitt mm² | Bemessungsstrom in A für die Kabeltypen | | | |
|---|---|---|---|---|
| | NYY, NYCWY, NYKY | NAYY, NAYCWY | NA2XY | NKBA |
| 10 | 80 | – | – | 80 |
| 16 | 100 | – | – | 100 |
| 25 | 125 | 100 | 100 | 125 |
| 35 | 160 | 100 | 125 | 160 |
| 50 | 200 | 125 | 160 | 160 |
| 70 | 224 | 160 | 200 | 224 |
| 95 | 250 | 200 | 224 | 250 |
| 120 | 315 | 250 | 250 | 315 |
| 150 | 315 | 250 | 250 | 315 |

verlegt ist, gelten die Werte der **Tabelle 6.3**. Wird das Hausanschlusskabel auf einer Länge von mehr als 6 m in Rohr oder Luft verlegt, so ist der Bemessungsstrom der Überstromschutzeinrichtung um mindestens eine Stufe zu reduzieren.

Hauseinführungen dürfen nicht durch explosionsgefährdete Bereiche geführt werden oder in ihnen münden. Die Art der Einführung muss mit dem Netzbetreiber abgestimmt werden. Das Kabel ist in einem Schutzrohr in das Gebäude einzuführen (s. Bild 6.10). Der Anschlussnehmer muss den Einbau des Schutzrohrs veranlassen. Der Netzbetreiber muss nach TAB für einen wasserdichten Abschluss des Kabels in dem Schutzrohr sorgen. Das Schutzrohr sollte mit einem Gefälle in das Gebäude verlegt werden.

Kabel müssen so verlegt werden, dass bei einem Lichtbogenkurzschluss das Kabelstück ausbrennen kann, ohne dass die Gefahr der Ausbreitung des Brands besteht. Dies ist erfüllt, wenn die Kabel auf nicht brennbaren Gebäudeteilen verlegt werden.

Auf nicht feuerbeständigen Wänden, z. B. Holzwänden oder blechverkleideten Holzwänden, müssen Kabel auf einer mindestens 300 mm breiten lichtbogenfesten Unterlage oder mit einem Luftabstand von mindestens 150 mm auf Halteschellen mit Isolierstoffeinlagen verlegt werden. Als lichtbogenfest kann z. B. eine 20 mm dicke Fibersilikatplatte angesehen werden. Durch eine Unterlage aus Blech ist die Lichtbogenfestigkeit i. Allg. nicht zu erreichen.

*Hausanschlusskästen* müssen an leicht zugänglichen Stellen angebracht werden (**Bild 6.8**). Die Schutzart ist entsprechend der Art des Raums oder der Anbrin-

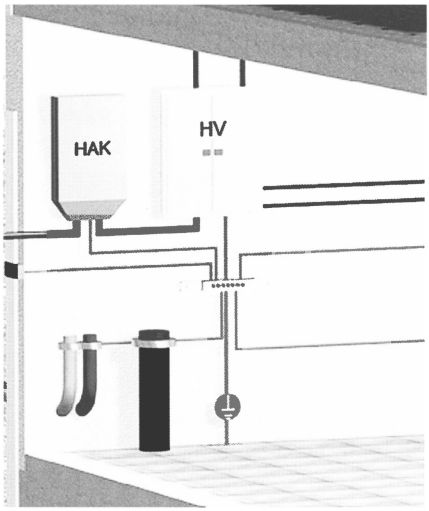



***Bild 6.8:*** *Hausanschlusskasten (HAK) und Hausverteiler (HV) mit Potenzialausgleichsschiene (Quelle: Bettermann) Hausanschlusskästen müssen den Normen der Reihe DIN 43627 und VDE 0660-505 entsprechen.*

gungsstelle auszuwählen. Sie dürfen nicht in feuergefährdeten Räumen oder an feuergefährdeten Stellen angebracht werden. Auf brennbaren Baustoffen, wie Holz, sind sie von diesen durch eine lichtbogenfeste Unterlage zu trennen, die allseitig mindestens 150 mm überstehen muss.

Hausanschlusskästen sind i. Allg. nur für Umgebungstemperaturen bis 30 °C geeignet. Diese Temperaturen werden in Heizungsanlagen von Ein- und Zweifamilienhäusern in der Regel nicht überschritten.

Kabel-Hausanschlusskästen gibt es nach DIN 43627 für NH-Sicherungen Größe 00 bis 100 A 500 V und Größe 1 bis 250 A 500 V sowie nach DIN 43627-3 für Wandeinbau-Kabel-Hausanschlusskästen für NH-Sicherungen Größe 00 bis 100 A 500 V und Größe 1 bis 250 A 500 V. Zu empfehlen sind NH-Sicherungsunterteile der Größen 00 und 0.

### 6.2.4 Hausanschlussbereiche

TAB, DIN 18012, DIN 18015-1

Die Übergabestellen des Hausanschlusses – die Hausanschlusseinrichtungen – werden üblicherweise in Gebäuden untergebracht, können aber auch außerhalb von Gebäuden angebracht werden. Innerhalb von Gebäuden sind die Einrichtungen in besonderen Räumen, den *Hausanschlussräumen*, auf Wänden (*Hausanschlusswände*) oder in Nischen (*Hausanschlussnischen*) unterzubringen. In Gebäuden mit mehr als fünf Nutzungseinheiten sind Hausanschlussräume zwingend erforderlich; auch

bei weniger Nutzungseinheiten können natürlich separate Räume dafür genutzt werden. Bei bis zu fünf Nutzungseinheiten können Hausanschlusswände genutzt werden. Für nicht unterkellerte Einfamilienhäuser können Hausanschlussnischen eingerichtet werden. Im Hausanschlussraum, an der Hausanschlusswand und in der Hauptanschlussnische sind die Anschlussfahne des Fundamenterders und die Haupterdungsschiene (bisher auch Potenzialausgleichsschiene genannt) für den Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene (früher Hauptpotenzialausgleich genannt) anzuordnen (s. Abschn. 5.6.10).

Vor den Anschluss- und evtl. vorhandenen Zählerplätzen muss ein Bedienungs- und Arbeitsbereich mit einer Tiefe von mindestens 1,2 m vorhanden sein. Die Breite muss die Anschluss- und Betriebseinrichtungen seitlich mindestens um 0,3 m überragen. Bei unter der Decke geführten Leitungen darf eine freie Durchgangshöhe von 1,8 m nicht unterschritten werden.

Beim Anbringen des Hausanschlusskastens mit den Hausanschlusssicherungen an Hausanschlusswänden und in Hausanschlussnischen müssen folgende Maße eingehalten werden:

- Höhe Oberkante über Fußboden: ≤ 1,5 m,
- Höhe Unterkante über Fußboden: ≥ 0,3 m,
- Abstand zu seitlichen Wänden: ≥ 0,3 m.

Nach der ganz neu im Juli 2015 in Kraft getretenen Norm DIN 18015-5 mit dem Untertitel „Luftdichte und wärmebrückenfreie Elektroinstallation" ist zu beachten, dass bei der Einführung von Kabeln und Leitungen, die dem Anschluss des Gebäudes nach DIN 18012 (Hausanschlusseinrichtungen) dienen, im Sinne der Luftdichtheit die Anzahl der Durchdringungen zu minimieren ist, z. B. durch Anwenden einer Mehrspartendurchführung wie für die elektrische Energieversorgung, Anlagen der Informations- und Kommunikationstechnik (IuK), Hauskommunikationsanlagen, sonstige Melde- und Informationsverarbeitungsanlagen, Anlagen der Rundfunk- und Kommunikationstechnik (RuK).

**Hausanschlussraum**

Hausanschlussräume (**Bild 6.9**) müssen an der Gebäudeaußenwand liegen, durch die die Anschlussleitungen geführt werden und über allgemein zugängliche Räume wie Treppenraum, Kellergang oder direkt von außen zugänglich sein. Ein Hausanschlussraum darf nicht als Durchgang zu weiteren Räumen dienen. Mindestmaße eines Hausanschlussraums können Bild 6.9 entnommen werden. Die in Bild 6.9 angegebene Mindestbreite kann bei Belegung nur einer Wand von 1,8 m auf 1,5 m verringert werden.

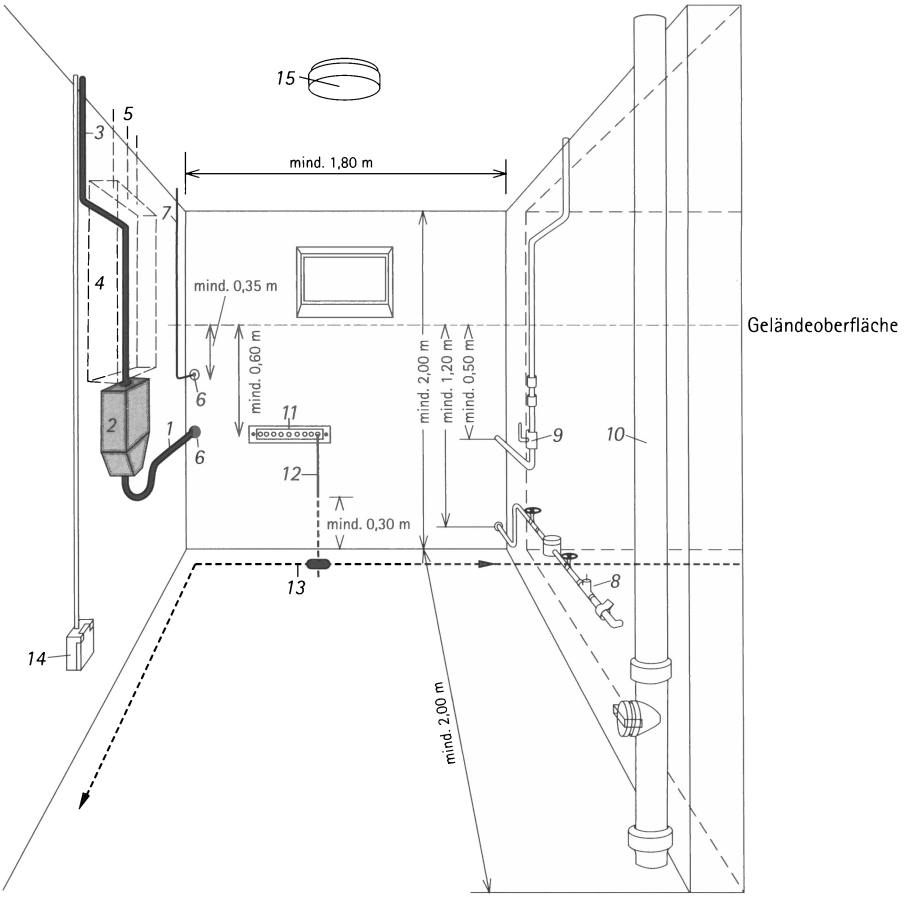



***Bild 6.9:*** *Hausanschlussraum*
*1* Hauseinführungsleitung für Starkstrom; *2* Starkstrom-Hausanschlusskasten mit Hausanschlusssicherungen; *3* Starkstrom-Hauptleitung; *4* ggf. Zählerplätze; *5* Starkstrom-Ableitungen zu Stromkreisverteilern; *6* Kabelschutzrohr; *7* Hausanschlussleitung für Fernmeldeanlage; *8* Hausanschlussleitung für Wasserversorgung mit Wasserzählanlage; *9* Hausanschlussleitung für Gasversorgung mit Hauptabsperreinrichtung; *10* Entwässerung; *11* Haupterdungsschiene (Potenzialausgleichsschiene); *12* Anschlussfahne; *13* Fundamenterder; *14* Steckdose; *15* Leuchte

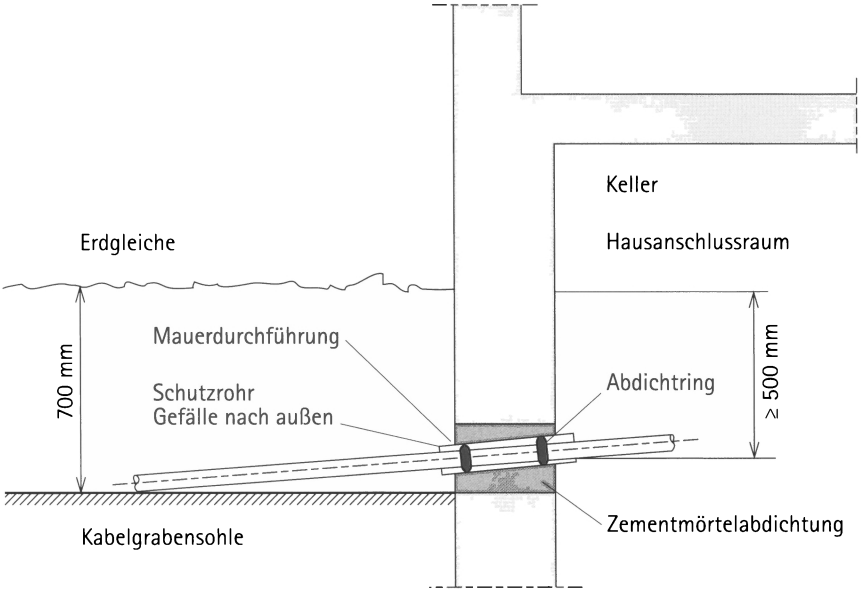



***Bild 6.10:*** *Wasserdichte Kabeleinführung*

Die Breite der Tür darf 0,875 m und die Höhe der Tür 2,00 m nicht unterschreiten. Die Türen müssen DIN 18100 entsprechen und verschließbar sein. Der Zugang ist mit der Bezeichnung „Hausanschlussraum" kenntlich zu machen. Die Raumtemperatur von Hausanschlussräumen darf 30 °C nicht überschreiten. Im Hausanschlussraum müssen mindestens ein Beleuchtungsanschluss mit Schalter an der Tür sowie eine Schutzkontaktsteckdose vorhanden sein.

Anschluss- und Betriebseinrichtungen für die Strom, Wasser-, Gas- und Fernwärmeversorgung können unter bestimmten Bedingungen (s. DIN 18012) gemeinsam auf einer Wand angeordnet werden.

In der Gebäudeaußenwand sind zur Leitungseinführung Schutzrohre vorzusehen (**Bild 6.10**). Folgende Tiefen unter der Gebäudeoberfläche sollen bei unterirdischer Einführung in den Hausanschlussraum eingehalten werden:

- Starkstromversorgung: 0,60…0,8 m,
- Fernmeldeversorgung: 0,35…0,6 m.

### Hausanschlusswand

Die Hausanschlusswand ist eine Wand in einem Raum des Gebäudes, an der der Hauptanschlusskasten für Strom, die Hauptabsperreinrichtungen für Wasser und

Gas, die letzte Reinigungsöffnung der Entwässerungsleitung vor dem Anschlusskanal, die Anschlusspunkte der allgemeinen Netze von Telekommunikationsanlagen sowie u. U. die Übergabestelle einer Fernwärmeversorgung und alle dazugehörigen Leitungen angeordnet werden, ggf. auch noch nachgeordnete technische Einrichtungen zu diesen Versorgungseinrichtungen. Der Raum mit einer Hauanschlusswand muss über allgemein zugängliche Räume, z. B. Treppenraum, Kellergang, oder direkt von außen erreichbar sein. Die Wand muss in Verbindung mit einer Außenwand stehen, durch die die Anschlussleitungen geführt werden. Auch der Raum der Hausanschlusswand muss eine fest installierte Beleuchtung mit Schalter an der Tür sowie eine Schutzkontaktsteckdose haben. Die Hausanschlusswand muss über die gesamte Wandfläche ≥ 2,0 m hoch sein.

**Hausanschlussnische**

Die Hausanschlussnische ist eine mit einer Tür abschließbare Nische, in die die verschiedenen Versorgungsleitungen eingeführt werden und in der, wie bei der Wand, die genannten Anschluss- und ggf. technischen Einrichtungen angeordnet werden. Für die Anschlussleitungen sind Schutzrohre vorzusehen, die so zu verlegen sind, dass die Hausanschlussleitungen senkrecht in die Nische eingeführt werden können. Da die Hausanschlussnische durch eine Tür zu verschließen ist, ergibt sich die Höhe der Nische automatisch. Ihre Breite muss mindestens 875 mm, ihre Tiefe mindestens 250 mm betragen.

Hausanschlusseinrichtungen außerhalb von Gebäuden können in Abstimmung mit dem Netzbetreiber oder dem Versorgungsunternehmen eingerichtet werden.

### 6.2.5 Hauptstromversorgungssysteme

TAB, DIN 18015-1

Hauptstromversorgungssysteme umfassen alle Hauptleitungen und Betriebsmittel hinter der Übergabestelle (Hausanschlusskasten) des NBs (früher: EVU), die nicht gemessene elektrische Energie führen. Die Hauptstromversorgungssysteme sind als Strahlennetz aufzubauen. Bei mehreren Hauptleitungen in einem Gebäude sind die zugehörigen Sicherungen in Hauptverteilern zusammenzufassen (**Bild 6.11**).

Im Hauptverteiler sind die einzelnen Abgänge so zu kennzeichnen, dass ihre Zugehörigkeit zur jeweiligen Kundenanlage eindeutig erkennbar ist. Ein Übersichtsplan in einpoliger Darstellung ist beim Hauptverteiler auszuhängen. Bei der Planung und Errichtung der elektrischen Anlagen sind die jeweils geltenden TABs des zuständigen NBs zu Grunde zu legen.

Als *Hauptleitung* bezeichnet man die Verbindungsleitung zwischen dem Hausanschlusskasten (Übergabestelle des NB) und der Zähleranlage eines Gebäudes.

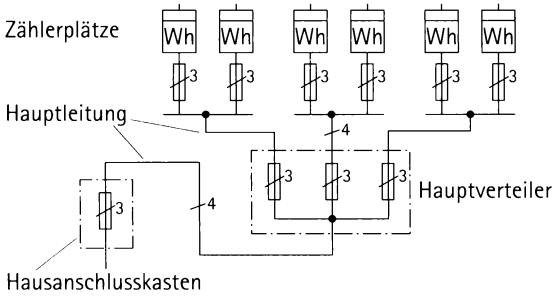



***Bild 6.11:*** *Hauptstromversorgungssystem mit Hauptverteiler*

Eine Hauptleitung wird auch als *Steigleitung* bezeichnet, wenn sie als Zuleitung für mehrere auf verschiedene Stockwerke verteilte Zählergruppen dient. Der Begriff Steigleitung ist allerdings im Zusammenhang mit der Elektrotechnik kein genormter Begriff, auch kein Begriff aus den TAB.

Querschnitt, Art und Anzahl der Hauptleitungen sind in Abhängigkeit von der Anzahl der anzuschließenden Kundenanlagen und dem zu erwartenden Elektrifizierungsgrad festzulegen und mit dem NB abzustimmen.

Die Hauptleitungen sind als Drehstromleitungen auszuführen. Im Allgemeinen verwendet man NYM-Leitungen oder NYY/NYCY-Kabel. In TN-Systemen können wahlweise 4- oder 5-adrige Leitungen verwendet werden, je nachdem ob ein PEN-Leiter oder ob getrennte Schutzleiter (PE) und Neutralleiter (N) bevorzugt werden. Manche NBs untersagen, den Schutzleiter (PE) in dem System der Drehstromleitung mitzuführen. In TT-Systemen ist dies der Regelfall. Daher dürfen in TT-Systemen nur 4-adrige Hauptleitungen ohne grün-gelbe Ader verwendet werden; der Schutzleiter ist separat zu verlegen.

5-adrige Hauptleitungen werden in TT-Systemen nur in Ausnahmefällen erlaubt. Voraussetzung ist, dass die Leitungen in ihrem ganzen Verlauf kurzschlusssicher verlegt und dass alle eingebundenen Betriebsmittel (Hausanschlusskasten, Klemmenkasten) Geräte der Schutzklasse II (Schutzmaßnahme „Doppelte oder verstärkte Isolierung"; frühere Bezeichnung schutzisoliert) sind. Kurzschlusssicher ist eine mehradrige Mantelleitung dann, wenn sie zugänglich und gegen mechanische Beschädigung geschützt verlegt ist.

Die Hauptleitungen sind in neutrale, leicht zugängliche Räume zu legen. Sie sollten nicht in gemeinsamen Kanälen und Schächten mit anderen Rohrleitungen, z. B. Wasser und Heizungsleitungen, verlegt werden. Bei Freileitungsanschlüssen ist vom Ende jeder Hauptleitung ein Leerrohr von mindestens 36 mm lichter Weite bis in den Keller zu führen, um später die Anlage auch über Kabelanschluss versorgen

zu können. Nach der NAV (früher: AVBEltV) darf in den Leitungen zwischen dem Ende des Hausanschlusses und dem Zähler (Messeinrichtung) der Spannungsfall unter Zugrundelegung des Bemessungsstroms der vorgeschalteten Sicherung 0,5 % nicht überschreiten. Bei einem Leistungsbedarf von mehr als 100 kVA ist aber nach den TAB ein höherer Spannungsfall zulässig (**Tabelle 6.4**).

Für *Hauptleitungen in Wohngebäuden* ist zudem DIN 18015-1 zu beachten. Hauptleitungen sind danach von der Kellerdecke ab in Schächten, Rohren, Kanälen oder unter Putz zu verlegen. Für mehrere Hauptleitungen ist das Breitenmaß entsprechend zu vergrößern.

***Tabelle 6.4:*** *Zulässiger Spannungsfall nach TAB*

| **Leistungsbedarf des Gebäudes kVA** | **maximaler Spannungsfall %** |
|---|---|
| 100...250 | 1,00 |
| 250...400 | 1,25 |
| > 400 | 1,50 |

***Tabelle 6.5:*** *Hauptleitungen in Wohngebäuden ohne Elektroheizung*

| **Anzahl der Wohnungen** | **mit** | | **ohne** | |
|---|---|---|---|---|
| | **elektrischer Warmwasserbereitung für Bade- und Duschzwecke** | | | |
| | **Bemessungsstrom der Sicherungen** | **Leiterquerschnitt Cu Gruppe C** | **Bemessungsstrom der Sicherungen** | **Leiterquerschnitt Cu Gruppe C** |
| | **A** | **mm²** | **A** | **mm²** |
| 1 | 63 | 16 | 63 | 16 |
| 2 | 80 | 25 | 63 | 16 |
| 3 | 100 | 35 | 63 | 16 |
| 4–5 | 125 | 50 | 63 | 16 |
| 6–10 | 160 | 70 | 80 | 25 |
| 11 | 160 | 70 | 100 | 35 |
| 12–19 | 200 | 95 | 100 | 35 |
| 20–21 | 200 | 95 | 125 | 50 |
| 22–36 | 250 | 120 | 125 | 50 |
| 37–47 | 250 | 120 | 160 | 70 |
| 48–100 | 315 | 185 | 160 | 70 |

Die Leiterquerschnitte sind so zu bemessen, dass sie mindestens mit den in der **Tabelle 6.5** enthaltenen Stromwerten belastbar sind. Die zugeordneten Mindestquerschnitte gelten für einzeln unter oder auf Putz verlegte Kabel und Leitungen und Verwendung von gL-Sicherungen mit $I_f > 1{,}45 \cdot I_z$ und für eine Umgebungstemperatur von 25 °C.

Die Werte der Strombelastbarkeit mit elektrischer Warmwasserbereitung sind immer dann anzuwenden, wenn die elektrische Warmwasserbereitung für Bade- und Duschzwecke in den Wohnungen erfolgt. In Gebäuden mit zwei und mehr Wohnungen, in denen die elektrische Warmwasserbereitung zentral für alle Wohnungen vorgenommen wird, gelten die Werte ohne elektrische Warmwasserbereitung der Tabelle 6.5. Allerdings muss diesen Werten der Anschlusswert der zentralen Warmwasserbereitung hinzugerechnet werden. Bei Gebäuden mit Elektroheizung sind die Hauptleitungen in Abstimmung mit dem NB zu dimensionieren.

Bei hohem Leistungsbedarf eignen sich einadrige Kabel als Hauptleitung. Der Abstand der einzelnen Kabel voneinander sollte 6 cm betragen und der Schellenabstand längs der Kabel 70 cm nicht überschreiten. Die Befestigungsschellen müssen aus unmagnetischem Material bestehen, und bei Wand- und Deckendurchführungen müssen nichtmetallene Schutzrohre verwendet werden. Zum Abzweig je Geschoss gibt es Isolierstoff-Schutzgehäuse mit Hauptleitungs-Abzweigklemmen und angeflanschten NH-Sicherungs-Lasttrennern. Die Kabel können ungeschnitten von vorn eingelegt werden.

Für die *Hauptleitungsabzweige* von der Hauptleitung bis zur Messeinrichtung sind Leitungstypen, Querschnitt und Aderzahl wie bei den Hauptleitungen zu verwenden. Nach VDE 0603-2 dürfen Hauptabzweigklemmen als Einzelklemme oder mehrpolig als Klemmenleiste ausgeführt sein. Sie müssen Befestigungsvorrichtungen haben und dürfen nur mit Werkzeug lösbar sein. Die Klemmen müssen getrennte Klemmstellen für eine Hauptleitung und für jede Abzweigleitung haben, wobei die Klemmstelle für die Hauptleitung auch für das Klemmen zweier Leiter eingerichtet sein muss. Genormt sind Klemmen für die Bemessungsquerschnitte 25 $mm^2$, 35 $mm^2$ und 70 $mm^2$.

Für Verbindungen und Abzweige von den Hauptleitungen sind *Hauptleitungsabzweigkästen* nach VDE 0603-2 mit je zwei Klemmschrauben für Hauptleitung und Hauptleitungsabzweige zu verwenden. Für diesen Zweck können auch Zählereinbauklemmen benutzt werden, die den gleichen Bestimmungen genügen müssen. Es ist anzustreben, die Hauptleitung ungeschnitten durch die Abzweigkästen hindurchzuführen. Hauptleitungsabzweigkästen für Unterputzanordnung sind in der Mindestgröße 200 mm × 200 mm mit Putzausgleichsdeckel vorzusehen. Bei Hauptleitungen NYM 5 × 16 $mm^2$ Cu müssen sie einen 5-poligen Reihenklemmstein in NB-Ausführung enthalten.

### 6.2.6 Zähler und Steuergeräte

DIN 18 013, VDE-AR-N 4101

Der NB bestimmt den *Zählerplatz* sowie Art, Anzahl und Größe der Zähler. Zu wählen sind leicht und jederzeit zugängliche Räume, wie Hausanschlussräume, besondere Zählerräume, Treppenräume (in Nischen), Vorräume von Gewerbebetrieben und landwirtschaftlichen Anwesen. Dachböden, Wohnräume, Küchen, Toiletten, Bade- und Waschräume, feuchte Keller, Garagen, Öllager, Stellen mit Umgebungstemperaturen über 30 °C, Heizungsräume, Betriebsräume, feuer- oder explosionsgefährdete Stellen u. dgl. sind nicht geeignet.

Die Messeinrichtungen und Steuergeräte müssen gegen Feuchtigkeit, Verschmutzung, Erschütterung und mechanische Beschädigung geschützt sein.

Bei Wochenendhäusern und ähnlichen, nur zeitweise benutzten Einzelgebäuden können die Zähler im Freien in einem *Zähleranschlussschrank* der Schutzart IP44 ohne Fenster angebracht werden. Für die Messeinrichtungen in diesem Schrank ist ein Gehäuse in der Schutzart IP54 mit Klarsichtdeckel vorzusehen, d. h., mindestens die Zählerfelder der Zählerplätze müssen in der Schutzart IP54 ausgeführt sein.

Für jede Kundenanlage ist mindestens ein *Zählerfeld* vorzusehen. Ein zweites Zählerfeld ist grundsätzlich erforderlich, wenn eine Elektroheizungsanlage eingebaut oder ein Gewerbe- und/oder Landwirtschaftsbetrieb angeschlossen werden soll.

Gemeinschaftsanlagen, wie die Beleuchtung für Treppenhaus, Keller, Dachboden und vielleicht auch die Waschanlage, erhalten einen besonderen Zähler. Der Abstand vom Fußboden bis zur Mitte des Zählers soll nicht weniger als 1,10 m und nicht mehr als 1,85 m betragen. Die Plätze für Messeinrichtungen und Steuergeräte sind dauerhaft so zu kennzeichnen, dass die Zuordnung zu der jeweiligen Abnehmeranlage eindeutig ersichtlich ist.

Für die Unterbringung der Zähler sind *Zählerschränke* zu verwenden. Diese müssen DIN 43870-1 und VDE 0603-1 entsprechen. Im unteren Anschlussraum des Zählerschrankes sollten Sammelschienen und je Zähler Überstromschutzeinrichtungen mit strombegrenzender Eigenschaft vorgesehen werden. Die Selektivität zu den nachgeschalteten Überstromschutzeinrichtungen ist zu gewährleisten.

Im oberen Anschlussraum sollten zum Freischalten der Stromkreisverteiler je Zählerfeld ein 3-poliger, in TT-Systemen ein 4-poliger Hauptschalter vorhanden sein. Näheres regeln die NBs in ihren TAB. Nach VDE 0603-1 müssen Zählerschränke in Schutzklasse II (Schutzmaßnahme „Doppelte oder verstärkte Isolierung"; frühere Bezeichnung schutzisoliert) ausgeführt sein. Die Möglichkeit zum Einbau eines Steuergeräts (Rundsteuerempfänger, Schaltuhr) ist zu berücksichtigen. In Mehrfamilienhäusern ist der Platz für das Steuergerät bei der Messeinrichtung für die Gemeinschaftsanlagen vorzusehen.

Gemäß DIN 18015-1 ist die *Verbindungsleitung zwischen Zählerplatz und Stromkreisverteiler* als Drehstromleitung für eine Belastung von mindestens 63 A auszulegen (Mehraderleitungen oder -kabel). Der Querschnitt ist je nach Spannungsfall, Elektrifizierungsgrad, Häufung gegebenenfalls zu erhöhen. Die Verbindungsleitung sollte im TN-System 4- oder besser 5-adrig gewählt werden. Soweit aus praktischen Gründen nicht sowieso schon geplant, sollte im TT-System der Schutzleiter bis zur Fehlerstromschutzeinrichtung getrennt verlegt werden. In der Norm DIN 18015-1 ist zur Information ein Beispiel für den Aufbau der Elektroinstallation zum Laden von Elektrostraßenfahrzeugen dargestellt.

In der vom Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN) herausgegebenen VDE-Anwendungsregel VDE-AR-N 4101:2015-09 „Anforderungen an Zählerplätze ...“ werden Mindestanforderungen an Zählerplätze mit direkter Messung bis 63 A Betriebsstrom gestellt. Die AR gilt für Bezugsanlagen und in Verbindung mit VDE-AR-N 4105 „Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz ...“ auch für Erzeugungsanlagen. In der neuen VDE-AR sind auch Anwendungen aus den Bereichen Energieeffizienz, dezentrale Energieerzeugung, Elektromobilität und Energiespeicherung berücksichtigt.

## 6.3 Netzrückwirkungen

VDE 0838-1 bis -3 und -11 und TAB

Entsprechend der NAV (bisher: AVBEltV) sind die elektrischen Anlagen und Verbrauchsgeräte so zu betreiben, dass Störungen anderer Anschlussnehmer oder -nutzer und störende Rückwirkungen auf Einrichtungen des Netzbetreibers oder Dritter ausgeschlossen sind. Weiter sind Erweiterungen und Änderungen von Anlagen sowie die Verwendung zusätzlicher Verbrauchsgeräte dem Netzbetreiber mitzuteilen, soweit dadurch mit Netzrückwirkungen zu rechnen ist. Auch beim Betreiben einer Eigenanlage hat der Anschlussnehmer oder -nutzer durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen, dass von seiner Eigenanlage keine schädlichen Rückwirkungen in das Elektrizitätsversorgungsnetz möglich sind. Eigenanlagen sind Anlagen zur Erzeugung von elektrischer Energie zur Deckung des Eigenbedarfs, die nicht von Energieversorgungsunternehmen betrieben werden, Netzrückwirkungen treten vornehmlich als Überlagerung von *Oberschwingungsspannungen*, als *Spannungsänderungen* oder als *Unsymmetrien* der Spannung im Drehstromnetz auf. Sie ergeben sich aus dem Betrieb von Stromrichtern, anlaufenden Motoren, Schweißmaschinen und Lichtbogenöfen sowie anderen nichtlinearen elektrischen Verbrauchern, die heute zum Alltagsleben gehören wie Schaltnetzteile in EDV-Geräten, Geräte der Unterhaltungselektronik, Kommunikationseinrichtungen, Kopiergeräte, Energiesparlampen, elektronische Vorschaltgeräte in Leuchten und

Lichtregelanlagen, Dimmergeräte. Die Folge davon können sein: Störungen der EDV- und Telekommunikationseinrichtungen, Helligkeitsschwankungen von Lampen, sog. Flicker, zusätzliche Erwärmung von Transformatoren, Sperrdrosseln, Kondensatoren und Motoren.

Die TAB regeln für die an das Niederspannungsnetz des NB angeschlossene Anlage, bei welchen Geräten Maßnahmen gegen Netzrückwirkungen mit dem NB zu vereinbaren sind. Dies gilt für

- unkompensierte Entladungslampen > 250 W Gesamtleistung je Außenleiter,
- kompensierte Entladungslampen > 5 kVA; $\cos \varphi_1 < 0{,}9$ kap. und < 0,9 ind.,
- Wechselstrommotoren mit gelegentlichem Anlauf > 1,7 kVA Scheinleistung,
- Drehstrommotoren mit gelegentlichem Anlauf > 5,2 kVA Scheinleistung,
- Motoren mit gelegentlichem Anlauf > 60 A Anzugsstrom,
- Motoren, die Netzrückwirkungen, z. B. durch Schweranlauf, häufiges Schalten, verursachen können (z. B. Aufzüge, Sägegatter und Cutter), mit > 30 A Anzugsstrom,
- Schweißgeräte > 2 kVA, $\cos \varphi < 0{,}7$ ind.,
- einphasige Röntgengeräte, Tomografen u. Ä. > 1,7 kVA,
- dreiphasige Röntgengeräte, Tomografen u. Ä. > 5,0 kVA,
- symmetrische Anschnittsteuerung für Glühlampen > 1,7 kW Anschlussleistung je Außenleiter,
- symmetrische Anschnittsteuerung für Entladungslampen und Motoren > 3,4 kVA Anschlussleistung je Außenleiter,
- unsymmetrische Gleichrichtung für Wärmegeräte > 100 W Anschlussleistung je Außenleiter,
- symmetrische Anschnittsteuerung für Wärmegeräte > 200 W Anschlussleistung je Außenleiter,
- dreiphasig angeschlossene Kopiergeräte, einphasige Trommelheizung > 4 kVA,
- dreiphasig angeschlossene Kopiergeräte, dreiphasige Trommelheizung > 7 kVA.

Die durch Stromrichter erzeugten Oberschwingungsströme können erheblich verstärkt werden, wenn die zur Kompensation installierten Leistungskondensatoren mit dem einspeisenden Transformator einen *Schwingkreis* bilden und es zu Resonanzen kommt. Um diesen physikalischen Effekt zu vermeiden, muss dem Kondensator eine Drossel vorgeschaltet werden. Sie ist so auszulegen, dass ein Reihenschwingkreis mit einer Resonanzfrequenz von etwa 210 Hz entsteht. Diese Frequenz liegt in Netzen mit Tonfrequenz-Rundsteueranlagen außerhalb des Bereichs der Tonfrequenz (in der Regel 175 Hz und 190 Hz).

Tonfrequenz-Rundsteueranlagen ermöglichen dem NB das Fernschalten von Verbrauchern über eine Tonfrequenz und ersetzen so die früher üblichen Schaltuhren. Die von einer Zentrale ausgesendete Tonfrequenz wird über die Energieversorgungsleitungen übertragen und in der Kundenanlage von einem Tonfrequenz-Rundsteuerempfänger decodiert.

Abnehmeranlagen dürfen den Betrieb von Tonfrequenz-Rundsteueranlagen nicht beeinträchtigen. Das gilt insbesondere für Anlagen, die Oberschwingungen erzeugen.

Anlagen, die aus dem Mittelspannungsnetz versorgt werden, bedürfen in der Regel einer Beurteilung durch den NB, wenn die oberschwingungserzeugenden Stromrichterlasten das Mittelspannungsnetz belasten ([5] 2.4.4).

## 6.4 Niederspannungs-Stromerzeugungsanlagen

VDE 0100-551, VDE-AR-N 4105, VDEW/VDN-Richtlinien, s. auch Abschn. 11.1

### 6.4.1 Allgemeine Anforderungen an Stromerzeugungsanlagen

Niederspannungs-Stromerzeugungsanlagen finden sich meist dort, wo wichtige Verbraucheranlagen oder einzelne Verbrauchsmittel nach Ausfall der normalen Stromversorgung weiterversorgt werden müssen. Daneben kann eine Stromerzeugungsanlage erforderlich sein, wenn eine öffentliche Stromversorgung mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand nicht zur Verfügung gestellt werden kann, z. B. bei einzelnen mobilen Verbrauchsmitteln, auf Baustellen oder in abgelegenen Gebäuden oder Anlagen. Für die Nutzung regenerativer Energiearten (Wasserkraft, Sonne (Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen)), Windkraft, biologische Energieträger) werden Stromerzeugungsanlagen benötigt, die ins Netz speisen. Blockheizkraftwerke (BHKW), in denen Wärmekraftmaschinen Generatoren antreiben, speisen ebenfalls elektrische Energie ins Netz und nutzen gleichzeitig die Abwärme. Zu den Erzeugungsanlagen elektrischer Energie neuerer Art zählen auch Brennstoffzellenanlagen. Man unterscheidet zwischen

- Anlagen, die nicht an das Netz angeschlossen sind (*Inselbetrieb*),
- Anlagen, die als Alternative zum Netz dienen (*Ersatzstromversorgung*), und
- Anlagen, die parallel zum Netz betrieben werden (*Netzparallelbetrieb*).

Kombinationen dieser Betriebsweisen sind möglich. Für diese Stromerzeugungsanlagen ist VDE 0100-551 zu beachten. Der früher gültige Teil 728 galt nur für netzunabhängige Ersatzstromversorgungsanlagen, die der zeitweiligen Eigenversorgung, d. h. der elektrischen Energieversorgung bei Nichtvorhandensein einer normalen Stromversorgung, dienen.

Dient die Stromerzeugungsanlage der Sicherstellung der elektrischen Energieversorgung bei Aussetzen der öffentlichen Versorgung, so ist darüber hinaus die VDE-Anwendungsrichtlinie VDE-AR-N 4105:2011-08 „Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz – Technische Mindestanforderungen für den Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz" zu beachten. Die VDEW-/VDN-Richtlinie „Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz", die von dieser VDE-AR-N 4105:2011-08 ersetzt wurde, durfte für Photovoltaikanlagen noch bis zum 01.01.2012 und für alle anderen Erzeugungsanlagen noch bis zum 01.07.2012 angewendet werden. Für bestehende Erzeugungseinheiten gilt natürlich Bestandsschutz. Für Stromerzeugungsanlagen, die elektrische Anlagen für Sicherheitszwecke, z. B. baurechtlich notwendige Sicherheitseinrichtungen, versorgen, gilt Kapitel 12 (Elektrische Anlagen für Sicherheitszwecke).

Im Gegensatz zu den Anforderungen nach Abschnitt 12.1 werden die hier behandelten Stromerzeugungsanlagen nicht aus Gründen der Sicherheit von Personen zur Verfügung gehalten. Deshalb enthält VDE 0100-551 auch nur Anforderungen, die den sicheren Betrieb der Anlage im Hinblick auf Personengefährdung durch den Betrieb der Anlage selbst zum Inhalt haben; Anforderungen an den sicheren Betrieb der Anlage im Hinblick auf hohe Verfügbarkeit werden nicht gestellt. Im Interesse des Anlagenbetreibers sollten jedoch auch hier die Anforderungen nach Abschnitt 12.1 hinsichtlich der Erhöhung der Verfügbarkeit zumindest teilweise beachtet werden.

Bei einer Stromerzeugungsanlage, die rein im Inselbetrieb, also nicht als Ersatzstromversorgung oder im Netzparallelbetrieb, gefahren wird, müssen das Leistungsvermögen und die Betriebseigenschaften (Spannung, Frequenz) sicherstellen, dass keine Gefährdung oder Beschädigung der Betriebsmittel eintritt; evtl. sind Einrichtungen vorzusehen, die Anlagenteile bei Abweichungen vom Toleranzbereich automatisch abschalten.

Als *Energiequellen* von Stromerzeugungsanlagen werden u. a. Verbrennungsmotoren, z. B. Dieselmotoren oder Gasturbinen, und Wasserturbinen verwendet, bei geringerer Leistung auch Akkumulatoren und fotovoltaische Zellen. Je nach Anforderung geschieht dies in Verbindung mit Wechselrichtern oder Umformern (USV-Anlagen).

An die *Auswahl* und die *Aufstellung* von Stromerzeugungsanlagen, die der Sicherstellung des Elektrizitätsbedarfs bei Aussetzen der öffentlichen Versorgung dienen, werden nach den einschlägigen Richtlinien (herausgegeben früher vom VDEW, VDN, BDEW, jetzt vom FNN im VDE) bestimmte Anforderungen gestellt. Diese Anforderungen sollten aber auch bei anderen Stromerzeugungsanlagen beachtet werden, zumal spezielle Anforderungen in VDE 0100-551, der den Teil 728 ersetzt hatte, nicht mehr enthalten sind.

Bei der Auswahl der Stromerzeugungsanlagen sind die Art, der Leistungsbedarf und die Betriebsweise der angeschlossenen Verbrauchsmittel zu berücksichtigen, z. B. maximaler Anlaufstrom von Motoren, Lastwechsel, Oberschwingungsströme, Blindleistungsbedarf, Schieflast. Hochleistungsaggregate mit aufgeladenen Dieselmotoren erlauben nur Lastzuschaltungen in Schritten von 20...50 % der Motorbemessungsleistung. Deshalb wird der Motor häufig überdimensioniert, um so die möglichen hohen Lastschwankungen in der Verbraucheranlage zu bewältigen.

Die Stromerzeugungsanlagen – gleichgültig ob Aggregat oder Batterie –, die der Sicherstellung des elektrischen Energiebedarfs bei Aussetzen der öffentlichen Versorgung dienen, sollten einschl. der Hilfseinrichtungen (Starterbatterien, zugehörige Schalt- und Steuerschränke) in *besonderen Räumen* betrieben werden, Verbrennungskraftmaschinen mit Vergaserkraftstoff müssen sogar in einem besonderen Raum aufgestellt werden. Die Räume müssen trocken und erforderlichenfalls beheizbar sein, damit eine Raumtemperatur von mindestens 5 °C eingehalten werden kann. Die Aufstellung in feuergefährdeten Räumen ist nicht erlaubt. Für Batterieräume gelten VDE 0510-1 (Allgemeine Sicherheitsinformationen) und VDE 0510-2 (Stationäre Batterien). Der Aufstellungsraum muss ausreichend belüftet werden; Verbrennungsgase sind über besondere Leitungen ins Freie zu führen. Stromerzeugungsanlagen, die nicht nur von ihrem Aufstellungsort aus gestartet werden können, sollten in einem abgegrenzten Bereich aufgestellt werden.

Für die Stromerzeugungsanlage ist der *Schutz gegen elektrischen Schlag* nach Kapitel 5 durchzuführen. Je nach Anwendungsfall (Ersatzstrombetrieb, Inselbetrieb, Netzparallelbetrieb) ist der Schutz gegen elektrischen Schlag der allgemeinen Stromversorgung zu berücksichtigen.

Wenn der Schutz bei indirektem Berühren bei Teilen einer von einem *statischen Wechselrichter* versorgten Anlage auf dem automatischen Schließen der Umgehungsschalteinrichtung beruht und wenn das Ansprechen der Schutzeinrichtung auf der Speiseseite der Umgehungsschalteinrichtung nicht innerhalb von 5 s (Endstromkreise mit ortsfesten Betriebsmitteln) bzw. 0,4 s (bei 230 V) erfolgt, ist ein zusätzlicher Potenzialausgleich nach Kapitel 5 zwischen gleichzeitig berührbaren Körpern und fremden leitfähigen Teilen auf der Lastseite des statischen Wechselrichters vorzusehen. Die ordnungsgemäße Funktion der Schutzeinrichtungen darf durch vom statischen Wechselrichter erzeugte Gleichströme oder durch Filter nicht beeinträchtigt werden.

Für den *Schutz bei Überlast und Kurzschluss* gelten die Festlegungen in Abschnitt 12.1.4. Der Schutz des Generators gegen die Auswirkungen von Überlast und Kurzschluss kann entweder durch einen kurzschlussfesten Generator oder durch einen elektronischen Unterspannungsschutz gewährleistet werden. Der Schutz der Leitungen bei Überlast und Kurzschluss ist gegeben, wenn der Gene-

rator keinen höheren Strom liefern kann, als die Strombelastbarkeit $I_z$ der Leitung beträgt. Überstromschutzeinrichtungen sind so nahe wie praktisch möglich an den Generatoranschlussklemmen anzuordnen. Der durch eine Stromerzeugungsanlage zu erwartende Kurzschlussstrom kann zeitabhängig und viel geringer sein als der vom allgemeinen Netz zu erwartende. Bei Netzparallelbetrieb oder bei Parallelarbeit von zwei oder mehr Stromerzeugungsanlagen sind die vagabundierenden Oberschwingungsströme so zu begrenzen, dass der thermische Bemessungswert der Leiter nicht überschritten wird. Das kann z. B. durch Kompensationswicklungen in Generatoren, durch Einschalten einer Impedanz in die Verbindung zum Generatorsternpunkt oder durch den Einsatz von Filtern erreicht werden.

Bei Stromerzeugungsanlagen, die der Sicherstellung des elektrischen Energiebedarfs bei Aussetzen der öffentlichen Versorgung dienen, sind Kabel und Leitungen zwischen dem Generator und der zugeordneten Überstromschutzeinrichtung kurzschluss- und erdschlusssicher zu verlegen. Die Notwendigkeit des Einbaus einer Schutzeinrichtung, die bei Körperschluss des Generators dessen weitere Beschädigung verhindert, ist insbesondere bei größeren Aggregaten abzuwägen und ggf. mit dem Generatorhersteller zu klären.

## 6.4.2 Ersatzstromversorgungsanlagen

Ersatzstromversorgungsanlagen („Stromerzeugungsanlagen als Versorgungsalternative zum betrieblichen oder öffentlichen Netz") werden dort angewendet, wo wichtige Verbraucheranlagen bei Ausfall der Stromversorgung weiterbetrieben werden sollen. Damit wird die Verfügbarkeit der elektrischen Energieversorgung erhöht, z. B. für die Lüftungsanlagen von Intensivtierhaltungen. Ersatzstromversorgungsanlagen für sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen werden in Kapitel 12 behandelt.

Im Allgemeinen wird eine *vollständige galvanische Trennung* zwischen der Ersatzstromversorgungsanlage und dem öffentlichen Netz angestrebt. Damit wird verhindert, dass bei Netzausfall das spannungsfreie öffentliche Netz aus der Verbraucheranlage heraus wieder unter Spannung gesetzt wird. Deshalb müssen bei Ersatzbetrieb alle nicht geerdeten Leiter zwangsläufig vom NB-Netz abgetrennt werden. Außerdem ist eine Potenzialanhebung des Neutralleiters (N) bzw. des PEN-Leiters des NB-Netzes zu verhindern. Dazu muss beim Umschalten der Verbraucheranlage vom NB-Netz auf das Ersatzstromaggregat auch der Neutralleiter (N) bzw. der PEN-Leiter zwangsläufig getrennt werden. Ist wegen Vermaschung von Erdungs- und Potenzialausgleichsleitungen eine einwandfreie Trennung nicht möglich, so ist der NB zu konsultieren; ggf. kann mit dessen Zustimmung auf eine Trennung verzichtet werden.

Als *Maßnahmen zum Verhindern des Parallelbetriebs* kommen infrage:

- eine elektrische, mechanische oder elektromechanische Verriegelung zwischen den Hauptstromkreisen oder den Steuerstromkreisen der Umschalteinrichtungen,
- ein Verriegelungssystem mit nur einem Schlüssel,
- ein Dreistellungsumschalter, der erst trennt und dann zuschaltet,
- ein automatischer Umschalter mit geeigneter Verriegelung.

Im *TN-S-System* (N- und PE-Leiter getrennt) muss der Neutralleiter der Verbraucheranlage mit umgeschaltet werden. Wenn nicht sichergestellt ist, dass die Schutzmaßnahme, die bei der allgemeinen Stromversorgung angewendet wird, wirksam bleibt, müssen die abgehenden Stromkreise als TN-S-System ausgeführt werden. Auch in einem *TT-System* muss der Neutralleiter der Verbraucheranlage mit umgeschaltet werden. Für den Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung sind Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) zu verwenden. Falls dies nicht möglich ist, ist ein zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich erforderlich.

In einem *IT-System* ist ein Neutralleiter der Verbraucheranlage ebenfalls mit umzuschalten. Wenn die Schutzmaßnahme „Schutz durch Abschaltung beim zweiten Fehler" im IT-System nicht wirksam ist, ist entweder ebenfalls ein zusätzlicher Potenzialausgleich oder der Schutz durch eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) für jedes Verbrauchsmittel anzuwenden.

Umschalter bzw. Schützkombinationen müssen zwischen der Schaltung auf das NB-Netz und der auf das Ersatzstromaggregat eine Stellung haben, in der die zu versorgende Verbraucheranlage sowohl vom NB-Netz als auch vom Ersatzstromaggregat getrennt ist. Verbraucheranlagen, die nur teilweise ersatzstromversorgt werden müssen, sind nach der VDEW-Richtlinie in einen ersatzstromberechtigten und einen nicht ersatzstromberechtigten Teil aufzutrennen.

Ein Parallelbetrieb der Ersatzstromerzeugungsanlage und des öffentlichen Netzes ist grundsätzlich nicht zulässig. Jedoch wird nun der sog. *Kurzzeitparallelbetrieb* nach Spannungswiederkehr im NB-Netz oder bei gewollter Einleitung eines Ersatzstrombetriebs für Probezwecke zugelassen, um einen unterbrechungslosen Betrieb zu gewährleisten. Die TAB werden dahingehend geändert. Dieser Parallelbetrieb ist nach der VDE-Anwendungsrichtlinie VDE-AR-N 4105:2011-08 („Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz – Technische Mindestanforderungen für den Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz"; Ersatz für die VDEW-Richtlinie „Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz; Richtlinie für den Anschluss und Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz") nur für eine kurze Zeit nach einer Synchronisierung

(Überlappungssynchronisierung) gestattet. Die Zeitdauer umfasst nur die Umschaltzeit nach erfolgreicher Synchronisierung von Stromerzeugungsaggregat und NB-Netz und soll 0,1 s nicht überschreiten. Dafür müssen folgende *Synchronisierungsbedingungen* erfüllt sein:

- Spannungsdifferenz $\Delta U \leq \pm 10\ \%\ U_n$,
- Frequenzdifferenz $\Delta f \leq \pm 0{,}5$ Hz,
- Phasenwinkeldifferenz $\Delta\varphi \leq \pm 10°$.

Synchronisieren und Umschalten dürfen nur automatisch erfolgen. Wie schon oben gesagt, muss die Umschalteinrichtung so beschaffen sein, dass nach Ablauf des Kurzzeitparallelbetriebs die Umschaltung der Verbraucheranlage vom NB-Netz auf das Ersatzstromnetz oder umgekehrt mit zwangsläufiger allpoliger Trennung erfolgt, also Trennung aller Außenleiter einschl. des Neutralleiters (N) bzw. des PEN-Leiters.

Um Fehlschaltungen zu verhindern, wird eine *gegenseitige Verriegelung beider Netze* gefordert, die meist durch Hilfsschalter in den Stromkreisen der fernbetätigten Schalter, z. B. Schütze, bewirkt wird. Dazu wird ein Öffnerkontakt des Netzschalters in den Einschaltstrompfad des Generatorschalters gelegt und umgekehrt. Um die Verriegelung von Fehlern in der elektrischen Steuerung weitgehend unabhängig zu machen, ist es zweckmäßig, die Hilfskontakte der Leistungsschalter bzw. der Schaltschütze unmittelbar in die Strompfade der Schalter zu legen (**Bild 6.12**).

Bei stationären Ersatzstromversorgungsanlagen wird man den *Schutz gegen elektrischen Schlag* bevorzugt in Anlehnung an den angewendeten Schutz gegen elektrischen Schlag der normalen (öffentlichen) Stromversorgung wählen, in der Regel also als Schutz bei indirektem Berühren das TN- bzw. TT-System mit Überstrom- oder Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs). Zu beachten ist, dass der Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung nicht von der Erdung des Systems der allgemeinen – insbesondere nicht der öffentlichen – Stromversorgung abhängig sein darf. Für die Spannungsbegrenzung bei Erdschluss eines Außenleiters ist ein Betriebserder mit einem Erdungswiderstand $\leq 2\ \Omega$ erforderlich (s. auch Kap. 5). Dies stößt in der Praxis vielfach auf Schwierigkeiten, weil – zumindest in kleineren Anlagen, die an das öffentliche Netz angeschlossen werden – Erder mit einem derart geringen Ausbreitungswiderstand nicht vorhanden sind. Über den PEN-Leiter der öffentlichen Stromversorgung darf man sich den erforderlichen Betriebserder auf keinen Fall holen, da der PEN-Leiter bei Ausfall der öffentlichen Energieversorgung ebenfalls unterbrochen werden kann. Steht kein geeigneter Betriebserder zur Verfügung, so hat man noch die Möglichkeit, dem Ersatzstromerzeuger eine möglichst selektive Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) zuzuordnen.

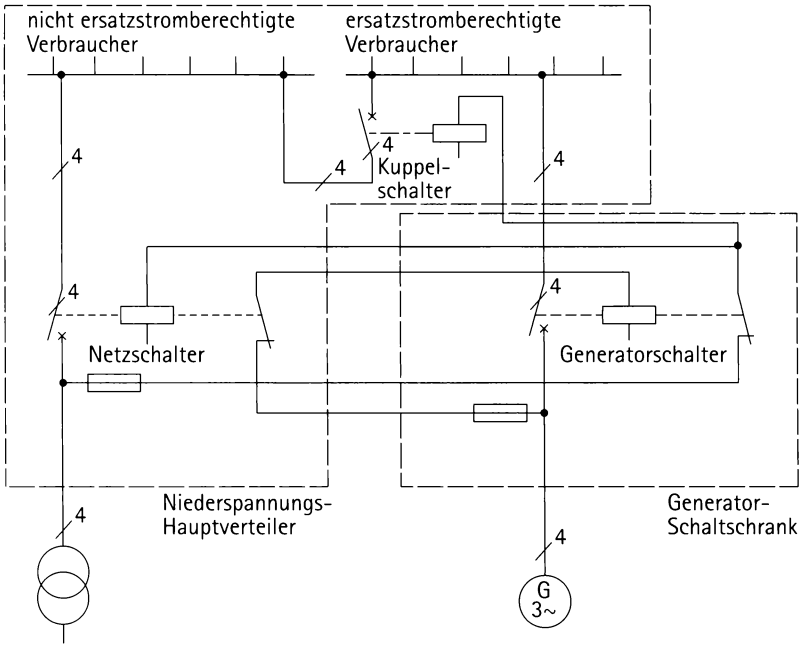



***Bild 6.12:*** *Verriegelungseinrichtung bei einer nur teilweise ersatzstromberechtigten Verbraucheranlage*

Zwischen Ersatzstromerzeuger und nachgeordneter Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) müssen die Leitungen dann erdschlusssicher verlegt werden.

Betriebsmittel im Leitungszug vor der Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) müssen Schutzklasse-II-Betriebsmittel sein („Schutzisolierung"). Somit lässt sich ein Erdschluss vor der Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) ausschließen. Für den erforderlichen Betriebserder des TN- oder TT-Systems gilt dann die Bedingung

$$R_A = \frac{50\ \text{V}}{I_{\Delta n}}.$$

Eine weitere Möglichkeit wäre, bei Ersatzstromversorgung das IT-System anzuwenden.

Wird der Schutz durch Abschalten mittels einer Überstromschutzeinrichtung sichergestellt, so muss die Einhaltung der Abschaltbedingungen eigens für den Ersatzbetrieb nachgewiesen werden, da die Kurzschlussströme wegen der Generatorimpedanz kleiner als bei Netzbetrieb sind.

### 6.4.3 Stromerzeugungsanlagen im Parallelbetrieb

Bei der Auswahl und dem Einsatz von Stromerzeugungsanlagen oder *Erzeugungsanlagen* – wie sie in der VDE-Anwendungsrichtlinie VDE-AR-N 4105:2011-08 („Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz – Technische Mindestanforderungen für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz"; Ersatz für die VDEW-Richtlinie „Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz; Richtlinie für den Anschluss und Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz") für diesen Fall bezeichnet werden – für den *Parallelbetrieb* zwischen nichtöffentlichem und öffentlichem Netz müssen negative Auswirkungen auf das Netz und auf andere Anlagen vermieden werden. Das können ein ungünstiger Leistungsfaktor, Spannungsänderungen, nichtlineare Verzerrungen, Lastunsymmetrien sowie Anlauf-, Synchronisierungs- und Flickereffekte sein. Es sind Schutzeinrichtungen vorzusehen, die die Stromerzeugungsanlage vom Netz abschalten, wenn die Versorgung unterbrochen ist oder wenn an den Anschlussklemmen des Netzes die Spannung oder die Frequenz von festgelegten Werten abweicht. Diese Abschalteinrichtungen müssen den Verantwortlichen für das speisende Netz zugänglich sein.

In einem *TN-System* muss der Sternpunkt der Stromerzeugungsanlage zusätzlich mit dem Erdungssystem der zu versorgenden Anlage verbunden werden (z. B. Haupterdungsschiene, -klemme). Die Zusammenschaltung der Stromerzeugungsanlage mit dem Netz muss als TN-C-System erfolgen (PEN-Leiter). In einem *TT-System* darf der Sternpunkt der Stromerzeugungsanlage nur über vorhandene Transformatorerder oder den gemeinsamen Erder des TT-Systems mit Erde verbunden werden. Wenn nicht gewährleistet ist, dass der Schutz gegen elektrischen Schlag wirksam bleibt, der bei der allgemeinen Stromversorgung angewendet wird, müssen für den Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) eingesetzt werden. Sollte das nicht möglich sein, so kann ein zusätzlicher Potenzialausgleich (s. Kap. 5) angewendet werden. In Fall des TN-Systems sind die abgehenden Stromkreise natürlich als TN-S-System (Schutz- und Neutralleiter getrennt) auszuführen.

Für den Parallelbetrieb mit dem Netz eines NB ist die vom FNN im VDE herausgegebene VDE-Anwendungsrichtlinie VDE-AR-N 4105:2011-08 „Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz – Technische Mindestanforderungen fur den Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz" (Ersatz für die „Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz" und VDN-Ergänzung 2 zur VDEW-Richtlinie „Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz; Richtlinie für den Anschluss und Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz") einzuhalten.

In jedem Fall ist der zuständige NB einzuschalten, dem verschiedene Unterlagen einzureichen sind, z. B. Baulageplan, elektrischer Übersichtsschaltplan, Beschreibungen der Schutzeinrichtungen, der Art und Betriebsweise der Antriebsmaschine (Wasserturbine, Windkraftanlage, Wärmekraftmaschine), des Generators, des Wechselrichters, der Netzzuschaltung, Angaben über die Kurzschlussfestigkeit der Schalteinrichtungen, Nachweise (Erfüllung bestimmter Anforderungen) über Wechselrichter.

Eigenerzeugungsanlagen im Netzparallelbetrieb sind an der vom NB im Einvernehmen mit dem Betreiber festgelegten Stelle an das Netz anzuschließen. Bis zu einer Leistung von 4,6 kVA dürfen Eigenerzeugungsanlagen an einen Außenleiter angeschlossen werden. Bei Photovoltaikanlagen ist für die Netzeinspeisung nicht die Generatorleistung der Photovoltaikanlage maßgebend, sondern die Ausgangsleistung des Wechselrichters. Photovoltaikanlagen dürfen eine Leistung von max. 110 % ihrer Wechselrichternennleistung in das Netz einspeisen. Bei einer Wechselrichternennleistung von 4,6 kVA kann eine Photovoltaikanlage somit eine Leistung von max. 5 kVA einspeisen. Bisher durfte bei Photovoltaikanlagen dies bis 5 $kW_p$ Spitzenleistung des Solargenerators geschehen, die bei einer definierten Sonneneinstrahlung abgegeben wird (p steht für peak = Spitze). Der *Netzanschluss* bzw. die *Schaltstelle* muss dem NB-Personal jederzeit zugänglich sein. Solche Stellen können der Kabelanschlussschrank, der Kabelverteilerschrank oder die Transformatorenstation sein, aber auch der Hausanschlusskasten, wenn er dem NB-Personal uneingeschränkt zugänglich ist. Unter bestimmten Voraussetzungen kann für Anlagen mit einer Leistung ≤ 30 kVA auf die jederzeit zugängliche Schaltstelle mit Trennfunktion verzichtet werden. Die Art und Anzahl der erforderlichen Mess- und Steuereinrichtungen sind mit dem NB bereits im Planungsstadium abzusprechen. Auch hier sind die TAB zu beachten. Bei einem Drehstromnetz des Betreibers muss auch bei Speisung in nur einen Außenleiter ein Drehstromzähler eingesetzt werden. NB-Zähler (nur mit Rücklaufsperre oder gleichwertiger Einrichtung) und Steuergeräte sind in einem Zählerschrank nach DIN 43870 unterzubringen. Die Verdrahtungspläne stellt der NB zur Verfügung, soweit sie nicht die Verdrahtung selbst vornehmen.

Um nach den Technischen Anschlussbedingungen eine sichere und störungsfreie Versorgung zu gewährleisten, muss bei Anlagen größerer Leistung (> 4,6 kVA pro Außenleiter) i. Allg. eine *Blindleistungskompensation* vorgenommen werden. Der Leistungsfaktor (Verschiebefaktor) cos $\varphi$ soll bei Wirkleistungsbezug und -lieferung bei 0,9 kapazitiv bis 0,8 induktiv liegen. Da die Blindstromkompensation von den Eigenschaften des Netzes und des Generators abhängt, ist in jedem Fall eine Abstimmung mit dem NB notwendig. Dies gilt auch für die Begrenzung von Oberschwingungen und für einen störungsfreien Betrieb von Tonfrequenz-Rundsteueranlagen.

Zum Vermeiden von Rückspannungen ist durch den Einbau technischer Vorrichtungen sicherzustellen, dass ein Zuschalten der Eigenerzeugungsanlage auf das NB-Netz nur möglich ist, wenn die Netzspannung auf allen Außenleitern ansteht. Bei Synchrongeneratoren ist eine Synchronisiereinrichtung erforderlich. Es sind die gleichen Synchronisierungsbedingungen wie beim Kurzzeitparallelbetrieb (s. Abschn. 6.4.2) einzuhalten.

*Netzrückwirkungen* sind zu begrenzen. Dazu müssen nach Reihe VDE 0838 Grenzwerte für Spannungsschwankungen (VDE 0838-3 und -11), sog. Flicker, Oberschwingungsströme (VDE 0838-2) und Spannungsunsymmetrien eingehalten werden.

Bei der *Inbetriebsetzung* von Eigenerzeugungsanlagen ist der erstmalige Parallelbetrieb im Beisein eines NB-Vertreters durchzuführen. Außerdem sind Funktionsprüfungen der Schutzeinrichtungen und der Kompensationsanlage vorzunehmen sowie die Einhaltung der Zuschaltbedingungen zu kontrollieren. Die Prüfungen sind zu dokumentieren. Die Schutzeinrichtungen können vom NB plombiert werden. Der Betreiber muss alle für den Parallelbetrieb wichtigen Schalter und die Schutzeinrichtungen regelmäßig durch eine Fachkraft auf ihre Funktion überprüfen und dokumentieren lassen. Beabsichtigte Änderungen an der Eigenerzeugungsanlage (Erhöhung oder Verminderung der Einspeiseleistung, Auswechslung von Schutzeinrichtungen, Änderungen an der Kompensationsanlage) sind – soweit die Änderungen Auswirkungen auf den Parallelbetrieb haben – mit dem NB abzustimmen.

### 6.4.4 Nichtstationäre Stromerzeugungsanlagen

Nichtstationäre Stromerzeugungsanlagen werden meist bei Bedarf von Hand in Betrieb gesetzt. Geräte, die zusammen mit einem öffentlichen Netz kleinere Verbraucheranlagen in Bereitschaft versorgen, können auch selbsttätig einschalten. Die Umschaltzeiten betragen dann 5...15 s.

Beim Umschalten von der allgemeinen Stromversorgung auf den Stromerzeuger und zurück muss ein nicht synchronisiertes Zusammenschalten beider Stromquellen sicher verhindert werden. Bei handbetätigten Schaltern kann die Verriegelung sowohl mechanisch als auch elektrisch erfolgen (**Bild 6.13**).

Es gelten die Festlegungen des Abschnitts 12.1.4. Zudem kann der Schutz des Generators gegen die Auswirkungen von Überlast und Kurzschluss durch einen kurzschlussfesten Generator oder durch einen elektronischen Unterspannungsschutz gewährleistet sein. Der Schutz der Leitungen bei Überlast und Kurzschluss ist auch dann gegeben, wenn der Generator keinen höheren Strom liefern kann, als die Strombelastbarkeit $I_z$ der Leitung beträgt.

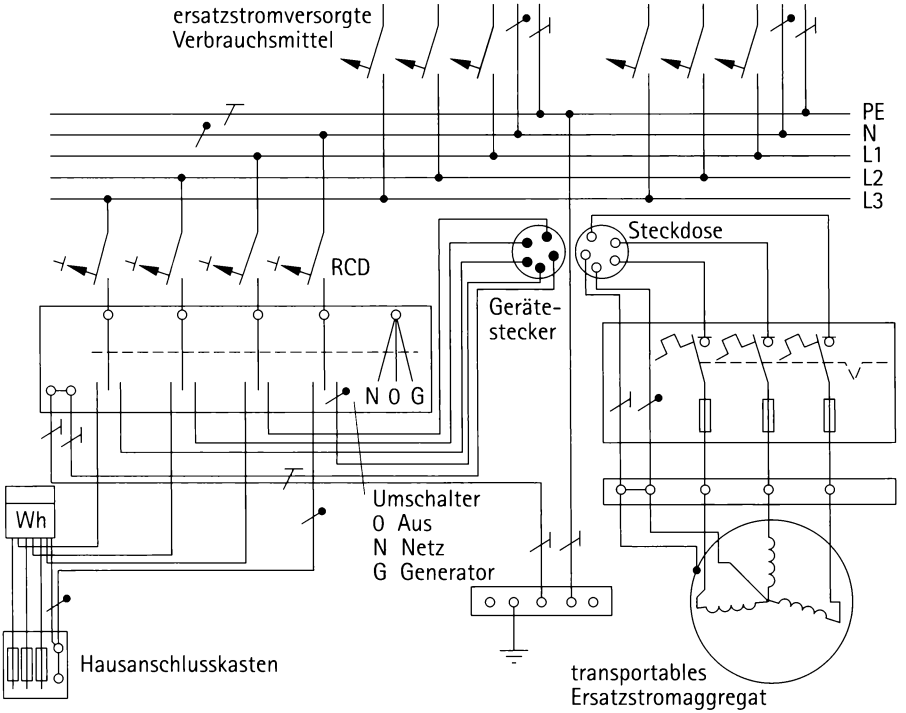



***Bild 6.13:*** *Transportabler Stromerzeuger*

Bei transportablen Stromerzeugungsaggregaten sind zwischen getrennt angeordneten Betriebsmitteln *Schutzleiter* vorzusehen. Diese Schutzleiter müssen Teile einer Anschlussleitung oder eines Anschlusskabels sein. Die Querschnitte enthält Tabelle 5.18 auf S. 151.

In TN-, TT- und IT-Systemen ist eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom ≤ 30 mA einzubauen. Als Maßnahme zum Schutz bei indirektem Berühren empfehlen sich das TN-System mit Schutz durch Abschaltung mittels Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) und die Schutztrennung.

Das *TN-System mit Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD)* ist nur dort geeignet, wo am Einsatzort ein Erder zur Verfügung steht oder errichtet werden kann (Bild 5.39). Ein Punkt der Stromquelle der Stromerzeugungsanlage – wenn vorhanden, der Sternpunkt – ist mit diesem Erder zu verbinden, ebenso die Körper der elektrischen Betriebsmittel. Wenn der Stromkreisabschnitt vom Generator bis zur Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) so isoliert ausgeführt ist, dass der Schutz durch doppelte

oder verstärkte Isolierung (Verwenden von Betriebsmitteln der Schutzklasse II) erfüllt ist, genügt für den Erder ein Erdungswiderstand von

$$R_B = \frac{U_L}{I_{\Delta n}}.$$

Bei einer dauernd zulässigen Berührungsspannung von 50 V und einem Bemessungsfehlerstrom der Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) von 0,5 A muss $R_B \leq 100\ \Omega$ sein. Sollte der Stromkreisabschnitt zwischen Generator und Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) nicht isoliert sein, so müsste ein Erdungswiderstand $R_B = 2\ \Omega$ angestrebt werden (s. Kap. 5), der in der Praxis nur mit großem Aufwand zu erreichen ist. Deshalb sollte der Verwendung von Betriebsmitteln der Schutzklasse II der Vorzug gegeben werden. Setzt man die Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) in einen an den Generator angebauten Schaltkasten, so umgeht man das Problem. In diesem Fall genügt für den Erdungswiderstand generell die Bedingung

$$R_B \leq \frac{U_L}{I_{\Delta n}}.$$

Die Abschaltbedingungen werden im TN-System mit Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) problemlos erreicht, da bei Körperschluss nur der Fehlerstrom (Differenzstrom) fließen muss, der größer als der Bemessungsfehlerstrom der Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) ist, z. B. 0,5 A.

Problematisch kann es sein, wenn ein Fehler in einem angeschlossenen Stromkreis die Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) sämtlicher Verbraucher abschaltet. Dies kann man umgehen, indem man für die einzelnen Stromkreise je eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) verwendet und diesen eine gemeinsame, selektiv wirkende Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) der Bauart S vorschaltet.

Die *Schutztrennung* bietet als wesentlichen Vorteil, dass der Stromerzeuger mobil ohne Anbindung an eine Erde betrieben werden kann. Die Körper der Verbraucher und des Stromerzeugers sind über einen Schutzpotenzialausgleichsleiter zu verbinden, sofern der Stromerzeuger nicht als Betriebsmittel der Schutzklasse II ausgeführt ist. Als Schutzpotenzialausgleichsleiter eignet sich die in den Stromkreisleitungen mitgeführte grün-gelbe Leitungsader. Einziger Unterschied gegenüber dem Schutzleiter ist, dass der Potenzialausgleichsleiter nicht geerdet werden darf. Werden mehrere Verbrauchsmittel an eine mobile Stromerzeugungsanlage angeschlossen, so muss durch eine der im Folgenden genannten Maßnahmen ein Bestehenbleiben zu hoher Berührungsspannung verhindert werden.

Beim Auftreten von zwei Fehlern an jeder Stelle muss eine der vorgeschalteten Schutzeinrichtungen innerhalb von

0,4 s bei $U_N = 230$ V bzw.
0,2 s bei $U_N = 400$ V

(s. Kap. 5) abschalten oder die Spannung zwischen den Klemmen des Stromerzeugers auf unter 50 V sinken. Dabei darf die Gesamtlänge der Kabel und Leitungen 500 m und das Produkt aus Nennspannung in V und Gesamtlänge in m 100 000 nicht überschreiten; andernfalls ist eine Isolationsüberwachungseinrichtung zwischen die aktiven Teile und den Schutzpotenzialausgleichsleiter einzubauen, die die Verbrauchsmittel innerhalb 1 s abschaltet, sobald der Isolationswiderstand unter 100 Ω je V Nennspannung sinkt.

Neben den beiden beschriebenen Schutzmaßnahmen – TN-System mit Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) und Schutztrennung – sind noch folgende erlaubt:

- TT-System mit Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD),
- Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung,
- Schutz durch Kleinspannungen SELV oder PELV,
- IT-System mit Isolationsüberwachung oder Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD).

In *IT-Systemen* kann auf eine Isolationsüberwachungseinrichtung und auf die Abschaltung im Fall von zwei Fehlern verzichtet werden, wenn bei vollkommenem Doppelkörperschluss an beliebigen Stellen die Spannung zwischen den Klemmen der aktiven Leiter des Stromerzeugers auf unter 50 V sinkt. Ein Erdungswiderstand $R_A \leq 100\ \Omega$ ist in jedem Fall ausreichend. Vielfach müssen mit einer Stromerzeugungsanlage alte Anlagenteile versorgt werden, die noch ein *TN-C-System* aufweisen („klassische Nullung"). Dafür sind die o. g. und in VDE 0100-551 (Teiltitel: „Niederspannungsstromerzeugungseinrichtungen") zugelassenen Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag nicht geeignet. Für Anlagenteile im TN-C-System besteht nur die Möglichkeit, als Schutz bei indirektem Berühren das TN-System mit Überstromschutzeinrichtung anzuwenden. Hierfür wäre in der Regel ein Erdungswiderstand $R_B \leq 2\ \Omega$ für den Betriebserder des Stromerzeugers erforderlich. Kann innerhalb einer überschaubaren Anlage ein Erdschluss eines Außenleiters ausgeschlossen werden, so genügt für den Betriebserder des Ersatzstromerzeugers auch ein Erdungswiderstand von z. B. 20 Ω. Ein Erdschluss könnte dann ausgeschlossen werden, wenn sämtliche größeren Metallteile, die im Fall eines Fehlers mit aktiven Teilen der elektrischen Anlage in Berührung kommen können, mit dem Betriebserder, z. B. über den Schutzpotenzialausgleich, in Verbindung stehen.

# 7 Schaltanlagen und Verteiler

Das Herstellen von Niederspannungs-Schaltanlagen und -Verteilern, zusammenfassend Schaltgerätekombinationen genannt, wird insbesondere in der Normenreihe VDE 0660-600 geregelt (s. Abschn. 7.6).

## 7.1 Errichten von Schaltanlagen und Verteilern

Das Errichten umfasst u. a. den Zusammenbau von Transporteinheiten, den Einbau von lose mitgelieferten Teilen, das Aufstellen, das Einbeziehen in den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren), das Anschließen der von außen eingeführten Leiter, die Kennzeichnung der Stromkreise und das Durchführen der Prüfungen.

### 7.1.1 Aufstellungsort

In Wohngebäuden mit zwei und mehr Wohnungen ist nach DIN 18015-1 (Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Planungsgrundlagen) ein Stromkreisverteiler innerhalb jeder Wohnung in der Nähe des *Belastungsschwerpunkts*, in der Regel im Flur, vorzusehen. In Einfamilienhäusern wird üblicherweise der Stromkreisverteiler in gemeinsamer Umhüllung mit dem Zählerplatz installiert.

Ganz allgemein ist zu beachten, dass Schaltanlagen und Verteiler so angebracht werden, dass sie leicht zugänglich sind und sicher bedient werden können (s. Abschn. 7.6.4).

Aus Gründen des vorbeugenden Brandschutzes sollen Schaltanlagen und Verteiler nicht in *Treppenräumen* untergebracht werden. Bei Unterbringung in Fluren kann aus diesen Gründen ein rauchdichter oder feuerhemmender Abschluss erforderlich sein. In Sicherheitstreppenhäusern und ihren Ausgängen ins Freie sind nur elektrische Verteiler zulässig, die ausschließlich dem unmittelbaren Betrieb des Sicherheitstreppenraums oder der Brandbekämpfung dienen. Gegenüber Treppenräumen und deren Ausgängen ins Freie sind Verteiler durch nicht brennbare Bauteile mit einer Feuerwiderstandsdauer von mindestens 30 min abzutrennen.

Zu den Bauteilen zählen auch Zugangstüren und Klappen. Gegenüber allgemein zugänglichen Fluren brauchen die Bauteile nur aus nicht brennbaren Baustoffen zu sein.

Die für eine Wand geforderte *Feuerwiderstandsdauer* bzw. das geforderte *Schallschutzmaß* (DIN 4109) darf durch den Einbau von Verteilern nicht beeinträchtigt werden. In eine baurechtlich geforderte Brandwand oder feuerbeständige Wand und in eine Wohnungstrennwand sollten aus diesen Gründen keine Unterflurverteiler eingebaut werden. Verteiler, die zur Befestigungsfläche offen sind, dürfen nur auf nicht brennbaren Baustoffen angebracht werden. Bei Anbringung auf Holz muss eine 20 mm dicke Unterlage aus Fibersilikat eingefügt werden.

Größere Schaltanlagen und Verteiler sollen in elektrischen Betriebsräumen untergebracht werden. Die Größe und Höhe der Betriebsräume, in denen Schaltanlagen und Verteiler untergebracht werden sollen, richtet sich natürlich nach der Art und dem Umfang der Schaltanlagen und Verteiler. Der Hersteller von Schaltanlagen und Verteilern muss in einer mitgelieferten technischen Dokumentation alle notwendigen Angaben wie Gesamtmaße, woraus sich die jeweiligen Raumabmessungen ergeben, zur Verfügung stellen. Der Hersteller muss in seinen Unterlagen auch die Bedingungen u. a. für die Aufstellung angeben.

## 7.1.2 Aufstellen und Umgebungsbedingungen

Um Schäden durch Verschmutzung oder Feuchtigkeit zu vermeiden, sollen die baulichen Vorleistungen, z. B. Maurer-, Putz-, Anstrich- und Verglasungsarbeiten, vor dem Aufstellen der Schaltanlagen und Verteiler ausgeführt sein.

Um die Schaltanlagen und Verteiler verwindungsfrei aufstellen und befestigen zu können, empfehlen sich Fundamentschienen oder Traggerüste. Die vom Hersteller angegebenen Bedingungen für das Aufstellen sind dabei zu beachten.

Nach der Aufstellungsart unterscheidet man Schaltanlagen und Verteiler für Innenraum- und Freiluftaufstellung. Sofern vom Hersteller nichts anderes angegeben, sind Schaltanlagen und Verteiler für *Innenraumaufstellung* für eine Umgebungstemperatur von maximal +40 °C ausgelegt. Der Mittelwert über eine Dauer von 24 h darf nicht höher als +35 °C und die untere Grenze der Umgebungstemperatur nicht niedriger als −5 °C sein. Die relative Luftfeuchte der Umgebungsluft bei Innenraumaufstellung darf 50 % bei einer höchsten Temperatur von 40 °C nicht überschreiten. Bei niedrigeren Temperaturen sind höhere Luftfeuchte erlaubt, z. B. 90 % bei 20 °C. Es muss aber auf Kondenswasserbildung geachtet werden (s. u.). Bei Anlagen für *Freiluftaufstellung* gilt die gleiche obere Grenztemperatur wie für Innenraumaufstellung und als untere Grenze der Umgebungstemperatur −25 °C. Die relative Luftfeuchte darf bei Freiluftaufstellung vorübergehend bis 100 % bei ≤ 25 °C betragen.

Liegen *besondere Betriebs- und Umgebungsbedingungen* vor, so muss der Anwender den Hersteller der Schaltanlage und Verteiler darauf hinweisen; dazu zählen z. B.

- höhere oder niedrigere Umgebungstemperaturen als die genannten,
- hohe relative Luftfeuchte,
- Höhenlage über 2 000 m über N. N.,
- Auftreten schneller Temperatur- und/oder Luftdruckänderungen wegen der Gefahr einer außergewöhnlichen Betauung innerhalb der Schaltanlagen oder Verteiler,
- eine Atmosphäre, die einen wesentlichen Anteil u. a. an Staub, Rauch, korrosiven Gasen, Dämpfen oder Salz enthalten kann,
- die Einwirkung starker elektrischer oder magnetischer Felder,
- das Aufstellen in feuergefährdeten Betriebsstätten oder explosions- oder explosivstoffgefährdeten Bereichen,
- außergewöhnliche Überspannungen,
- Auftreten heftiger Erschütterungen oder Stöße.

Während des Transports, der Lagerung und der Aufstellung von Schaltgerätekombinationen gelten die oben genannten Werte für die Umgebungsbedingungen wie Temperatur-, Luftfeuchtewerte. Wenn die Bedingungen abweichen, müssen zwischen Hersteller und Anwender Maßnahmen vereinbart werden.

In Schaltanlagen und Verteilern, die *im Freien* oder in Bereichen hoher Luftfeuchtigkeit und Temperaturschwankungen untergebracht sind, besteht die Gefahr der *Kondenswasserbildung*, wenn durch die Schutzart (bei IP54 und höher) keine natürliche Belüftung sichergestellt wird. Abhilfe bietet je nach örtlicher Gegebenheit der Einbau von Belüftungsstutzen, eine Zwangsbelüftung mit Filterlüftern, ein Beheizen oder Klimatisieren.

### 7.1.3 Eingeschränkt zugängliche Bereiche; Bedienungs- und Wartungsgänge

VDE 0100-729

Niederspannungs-Schaltanlagen und -Verteiler, zusammengefasst unter dem Begriff Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen (s. Abschn. 7.6), müssen so aufgebaut oder angebracht werden, dass ausreichend Platz zum Bedienen und Warten der elektrischen Betriebsmittel und Einrichtungen vorhanden ist. Unter Bedienen versteht man z. B. Schalten, Steuern, Einstellen, Überwachen.

Je nach Umfang und Zweck der Schaltanlagen und Verteiler werden diese in der Regel in besonderen Räumen, den sog. abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten untergebracht (s. Abschn. 14.12.2). Diese Räume dürfen nur einem besonderen Personenkreis zugänglich sein. Es handelt sich dann um sog. *eingeschränkt zugängliche Bereiche*, zu denen auch die *Bedienungs- und Wartungsgänge* gehören. Diese Gänge können durch eine Wand auf der einen Seite und einer Schaltgerätekombination auf der anderen Seite oder auch durch Schaltgerätekombinationen auf beiden Seiten begrenzt sein. Die Wartungsgänge werden nach Norm auch als Instandhaltungsgänge bezeichnet.

Um die Bewegungsfreiheit des Bedienungspersonals und die Fluchtmöglichkeit[1] sicherzustellen, müssen für eingeschränkt zugängliche Bereiche mit *Bedienungs- und Wartungsgängen* nach VDE 0100-729 bestimmte *Mindestabstände* zu einer Wand, zu einer anderen, gegenüberliegenden Schaltanlage oder einem anderen, gegenüberliegenden Verteiler sowie *Mindesthöhen* zu im Deckenbereich liegenden aktiven Teilen (z. B. Sammelschienen) eingehalten werden. Dabei hängen die Mindestmaße davon ab, ob in den Räumen

- ungeschützte aktive Teile nur auf einer Seite oder auf beiden Seiten vorhanden sind,
- die Schutzmaßnahme Abdeckung oder Umhüllung (s. Abschn. 5.3.1.2) oder
- die Schutzmaßnahme Schutz durch Hindernisse (s. Abschn. 5.3.2.1) angewandt wird.

Darüber hinaus hängen die geforderten Mindestmaße davon ab, ob Schaltanlagen und Verteiler Bedienelemente von Schalt-, Steuer- und Überwachungsgeräten haben oder z. B. herausziehbare Leistungsschalter mit Trennstellung vorhanden sind.

Abhängig von den jeweiligen, oben genannten Bedingungen sind für Gangbreiten oder Abstände zu Bedienelementen nach VDE 0100-729 Mindestmaße von 0,6 m, 0,7 m, 0,9 m, 1,1 m oder 1,3 m sowie Mindesthöhen über Fußboden von 2,0 m oder 2,5 m einzuhalten.

Die Türen und schwenkbaren Baugruppenträger aller Schaltgerätekombinationen in Bedienungs- und Wartungsgängen müssen sich mindestens 90° öffnen und sich in Richtung der Fluchtbewegung schließen lassen, damit im Gefahrenfall die Räumung der Gänge und eingeschränkt zugänglichen Bereiche nicht durch offen stehende Türen behindert wird (**Bild 7.1**). Wenn sich Türen in geöffneter Position arretieren lassen, muss der Abstand zwischen der Türkante und der gegenüberliegenden Seite des Bedienungs- oder Wartungsgangs mindestens 0,5 m betragen. Derselbe

1 Bei den in der VDE 0100-729 angesprochenen Fluchtmöglichkeiten handelt es sich nicht um Fluchtwege im Sinne der Arbeitsstättenverordnung und der Technischen Regeln für Arbeitsstätten.

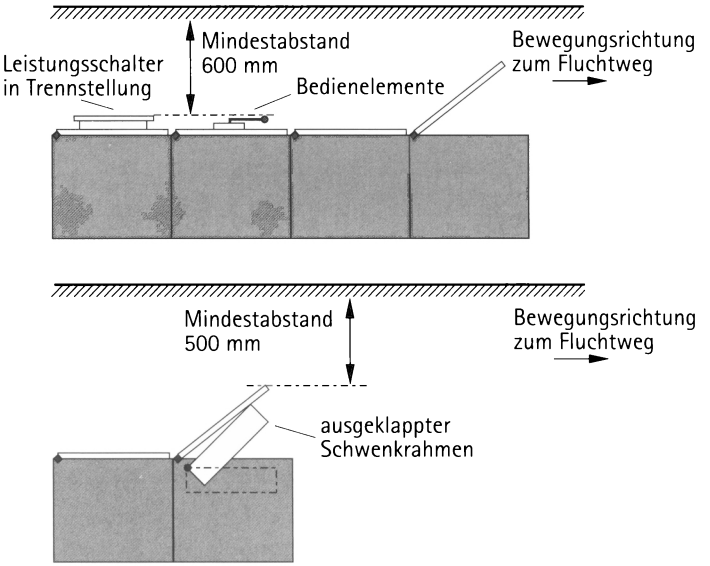



***Bild 7.1:*** *Mindestgangbreite und -abstand für Räumung in Bedienungs- und Wartungsgängen von Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen (nach VDE 0100-729)*

Mindestabstand muss auch bei elektrischen Betriebsmitteln (z. B. Leistungsschaltern), die zu Wartungszwecken vollständig herausgezogen werden können, in der vollständig herausgezogenen Position eingehalten werden.

Bei Ganglängen über 10 m müssen Bedienungs- und Wartungsgänge unbedingt von beiden Stirnseiten zugänglich sein, aber auch schon ab 6 m Ganglänge sollten Zugänge von beiden Stirnseiten möglich sein. Ist der Zugang zu Bereichen mit Bedienungs- und Wartungsgängen eingeschränkt und hat der Gesamtbereich eine Länge von mehr als 20 m, müssen die Bereiche von beiden Stirnseiten durch wenigstens zwei Türen zugänglich sein.

Türen zu den elektrischen Betriebsstätten dürfen sich nur nach außen öffnen lassen. Sie müssen mindestens 0,7 m breit und 2,0 m hoch sein. Türen zu abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten (s. Abschn. 14.12.2) müssen eine leichte Flucht ohne Verwenden eines Schlüssels, Werkzeugs oder anderen Hilfsmittels ermöglichen.

Damit in Schaltgerätekombinationen kein Staub eindringen kann, sollten Bereiche mit eingeschränktem Zugang nach außen entlüftet werden. Hierbei sind die Angaben des Herstellers der Schaltgerätekombination zu beachten. Im Hinblick auf Einhalten von vom Hersteller angegebenen klimatischen Grenzwerten wie Temperatur und Luftfeuchte kann der Einbau einer Klimaanlage erforderlich sein.

### 7.1.4 Anschluss von außen eingeführter Leiter

Die von außen eingeführten Leiter sind entsprechend ihrer funktionellen Zuordnung und in Übereinstimmung mit den Schaltungsunterlagen an die dafür vorgesehenen Klemmen anzuschließen. Als Anschlussklemmen können auch die Klemmen eingebauter Geräte gelten. PEN-Leiter, Schutzleiter und Neutralleiter sind einzeln lösbar anzuschließen.

Die Anschlussstellen der von außen eingeführten Leiter müssen zug- und druckentlastet sein, d. h., die Leitungen sind entsprechend zu befestigen.

Um die von außen eingeführten Leiter eindeutig ihren Stromkreisen in dem Verteiler zuordnen zu können, ist eine dauerhafte Kennzeichnung erforderlich. Die Kennzeichnung ist in Verbindung mit den Schaltungsunterlagen durchzuführen. Eine eindeutige Zuordnung kann durch eine nummerierte Anschlussklemme oder, z. B. bei Schutzleiter- und Neutralleiterschienen, durch Kennzeichnung des Leiters erfolgen. Bei kleineren Schaltanlagen und Verteilern ist eine eindeutige Zuordnung auch durch entsprechende räumliche Anordnung der Leiter möglich.

Nach den Anschlussarbeiten müssen die Einführungsöffnungen so verschlossen werden, dass die vorgegebene Schutzart wieder erfüllt wird.

### 7.1.5 Prüfungen

Nach dem Errichten der Schaltanlage oder des Verteilers am Aufstellungsort ist durch Besichtigung, Funktionsprüfung und Messen des Isolationswiderstands der ordnungsgemäße Zustand der Anlage nachzuweisen. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Schaltanlagen und Verteiler vor der Anlieferung nach ihren Herstellungsbestimmungen geprüft wurden.

Durch *Besichtigung* sind die Allgemeinbeschaffenheit, die IP-Schutzart, der Aufstellungsort, der funktionsrichtige Anschluss und die Kennzeichnung der Anschlüsse zu prüfen. Durch *Erprobung* sind die mechanischen Funktionen der Türen, Klappen, Schlösser, Einschübe, mechanischen Verriegelungen und der äußeren Bedienteile zu prüfen. Geräte zum Ausschalten (NOT-AUS) oder Stillsetzen im Notfall (NOT-HALT) (frühere Bezeichnung: Not-Aus-Einrichtungen), Grenztasterverriegelungen u. dgl. von angeschlossenen Maschinen sind ebenfalls auf ihre Funktion zu prüfen. Bei der Prüfung des Isolationswiderstands genügt es, den Isolationszustand der von außen eingeführten Leiter zu messen.

## 7.2 Planung von Schaltanlagen und Verteilern

Für Wohngebäude nennt DIN 18015-2 die Mindestausstattung an Stromkreisen. Danach richtet sich die Anzahl der erforderlichen Stromkreise für Steckdosen und Beleuchtung nach der Wohnfläche der Wohnung (**Tabelle 7.1**). Für Gemeinschaftsräume und -bereiche sind die erforderlichen Stromkreise zusätzlich zu der in Tabelle 7.1 aufgeführten Anzahl vorzusehen.

***Tabelle 7.1:*** *Stromkreise für Wohnungen (DIN 18015-2)*

| Wohnfläche in $m^2$ | Anzahl der Stromkreise |
|---|---|
| ≤ 50 | 3 |
| > 50...75 | 4 |
| > 75...100 | 5 |
| > 100...125 | 6 |
| > 125 | 7 |

Für Keller- und Bodenräume, die den Wohnungen zugeordnet sind, müssen zusätzliche Stromkreise vorgesehen werden, ebenso für leistungsstarke Verbrauchsmittel (Waschmaschine, Wäschetrockner, Heißwassergerät, Bügelmaschine, Geschirrspülmaschine, Herd, Mikrowellengerät, Warmwassergerät), auch wenn sie über Steckdosen angeschlossen werden. In Räumen für besondere Nutzung, z. B. Hobbyräumen, sind zweckmäßigerweise für Steckdosen und Beleuchtung getrennte Stromkreise vorzusehen.

In jedem Fall sind in Stromkreisverteilern Reserveplätze vorzusehen. Der vorzusehende Platz für elektrische Betriebsmittel in den elektrischen Verteilern ist mit der neuen Ausgabe der DIN 18015-2 vom Nov. 2010 erheblich erweitert worden. Damit wurde den erweiterten Anwendungen einer modernen Elektroinstallation Rechnung getragen wie der vermehrte Einsatz von Gebäudesystemtechnik, Überspannungsschutz sowie Informations- und Kommunikationstechnik. Aber auch für den seit 2007 grundsätzlich geforderten zusätzlichen Schutz durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) für Steckdosen im Wohnbereich (s. Abschn. 5.6.6) wird mehr Platz in den Stromkreisverteilern benötigt. Einraumwohnungen sind deshalb mit mindestens 3-reihigen, Mehrraumwohnungen mit mindestens 4-reihigen Stromkreisverteilern auszustatten. Die üblicherweise verwendeten Installationskleinverteiler nach VDE 0603-1 und DIN 43871 erlauben je Gerätereihe 12 Teilungseinheiten, sodass für den 3-reihigen Verteiler 36 Teilungseinheiten zur Verfügung stehen. Da eine spätere Erweiterung der Anlage ohne Weiteres möglich sein soll, müssen im Stromkreisverteiler Reserveplätze vorgesehen werden.

Gemeinschaftsanlagen von Mehrfamilienhäusern benötigen eigene Verteiler. Bei der Planung von Schaltanlagen und Verteilern für Gewerbe- und Industrieanlagen sind die Anforderungen mit dem Anwender abzustimmen. Grundsätzlich sollten für Steckdosen- und Beleuchtungsstromkreise jeweils eigene Überstromschutzeinrichtungen vorgesehen werden. Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) sind den Stromkreisen so zuzuordnen, dass das Abschalten einer Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) nicht zum Ausfall aller Stromkreise führt.

Drehstrommäßig aufgeteilte *Beleuchtungsstromkreise* sollten aus Gründen der Versorgungssicherheit mit 1-poligen Überstromschutzeinrichtungen geschützt werden. Um ein allpoliges Freischalten durch eine Schalthandlung zu ermöglichen, ist den 1-poligen Schutzeinrichtungen ein 3-poliger Schalter nachzuschalten.

Bezüglich der Auswahl der Schutzeinrichtungen, der Schaltgeräte, der Schütze und Relais sowie der Klemmen und Verdrahtung wird auf die folgenden Abschnitte verwiesen, ebenso bez. der Herstellungsbestimmungen für Schaltanlagen und Verteiler.

Für den Einsatz in Industrie- und Gewerbebetrieben bieten die Hersteller Schaltanlagen an, die in Isolierstoff, Gusseisen oder Stahlblech gekapselt sind. Allen ist das Baukastensystem gemeinsam. Durch Einheitsgehäuse und Einsätze können die Anlagen fast beliebig erweitert werden; beschädigte Teile lassen sich rasch auswechseln. Der Schutz durch Verwendung von Umhüllungen der Schutzmaßnahme doppelte oder verstärkte Isolierung (*frühere Bezeichnung:* Schutz durch Verwenden von Betriebsmitteln der Schutzklasse II oder durch gleichwertige Isolierung) ist zu bevorzugen. In der aktuellen Norm VDE 0660-600-1:2012-06 wird immer noch der veraltete Begriff Schutzisolierung verwendet. Man kann aber die einzelnen Kapselungsarten nicht scharf voneinander trennen, wenn man entscheiden soll, welche Anlage für welchen Zweck am besten passt.

Die *Isolierstoffanlage*, z. B. in glasfaserverstärktem Polyester, weist trotz geringen Gewichts hohe mechanische Widerstandsfähigkeit auf. Man findet sie für Bemessungsströme bis 1 800 A, in staubigen, feuchten oder chemisch aggressiven Räumen des Handwerks, der mittleren Industrie, in Papierfabriken, der Textil-, Leder- und Nahrungsmittelindustrie, Zuckerfabriken, Landwirtschaft, Molkereien, Brauereien, Krankenhäusern, Verwaltungsgebäuden und Schulen (Schutzart z. B. IP55, auch IP65). Die Kurzschlussfestigkeit reicht bis etwa 80 kA Scheitelwert.

Die *Gusseisenanlage* ist für den mittleren Leistungsbereich (630 A) in stark staubigen, sehr feuchten Räumen bei rauem Betrieb besonders geeignet. Beispiele sind Hütten- und Bergbaubetriebe, Hafenanlagen, Kläranlagen, Wasserwerke, chemische Industrie, Zuckerfabriken, Kraftwerke, Landwirtschaft (Schutzart z. B. IP65) im Freien und unter einem Schutzdach.

Der *stahlblechgekapselten Anlage* begegnet man bei größeren Leistungen (4 000 A) in mäßig staubigen, trockenen Betriebsräumen, z. B. Kraftwerken, Gas- und Was-

serwerken, Schwer- und Grundstoffindustrie, Erdölraffinerien, chemische Industrie (Schutzart z. B. IP40, IP50 bis IP65). Die Kurzschlussfestigkeit der Sammelschienen kann bis zu 220 kA Scheitelwert betragen. Für die chemische Industrie werden korrosionsfeste Siluminverteiler gebaut. Sie sind beständig gegen Seewasser, basische und saure Dämpfe.

In die Energieverteiler werden, eingebaut in Schränken gleichen Systems, auch die Kondensator-Schaltbaugruppen für die *Blindstromkompensation* direkt an das Sammelschienensystem angeschlossen.

## 7.3 Netzverhältnisse

VDE 0102

### 7.3.1 Zuleitung

Für die Verteilungsanlage muss der Querschnitt der Zuleitung und der Sammelschienen bestimmt werden. Hierzu müssen bekannt sein:

- die Spannung $U$,
- die installierte Leistung $P$,
- der Gleichzeitigkeitsfaktor $g$, da die gesamte installierte Leistung nur selten gleichzeitig eingeschaltet wird,
- der Leistungsfaktor $\cos\varphi$.

Der Zuleitungsstrom ergibt sich aus

$$I = \frac{P \cdot g}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi}.$$

*Beispiel:* $U$ = 3 N AC 50 Hz 400/230 V, $P$ = 110 kW, $g$ = 0,6, $\cos\varphi$ = 0,73

$$I = \frac{110\,000\ \text{W} \cdot 0{,}6}{\sqrt{3} \cdot 400\ \text{V} \cdot 0{,}73} = 130\ \text{A}$$

Wegen späterer Erweiterung wird man vielleicht mit 200 A rechnen. Für die Zuleitung wird daher ein Kunststoffkabel NYY 4 × 70 mm$^2$ gewählt.

Bei Wohngebäuden ist die Leitung vom Zählerplatz zum Stromkreisverteiler nach DIN 18015-1 als Drehstromleitung für eine Mindestbelastbarkeit von 3 × 63 A auszulegen.

## 7.3.2 Kurzschlusssicherheit

Die Einschalt- und Ausschaltbeanspruchung der Schaltgeräte und die dynamische und thermische Beanspruchung eines Anlagenteils ergeben sich aus den größten Kurzschlussströmen. Hierfür gibt VDE 0102 nähere Hinweise. Danach ist der größte effektive Kurzschlusswechselstrom bei dreipoligem generatorfernem Kurzschluss

$$I_k = \frac{U}{\sqrt{3}\sqrt{R_k^2 + X_k^2}}.$$

Bei einem „starren" Hochspannungsnetz brauchen nur die Widerstände im Transformator und in den Leitungen berücksichtigt zu werden (**Tabellen 7.2** und **7.3**).

***Tabelle 7.2:*** *Wirk- und Blindwiderstände von Transformatoren*

| Leistung $S_{nT}$ kVA | Wirkwiderstand $R_T$ mΩ | Blindwiderstand $X_T$ mΩ |
|---|---|---|
| 100 | 28,0 | 72,8 |
| 160 | 15,0 | 58,1 |
| 250 | 8,3 | 37,5 |
| 315 | 6,2 | 29,4 |
| 500 | 3,5 | 18,7 |
| 630 | 2,6 | 15,0 |
| 1 000 | 1,8 | 9,4 |
| 1 250 | 1,3 | 7,6 |

***Tabelle 7.3:*** *Wirkwiderstände von Freileitungen und Kabeln bei 20 °C*

| Querschnitt $A$ mm² | Wirkwiderstandsbelag in Ω/km | |
|---|---|---|
| | Cu-Leiter | Al-Leiter |
| 10 | 1,810 | – |
| 16 | 1,141 | 1,891 |
| 25 | 0,724 | 1,201 |
| 35 | 0,526 | 0,876 |
| 50 | 0,389 | 0,642 |
| 70 | 0,271 | 0,444 |
| 95 | 0,197 | 0,321 |
| 120 | 0,157 | 0,255 |

Der Blindwiderstand $X_L$ für Kabel und Leitungen beträgt etwa 0,08 mΩ/m, für Freileitungen 0,33 mΩ/m, für Sammelschienen etwa 0,2 mΩ/m.

*Beispiel:* Ein Verteiler werde von einem 250-kVA-Transformator, $U = 400$ V, $I_{nT} = 360$ A, $u_k = 6$ %, über 60 m Freileitung, $4 \times 35$ mm$^2$ Cu mit 80 m NYY-Kabel, $4 \times 50$ mm$^2$ Cu gespeist. Gesucht wird der größte Kurzschlussstrom im Verteiler.

Die Widerstände der einfachen Strecke (140 m) sind

$$R_T + R_L + R_K = 8{,}3\ \text{m}\Omega + 31{,}6\ \text{m}\Omega + 31{,}1\ \text{m}\Omega = 71{,}0\ \text{m}\Omega\ .$$

Die Blindwiderstände betragen

$$X_T + X_L + X_K = 37{,}5\ \text{m}\Omega + 19{,}8\ \text{m}\Omega + 6{,}4\ \text{m}\Omega = 63{,}7\ \text{m}\Omega\ .$$

Daraus errechnet sich der Scheinwiderstand zu

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} = \sqrt{(71{,}0\ \text{m}\Omega)^2 + (63{,}7\ \text{m}\Omega)^2} = 95{,}4\ \text{m}\Omega\ .$$

Nunmehr wird

$$I_k = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = 2{,}42\ \text{kA}\ .$$

Nicht nur die Leiter, sondern auch ihre *Träger* und alle *Befestigungsmittel* müssen so gewählt werden, dass die bei Kurzschluss auftretenden Kräfte und Erwärmungen von allen Teilen ohne Beschädigung aufgenommen werden können (s. auch VDE 0103).

Bei einem Transformator von 630 kVA, $u_k = 4$ %, ist an dem Wohnungsverteiler bei unmittelbarer Transformatornähe mit einem dreiphasigen Kurzschlussstrom von 6 kA, entsprechend einem einphasigen Kurzschlussstrom gegen den Neutralleiter von 3...3,5 kA, zu rechnen. Mit Ausnahme der seltenen Klemmenkurzschlüsse wird der Strom jetzt schon durch sehr kurze Leitungslängen der üblichen Querschnitte in der Verbraucheranlage wesentlich gedämpft.

In der Praxis entarten viele Kurzschlüsse zu Lichtbogenkurzschlüssen mit entsprechender Dämpfung durch den Widerstand des Lichtbogens. Damit fließen nur noch rd. 30 % des berechneten Kurzschlussstroms.

Weiterführende Hinweise findet man in [2].

# 7.4 Überstromschutzeinrichtungen

## 7.4.1 Auswahlkriterien

Der Planer oder Hersteller einer Schaltanlage bzw. eines Verteilers muss sich bei der Auswahl von Schutzeinrichtungen eine Reihe von Fragen stellen:

- Was soll geschützt werden (z. B. Leitung, Motor, Personen, besonderer Brandschutz, ...)? Eignet sich die ausgewählte Schutzeinrichtung für die zu schützenden Anlagenteile?
- Welches Ausschaltvermögen ist am Einbauort der Schutzeinrichtung erforderlich?
- Ist Selektivität zwischen in Reihe geschalteten Schutzeinrichtungen erforderlich?
- Ist eine Schutzeinrichtung mit Durchlassstrombegrenzung erforderlich, um die Kurzschlussfestigkeit der Schaltanlage zu gewährleisten?
- Kann die Verlustleistung der Schutzeinrichtungen abgeführt werden?

I. Allg. wird der Hersteller der Schaltanlage dies mit dem Anwender abstimmen, um einen optimalen Schutz der Anlagen sowie ein auf den Anwender abgestimmtes Wartungskonzept zu gewährleisten.

In Wohngebäuden sind nach DIN 18015-1 für Beleuchtungs- und Steckdosenstromkreise LS-Schalter oder Fehlerstromschutzeinrichtungen mit eingebautem Überstromschutz (RCBOs), auch FI/LS-Schalter genannt, vorzusehen.

Im Folgenden sind die wichtigsten Kenngrößen der gängigsten Schutzeinrichtungen aufgeführt. Eine Gegenüberstellung bzw. ein Vergleich wichtiger Kenndaten und Eigenschaften ist aus den **Tabellen 7.4** und **7.5** zu ersehen.

***Tabelle 7.4:*** *Gegenüberstellung wichtiger Nenndaten von Überstromschutzeinrichtungen*

| Schutzeinrichtung | Auslösestrom | Ausschalt-vermögen | Selektivität | Durchlass-strom |
|---|---|---|---|---|
| gL/gG-Sicherung | (1,5...2,1) $I_n$ (1 h)<br>10 $I_n$ (0,2 s) | ≥ 50 kA | sehr gut | stark begrenzt |
| LS-Schalter<br>Typ B und C | 1,45 $I_n$ (1 h)<br>5 bzw. 10 $I_n$ (0,1 s) | 3...10 kA | problematisch | Klasse 3<br>begrenzend |
| Leistungsschalter | (1,05...1,30) $I_n$<br>(1 h: $I_n \leq 63$ A; 2 h: $I_n > 63$ A)<br>(3...15) $I_n$ (0,1 s) | 10...100 kA | möglich | nicht bis stark<br>begrenzend |

*Tabelle 7.5: Vergleich der Schutzeigenschaften von Sicherungen und Schutzschaltern sowie deren Schaltkombinationen*

| Schutzobjekt | Schutzeinrichtung | Überlastschutz | Kurzschlussschutz |
|---|---|---|---|
| Leitung | Sicherung | befriedigend | sehr gut |
| | LS-Schalter Typ B und C | gut | gut |
| | Leistungsschalter | gut | gut |
| Motor | Sicherung | nicht möglich | gut |
| | Schutzschalter | gut | gut |
| | Sicherung + Überstromauslöser | sehr gut | gut |

## 7.4.2 Schmelzsicherungen

VDE 0635; Reihe VDE 0636

Schmelzsicherungen heißen nach den VDE-Bestimmungen nur *Sicherungen*, wobei damit – auch in Fachkreisen – üblicherweise nur ein Teil der Sicherung gemeint ist, nämlich der Sicherungseinsatz. Nach der Produktnorm besteht eine *Sicherung* aus dem *Sicherungseinsatz*, dem *Sicherungsunterteil* und dem *Passeinsatz*. Der Sicherungseinsatz ist Teil der Sicherung, der den oder die Schmelzleiter enthält und ersetzt werden soll, wenn die Sicherung ausgeschaltet hat. Das Sicherungsunterteil, auch Sicherungssockel genannt, ist der fest eingebaute Teil einer Sicherung mit Kontakten und Anschlüssen. Der Passeinsatz ist ein zusätzlicher Teil des Sicherungsunterteils bei D-Sicherungen (s. Abschn. 7.4.2.2).

Für Niederspannungs-Installationsanlagen gibt es folgende international verbreitete Bauarten:

- Sicherungen mit Messerkontaktstücken: NH-Sicherungssystem,
- Schraubsicherungen: D-Sicherung, D0-Sicherung.

Sicherungen nach dem NH-Sicherungssystem werden nach der Produktnorm *Sicherungen zum Gebrauch durch Elektrofachkräfte bzw. elektrotechnisch unterwiesene Personen (Sicherungen überwiegend für den industriellen Gebrauch)* genannt. Diese Sicherungen sind zur Verwendung in Anlagen bestimmt, in denen die Sicherungen nur Elektrofachkräften oder elektrotechnisch unterwiesenen Personen zugänglich sind und nur durch diese ausgewechselt werden dürfen. Die Unverwechselbarkeit und der Schutz gegen zufälliges Berühren von aktiven Teilen müssen nicht unbedingt durch die Konstruktion sichergestellt sein.

Sicherungen nach dem D-/D0-System werden nach der Produktnorm *Sicherungen zum Gebrauch durch Laien (Sicherungen überwiegend für Hausinstallationen oder ähnliche Anwendungen)* genannt. Die Sicherungen sind zur Verwendung in Anlagen bestimmt, in denen die Sicherungen Laien zugänglich sind und durch diese ausgewechselt werden können. Bei diesen Sicherungen ist die Unverwechselbarkeit in der Regel durch die Produktnormen vorgeschrieben.

#### 7.4.2.1 NH-Sicherungssystem

Die unter Elektrofachkräften als fester Begriff bekannten *NH-Sicherungen* heißen seit Inkrafttreten der VDE-Produktnorm 0636-2 im März 2008 *Sicherungen mit Sicherungseinsätzen mit Messerkontaktstücken (NH-Sicherungssystem)* (bisher: *NH-System*). Der aktuelle Stand der VDE 0636-2 ist Mai 2015. Das Kurzzeichen *NH* ist aus der früheren Bezeichnung *Niederspannungs-Hochleistungs-Sicherungssystem* erhalten geblieben, sicher nicht zuletzt deswegen, weil es als *NH-Sicherung* unter Elektrofachkräften ein fester Begriff ist und sicher auch bleiben wird.

Nach der Norm wird das *NH-Sicherungssystem* unterteilt nach

- Sicherungssystem A – Sicherungen mit Sicherungseinsätzen mit Messerkontaktstücken (NH-Sicherungssystem),
- Sicherungssystem B – Sicherungen mit Sicherungseinsätzen mit Messerkontaktstücken mit Schlagvorrichtung (NH-Sicherungssystem),
- Sicherungssystem C – Sicherungsleisten (NH-Sicherungssystem) und
- Sicherungssystem D – Sicherungsunterteile für Sammelschienenmontage (40-mm-System) (NH-Sicherungssystem).

Unverständlicherweise werden nach der Norm alle vier unterteilten Systeme in Klammern einheitlich mit *NH-Sicherungssystem* ohne jeglichen Zusatz abgekürzt. Die Schlagvorrichtung bei Sicherungssystem B betätigt beim Auslösen der Sicherung eine Meldevorrichtung (z. B. Mikroschalter). Das *NH-Sicherungssystem* für Bemessungsströme von 2…1 250 A dient industriellen und ähnlichen Anwendungen. Die NH-Sicherung setzt sich aus dem *Sicherungsunterteil* (Sicherungssockel) und dem *Sicherungseinsatz* zusammen (**Bild 7.2**). Der Sicherungseinsatz ist der Teil der Sicherung, der den oder die Schmelzleiter enthält und ersetzt wird, wenn die Sicherung angesprochen bzw. ausgeschaltet hat. Der Sicherungseinsatz ist also das, was landläufig als eigentliche Sicherung verstanden wird. NH-Sicherungseinsätze dürfen nur durch Fachkräfte mit einem Sicherungsaufsteckgriff bedient werden. NH-Sicherungseinsätze können auch in NH-Sicherungsleisten und NH-Sicherungsschaltern verwendet werden. NH-Sicherungsschalter werden nach VDE 0660-107 unterschieden nach




***Bild 7.2:*** *NH-Sicherung mit Isolierabdeckungen zur Erhöhung der Sicherheit (Werkbild: Siemens)*

- *Schalter-Sicherungs-Einheit:* Kombination eines Schaltgeräts mit einer Sicherung oder mehreren Sicherungen zu einer baulichen Einheit,
- *Lastschalter mit Sicherung:* Lastschalter, bei dem ein Pol oder mehrere Pole eine Sicherung in Reihe haben und eine bauliche Einheit bilden, *Sicherungslastschalter:* Lastschalter, bei dem ein Sicherungseinsatz den sich bewegenden Kontakt bildet,
- *Trennschalter mit Sicherung:* Trennschalter, bei dem ein Pol oder mehrere Pole eine Sicherung in Reihe haben und eine bauliche Einheit bilden,
- *Sicherungstrennschalter:* Trennschalter, bei dem ein Sicherungseinsatz den sich bewegenden Kontakt bildet,
- *Lasttrennschalter mit Sicherung:* Lasttrennschalter, bei dem ein Pol oder mehrere Pole eine Sicherung in Reihe haben und eine bauliche Einheit bilden, und
- *Sicherungslasttrennschalter:* Lasttrennschalter, bei dem ein Sicherungseinsatz oder ein Sicherungshalter mit Sicherungseinsatz den bewegbaren Kontakt bildet.

NH-Unterteile und NH-Sicherungseinsätze gibt es in folgenden Größen (genannt *Baugröße*):

| | | | |
|---|---|---|---|
| Baugröße 00 | 6 bis 160 A | Baugröße 3 | 315 bis 630 A |
| Baugröße 0 | 6 bis 160 A | Baugröße 4 | 500 bis 1 000 A |
| Baugröße 1 | 80 bis 250 A | Baugröße 4a | 500 bis 1 250 A |
| Baugröße 2 | 125 bis 400 A | | |

Die Baugröße 0 ist für Neuanlagen nicht erlaubt, außer für Sicherungseinsätze mit Schlagvorrichtung. Die Bemessungsspannung beträgt AC 400 V, 500 V und 690 V

sowie DC 250 V und 440 V, die von Sicherungsunterteilen AC 690 V. Das Bemessungsausschaltvermögen (bisher auch: Bemessungsausschaltstrom) ist mindestens AC 50 kA bzw. DC 25 kA.

In Gewerbebetrieben sollten bei Bemessungsströmen über 63 A nur NH-Sicherungen verwendet werden; in Ringleitungen dürfen nur NH-Sicherungen verwendet werden.

Die Berufsgenossenschaften registrieren nach wie vor *Unfälle* beim Umgang mit NH-Sicherungen. Vor allem infolge der Lichtbogenbildung kann es zu Verbrennungen – meist 2. Grades – kommen.

Bei der Errichtung neuer Anlagen sollte daher eine allseitig geschottete Bauweise gewählt werden, bei der Phasentrennwände aus Isolierstoff eine Leiterüberbrückung sicher verhindern. Insbesondere aber bieten Sicherungstrenner, die ein Einlegen und Entfernen von Sicherungspatronen in einem Schwenkdeckel außerhalb des Gefahrenbereichs möglich machen, eine erhebliche zusätzliche Sicherheit. Nach VDE 0680-4 werden NH-Sicherungsaufsteckgriffe mit Stulpenhandschuhen hergestellt, mit denen man NH-Sicherungseinsätze in Sicherungsunterteile gefahrlos einsetzen oder aus diesen herausnehmen kann.

Zur Überwachung des Schaltzustands von NH-Sicherungen (Vermeiden von Einleiterlauf) kann den Sicherungen ein Schutzschalter parallel geschaltet werden, oder das Sicherungssystem B (Sicherungen mit Sicherungseinsätzen mit Schlagvorrichtung) eingesetzt werden. Es gibt auch eine elektronische Fernüberwachung, die bei allen normgerechten 1-poligen NH-Sicherungen der Größe 00 bis 4 auf den Sicherungseinsatz aufgesteckt werden kann.

### 7.4.2.2 D-Sicherungen

D-Sicherungen (seit Inkrafttreten von VDE 0636-3:2008-03 *Sicherungssystem A* genannt; aktuelle Ausgabe 2013-12) werden nach den zwei Baugrößen D und D0 mit den Stufungen DII, DIII und DIV sowie D01, D02 und D03 unterteilt. Weitere international genormte Sicherungssysteme B bis F wurden nicht in das deutsche Normenwerk übernommen. Im Handel und in Fachkreisen ist für Sicherungen der Bauart DII, DIII und DIV auch noch der Name *DIAZED-Sicherungen* und der Bauart D01, D02 und D03 der Name NEOZED-Sicherungen üblich. Nach VDE 0636-3 gibt es D-Sicherungen für Bemessungsströme von 2 A bis 100 A bei einer Bemessungsspannung bis AC 400 V/DC 250 V bei den Baugrößen D01, D02 und D03 sowie bis AC/DC 500 V bei den Baugrößen DII, DIII und DIV. Die Unverwechselbarkeit der Einsätze wird durch Abstufung der Fußdurchmesser erreicht. Eine D-Sicherung setzt sich zusammen aus dem Sicherungssockel (Sicherungsunterteil), Passeinsatz (Ring- oder Schraubpasseinsatz), Sicherungseinsatz und Schraubkappe (Sicherungsschraubkappe).

In Hausinstallationen werden am meisten die D-Sicherungen mit den Baugrößen DII bis IV eingesetzt. Entsprechend dem Bemessungsstrom gibt es verschiedene Größen:

Größe DII: E-27-Gewinde für Sicherungseinsätze 2...25 A,

Größe DIII: E-33-Gewinde für Sicherungseinsätze 35...63 A,

Größe DIV: G 1 ¼″-Gewinde für Sicherungseinsätze 80...100 A.

D-Sicherungseinsätze haben je nach Bemessungsstrom verschiedenfarbige Kennmelder (Anzeiger) (**Tabelle 7.6**). Mit Inkrafttreten von VDE 0636-3:2013-12 wurde ein zusätzlicher Sicherungseinsatz mit dem Bemessungsstrom 32 A und der Kennmelderfarbe violett eingeführt.

***Tabelle 7.6:*** *Farben der Kennmelder von D- und D0-Sicherungen*

| $I_n$ A | Farbe | $I_n$ A | Farbe |
|---|---|---|---|
| 2 | rosa | 25 | gelb |
| 4 | braun | 32 | violett |
| 6 | grün | 35 | schwarz |
| 10 | rot | 50 | weiß |
| 13 | schwarz | 63 | kupfer |
| 16 | grau | 80 | silber |
| 20 | blau | 100 | rot |

D0-Sicherungen erlauben eine besonders raumsparende Bauweise. Sie bieten bis 63 A eine einheitliche Sockelbreite und zeichnen sich aus durch geringe Verlustleistung und Erwärmung.

Bezüglich des Bemessungsstroms, des prinzipiellen Aufbaus und der Kennmelder (Tabelle 7.6) besteht Übereinstimmung mit Sicherungen der Baugröße DII–DIV. Je nach Bemessungsstrombereich werden 3 Größen verwendet:

Größe D01: E-14-Gewinde für Sicherungseinsätze 2...16 A,

Größe D02: E-18-Gewinde für Sicherungseinsätze 20...63 A,

Größe D03: M 30 × 2-Gewinde für Sicherungseinsätze 80...100 A.

Sicherungsunterteile von Schraubsicherungen (D-Sicherungen) müssen so angeschlossen werden, dass die Zuleitung am Fußkontakt liegt. Sie müssen immer dann

mit Passeinsätzen ausgestattet sein, wenn die Gefahr besteht, dass nicht unterwiesene Personen einen Sicherungseinsatz durch einen Einsatz höherer Bemessungsstromstärke ersetzen können (z. B. in Hausinstallationen).

### 7.4.2.3 Sicherungskenngrößen

Die Niederspannungssicherungen der genannten Bauarten (NH-, D-Sicherungen) werden entsprechend ihrem Zeit-Strom-Verhalten und ihrer Fähigkeit, Ströme über den gesamten Bereich oder nur über einen Teilbereich ihrer Zeit-Strom-Kennlinie auszuschalten, in folgende *Betriebsklassen* unterteilt, wobei der erste Buchstabe den Ausschaltbereich und der zweite die Anwendung bezeichnet:

gL, gG: Ganzbereichs-Sicherungseinsätze für allgemeine Anwendung, insbesondere für Kabel- und Leitungsschutz,

gM: Ganzbereichs-Motorschutz,

aM: Teilbereichs-Motorschutz,

aR: Teilbereichs-Halbleiterschutz,

gR: Ganzbereichs-Halbleiterschutz,

gB: Ganzbereichs-Bergbauanlagenschutz.

Im Zuge der Harmonisierung der VDE-Vorschriften wurde mit VDE 0636-10 seit Juli 1992 die Betriebsklasse gG eingeführt, die aber weitgehend mit der in Deutschland üblichen Betriebsklasse gL identisch ist. Genormt ist die Sicherung mit der Betriebsklasse gL nicht mehr. Dieser Sicherungstyp darf nicht mehr hergestellt werden, aber natürlich noch verwendet werden. Als Leitungsschutzsicherungen können mit Ausnahme von bergbaulichen Anlagen nur gL- bzw. gG-Sicherungen eingesetzt werden. Die gL-Sicherung hat die früher verwendete „flinke" und „träge" Sicherung ersetzt.

**Auslösestrom**

Für den Schutz bei Überlast und Kurzschluss von Leitungen ist die *Zeit-Strom-Kennlinie* der Sicherung von großer Bedeutung. Im **Bild 7.3** ist der Strom-Zeit-Bereich – *Tor*, früher auch *Streuband* genannt – einer Sicherung nach der Reihe VDE 0636 prinzipiell für den Ausschaltbereich „g" dargestellt. Die Sicherung muss innerhalb der größten (oberen) Zeit-Strom-Kennlinie – der *Ausschaltkennlinie* – und der kleinsten (unteren) Zeit-Strom-Kennlinie – der *Schmelzkennlinie* – auslösen. Für den Nachweis der Ansprechsicherheit ist die größte Ausschaltkennlinie maßgebend. Als *Auslösestrom – großer Prüfstrom* $I_f$ (früher: $I_2$) – wird der Stromwert bezeichnet, der innerhalb einer bestimmten Prüfdauer das Ausschalten der Sicherung bewirkt.

Der hier angesprochene Auslösestrom $I_f$, der in den Produktbestimmungen der Reihe VDE 0636 als großer Prüfstrom bezeichnet wird, wird in den Errichtungsbestimmungen der Reihe VDE 0100 als Auslösestrom mit dem Formelzeichen $I_2$ bezeichnet. In alten Produktbestimmungen (bis zum Jahr 1988) wurde der große Prüfstrom ebenfalls mit $I_2$ bezeichnet. Speziell in dem Teil 430 der VDE 0100 wird der Begriff *Auslösestrom* überhaupt nicht verwendet; der Strom $I_2$ wird hier ohne Begriffsbezeichnung beschrieben als der Strom, der eine wirksame Abschaltung in der für die Schutzeinrichtung festgelegten Zeit sicherstellt. Leider haben sich die zuständigen Normengremien für die Errichtungs- und die Produktbestimmungen bisher nicht auf ein einheitliches Formelzeichen einigen können. Beim *kleinen Prüfstrom* (frühere Bezeichnung: *Nichtauslösestrom*) $I_{nf}$ (früher: $I_1$) darf dagegen die Sicherung innerhalb einer bestimmten Prüfdauer belastet werden, ohne zu schmelzen (**Tabellen 7.7** und **7.8**). Die *Prüfdauer*, d. h. die Auslösezeit (großer Prüfstrom), beträgt für Sicherungen vom Typ gG (gL):

| Sicherung | Prüfdauer |
|---|---|
| ≤ 63 A | 1 h |
| 80...160 A | 2 h |
| 200...400 A | 3 h |
| > 400 A | 4 h |

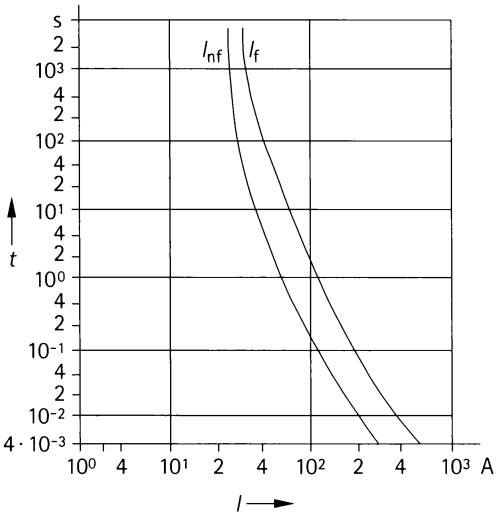



***Bild 7.3:*** *Prinzipieller Verlauf des Strom-Zeit-Bereichs von gG-Sicherungen für den Ausschaltbereich*

*Tabelle 7.7: Auslöseströme in A von NH-Sicherungen des Typs gL*

| Bemessungsstrom der Sicherung | kleiner Prüfstrom $I_{nf}$ | großer Prüfstrom $I_f$ | Strom bei Abschaltung in | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 5 s | 0,4 s | 0,2 s | 0,1 s |
| 2 | 3,0 | 4,1 | 9,3 | 16,1 | 19,8 | 24,2 |
| 4 | 6,0 | 8,2 | 19,2 | 32,4 | 39,2 | 48,4 |
| 6 | 9,0 | 10,8 | 27,9 | 48,4 | 60,3 | 73,8 |
| 10 | 14,9 | 18,7 | 46,0 | 79,8 | 97,5 | 119 |
| 16 | 21,7 | 27,2 | 68,7 | 120 | 146 | 179 |
| 20 | 27,9 | 35,0 | 83,9 | 154 | 184 | 232 |
| 25 | 34,6 | 44,5 | 119 | 210 | 249 | 305 |
| 32 | 41,6 | 51,2 | 153 | 271 | 328 | 392 |
| 40 | 53,1 | 65,3 | 199 | 350 | 419 | 511 |
| 50 | 65,3 | 79,8 | 252 | 476 | 559 | 681 |
| 63 | 83,9 | 103 | 341 | 631 | 755 | 894 |
| 80 | 103 | 128 | 427 | 836 | 951 | 1164 |
| 100 | 129 | 158 | 562 | 1051 | 1256 | 1492 |
| 125 | 162 | 198 | 704 | 1350 | 1617 | 2000 |
| 160 | 208 | 255 | 951 | 1778 | 2191 | 2599 |
| 200 | 255 | 324 | 1253 | 2305 | 2822 | 3455 |
| 250 | 312 | 402 | 1650 | 3045 | 3548 | 4519 |
| 315 | 402 | 492 | 2066 | 3921 | 4681 | 5666 |
| 400 | 518 | 634 | 2721 | 5179 | 6342 | 7661 |
| 500 | 650 | 796 | 3584 | 6670 | 8167 | 10000 |
| 630 | 817 | 1000 | 5088 | 9753 | 11639 | 14251 |
| 800 | 1026 | 1256 | 6535 | 12557 | 15375 | 18354 |
| 1000 | 1256 | 1617 | 8606 | 16587 | 20309 | 24866 |
| 1250 | 1577 | 2031 | 11333 | 21911 | 26827 | 33688 |

*Tabelle 7.8: Auslöseströme in A von NH-Sicherungen des Typs gG*

| Bemessungsstrom der Sicherung | kleiner Prüfstrom $I_{nf}$ | großer Prüfstrom $I_f$ | Strom bei Abschaltung in | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 5 s | 0,4 s | 0,2 s | 0,1 s |
| 2 | 3,0 | 4,2 | 9,1 | 15,7 | 18,6 | 22,4 |
| 4 | 6,1 | 8,6 | 18,7 | 31,9 | 38,4 | 47,0 |
| 6 | 9,0 | 11,9 | 26,6 | 46,1 | 55,2 | 70,0 |
| 10 | 15,3 | 19,4 | 47,0 | 81,7 | 96,4 | 114 |
| 16 | 20,0 | 25,6 | 65,1 | 108 | 127 | 153 |
| 25 | 31,4 | 40,6 | 108 | 181 | 215 | 259 |

*Tabelle 7.8: (Fortsetzung)*

| Bemessungsstrom der Sicherung | kleiner Prüfstrom $I_{nf}$ | großer Prüfstrom $I_f$ | Strom bei Abschaltung in | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 5 s | 0,4 s | 0,2 s | 0,1 s |
| 32 | 41,3 | 53,5 | 156 | 269 | 313 | 363 |
| 40 | 49,7 | 64,3 | 191 | 316 | 376 | 455 |
| 50 | 65,3 | 81,7 | 264 | 466 | 555 | 643 |
| 63 | 78,8 | 100 | 316 | 545 | 656 | 810 |
| 80 | 102 | 132 | 441 | 823 | 971 | 1138 |
| 100 | 126 | 158 | 580 | 1019 | 1200 | 1440 |
| 125 | 161 | 204 | 751 | 1441 | 1668 | 1977 |
| 160 | 200 | 259 | 937 | 1679 | 2034 | 2512 |
| 200 | 255 | 317 | 1315 | 2512 | 3000 | 3499 |
| 250 | 316 | 400 | 1616 | 2951 | 3617 | 4382 |
| 315 | 403 | 521 | 2194 | 4084 | 5000 | 5970 |
| 400 | 505 | 656 | 2786 | 5517 | 6556 | 7943 |
| 500 | 654 | 808 | 3866 | 7067 | 8640 | 10844 |
| 630 | 794 | 1031 | 5012 | 9441 | 11438 | 14125 |
| 800 | 1037 | 1329 | 7067 | 13428 | 16444 | 19770 |
| 1000 | 1259 | 1616 | 9190 | 16156 | 19573 | 23714 |
| 1250 | 1608 | 2040 | 13182 | 24210 | 29648 | 35645 |

*Tabelle 7.9: Auslöseströme in A von D-Sicherungen des Typs gG*

| Bemessungsstrom der Sicherung | kleiner Prüfstrom $I_{nf}$ | großer Prüfstrom $I_f$ | Strom bei Abschaltung in | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 5 s | 0,4 s | 0,2 s | 0,1 s |
| 2 | 3,3 | 4,1 | 9,5 | 15,8 | 19,1 | 22,9 |
| 4 | 6,2 | 8,5 | 18,1 | 31,6 | 38,5 | 46,1 |
| 6 | 9,1 | 11,8 | 27,5 | 47,9 | 58,6 | 71,8 |
| 10 | 15,0 | 18,8 | 46,1 | 80,6 | 94,7 | 113 |
| 13 | 16,2 | 20,6 | 57,8 | 102 | 119 | 142 |
| 16 | 20,0 | 25,4 | 69,2 | 111 | 129 | 160 |
| 20 | 25,0 | 32,2 | 85,1 | 149 | 168 | 195 |
| 25 | 31,1 | 39,4 | 112 | 185 | 220 | 225 |
| 35 | 43,7 | 55,2 | 172 | 311 | 372 | 445 |
| 50 | 65,7 | 80,3 | 261 | 459 | 442 | 643 |
| 63 | 79,1 | 106 | 322 | 562 | 685 | 851 |
| 80 | 102 | 129 | 434 | 819 | 964 | 1096 |
| 100 | 129 | 163 | 594 | 1055 | 1263 | 1512 |

Spezialsicherungen vom Typ aM, gB und gTr haben z. T. andere Auslösezeiten, z. B. beträgt die für aM-Sicherungen nur 60 s. Der große Prüfstrom beträgt für Bemessungsströme (Nennströme)

$$I_f = 2{,}1\ I_n \quad \text{für} \quad I_n \leq 4\ \text{A},$$
$$I_f = 1{,}9\ I_n \quad \text{für} \quad I_n = 6 \text{ und } 10\ \text{A},$$
$$I_f = 1{,}6\ I_n \quad \text{für} \quad I_n \geq 16\ \text{A}.$$

Durch eine spezielle Prüfung der Kabelhersteller (Kabelüberlastprüfung) für gG-Sicherungen ab 16 A Bemessungsstrom ($I_n \geq 16$ A) mit einem Prüfstrom von 1,45 $I_n$ *wird nachgewiesen, dass Sicherungen und Leitungsschutzschalter gleichwertige* Schutzeinrichtungen sind. Dadurch vereinfacht sich die Zuordnung des Kabels zur Schutzeinrichtung auf die Einhaltung der Bedingung

$$I_n \leq I_z\ ;$$

$I_n$ Bemessungsstrom der Sicherung,

$I_z$ Strombelastbarkeit der Leitung bzw. des Kabels.

Bei Verwendung von Leitungsschutzsicherungen kann also deren Bemessungsstrom unmittelbar der Strombelastbarkeit der Leitung oder des Kabels zugeordnet werden, um den Schutz bei Überlast zu sichern (s. Abschn. 8.4).

### Ausschaltvermögen

Sicherungen haben ein sehr hohes Ausschaltvermögen. Nach der Reihe VDE 0636 müssen sie bei Wechselstrom (≤ AC 690 V) einen Kurzschlussstrom von mindestens 50 kA (D- und NH-Sicherungen) abschalten können (Bemessungsausschaltvermögen). Bei Gleichstrom (≤ DC 750 V) wird für Schraubsicherungen (D-Sicherungen) 8 kA, für NH-Sicherungen 25 kA gefordert. Tragen Sicherungen keine Aufschrift über die Art der Spannung, so sind sie für den Einsatz in Gleich- und Wechselstromkreisen geeignet.

### Selektivität

Die Strom-Zeit-Bereiche von Leitungsschutzsicherungen $I_n \geq 16$ A sind so aufeinander abgestimmt, dass Sicherungen, deren Bemessungsströme im Verhältnis 1 : 1,6 stehen, untereinander selektiv abschalten. Überspringt man jeweils eine Sicherungsstufe (z. B. vor 16-A-Sicherung nicht 20-A-, sondern 25-A-Sicherung), dann ist dies in der Praxis gewährleistet.

### Durchlassstrom

Auch in Hinblick auf die Strombegrenzung sind Sicherungen LS-Schaltern und Leistungsschaltern überlegen. Bei sehr hohen Kurzschlussströmen wird der Fehler bereits unterbrochen, bevor der Kurzschlussstrom seinen Maximalwert erreicht hat. **Bild 7.4** zeigt den maximalen Durchlassstrom von NH-Sicherungen.

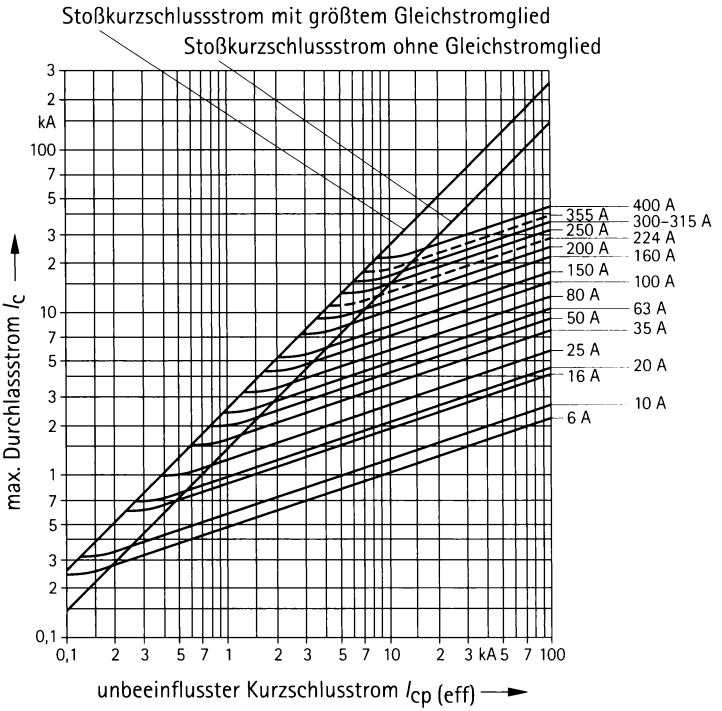



***Bild 7.4:*** *Durchlassstromkennlinien von NH-Sicherungen (Quelle: Siemens)*

Nach VDE 0638 sind *Schalter-Sicherungs-Einheiten* (Sicherungslastschalter bis 100 A AC 415 V) auf dem Markt. Die Schaltgeräte sind für die Aufnahme von Leitungsschutz-Sicherungseinsätzen des D0-Systems vorgesehen. Schalter-Sicherungs-Einheiten der neueren Art nach VDE 0660-107 für Verteiler und Motorstromkreise bis AC 1 000 V oder DC 1 500 V werden in verschiedenen Ausführungen angeboten. Bei einer Ausführungsart hat ein Pol oder haben mehrere Pole der jeweiligen Schalterart (Lastschalter, Trennschalter, Lasttrennschalter) eine Sicherung in Reihe und bilden eine bauliche Einheit (*Schalter-Sicherungs-Einheit*). Die Einheiten heißen

dann *Lastschalter mit Sicherung*, *Trennschalter mit Sicherung* oder *Lasttrennschalter mit Sicherung*. Bei der anderen Ausführungsart bildet ein Sicherungseinsatz den sich bewegenden Kontakt des jeweiligen Schalters. Entsprechend heißen diese Schalter *Sicherungslastschalter*, *Sicherungstrennschalter* oder *Sicherungslasttrennschalter*. **Bilder 7.5** und **7.6** zeigen dreipolige Ausführungen eines Sicherungslasttrennschalters, der also die Last eines Stromkreises unterbrechen kann, gleichzeitig die Trennfunktion erfüllt und den Überstromschutz abdeckt. Last schalten bedeutet, dass ein entsprechender Schalter Ströme unter üblichen Bedingungen einschließlich einer vom Hersteller angegebenen Überlast einschalten, führen und ausschalten kann.

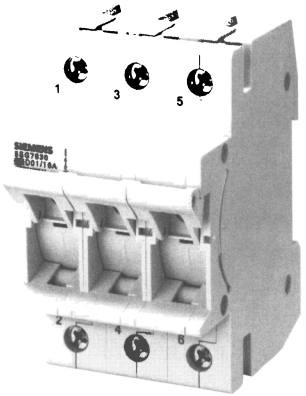



***Bild 7.5:*** *NEOZED-Sicherungslasttrennschalter, 3-polig (Werkbild: Siemens)*

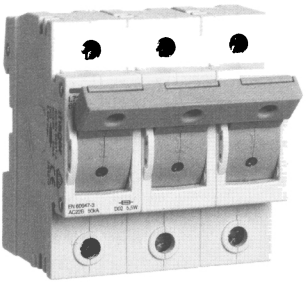


***Bild 7.6:*** *Sicherungslasttrennschalter, 3-polig (Werkbild: Hager)*

## 7.4.3 Leitungsschutzschalter

VDE 0641-11 und -12

Leitungsschutzschalter (LS-Schalter), vielfach *Automaten* genannt, dienen zum Schutz von Leitungen bei Überlast und Kurzschluss.

Sie enthalten einen *thermischen* und einen *magnetischen Auslöser*. Bei kleineren Überströmen schaltet der thermische Auslöser (Bimetall) überlastabhängig ab, bei hohen Überströmen oder Kurzschlüssen bewirkt eine Magnetspule über einen Auslöseanker das sofortige Unterbrechen des gefährdeten Stromkreises.

Nach VDE 0641-11 und -12 gibt es LS-Schalter AC ≤ 440 V (zwischen Außenleitern) mit einem Bemessungsstrom ≤ 125 A und einem Bemessungsschaltvermögen ≤ 25 kA nur noch mit einer *Auslösecharakteristik* (auch *Typ* genannt) B, C und D sowie DC ≤ 220 V mit einem Bemessungsstrom ≤ 125 A und einem Bemessungsschaltvermögen ≤ 10 kA nur noch mit einer *Auslösecharakteristik* B und C.

Der LS-Schalter mit der Auslösecharakteristik D ist in Deutschland nicht so verbreitet. Der Grund dafür ist die gegenüber den Typen B und C sehr viel spätere unverzögerte elektromagnetische Auslösung, die beim Typ D im Bereich (10...20) $I_n$ liegt. Der Typ D eignet sich deshalb für Stromkreise mit Magnetspulen, bei denen hohe Einschaltströme (Einschaltspitzen) auftreten, wie Transformatoren. Für solche Anwendungsfälle wird vielfach der zu den Leistungsschaltern nach VDE 0660-101 gehörende Schalter mit der Auslösecharakteristik K eingesetzt (s. u.). Dies ist ein spezieller Leistungsschalter zum Schutz von elektrischer Gebäudeinstallation und für damit vergleichbare Anwendungsfälle sowie vorgesehen zum Gebrauch durch nicht unterwiesene Personen. LS-Schalter mit der früher üblichen L-Charakteristik durften nur noch bis zum 30. Juni 1990 hergestellt und bis zum 30. Sept. 1990 in Verkehr gebracht werden. Die in Anlagen eingebauten Leitungsschutzschalter mit L-Charakteristik dürfen selbstverständlich weiterverwendet werden.

Neben den LS-Schaltern der Typen B, C und D gibt es noch weitere LS-Schalter, die spezielle Auslösecharakteristiken haben, z. B. für den speziellen Halbleiterschutz oder für den Schutz von Wandlermesskreisen. Je nach Auslösecharakteristik und je nach Hersteller werden diese LS-Schalter mit verschiedenen anderen Buchstuben bezeichnet, wie LS-Schalter mit sog. A-, E-, G-, U-, Z-Charakteristik. Hierbei kann es sein, dass solche LS-Schalter mit derselben Charakteristik je nach Hersteller mit unterschiedlichen Buchstaben bezeichnet werden. Zu beachten ist, dass diese LS-Schalter nicht genormt (IEC, DIN EN (VDE)) oder allenfalls in Anlehnung an die Normenreihe VDE 0641 oder nach Normenentwürfen hergestellt sind und somit in Eigenverantwortung des Anwenders eingesetzt werden müssen.

LS-Schalter, die auch mit Gleichstrom betrieben werden können, z. B. für Sicherheitsbeleuchtungsanlagen, müssen zusätzlich das Bildzeichen für Gleichspannung tragen.

LS-Schalter der Typen B und C sind, wie der nicht mehr hergestellte, aber natürlich noch vielfach im Einsatz befindliche Typ L, universell für den Leitungsschutz vorgesehen. Der elektromagnetische Überstromauslöser (im Fachjargon auch *Schnellauslöser* genannt) von LS-Schaltern des Typs B löst beim 5-fachen Bemessungswechselstrom innerhalb von 0,1 s aus, der des Typs C beim 10-fachen Bemessungsstrom. Typ L löst auch wie Typ B angenähert beim 5-fachen Bemessungswechselstrom aus, weswegen Typ B als direkter Nachfolger-LS-Schalter des Typs L angesehen werden kann.

LS-Schalter des Typs C dienen dem Schutz von Stromkreisen, an denen Geräte wie Motoren, Transformatoren u. dgl. angeschlossen sind. Wegen der hohen Ansprechgrenze der elektromagnetischen Überstromauslöser kommt es bei hohen Anlaufströmen von Motoren und Einschaltspitzen von Transformatoren nicht zu unerwünschten Abschaltungen. Im Überlastbereich verhalten sich die LS-Schalter

der Typen B, C und D gleich (**Bild 7.7**, Kennlinien B und C). Ihr thermischer Auslöser spricht beim 1,45-fachen Bemessungsstrom (großer Prüfstrom $I_f$, frühere Bezeichnung $I_2$) innerhalb 1 h bei einem Schalterbemessungsstrom bis zu 63 A und innerhalb 2 h bei > 63 A. Beim 1,13-fachen Bemessungsstrom (kleiner Prüfstrom $I_{nf}$, frühere Bezeichnung $I_1$) darf innerhalb 1 h bei einem Schalterbemessungsstrom bis zu 63 A und innerhalb 2 h bei > 63 A keine Abschaltung erfolgen. Eine Übersicht über die Auslösecharakteristiken von LS-Schaltern und dem Leistungsschalter mit der Charakteristik K gibt **Tabelle 7.10**.

Nützliche Hinweise und zusätzliche Informationen zum Einsatz von LS-Schaltern sind in einem neu erschienenen Beiblatt VDE 0641-11 Beiblatt 1 *Anwendungshinweise zum Einsatz von LS-Schaltern* enthalten.

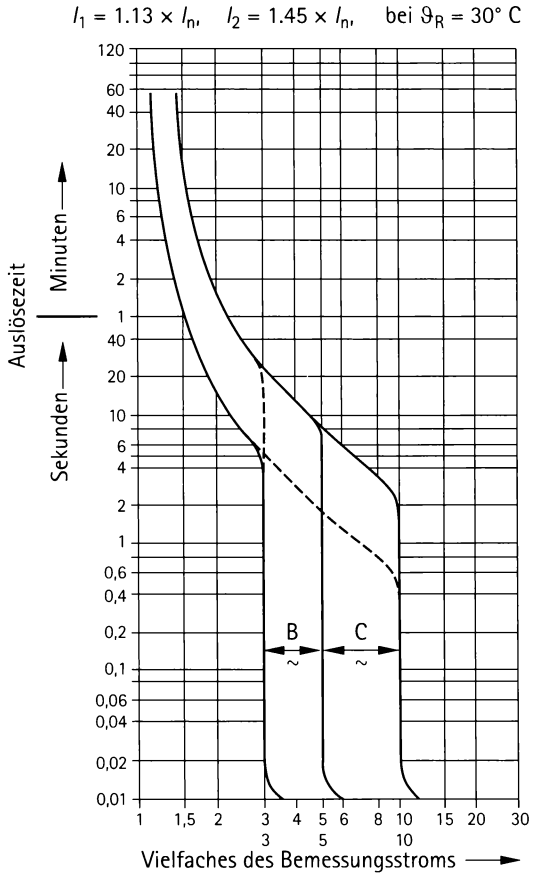



***Bild 7.7:*** *Auslösekennlinien für LS-Schalter mit B- und C-Charakteristik (Quelle: ABB)*

*Tabelle 7.10: Auslösestrom von Leitungsschutzschaltern und Leistungsschaltern*

| Charakteristik | Norm VDE | Bemessungs-strombereich $I_n$ | kleiner Prüfstrom $I_{nf}$ | großer Prüfstrom $I_f$ | Sofortauslöse-bereich |
|---|---|---|---|---|---|
| B | 0641-11/-12 | 6 A bis 125 A | $1{,}13 \cdot I_n$ | $1{,}45 \cdot I_n$ | 3 bis $5 \cdot I_n$ |
| C | 0641-11/-12 | 6 A bis 125 A | $1{,}13 \cdot I_n$ | $1{,}45 \cdot I_n$ | 5 bis $10 \cdot I_n$ |
| D | 0641-11/-12 | 6 A bis 125 A | $1{,}13 \cdot I_n$ | $1{,}45 \cdot I_n$ | 10 bis $20 \cdot I_n$ |
| L | 0641:1978-06 | 6 A bis 125 A | $1{,}05 \cdot I_n$ | $1{,}6 \ldots 1{,}9 \cdot I_n$ | $\approx 5 \cdot I_n$ |
| K | 0660-101/-102 | 0,2 A bis 63 A | – | $1{,}05 \ldots 1{,}2 \cdot I_n$ | $(8 \ldots 14) \cdot I_n$ |

## Ausschaltvermögen, Strombegrenzung

VDE 0641 ermöglicht die Herstellung von LS-Schaltern der Typen B und C mit Bemessungsschaltvermögen von AC 3 000 A, 4 500 A, 6 000 A und 10 000 A, aber auch Werte von 15 000 A, 20 000 A und 25 000 A. Mit einem Bemessungsschaltvermögen von 1 500 A sind nur LS-Schalter genormt, die in unmittelbarer Nähe zu Steckdosen oder Schaltern für den Haushaltsbereich oder ähnliche Anwendungen eingebaut sind. LS-Schalter bis zu Bemessungsströmen von 32 A werden entsprechend ihrer Durchlassenergie in drei *Energiebegrenzungsklassen* (s. Abschn. 7.4.6) unterteilt. Eine ausreichende Strombegrenzung wird nur mit Klasse-3-Schaltern erreicht (**Bild 7.8**). Einzelne Hersteller garantieren einen zuverlässigen Back-up-Schutz bei Kurzschlussströmen bis zu 35 kA. LS-Schalter, die in Energiebegrenzungsklassen 1, 2 oder 3 eingeteilt werden, müssen mit der Zahl der Energiebegrenzungsklasse in einem Quadrat, das oberhalb mit einem liegenden Rechteck verbunden ist, in dem das Bemessungsschaltvermögen in Ampere innerhalb des Rechtecks ohne das Kurzzeichen „A" für die Einheit Ampere steht, gekennzeichnet werden (s. u. „Kennzeichnung").

Nach den TAB dürfen nur LS-Schalter der Energiebegrenzungsklasse 3 verwendet werden, deren Bemessungsschaltvermögen mindestens 6 000 A beträgt.

Kennzeichnung: $\boxed{\begin{matrix}6000\\3\end{matrix}}$

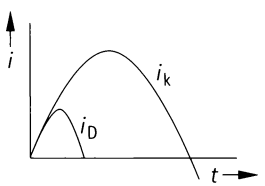



***Bild 7.8:** Begrenzung des Kurzschlussstroms durch Leitungsschutzschalter*
$i_k$ zu erwartender Kurzschlussstrom; $i_D$ vom Leitungsschutzschalter durchgelassener Kurzschlussstrom

**Selektivität**

Ist Selektivität zwischen zwei LS-Schaltern oder auch zwischen zwei Leistungsschaltern (s. Abschn. 7.4.4) untereinander im Kurzschlussfall gewünscht oder gefordert, müssen Angaben des Herstellers über die Ausschaltkennlinien der beiden Schalter vorliegen. Volle Selektivität lässt sich erreichen, wenn

- der jeweilige Schalter (LS- oder Leistungsschalter), der nicht zuerst ausschalten soll, ein nicht Strom begrenzender Schalter (Auslösekennlinie des Schalters) und der andere, der selektiv auslösen soll (Lastseite), ein Strom begrenzender Schalter (Ausschaltzeitkennlinie) ist, oder
- der jeweilige (LS- oder Leistungsschalter), der nicht zuerst ausschalten soll, ein Schalter mit festgelegter Kurzzeitverzögerung (Auslösekennlinie des Schalters) und der andere, der selektiv auslösen soll (Lastseite), ein nicht Strom begrenzender Schalter (Ausschaltzeitkennlinie) ist.

Die Ausschaltzeit ist die Zeitspanne zwischen dem Beginn der Öffnungszeit eines LS-Schalters und dem Ende der Lichtbogenzeit. Zur Selektivität eines LS-Schalters in Bezug auf die vorgeschaltete Sicherung s. Abschn. 7.4.6.

**Ausführung**

Die heute gefertigten LS-Schalter gibt es je nach Hersteller mit unterschiedlichen Abmessungen. LS-Schalter werden nach unterschiedlichen Kriterien eingeteilt. Nach Norm gibt es LS-Schalter in folgenden Ausführungen:

- einpolige, zweipolige mit einem geschützten Pol, zweipolige mit zwei geschützten Polen, dreipolige mit drei geschützten Polen, vierpolige mit drei geschützten Polen und vierpolige LS-Schalter mit vier geschützten Polen,
- mit Gehäuse (brauchen kein geeignetes Gehäuse),
- ohne Gehäuse (zur Verwendung mit einem geeigneten Gehäuse),
- Aufbau- und Einbautyp,
- Typ für Schalttafelmontage, auch als Verteilertyp bezeichnet, die zur Befestigung auf Schienen bestimmt sein können,
- Einsteck-, Anschraub- oder Einschraubtyp, wobei manche LS-Schalter auch nur auf der Netzseite als Einsteck- oder Anschraubtyp ausgeführt sein können, während die Lastklemmen gewöhnlich zum Anschluss von Leitern geeignet sind,
- mit Schraubklemmen für den Anschluss äußerer Kupferleiter,
- mit schraubenlosen Klemmen für den Anschluss äußerer Kupferleiter.

Die drei Außenleiter eines Drehstromkreises sind oft nebeneinander angeordnet. Mehrere Drehstromkreise befinden sich in einer Reihe des Stromkreisverteilers, wobei alle Außenleiter L1 usw. miteinander verbunden (gebrückt) sind. Der Abstand der Anschlussklemme des einen Außenleiters von der Anschlussklemme des anderen Außenleiters beträgt dann nur etwa 5 mm. In solchen Stromkreisverteilern haben sich trotz fachgerechter Installation eingangsseitig *Lichtbogenüberschläge* ereignet, die vielfach zum Ansprechen der vorgeschalteten Sicherungen, oft im Hausanschlusskasten, geführt haben. Die Ursachen waren Metallbärte (*Whisker*) von mm bis cm Länge, d. h. Zinnkristall-Fäden, die aus den Kabelschuhen herauswachsen und den Luftraum zwischen den Anschlussklemmen überbrücken. Abhilfe könnte eine geeignete Oberflächenbehandlung der Kabelschuhe, Aderendhülsen und Leitungsösen durch die Hersteller schaffen. Sicherheitshalber sollte man aber LS-Schalter in Drehstromanlagen nicht nebeneinander (L1–L2–L3), sondern untereinander, also

L1
L2
L3

in drei Reihen anordnen.

*Hohe Umgebungstemperatur* und *hoher Gleichzeitigkeitsfaktor* (z. B. in Kaufhäusern) können bei zahlreichen nebeneinander liegenden LS-Schaltern zu unerwünschten Auslösungen führen. Die Überlastauslöser (Bimetall) sind für eine Umgebungstemperatur von 25 °C eingestellt. Bei höheren Temperaturen ist daher die Belastung der LS-Schalter zu verringern, z. B. um 15 % bei einer Reihe und um 25 % bei drei Reihen in einem Verteiler. Es sind also z. B. Stromkreise, die mit 10 A belastet werden sollen, durch LS-Schalter für 16 A abzusichern. Bei LS-Schaltern mit G- oder K-Charakteristik ist der zulässige Dauerstrom noch geringer, wodurch die dichter über dem Bemessungsstrom liegende thermische Auslösecharakteristik berücksichtigt wird.

*LS-Schalter mit Hilfsschalter* werden eingesetzt, um im Fehler- wie Betriebsfall gleichzeitig mit dem Hauptstromkreis auch Steuer- und Überwachungsstromkreise zu schalten oder um den Schaltzustand des LS-Schalters zu überwachen oder zu signalisieren. Der Hilfsschalter ist untrennbar mit dem LS-Schalter verbunden (**Bild 7.9**). Die Hilfsstromkreise müssen ggf. für sich gegen Überstrom geschützt werden.

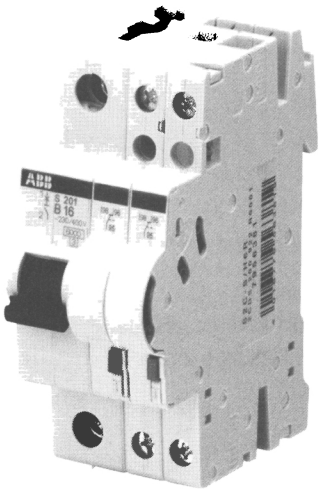



***Bild 7.9:*** *LS-Schalter mit Hilfsschalter (Werkbild: ABB)*

## 7.4.4 Leistungsschalter

VDE 0660-101, s. auch Abschn. 7.5.1

Leistungsschalter sind Schaltgeräte, mit denen man Last-, Überlast- und Kurzschlussströme schalten kann.

Leistungsschalter werden für Bemessungsdauerströme von wenigen A bis zu einigen tausend A angeboten. Sie dienen u. a. dem Schutz von Generatoren, Transformatoren, Leitungen und Motoren. Die meisten Leistungsschalter verfügen über *einstellbare Überstromauslöser*. Zu den Leistungsschaltern mit fest zugeordnetem Einstellstrom gehören die sog. K-Automaten (s. Tabelle 7.10).

### Auslösestrom

Die stromabhängig verzögerte Auslösung darf beim 1,05-fachen Wert des Einstellstroms (konventioneller Nichtauslösestrom) innerhalb von 1 h bzw. 2 h nicht auslösen. Beim 1,30-fachen Wert (konventioneller Auslösestrom) muss der Überlastauslöser eines Leistungsschalters mit einem Einstellstrom $\leq 63$ A innerhalb 1 h auslösen. Bei einem Einstellstrom von $> 63$ A muss die Auslösung beim 1,35-fachen Wert innerhalb von 2 h erfolgen.

Die Kurzschlussauslöser müssen bei allen Einstellwerten mit einer Genauigkeit von $\pm 20$ % auslösen.

Einstellbare thermische Auslöser werden in der Regel auf den Bemessungsstrom des Schutzobjekts, bei Leitungen auf deren Strombelastbarkeit eingestellt.

Die elektromagnetischen Überstromauslöser sollen abhängig vom Schutzobjekt auf folgende Werte eingestellt werden:

(2... 4) · $I_n$ für Generatorschutz,
(3... 6) · $I_n$ für Leitungs- und Transformatorschutz,
(6...12) · $I_n$ für Motorschutz.

**Ausschaltvermögen**

Das Ausschaltvermögen (genauer: Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen) von Leistungsschaltern ist vom Hersteller anzugeben. Die Werte schwanken in der Praxis von etwa 10 kA für Standardschalter bis etwa 150 kA für Hochleistungsschalter.

**Selektivität**

Eine Selektivität von in Reihe liegenden Leistungsschaltern kann durch Stromselektivität oder durch Zeitselektivität erreicht werden.

Eine *Stromselektivität* ist nur möglich, wenn die Kurzschlussströme bei einem Kurzschluss an den jeweiligen Einbaustellen der Schalter genügend verschieden sind (**Bild 7.10**). Der Ansprechstrom des vorgeordneten Schalters ist so festzulegen, dass er über dem größtmöglichen Kurzschlussstrom an der Einbaustelle des nachgeordneten Schalters liegt.

*Zeitselektivität* kann man mithilfe von kurzverzögerten Überstromauslösern erreichen. Dabei wird das Ansprechen des Auslösers so lange verzögert, bis der nachgeordnete Schalter den Kurzschlussstrom mit Sicherheit ausgeschaltet hat (**Bild 7.11**).

Die *Staffelzeit*, d. h. der Unterschied zwischen den Verzögerungszeiten zweier aufeinander folgender Schalter, wird innerhalb einer Anlage etwa gleichbleibend gewählt. Sie muss größer sein als die mechanische Eigenzeit des Schaltgeräts zuzüglich eines zeitlichen Sicherheitsabstands. Man wird hier eng mit den Schalterherstellern zusammenarbeiten müssen, da zur sachgemäßen Planung die Auslösekurven der Leistungsschalter bekannt sein müssen. Kennt man diese, so ist ein *Selektivitätsdiagramm* (Zeit-Strom-Diagramm) aufzustellen (**Bild 7.12**). Hersteller bieten Strom begrenzende Leistungsschalter an, die in Reihe geschaltet selektiv wirken. Die Selektivität wird bei diesen Schaltern durch elektronische Auslöseblöcke, die in die Schalter eingebaut sind und die durch eine Signalleitung miteinander verbunden werden müssen, erzielt.

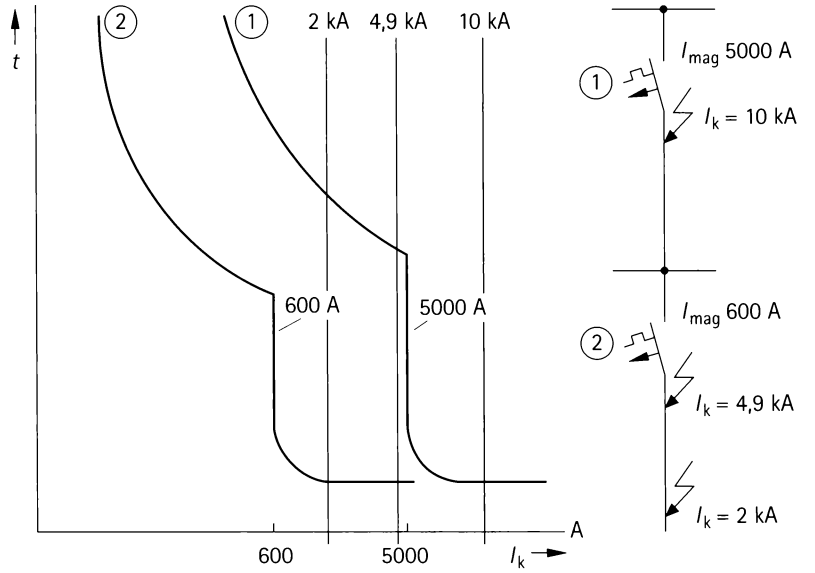



***Bild 7.10:*** *Stromselektivität mit Leistungsschaltern*

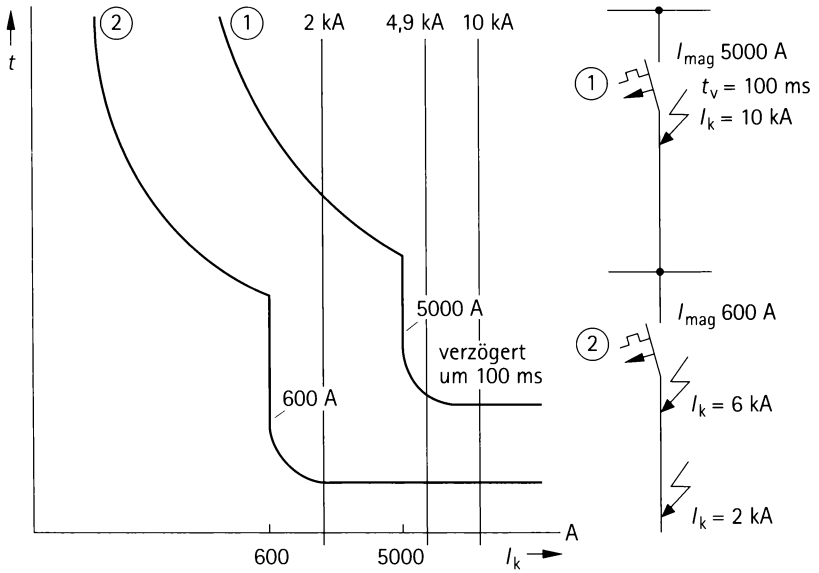



***Bild 7.11:*** *Zeitselektivität mit Leistungsschaltern*

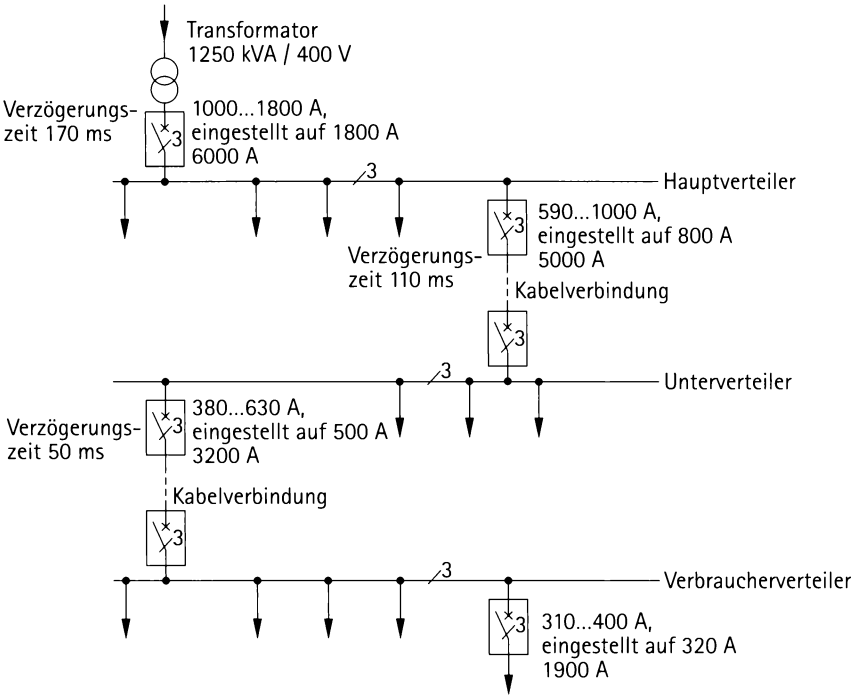



***Bild 7.12:*** *Selektivität in einer schmelzsicherungslosen Verteileranlage*

### Durchlassstrom $i_D$ (s. Bild 7.8)

Auf dem Markt werden Leistungsschalter mit Nullpunktlöschung und Leistungsschalter mit Strombegrenzung angeboten. *Leistungsschalter mit Nullpunktlöschung* löschen den Wechselstrom-Schaltlichtbogen, wenn der Strom einen natürlichen Nulldurchgang erreicht. Schalter mit verzögertem Kurzschlussauslöser (zeitselektiv) arbeiten i. Allg. nach diesem Prinzip. Eine Strombegrenzung erfolgt dabei nicht. Die dynamische Kurzschlussbeanspruchung der nachgeordneten Anlage ist auf den Stoßkurzschlussstrom $I_S$ abzustimmen, wenn dem Leistungsschalter keine Strom begrenzende Schutzeinrichtung, z. B. Sicherung, vorgeschaltet ist.

Bei *Leistungsschaltern mit Strombegrenzung* wird der Stoßkurzschlussstrom $I_S$ auf einen kleineren Durchlassstrom $i_D$ begrenzt. Die Werte gibt der Hersteller an.

### 7.4.5 Geräteschutzsicherungen (Feinsicherungen)

DIN 41571-2 u. -3 und Reihe VDE 0820

Zum Schutz von Geräten vor Überlast und Kurzschluss können in die Stecker, Wandsteckdosen oder Geräte Sicherungen, sog. *G-Sicherungen*, eingesetzt werden. Sie bestehen aus einem röhrenförmigen Schmelzeinsatz, meist aus Glas, von z. B. 5 mm Durchmesser und 20 mm Länge mit Metallkappen, aus einem Sicherungsschalter und einer Verschlusskappe.

Es gibt flinke, mittelträge und träge G-Schmelzeinsätze, die sich jedoch nur bei hohem Überstrom, z. B. dem 10-fachen Bemessungsstrom, voneinander unterscheiden. Bei diesem Überstrom schalten ab:

- superflinke G-Sicherungen (Kennzeichnung FF): Kennlinie noch nicht festgelegt,
- flinke G-Sicherungen (Kennzeichnung F) in weniger als 20 ms,
- mittelträge G-Sicherungen (Kennzeichnung M) zwischen 5 ms und 90 ms,
- träge G-Sicherungen (Kennzeichnung T) zwischen 10 ms und 300 ms,
- superträge G-Sicherungen (Kennzeichnung TT): Kennlinie noch nicht festgelegt.

Bei geringen Überströmen verhalten sich alle fünf Typen etwa gleich:

- Der 1,1- bzw. 1,15- bis 1,5-fache Bemessungsstrom wird mindestens 1 h lang ausgehalten,
- beim 2- bzw. 2,1-fachen Bemessungsstrom wird zwischen 20 s und 30 min abgeschaltet.

G-Sicherungen können nur einen begrenzten Kurzschlussstrom abschalten, der an der Einbaustelle nicht überschritten werden darf. Unterschieden wird zwischen

- erhöhtem Ausschaltvermögen (Kennbuchstabe E),
- großem Ausschaltvermögen (Kennbuchstabe H),
- mittlerem Ausschaltvermögen (Kennbuchstabe I) und
- kleinem Ausschaltvermögen (Kennbuchstabe L).

Das Bemessungsausschaltvermögen von G-Sicherungseinsätzen mit großem Ausschaltvermögen beträgt bei Wechselstrom 1 500 A, bei solchen mit kleinem Ausschaltvermögen mindestens den 10-fachen Bemessungsstrom, jedoch nicht weniger als 35 A. G-Sicherungseinsätze nach DIN 41571 werden bez. ihres Schaltvermögens bei AC 250 V in die Gruppen B bis G eingeteilt (**Tabelle 7.11**).

*Tabelle 7.11: Ausschaltvermögen von Gerätesicherungen*

| Bezeichnung | Wechselstrom A | Gleichstrom A |
|---|---|---|
| B | 50 | 12,5 |
| C | 80 | 20 |
| D | 300 | 75 |
| E | 1 000 | 250 |
| G | 1 500 | 750 |

G-Sicherungen werden für folgende Bemessungsströme hergestellt:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 32 mA | 160 mA | 800 mA | 4,0 A |
| 40 mA | 200 mA | 1,00 A | 5,0 A |
| 50 mA | 250 mA | 1,25 A | 6,3 A |
| 63 mA | 315 mA | 1,60 A | 8,0 A |
| 80 mA | 400 mA | 2,00 A | 10,0 A |
| 100 mA | 500 mA | 2,50 A | |
| 125 mA | 630 mA | 3,15 A | |

Daneben gibt es noch niedrigere Bemessungsströme für Geräte-Kleinstsicherungen.

*Beispiele* für Aufschriften auf Schmelzeinsätzen:

| | |
|---|---|
| T 630/250 V: | T = träge, 630 mA, 250 V |
| FF 1,25/250 V: | FF = superflink, 1,25 A, 250 V |
| M 2,5 E: | M = mittelträge, 2,5 A, E = Schaltvermögen 1 000 A |
| T 315 L 250 V: | T = träge, 315 mA, L = kleines Ausschaltvermögen (10 $I_n$ oder 35 A), 250 V |
| F 4 H 250 V: | F = flink, 4 A, H = großes Ausschaltvermögen (1 500 A), 250 V |

Es gibt Schutzkontaktstecker mit eingebauten G-Schmelzeinsätzen. Auf diese Weise wird bei Fehlern im Gerät oder in der beweglichen Zuleitung nur das Gerät abgeschaltet, jedoch nicht der gesamte Stromkreis. Zum Motorschutz sind Gerätesicherungen (Feinsicherungen) nicht geeignet, da sie nicht gegen Überlast schützen. Sie sind jedoch zum Einbau in elektronische Geräte, z. B. in Geräte der Unterhaltungselektronik, sehr nützlich, weil dafür die Verteilersicherungen in den Haushaltungen zu grob sind.

### 7.4.6 Selektivität bei verschiedenen Überstromschutzeinrichtungen

VDE 0100-530

In Niederspannungsanlagen soll auch im Fehlerfall nur ein möglichst kleiner Teil der Stromverbrauchsgeräte stillgesetzt werden. Deshalb fordert man von den Überstromschutzeinrichtungen Selektivität. Dies bedeutet das Heraustrennen der Fehler- oder Kurzschlussstelle, ohne die übrigen hinter derselben Energiequelle liegenden Verbraucher zu stören.

Selektivität liegt vor, wenn die Ansprechkennlinien von zwei oder mehreren Überstromschutzeinrichtungen so koordiniert sind, dass beim Auftreten von Überströmen nur die der Fehlerstelle unmittelbar vorgeschaltete Schutzeinrichtung ausschaltet.

Die Hersteller von Überstromschutzeinrichtungen machen Angaben über die Koordination der Schutzeinrichtungen. Liegen diese nicht vor, kann die Selektivität durch Vergleich der Ausschaltkennlinien ermittelt werden.

Liegen nur Sicherungen hintereinander, so genügt es, die jeweils vorgeschaltete Sicherung zwei Bemessungsstromstufen höher zu wählen.

Schwieriger ist die Selektivität zwischen Sicherungen und LS-Schaltern herzustellen. Dies gilt besonders dann, wenn im Netz höhere Kurzschlussströme zu erwarten sind und wenn es sich um LS-Schalter älterer Bauart handelt. Bei $I_k \leq 1{,}5$ kA lösen neuzeitliche LS-Schalter früher aus als Schmelzsicherungen, wenn nach **Tabelle 7.12** verfahren wird.

Für jede Reihenschaltung von LS-Schalter und Vorsicherung gibt es einen Grenzwert des Kurzschlussstroms, die *Selektivitätsgrenze* (**Bild 7.13**), bei deren Überschreitung die Sicherung vor dem LS-Schalter anspricht. Maßgebend für diese Grenze ist der $I^2t$-Wert des vom LS-Schalter durchgelassenen Stroms. Dieser Betrag muss kleiner sein als der Schmelz-$I^2t$-Wert der Vorsicherung bei der betrachteten Kurzschlussstromstärke.

***Tabelle 7.12:*** *Selektivität von LS-Schaltern*

| Bemessungsstrom des LS-Schalters in A | Mindestgröße der Vorsicherung in A | |
|---|---|---|
| | Typ D | Typ NH |
| 10 | 25 | 36 |
| 16 | 35 | 50 |
| 20 | 35 | 50 |
| 25 | 35 | 50 |
| 32 | 50 | 63 |

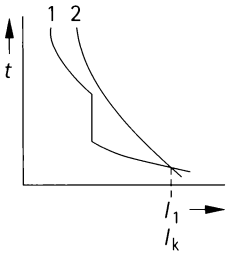
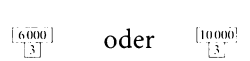



***Bild 7.13:*** *Selektivität von LS-Schaltern zu vorgeschalteten Schmelzeinsätzen*
*1* Gesamtausschaltzeit eines LS-Schalters; *2* Schmelzzeit einer Sicherung höherer Bemessungsstromstärke; $I_1$ Selektivitätsgrenze

Aus diesem Grunde werden die LS-Schalter bis 32 A Bemessungsstrom nach VDE 0641-11 in drei *Energiebegrenzungsklassen* (früher: Strombegrenzungsklassen) eingeteilt, denen maximal zulässige $I^2t$-Werte zugeordnet sind. Die Einteilung in Energiebegrenzungsklassen hilft dem projektierenden Ingenieur und dem Installateur, Selektivität mit der vorgeschalteten Schutzeinrichtung und Leitungsschutz bei Kurzschlussströmen zu erreichen.

Nach den TAB für den Anschluss an das Niederspannungsnetz des NB müssen Planer und Errichter der elektrischen Anlage berücksichtigen, dass Selektivität zwischen den Überstromschutzeinrichtungen in der Kundenanlage und denjenigen im Hauptstromversorgungssystem sowie den Hausanschlusssicherungen besteht. Darüber hinaus sind nach den TAB in Hauptstromversorgungssystemen (s. Abschn. 6.2.5) die Schutzeinrichtungen nach VDE 0100-530 so untereinander zu koordinieren, dass Selektivität sichergestellt ist. Im unteren Anschlussraum des Zählerplatzes ist nach TAB und DIN 18015-1 vor jedem Zähler eine selektive Überstromschutzeinrichtung (z. B. ein selektiver Hauptleitungsschutzschalter (SH-Schalter) nach VDE 0641-21) vorzusehen. Die vorgeschaltete, plombierte Hausanschluss- oder Zuleitungssicherung darf bei Kurzschlüssen in der Abnehmeranlage nicht ansprechen. Die vorstehend geschilderten Strom begrenzenden LS-Schalter erfüllen diese Forderung, wenn sie der höchsten Energiebegrenzungsklasse nach Reihe VDE 0641 entsprechen.

Zur Kenntlichmachung gibt es nach VDE 0641-11 ein besonderes Leistungszeichen:




Damit werden eine Schaltleistung von mindestens 6000 A (6 kA) bzw. 10 kA und die höchste Energiebegrenzungsklasse 3 gekennzeichnet.

In **Tabelle 7.13** ist als Beispiel die Selektivitätsgrenze von Leitungsschutzschaltern der Energiebegrenzungsklasse 3 zu Vorsicherungen nach Reihe VDE 0636 aufgeführt.

*Tabelle 7.13: Selektivitätsabhängigkeit vom Kurzschlussstrom an der Einbaustelle*

| Bemessungsstrom der Vorsicherung in A | Kurzschlussstrom der LS-Schalter in A | |
|---|---|---|
| | 10-A- und 16-A-Schalter | 20-A- und 25-A-Schalter |
| 50 | 2200 | 1900 |
| 63 | 3000 | 2600 |
| 80 | 4000 | 3500 |
| 100 | 6000 | 5000 |

Strom begrenzende LS-Schalter mit Schaltvermögen von 12 kA oder 15 kA bieten insbesondere für Anlagen mit eigener Transformatorenstation hohen Schutz. Es können dann sogar, nach Rücksprache mit den Herstellern, höhere Vorsicherungen als 100 A gewählt werden.

Die Zuordnung von LS-Schaltern und Sicherungen (Back-up-Schutz, s. Begriffe) hängt von ihren charakteristischen Eigenschaften und dem Wert des zu erwartenden Kurzschlussstroms ab, bis zu dem der Schutz erforderlich ist. Genauere Angaben können nur vom Hersteller aufgrund besonderer Untersuchungen gemacht werden.

Eine *Selektivität von LS-Schaltern untereinander* ist meist nicht zu erreichen. Eine *Selektivität zwischen Leistungsschalter und nachgeschaltetem LS-Schalter* ist möglich, wenn der maximale Kurzschlussstrom nicht größer als das Schaltvermögen des LS-Schalters ist, z. B. 10 kA bei $\cos \varphi = 0{,}5$. Überschreitet der Kurzschlussstrom diese Grenze, so kann der gegenüber dem LS-Schalter träge Leistungsselbstschalter den LS-Schalter nicht mehr schützen.

### Selektivität zwischen Leistungsschalter und nachgeordneter Sicherung

(Leistungsschalter untereinander s. Abschn. 7.4.4)

Im Überlastbereich ist Selektivität bis zum Ansprechstrom des nicht verzögerten magnetischen Auslösers des Leistungsschalters gegeben, wenn die Sicherungskennlinie die Auslösekennlinie des thermischen Auslösers des Leistungsschalters nicht berührt (**Bild 7.14**). Bei Kurzschlussströmen, die den Ansprechstrom des elektromagnetischen Überstromauslösers erreichen oder überschreiten, ist Selektivität nur gegeben, wenn die nachgeordnete Sicherung den Strom so begrenzt, dass der Durchlassstrom nicht den Ansprechstrom des elektromagnetischen Überstromauslösers erreicht. Dies ist nur bei Sicherungen zu erwarten, deren Bemessungsstrom im Vergleich zum Bemessungsstrom des Leistungsschalters sehr niedrig ist.

Bei zeitverzögerten Leistungsschaltern ist die Kurzschlussselektivität gegeben, wenn die Verzögerungszeit des elektromagnetischen Überstromauslösers mindestens 100 ms über der Sicherungskennlinie liegt (Bild 7.14).

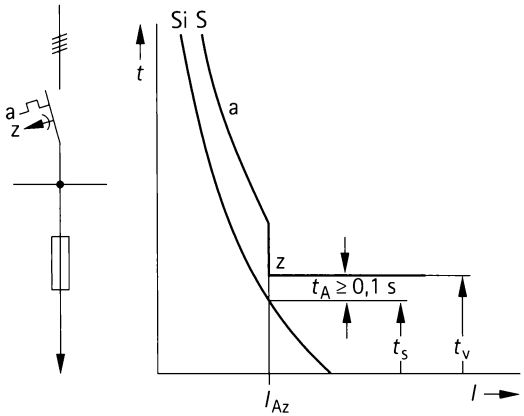



***Bild 7.14:*** *Selektivität zwischen Schutzschalter und nachgeordneter Sicherung*
a Überlastauslöser; z kurzverzögerter Überstromauslöser;
$t_A$ Sicherheitsabstand; $I_{Az}$ Ansprechstrom des z-Auslösers; $t_s$ Schmelzzeit der Sicherung;
$t_v$ Verzögerungszeit des z-Auslösers

**Selektivität zwischen Sicherung und nachgeordnetem Leistungsschalter**

Selektivität ist gegeben, wenn sich die Auslösekennlinien der Schutzeinrichtungen im gesamten möglichen Strombereich nicht berühren. Die Auslösekennlinie der Sicherung soll dabei mindestens 70 ms über der Auslösekennlinie des elektromagnetischen Überstromauslösers des Leistungsschalters liegen. Ansonsten gelten die Festlegungen über LS-Schalter.

## 7.5 Schalter in Schaltanlagen, Schütze, Relais

### 7.5.1 Schaltbeanspruchungen, Schalterarten

Schalter müssen den am Einbauort betriebsmäßig auftretenden Strömen und *Schaltbeanspruchungen* gewachsen sein. Soweit es sich um Schalter mit Überstromauslösung handelt, die den Schutz gegen die Auswirkung von Kurzschlüssen zu übernehmen haben, müssen sie den an ihrer Einbaustelle möglichen Kurzschlussstrom einwandfrei abschalten können. Diese Eigenschaft wird durch das *Bemessungsausschaltvermögen* gekennzeichnet. Man versteht darunter den höchsten Strom, den das Schaltgerät bei seiner Bemessungsspannung und einem bestimmten Leistungsfaktor unterbrechen kann, ohne dass der Lichtbogen stehen bleibt oder nach anderen Teilen überschlägt und ohne dass die Schaltstücke verschweißen oder etwa vorhandene Auslöser usw. beschädigt werden. Wenn die Schalter der

am Einbauort zu erwartenden Kurzschlussleistung nicht genügen, müssen Strom begrenzende Überstromschutzeinrichtungen als Kurzschlussschutz vorgeschaltet werden.

Da es möglich ist, dass durch einen Schalter das Netz auf eine Kurzschlussstelle geschaltet wird, muss der Schalter auch diesem höchsten *Einschaltstromstoß* gewachsen sein. Sein Bemessungseinschaltvermögen muss also mindestens diesem Einschaltstromstoß entsprechen. Beim unmittelbaren Einschalten von Kurzschlussläufermotoren entsteht ebenfalls ein kurzschlussähnlicher Einschaltstromstoß. Die Auswahl der Schaltgeräte muss daher auch nach dem Motor-Einschaltstromstoß erfolgen, der ein Vielfaches des Motor-Bemessungsstroms sein kann.

In den Herstellerlisten wird das *Schaltvermögen* der Niederspannungsschaltgeräte in kA unter gleichzeitiger Nennung des Verwendungszwecks und der Betriebsspannung angegeben. Nach ihrem Schaltvermögen unterscheidet man Trennschalter (gebräuchlich auch: Trenner), Lastschalter, Motorstarter und Leistungsschalter.

*Trenner* sind Schalter, die in der Offenstellung eine sichere Trennstrecke herstellen. Sie können einen Stromkreis nur öffnen und schließen, wenn entweder nur ein Strom von vernachlässigbarer Größe geschaltet wird oder wenn zwischen beiden Anschlüssen jeder Strombahn keine merkliche Spannung vorhanden ist.

*Lastschalter* sind Schalter, die etwa den einfachen bis doppelten vom Hersteller angegebenen Bemessungsstrom ein- und ausschalten können. Sie werden häufig als Licht- und Geräteschalter in Hausinstallationen, als Hebelschalter oder Fehlerspannungsschutzschalter in Verteilern verwendet. Auch Betätigungs-Druckknöpfe gehören zu den Lastschaltern.

Trenner und Lastschalter werden nach VDE 0660-107 entsprechend ihrer Anwendung verschiedenen *Gebrauchskategorien* zugeordnet. Für Schalter in Wechselstromanlagen gilt **Tabelle 7.14**.

Für Schalter, die betriebsmäßig zum Schalten von einzelnen Motoren verwendet werden, gelten die Gebrauchskategorien AC-2 bis AC-4 nach Tabelle 7.15 (s. Abschn. 7.5.2.1).

Für *Hilfsstromschalter*, das sind nach VDE 0660-200 Schalter, die die Betätigung von Schaltgeräten steuern (z. B. Drucktaster, Drehschalter, Fußschalter, Hilfsschütze, Begrenzer, Regler, Wächter (Thermostate), Programmschalter), gilt die Gebrauchskategorie AC 14 oder AC 15, wenn Wechselstrom-Elektromagnete damit geschaltet werden.

Ähnliche Gebrauchskategorien gibt es auch für Gleichstrom (DC).

Für die Auswahl der Schalter sind *Kennlinienfelder* nützlich, die von den Herstellern für die einzelnen Schaltertypen geliefert werden. **Bild 7.15** zeigt ein Beispiel für die Gebrauchskategorie AC-4.

*Tabelle 7.14: Gebrauchskategorien von Schaltern*

| Gebrauchskategorie | Typische Anwendungsfälle |
|---|---|
| **Trennschalter und Lastschalter** | |
| AC-20 A/B | Schließen und Öffnen ohne Last |
| AC-21 A/B | Schalten von ohmscher Last einschl. geringer Überlast |
| AC-22 A/B | Schalten von gemischter ohmscher und induktiver Last einschl. geringer Überlast (DC: z. B. Nebenschlussmotoren) |
| AC-23 A/B | Schalten von Motoren oder anderer hochinduktiver Last (DC: z. B. Reihenschlussmotoren) |
| **Schaltelemente/Hilfsstromschalter** | |
| AC-12 | Steuern von ohmscher Last und Halbleiterlast in Eingangskreisen von Optokopplern |
| AC-13 | Steuern von Halbleiterlast mit Transformatortrennung (DC: von elektromagnetischen Lasten) |
| AC-14 | Steuern kleiner elektromagnetischer Last (bis 72 VA) |
| AC-15 | Steuern elektromagnetischer Last (> 72 VA) |

A: häufige Betätigung; B: gelegentliche Betätigung

*Beispiel:* Es soll ein Einbau-Nockenschalter für einen Drehstrom-Käfigläufermotor, Motorleistung 4 kW, 400 V, 30 Schaltungen/h, gewählt werden, Belastungsfall: direkt einschalten und gegenstrombremsen.

Lösung: Aus den Gebrauchskategorien erkennt man, dass der Fall in die Gruppe AC-4 gehört. Man sucht in Bild 7.15 die Horizontale für 4 kW und die Vertikale für 30 Schaltungen/h. Beide Linien schneiden sich im Feld 25 A. Trotz der verhältnismäßig kleinen Motorleistung muss wegen der hohen Schaltbeanspruchung ein 25-A-Schalter gewählt werden.

*Motorstarter* nach VDE 0660-102 sind zum Schalten von Motoren bestimmt. Sie dienen dazu, Motoren zu starten, auf die normale Drehzahl zu beschleunigen, den Motorbetrieb sicherzustellen, den Motor von der Spannungsversorgung abzuschalten und durch geeignete Schutzeinrichtungen den Motor und den zugehörigen Stromkreis bei Überlastung zu schützen. Ihr Bemessungseinschalt- und Bemessungsausschaltvermögen entsprechen dem Anlaufstrom von Motoren. Sie müssen einen festgebremsten Motor ein- und ausschalten können. Die bei Kurzschlussläufermotoren im Stillstand auftretenden Ströme können das 3- bis 12-fache des Motorbemessungsstroms bei einem Leistungsfaktor von $\cos \varphi = 0{,}3 \ldots 0{,}4$ betragen.

Motorstartern muss stets ein Kurzschlussschutz vorgeschaltet werden, da sie nur mit einem Auslöser für Überlast versehen sind. Vielfach besteht die Möglichkeit, mehrere Motorstarter durch eine gemeinsame Sicherung zu schützen (Gruppensicherung), jedoch darf der zulässige Höchstwert der Vorsicherungen für den kleinsten Schalter nicht überschritten werden.

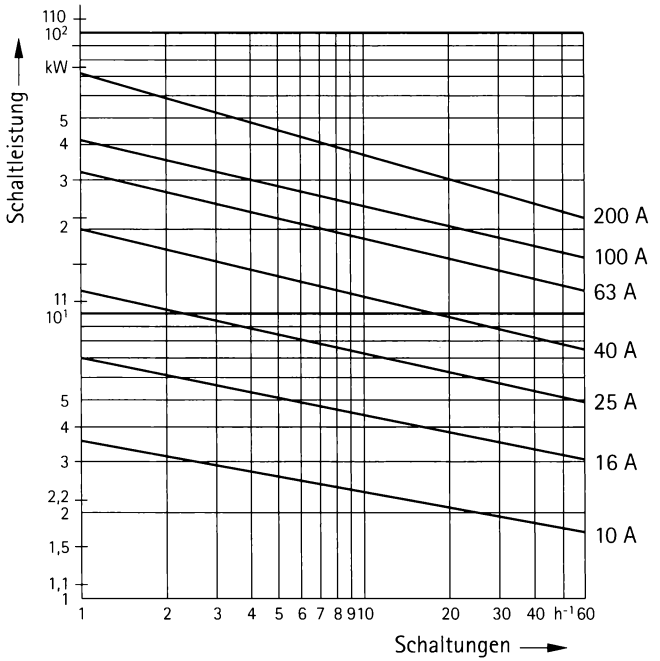



***Bild 7.15:*** *Schaltergröße in A in Abhängigkeit von der Schaltleistung in kW und der Schalthäufigkeit; 400 V*

*Leistungsschalter* nach VDE 0660-100 (s. auch Abschn. 7.4.4) sind Schalter, deren Bemessungseinschalt- und Bemessungsausschaltvermögen so groß sind, dass sie auch bei Kurzschluss einwandfrei ein- und ausschalten können. Sie haben elektromagnetische Überstromauslösung. Von besonderer Bedeutung sind die Motorschutz-Leistungsschalter (**Bild 7.16**) und die Überstrom-Selbstschalter sowie die Ölschütze mit Motorschutz und Kurzschlussschutz.

Leistungsschalter werden für Bemessungsströme von 16 A, 20 A, 25 A, 32 A, 100 A, 160 A, 200 A, 250 A, 400 A, 800 A, 1 000 A, 1 250 A, 1 600 A, Leistungsschalter für Energieversorgung bis 6 300 A hergestellt. Die bei Kurzschluss auftretenden Ströme können mehr als das 25-fache dieser Bemessungsströme betragen. Auch das Einschalten großer Kurzschlussläufer und großer Kondensatoren bedeutet eine besondere Beanspruchung der Schaltgeräte und wird daher immer mit Leistungsschaltern durchgeführt. Schalter dieser Art werden ferner für Transformatoren, Gleichrichter, Motoren, in Kranschaltkästen, als Stations- oder Maschennetzschalter verwendet.

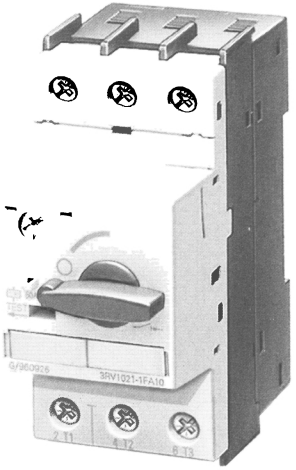



***Bild 7.16:*** *Motorschutzschalter mit thermischer und elektromagnetischer Auslösung (Werkbild: Siemens)*

Zur Überwachung der Netzspannung können Leistungsschalter *Unterspannungsauslöser* erhalten. Diese lösen den Schalter aus, wenn ihre Betätigungsspannung auf 70...35 % der Bemessungsspannung abgesunken ist. In spannungsschwachen Netzen verwendet man mit Vorteil Unterspannungsauslöser mit Verzögerung. Die Verzögerung darf auch bei Abschaltung durch Steuer- oder Schutzeinrichtungen wirksam sein, wenn dadurch keine Gefahren für Personen oder Sachen entstehen können (VDE 0100-450). Als Antriebsarten kommen Handantrieb und ab 100 A Fernantrieb in Frage. Überschreitet der Kurzschlussstrom das Schaltvermögen des Selbstschalters, dann bedient man sich einer vorgeschalteten Schmelzsicherung. Wenn bei automatischer Spannungswiederkehr Gefahren für Personen oder Sachen entstehen können, dann müssen die Unterspannungs-Schutzeinrichtungen so wirksam werden, dass bei Spannungswiederkehr keine automatische Zuschaltung erfolgt, z. B. durch eine nur vor Ort zuschaltbare Einrichtung.

Leistungsschalter haben gegenüber Schmelzsicherungen folgende Vorteile:

- bei mäßigen Überströmen kürzere Abschaltzeiten als Schmelzsicherungen,
- allpoliges Abschalten in jedem Störungsfall,
- Verhindern von Einleiterlauf,
- unmittelbares Wiedereinschalten nach Beheben der Störung,
- gefahrloses Ein- und Ausschalten,
- richtiges Zuordnen von Überlast- und Kurzschlusscharakteristik,
- einfache Signalisierung und Verriegelung durch Hilfsschalter,
- Fernauslösung durch Spannungsauslöser.

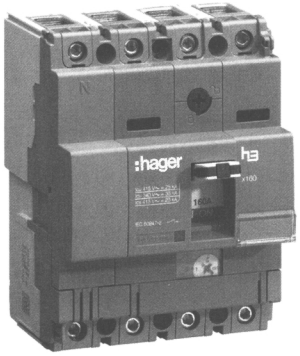



***Bild 7.17:*** *Leistungsschalter mit Nennstrom160 A (Werkbild: Hager)*

Der Leistungsschalter ersetzt aber nicht nur vorteilhaft die Schalter-Schmelzsicherungs-Kombination, sondern er ist ein richtiges Vorschaltgerät für Schütze in Steuerungen. Er stellt zusätzlich einen Hauptschalter dar, der eine höhere Sicherheit bietet als das Schütz.

Die Konstruktion der z. T. Strom begrenzenden *Kompaktschalter* für Bemessungsströme bis 4000 A und effektive Bemessungsschaltvermögen bis 95 kA bei 660 V und $\cos \varphi = 0{,}2$ ist nunmehr von allen bedeutenden Herstellern von Leistungsschaltern aufgegriffen worden. Die Geräte sind aus Isolierstoff, die thermischen Auslöser, z. T. mit Temperaturkompensation, dienen dem Überlastschutz von Motoren, Transformatoren und Leitungen, die elektromagnetischen Überstromauslöser übernehmen den Kurzschlussschutz (**Bild 7.17**). Die Betätigung des Schalters erfolgt durch Kipphebelantrieb, Drehgriff oder Motorantrieb. Selbsttätige Schnelleinschaltung ermöglicht sicheres Schalten, auch auf Kurzschlüsse. Für die Spannungsauslösung, auch in Maschennetzen, kann ein Arbeitsstromauslöser angebaut werden, wie überhaupt verschiedene Kombinationen von Hilfsschaltern möglich sind.

## 7.5.2 Schütze

VDE 0660-102 definiert ein Schütz als ein „mechanisches Schaltgerät mit nur einer Ruhestellung, das nicht von Hand betätigt wird und Ströme unter Betriebsbedingungen im Stromkreis einschließlich betriebsmäßiger Überlast einschalten, führen und ausschalten kann".

Schütze sind mit mechanisch betätigten Schaltgliedern ausgerüstet, die elektromagnetisch, pneumatisch oder elektropneumatisch angetrieben werden. Die Rückstellung erfolgt durch Federn oder Schwerkraft. Das Hauptanwendungsgebiet der Schütze liegt im Schalten elektrischer Antriebe. Sie werden jedoch auch in der Elektrowärme und der Galvanik eingesetzt und zum Schalten von Akkumulatoren, Schweißmaschinen, Beleuchtungs- und Kompensationsanlagen herangezogen.

Für das Schalten von Verbrauchern bis 4 kW verwendet man sog. *Kleinschütze*, für Verbraucher über 4 kW *Leistungsschütze*. In Hilfsstromkreisen kommen *Hilfsschütze* zum Einsatz. Sie dienen zum Steuern von Motoren, Ventilen, Kupplungen und Heizeinrichtungen.

Die meisten Hersteller bieten für ihre Schütze Zubehör, wie Hilfsschalter und Zeitrelais, das auf die Schütze aufgeschnappt und mechanisch mit dem Antriebssystem des Schützes gekoppelt wird. Durch ein an das Schütz anbaubares Motorschutzrelais, das im Gefahrenfall über seinen Hilfsschalter das Leistungsschütz und damit den Motor abschaltet, können Motoren wirkungsvoll bei Überlast geschützt werden (**Bild 7.18**). Meist kann jedoch mit derartigen Kombinationen nur ein Überlastschutz erreicht werden. Der Kurzschluss muss dann durch Leistungsschalter oder Schmelzsicherungen abgeschaltet werden.

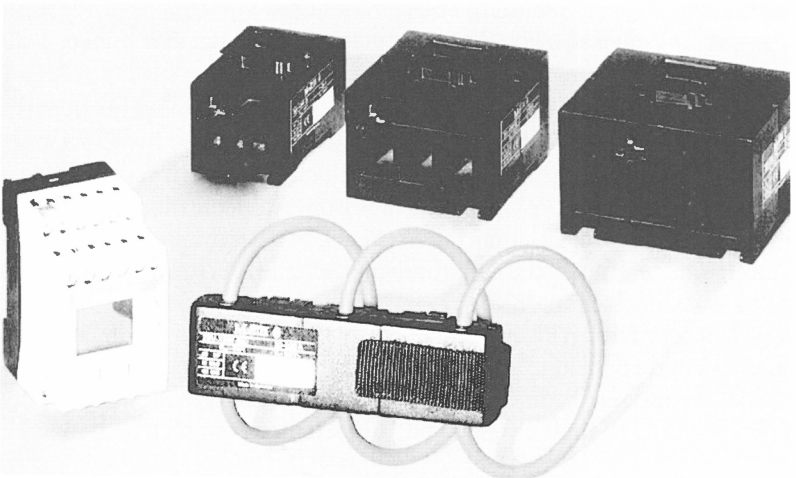


***Bild 7.18:*** *Motorschutzrelais mit Stromwandler, Auslösegerät mit Display und drei Wandlern für kleine Ströme (Werkbild: Moeller/Eaton)*

### 7.5.2.1 Auswahl

Bei der Auswahl von Schützen sind zu berücksichtigen:

- Gebrauchskategorie (**Tabelle 7.15**),
- Schaltleistung,
- Betriebsart,
- Lebensdauer.

*Tabelle 7.15: Gebrauchskategorien von Wechselstromschützen*[1)]

| Gebrauchskategorie | typische Anwendungsfälle |
|---|---|
| AC-1 | nicht induktive oder schwach induktive Last, Widerstandsöfen |
| AC-2 | Schleifringläufermotoren: Anlassen, Ausschalten |
| AC-3 | Käfigläufermotoren: Anlassen, Ausschalten während des Laufes |
| AC-4 | Käfigläufermotoren: Anlassen, Gegenstrombremsen[2)] oder Reversieren[2)], Tippen[3)] |
| AC-5a | Schalten von Gasentladungslampen |
| AC-5b | Schalten von Glühlampen |
| AC-6a | Schalten von Transformatoren |
| AC-6b | Schalten von Kondensatorbatterien |
| AC-7a | Schwach induktive Last in Haushaltsgeräten u. ähnliche Anwendung[4)] |
| AC-7b | Motorlast für Haushaltsanwendungen[4)] |
| AC-8a | Schalten von hermetisch gekapselten Kühlkompressormotoren mit manueller Rückstellung der Überlastauslöser |
| AC-8b | Schalten von hermetisch gekapselten Kühlkompressormotoren mit automatischer Rückstellung der Überlastauslöser |

1) Für Gleichstrom gibt es vier Gebrauchskategorien DC-1, -3, -5 u. -6 für das Schalten nicht induktiver oder schwach induktiver Last, von Motoren oder von Glühlampen.
2) *Gegenstrombremsen* oder *Reversieren* des Motors ist das schnelle Bremsen oder Umkehren der Drehrichtung durch Vertauschen von zwei Zuleitungen bei laufendem Motor.
3) Unter *Tippen* versteht man das einmalige oder wiederholte kurzzeitige Einschalten eines Motors, um kleine Bewegungen von Maschinen zu bewirken.
4) Einzusetzen sind elektromechanische Schütze für Hausinstallationen und ähnliche Zwecke nach VDE 0637-3.

Für ein Schütz ist die *elektrische Lebensdauer* entscheidend. Sie ist durch die Anzahl der Schaltspiele unter Betriebsbedingungen bestimmt und sollte nicht geringer als die Lebensdauer der zugehörigen Arbeitsmaschine sein. Die elektrische Lebensdauer wird in der Praxis auch als Schaltstück- und Gerätelebensdauer bezeichnet und von allen namhaften Herstellern für die verschiedenen Gebrauchskategorien in Abhängigkeit von der Schaltleistung angegeben. Zu beachten ist, dass auch die Schalthäufigkeit und die Betriebsart die Schaltstücklebensdauer beeinflussen. Bei einer hohen Anzahl von Schaltspielen je Stunde müssen in der Regel im AC-2-, AC-3- und AC-4-Betrieb Abschläge von der Bemessungsschaltleistung des Schützes vorgenommen werden. Angeboten werden Schütze mit einer Lebensdauer von 0,001 bis 10 Mio. Schaltspielen.

### 7.5.2.2 Kontaktsicherheit

Alle elektromagnetisch betätigten Schütze müssen – unabhängig von ihrer Gebrauchskategorie – bei 85...110 % des Bemessungswerts der Steuerspannung einwandfrei und unbeeinflusst betätigt werden können. Bei 15 % (AC-Betrieb) des Spannungs-Bemessungswerts müssen Schütze in ihre Ruhelage zurückkehren; dies gilt nicht für verklinkte Schütze.

Je kleiner die Bemessungsbetätigungsspannung gewählt wird, umso höher fallen Übergangswiderstände von anderen Schaltgerätekontakten ins Gewicht. Bei einer Bemessungsbetätigungsspannung von 24 V bedeutet ein Spannungsfall von 4 V, dass die Steuerspannung an der Schützspule nur noch 83 % des Bemessungswerts beträgt. Damit liegt sie unterhalb des Grenzwerts, bei dem noch eine einwandfreie Betätigung gefordert wird. Der gleiche Spannungsfall bei einer Bemessungsbetätigungsspannung von 230 V bedeutet lediglich eine Reduzierung der Steuerspannung an der angesteuerten Schützspule auf etwa 98 % des Bemessungswerts. Zur Erhöhung der Kontaktsicherheit bei Schützen mit niedriger Betätigungsspannung werden daher besondere Schaltkontakte, sog. *Doppelzungenkontakte*, zusammen mit hoch korrosionsbeständigem und leitfähigem Kontaktmaterial angeboten.

### 7.5.2.3 Kurzschlussfestigkeit

Schütze verschweißen i. Allg. bei Strömen nur wenig oberhalb ihres Einschaltvermögens. Im Kurzschlussfall werden diese Werte fast immer überschritten. Um ein Schütz gegen die Auswirkungen eines Kurzschlusses zu schützen, sind deshalb Strom begrenzende Überstromschutzeinrichtungen, z. B. Schmelzsicherungen, vorzuschalten. In der Regel geben die Hersteller der Schütze die Größe der maximal vorzuschaltenden Kurzschlussschutzeinrichtung an.

### 7.5.2.4 Parallelschaltung

Um höhere Dauerströme führen zu können, schaltet man Schütze parallel. Dabei ist zu beachten, dass bei Parallelschaltung von zwei Schützen maximal der 1,8-fache Dauerstrom geführt werden kann, da man von einer ungleichen Stromverteilung ausgehen muss. Zudem erhöht sich weder das Einschalt- noch das Ausschaltvermögen, weil die Schaltstücke i. Allg. nicht gleichzeitig öffnen und schließen.

### 7.5.2.5 Anschlussbezeichnung

Die Anschlusskenn- und Anschlussbezeichnung von Schützen ist in VDE 0660-102 Anhang A (aktueller Stand: 2014-02) festgelegt und beispielhaft in **Bild 7.19** dargestellt. Die Anschlüsse der Hauptstromkreise müssen durch ein alphanumerisches System bezeichnet werden, z. B. 1/L1-2//T1. Die bisherigen beiden Darstellungen, wie 1-2 und L1-T1, werden nach und nach durch die neuen, gezeigten (Bild 7.19) ersetzt. Die Hilfsstromkreise sind wie bisher durch zweistellige Zahlen zu kennzeichnen (Bild 7.19). An der Einerstelle stehen die Funktionsziffern 1 und 2 für Öffner sowie 3 und 4 für Schließer. An der Zehnerstelle stehen fortlaufende Folgeziffern, mit 1 beginnend und unabhängig von der Funktion der Schaltglieder. Die Anschlüsse eines Wechslers müssen durch die Funktionsziffern 1, 2 und 4 gekennzeichnet werden, wobei die geradzahligen Ziffern (z. B. 2 u. 4) auf derselben Seite stehen. Weitere Funktionsziffern – 5 und 6 (für Öffner), 7 und 8 (für Schließer) – bezeichnen die Anschlüsse von Hilfskontakten mit Sonderfunktionen in Hilfsstromkreisen. Die Funktionsziffern 5 und 6 (für Öffner), 7 und 8 (für Schließer) bezeichnen die Anschlüsse der Hilfskontakte mit Sonderfunktionen in Hilfsstromkreisen. Anschlüsse, die zum gleichen Schaltglied gehören, müssen mit der gleichen Folgeziffer bezeichnet werden, z. B. 13-14 für Schließer, 21-22 für Öffner, 35-36-38 für Wechsler. Alle Schaltglieder mit gleicher Funktion müssen unterschiedliche Folgeziffern haben, z. B. 13-14 für Schließer 1 und 33-34 für Schließer 2. Die Anschlüsse der Schütze dürfen allerdings auch durch ein mitgeliefertes Schaltbild identifiziert werden.

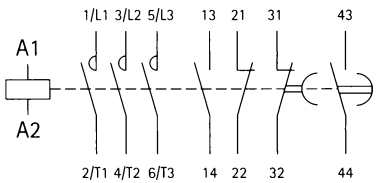



***Bild 7.19:*** *Anschlussbezeichnung eines Schützes*

### 7.5.2.6 Begrenzung von Schaltüberspannungen

Beim Ausschalten von Schützspulen entstehen Überspannungen mit Amplituden bis zu mehreren kV, die sowohl parallel zu den Schützspulen geschaltete spannungsempfindliche Bauelemente gefährden als auch bei kapazitiver Einkopplung in Steuerleitungen elektronischer Schaltungen zu schwer wiegenden Störungen führen können. Zur Bedämpfung derartiger Schaltüberspannungen sind deshalb, wo erforderlich, geeignete Maßnahmen zu ergreifen. Die wirtschaftlichste Lösung ist das Beschalten der Schütze mit RC-Gliedern oder Varistoren, die direkt auf das Schütz aufgesteckt oder geschraubt werden. Bei gleichstrombetätigten Schützen wird die Überspannungsdämpfung durch Diodenbeschaltung erreicht.

#### 7.5.2.7 Einbau

Für den Einbau der Schütze, zusammen mit Befehlsgeräten, Zeitrelais, Steuertransformatoren, Gleichrichtern, Sicherungen, Sammelschienen, Hauptschaltern, Messgeräten usw. in Schaltschränke, Steuerpulte oder Schaltgerüste ist als Schutzart für die Gehäuse in Industrie und Gewerbe IP54 zu empfehlen. Es gibt Ausführungen, bei denen, um Kondenswasser zu vermeiden, etwa in chemischen Betrieben oder Färbereien, in die Gehäuse *Filterstutzen* eingebaut werden können, die einen Luftausgleich (Atmen) ermöglichen, ohne dass Staub o. Ä. in das Gehäuse eindringen kann. Durchsichtige Abdeckung erleichtert die Kontrolle; die Ausführung in Schutzklasse II (früher: Schutzisolierung) schützt den Bedienenden.

Beschilderung und Stromlaufplan (VDE 0040-1) sind für die Störungssuche von größter Bedeutung.

Schütze erzeugen im eingeschalteten Zustand Wärme, die abgeführt werden muss. Durch eine großzügige Dimensionierung der Schaltanlage und das Anordnen der Schütze im oberen Verteilerbereich kann dies am problemlosesten erzielt werden.

### 7.5.3 Elektronische Steuerungen, Prozesssteuerungen

Der Einsatz von elektronischen Betriebsmitteln (z. B. Stromrichter und elektronische Schalter, die Leistung schalten) in Steuerungs- und Regelungsschaltungen bedarf sorgfältiger Planung. Außer der richtig wirkenden Schaltung muss eine zweckmäßige Bemessung der vorgesehenen Einzelteile sichergestellt werden. In den meisten Fällen wird man auf fertige Schaltungen und Baugruppen der Hersteller zurückgreifen. Elektronische Steuerungen verbinden extrem kurze Schaltzeiten mit einer langen Lebensdauer. Sie dienen zum kontaktlosen Schalten von Motoren, Magnetventilen, Hubmagneten, Lampen usw. Gegen Umwelteinflüsse, wie Staub, Feuchtigkeit, aggressive Atmosphäre und mechanische Erschütterungen, sind sie unempfindlich. Sie sind z. B. für schnelle und genaue Positionierungen bei Werkzeugmaschinen, Bau- und Schweißmaschinen und für Spritzgießmaschinen mit kurzen Taktzeiten vorteilhaft.

Bei der Projektierung sind gegenüber klassischen Schaltgeräten einige wenige Besonderheiten zu beachten:

- Die kontaktlosen Schalter stellen keine Potenzialtrennung her, d. h., auch im ausgeschalteten Zustand ist die Last über die Thyristorbaugruppe galvanisch mit dem Netz verbunden. Daher muss eine besondere Trennstelle vorgesehen werden.
- Die Auswahl der Baugruppen erfordert eine große Sorgfalt, da die Halbleiterbauelemente gegen Überlastung sehr empfindlich sind.

- Periodisch oder nichtperiodisch wiederkehrende Spannungsspitzen, die vom Netz her auf die Baugruppen einwirken können, dürfen die angegebene Spitzensperrspannung auch nicht kurzzeitig überschreiten. Überspannungsschutz-Baugruppen sind vorzusehen.
- Reihen- oder Parallelschaltungen der Baugruppen zur Erhöhung der Anschlussspannung oder des Laststroms zur Schonung der Halbleiterbauelemente dürfen nicht vorgenommen werden.

Betätigt man mit den kontaktlosen Schaltern Verbraucher mit einem Anlaufstrom, der ein Vielfaches des Bemessungsstroms beträgt (z. B. bei Motoren etwa 6- bis 8-fach, Glühlampen etwa 15-fach), so ist dies bei der Auswahl der entsprechenden Baugruppen zu berücksichtigen.

Werden elektronische Baugruppen im Rahmen elektromechanischer Steuerungen eingesetzt, so ist eine klare räumliche und elektrische Trennung zwischen beiden angebracht. Die Halbleiterbaugruppen sind gegen Fremdfelder empfindlich. Deshalb sind von außen kommende Eingangsleitungen über Eingangsschaltungs-Baugruppen zu führen. Außer einer räumlichen Trennung von Gleichstrom- und Wechselstromleitungen sollten auch die Eingangsleitungen getrennt von den Verknüpfungsleitungen verlegt werden.

Später mögliche Fehler, wie Drahtbruch, Erdschluss, Kurzschluss, dürfen nicht zu Sekundärschäden an Mensch oder Maschine führen können. VDE 0160 (DIN EN 50178) „Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln" legt Einzelheiten fest.

Spannungen aus *Kondensatorladungen* müssen nach dem Abschalten innerhalb von 5 s auf < DC 60 V oder auf eine Restladung ≤ 50 µF gesunken sein. Ist dies nicht zu erreichen, so muss ein besonderer Hinweis am Gerät angebracht werden.

Beim Einsatz von Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) ist sicherzustellen, dass die Auslösung der Schutzeinrichtung

- im Fall eines Gleichstromanteils im Fehlerstrom nicht verhindert wird,
- infolge unsymmetrischer Ableitströme, z. B. durch Funkentstörkondensatoren, nicht vorzeitig erfolgt.

Bei Anlagen, die diese Anforderungen nicht erfüllen, muss durch eine andere zulässige Schutzmaßnahme, z. B. Einsatz von Betriebsmitteln der Schutzklasse II (Schutzisolierung), Schutztrennung, Überstromschutzeinrichtung, für die notwendige Sicherheit gesorgt werden.

Sofern bei Geräten der Schutzklasse II eine *Funktionserdung* erforderlich ist, darf hierfür ein isolierter Anschluss vorhanden sein, der zu kennzeichnen ist. Die Körper

dürfen nicht mit diesem Anschluss verbunden sein. Sofern dieser Anschluss selbst berührbar ist, gilt das Gerät als Betriebsmittel der Schutzklasse I.

Wird bei elektronischen Betriebsmitteln ein *Ableitstrom* von AC 3,5 mA oder DC 10 mA (z. B. herrührend von Filtern) nicht oder nur bei Ausfall von ein oder zwei Sternspannungen des speisenden Netzes bzw. im Fehlerfall überschritten, dann sind keine besonderen Maßnahmen erforderlich. Bei fest angeschlossenen elektronischen Betriebsmitteln (EB) darf der betriebsmäßige Ableitstrom von 3,5 mA überschritten werden, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Schutzleiterquerschnitt $\geq 10\ mm^2$ Cu (aus Gründen der Festigkeit),
- Überwachung des Schutzleiters durch eine Einrichtung, die das EB im Fehlerfall selbsttätig abschaltet,
- Verlegung eines zweiten Leiters, parallel zum Schutzleiter, über getrennte Klemmen. Dieser Leiter muss für sich allein die Anforderungen nach VDE 0100-540 für Schutzleiter erfüllen.

Die Funktionserdung dient zur Sicherstellung der Funktion des elektronischen Betriebsmittels. Sie erfasst die Leiter von Betriebsstromkreisen oder Abschirmungen und darf die Schutzmaßnahme nach VDE 0100-410 nicht beeinträchtigen. Unter bestimmten Bedingungen darf der Schutzleiter zur Funktionserdung verwendet werden. Er ist dann mit der Schutzpotenzialausgleichsschiene zu verbinden.

### 7.5.4 Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)

Reihe DIN EN 61131 u. VDE 0411-500, -506, -509

Im Gegensatz zu konventionellen Relais-/Schütz- und verdrahtungsprogrammierten Steuerungen (VPS) werden die Steuerungsfunktionen nicht durch eine Kombination von einzelnen Bausteinen realisiert, sondern durch einen *frei programmierbaren Baustein*. Die Funktion des Bausteins wird durch eine Kombination von Befehlen festgelegt, die als *Programm* bezeichnet wird.

Einsatzgebiete für SPS reichen von der Steuerung einzelner Arbeitsmaschinen bis zu großen Fertigungsstraßen. Eine speicherprogrammierbare Steuerung besteht aus einer Zentraleinheit in Form eines *Mikroprozessors*, einem *Programm-*, *Signal-* bzw. *Ausgabespeicher* und *Schnittstellen* für Eingänge, Ausgänge und Programmiergeräte.

Speicherprogrammierbare Steuerungen stellen logische Verknüpfungen zwischen Eingängen und Ausgängen her. Minimal sind sie mit je acht Ein- und Ausgängen ausgerüstet, nach oben sind keine Grenzen gesetzt. Das Verdrahtungsschema der herkömmlichen Relais-/Schützsteuerungen wird durch ein Programm (Software) ersetzt. Dieses kann mittels eines Programmiergeräts erstellt, verändert, angezeigt, korrigiert und getestet werden.

Wesentliche Vorteile von SPS gegenüber konventionellen Steuerungen:

- hohe Flexibilität (ein Gerät kann für unterschiedliche Aufgaben herangezogen werden),
- einfacher Aufbau,
- geringer Platzbedarf,
- hohe Lebensdauer,
- hohe Zuverlässigkeit,
- interne und externe Fehlerdiagnose durch das Gerät möglich,
- einfaches Testen des Programms vor der Anwendung durch Simulation.

Bei der Entscheidung darüber, ob SPS oder konventionelle Steuerungen eingesetzt werden, sind wirtschaftliche und technische Aspekte abzuwägen. Neben den reinen Stückkosten für die SPS müssen anteilig die Kosten für das Programmiergerät und die Software berücksichtigt werden. Dagegen entfallen Montage und Verdrahtungskosten sowie lange Stillstandszeiten bei Ausfall oder Änderung der Steuerung. Das Kostenverhältnis verschiebt sich besonders dann zugunsten der SPS, wenn ein einmal entwickeltes Programm öfter verwendet werden kann. Zudem besteht die Möglichkeit, diese Steuerungen über ein Leitsystem zu führen und so von einer Maschinen- zu einer Fertigungssteuerung zu gelangen.

Ein Nachteil für den Anwender von SPS ist die Abhängigkeit vom einmal gewählten System: Weder das Programmiergerät noch die Programmiersprache sind zwischen den verschiedenen Herstellern gleich.

Die Programmsicherung bei Spannungsausfall geschieht mit Batterien (**Bild 7.20**). Eingang und Ausgang werden z. B. mit 24 V betrieben. Zur Abwendung von Gefahren beim Auftreten eines Erdschlusses sollen die Stromkreise einseitig geerdet werden (Bild 7.20). Bezogen auf elektronische Spannungspegel ist der Low-Pegel durch eine herausnehmbare Brücke fest mit dem Erdpotenzial zu verbinden. Ein Spulenende, z. B. von Schützen, Relais und Magnetventilen, ist unmittelbar an dem für die Erdung vorgesehenen Potenzial, hier L-Pegel, anzuschließen. Bei Erdschluss übernimmt eine vorgeschaltete Überstromschutzeinrichtung die Abschaltung. Weitere Einzelheiten s. Druckschriften der Hersteller und einschlägige Literatur [3].

Sog. starkstromnahe SPS für *kleinere Steuerungsaufgaben* sind so aufgebaut, dass die traditionellen Anschluss- und Verbindungstechniken von Schütz- und Relaissteuerungen beibehalten werden können. Auch die meist grafischen Programmiermethoden orientieren sich an der bekannten Darstellungsart der bisher üblichen Stromlaufpläne oder der Funktionspläne nach VDE 0040-1. Damit soll die Anwendung dieser neuen Steuerungstechnik für Praktiker ohne besondere Lernphase möglich sein.

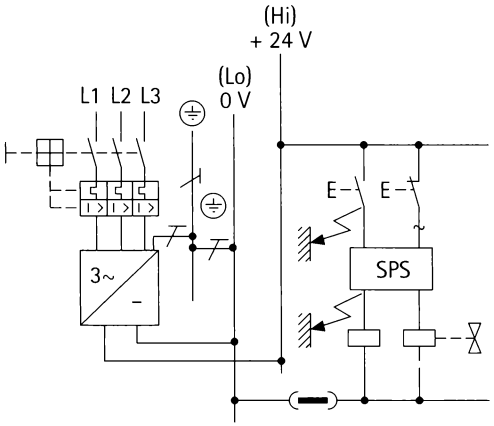



***Bild 7.20:*** *Sicherheit beim Funktionsversagen durch Erdschluss*

*Komplexe Steuerungsaufgaben* werden mit SPS gelöst, die vom Aufbau mit von der Programmierung her schon weitgehend die Systemtechnik von Datenverarbeitungsanlagen aufweisen. Hierfür ist ein besonderes Fachwissen einschl. einer besonderen Anschluss- und Verbindungstechnik erforderlich sowie eine Programmiertechnik, die nicht mehr durch grafische Symbole aus der bekannten Schaltplantechnik gekennzeichnet ist (DIN EN 61131-3 u. Beibl. 1).

Bei größeren Stückzahlen muss die Hardware der SPS an den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden. Da hier die Kosten für die Software nur einmal auftreten, kann mit *Programmiersprachen* gearbeitet werden, die ein besonderes Fachwissen erfordern.

Für die Aufnahme von physikalischen Größen und deren Umformung in proportionale elektrische Signale werden in zunehmendem Maße *Sensoren* eingesetzt. Sie werden für Haushaltgeräte und für die Kraftfahrzeugtechnik in sehr großen Stückzahlen hergestellt, sind aber nicht sehr genau. Für genaue Erfassung der physikalischen Größen in der Mess- und Regelungstechnik gibt es Sensoren, die außer der notwendigen Signalaufbereitung auch eine integrierte Informationsverarbeitung aufweisen (**Bild 7.21**).

Wird über eine SPS ein System oder eine Anlage gesteuert, die Einfluss auf die *Abwendung von Gefahren* für Leben oder Gesundheit und für Sachen hat, dann muss der Rechner dieser SPS spezielle Sicherheitsanforderungen erfüllen. Die sicherheitstechnischen Anforderungen und die Qualität der notwendigen Maßnahmen sind umso höher, je höher das abzudeckende Teilrisiko ist. Die Grundsätze für Rechner in Systemen mit Sicherheitsaufgaben sind in der Reihe VDE 0803-1 bis -7, VDE 0803 Bbl. 1 „Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme" enthalten. In Verbindung mit

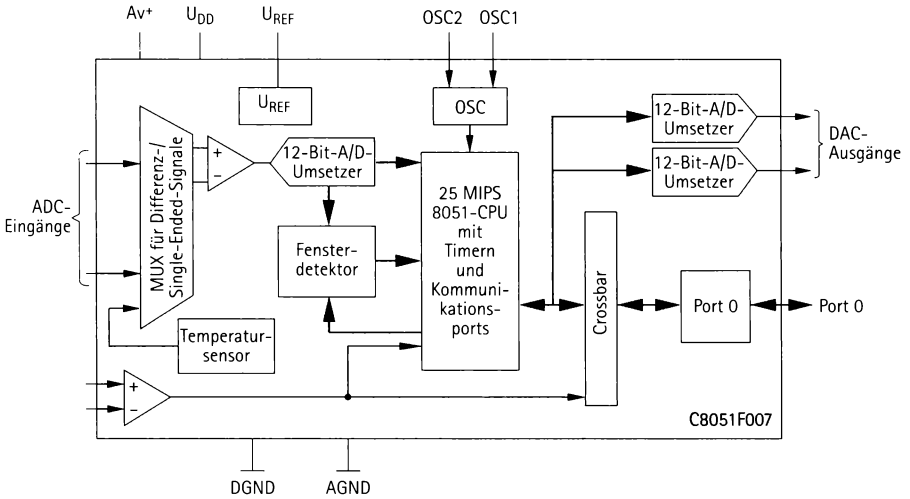



***Bild 7.21:*** *Blockschaltung eines System-on-Chip-Sensorbausteins von Cygnal; Herzstück ist ein 8-Bit-Mikrocontrollerkern des Typs 8051 mit einer Rechenleistung von 25 MIPS (Elektronik (2002) H. 1, S. 51-53).*

der DIN EN ISO 13849-1 „Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze" muss durch geeignete Schutzmaßnahmen das vom sicherheitsbezogenen System ausgehende Risiko auf das sog. *Grenzrisiko* reduziert werden. Der Hersteller der SPS muss eine entsprechende Bestätigung liefern, z. B. nach einer Baumusterprüfung durch ein anerkanntes Prüfinstitut, in der die Eignung für den Anwendungsfall bescheinigt wird.

### 7.5.5 Unterbrechungsfreie Stromversorgung

VDE 0558-510

Eine unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlage (USV-Anlage) kann z. B. für Prozesssteuerungen oder EDV-Anlagen nötig sein. Die Verbraucher müssen dann bereits bei vorhandener Netzspannung ständig über die bei Netzausfall zur Stromversorgung dienenden Einrichtungen gespeist werden. Beispielsweise läuft der Energiefluss vom Netz über einen *Gleichrichter* vorbei an der *Batterie* über einen *Wechselrichter* zum Stromverbraucher (zweimaliger Energieumsatz) (**Bild 7.22**). Das Ladegerät muss zum Aufladen und zur Pufferung der Batterie ausgelegt sein. Es können auch zwei Wechselrichteranlagen einschl. Akkumulatoren im Parallelbetrieb eingesetzt werden. Jede der beiden Anlagen ist für die volle Leistung aus-

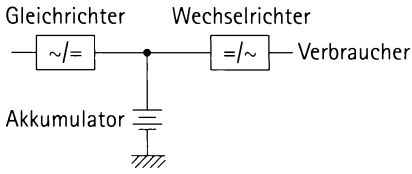



***Bild 7.22:*** *Unterbrechungsfreie Stromversorgung*

gelegt, arbeitet aber während des normalen Betriebs nur mit halber Leistung. Bei Ausfall eines Wechselrichters übernimmt der zweite die volle Last. Wechselrichter und Batterien werden getrennt oder bei kleineren Leistungen zusammen mit NiCd-Akkumulatoren als Schrankeinheiten aufgestellt.

### 7.5.6 Umwelteinflüsse

Moderne Schaltgeräte sind gegen schädliche Umwelteinflüsse, wie Staub und Feuchtigkeit, empfindlicher als ältere Konstruktionen. Im Gegensatz zu früher muss daher heute auf das Fernhalten von Feuchtigkeit und vor allem von Staub größte Sorgfalt verwendet werden. Die Geräte sind zu diesem Zweck entsprechend den vorliegenden örtlichen Verhältnissen gekapselt. Durch Einbau von *Heizungen* und Verwenden von *Filterstutzen* wird die Bildung von Kondenswasser vermieden. Es gibt fabrikfertig hergestellte Schaltschrank-Heizungen mit Heizkörpern von 10...100 W bei AC 230 V. Die notwendige Heizleistung hängt vom Aufstellungsort, von der Umgebungstemperatur, der Luftfeuchtigkeit, der Dämmisolierung und nicht zuletzt von der Verlustleistung der eingebauten Geräte ab. Es kommen Heizleistungen von 10...1 500 W in Betracht. Während der Montage – und das wird sehr häufig übersehen – dürfen die Geräte nur möglichst kurze Zeit geöffnet werden. Wirklich moderne Geräte zeichnen sich auch dadurch aus, dass sie einen schnellen und bequemen Anschluss der Leitungen ermöglichen und daher nur ein kurzzeitiges Öffnen des Gerätegehäuses erfordern.

### 7.5.7 Schaltgeräteauswahl

Die Zusammenstellung in **Tabelle 7.16** gibt Hinweise darauf, welche Schaltgeräte sich für welche Schaltaufgaben eignen.

*Regler* sind Grenzwertschalter mit einem oberen und einem unteren Schaltpunkt (Druck-, Temperatur-, Drehzahlwächter). *Begrenzer* sind Grenzwertschalter mit nur einem Schaltpunkt. *Programmgeber* sind meist motorangetriebene Schalter für Funktionsabläufe, z. B. bei Waschmaschinen, Lichtreklamen, Werkzeugmaschinen.

*Tabelle 7.16: Auswahl von Schaltgeräten*

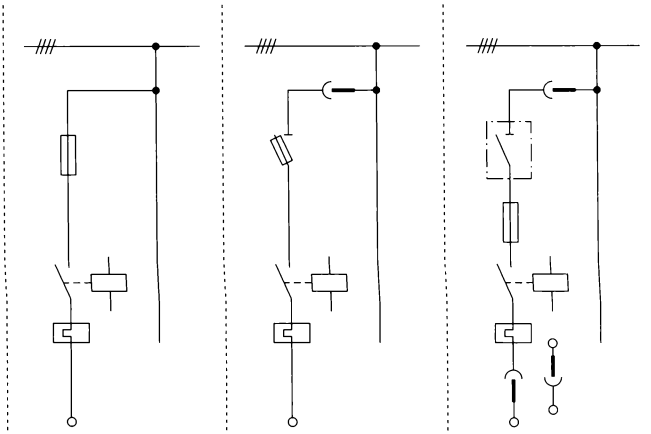
| Anwendung | Schaltgerät |
|---|---|
| Überstromschutz von Leitungen | Sicherungen, Leitungsschutzschalter, Sicherungstrenner, Leistungsschalter |
| Überstromschutz von Motoren | Motorstarter (Motorschutzschalter), Schalter mit Schützen kombiniert Leistungsschalter |
| Unterspannungsschutz | Leistungsschalter mit Unterspannungsauslösung |
| Schalten von Motoren mit handbetätigten Schaltern | Steuerschalter (Nocken-, Walzenschalter) als Aus-, Stern-Dreieck-, Wende-Polumschalter, Anlasser, Motorstarter |
| Schalten von Motoren durch Fernbetätigung | Schütze, fernbetätigte Motorstarter u. Leistungsschalter |
| Schalten von Kondensatoren durch Fernbetätigung | Schütze, fernbetätigte Leistungsschalter |
| Schalten von Hilfsstromkreisen | Drucktaster, Schwenktaster, Endtaster, Rastschalter, Regler, Begrenzer, Programmgeber |

Bei *intermittierendem Betrieb* werden die Schaltgeräte nicht dauernd belastet, sondern periodisch nach einem bestimmten Fahrplan. Die stromlosen Pausen wirken sich günstig auf die Erwärmung der Schaltgeräte aus; man kann sie daher höher belasten. Der Gerätehersteller gibt darüber Auskunft, wenn man den Fahrplan der Spieldauer und den Strom angibt, z. B. Belastungsstrom 45 A während 3 min, dann 2 min Pause, dann wieder 45 A usw.

### 7.5.8 Geräteeinbautechnik

Bei großen stahlblechgekapselten Schaltanlagen sind drei Geräteeinbautechniken möglich (**Bild 7.23**):

- *Festeinbautechnik* mit festem Anschluss der Zu- und Ableitungen. Hier wird ein Umbau von Abzweigen (Funktionseinheiten) während des Betriebs nicht verlangt.
- *Einsatztechnik* mit zuleitungsseitigem Trennkontakt und abgangsseitigem Anschluss der Kabel an Klemmen oder direkt am Schaltgerät. Ein rascher Gerätewechsel ist bei geschultem Personal nach Freischalten möglich.
- *Einschubtechnik* mit zu- und abgangsseitigen Trennkontakten im Hauptstromkreis sowie mit Vielfach-Trennkontakten im Hilfsstromkreis.



| Motor-Abzweig als: | Festeinbau | Einsatz | Einschub |
|---|---|---|---|
| Zuleitung | Fester Anschluss an Feldschiene | Trennkontakt zur Steckschiene | |
| Ableitung | Fester Anschluss am Gerät bzw. an Klemmen | | Trennkontakt |
| Hilfsstromkreise | Fester Anschluss am Gerät bzw. an Klemmen | | Hilfstrennkontakte |

***Bild 7.23:*** *Die drei grundsätzlichen Geräteeinbautechniken am Beispiel einer Funktionseinheit Netzabzweig mit Schütz*

Geräteeinschübe ermöglichen bei durchlaufendem Betrieb eine gefahrlose Wartung und Kontrolle der Schaltgeräte und ersparen gleichzeitig Trennschalter, die bei festem Einbau der Schaltgeräte zum Freischalten erforderlich wären. Bei der Einschubtechnik wird die Verbindung der Hauptstrombahnen des Schalters zu den Hauptanschlüssen des Einschubträgers durch *Einfahrkontakte* hergestellt. Steuerleitungen werden über *Testkontakte* (Schleifkontakte) auf den Einschub geführt. Maximale Steuerspannung z. B. AC 400 V.

Die Einfahrkontakte können so ausgebildet werden, dass ein Notbetrieb mit NH-Sicherungseinsätzen ohne Umbauten möglich ist. Der Schaltereinschub wird z. B. über einen Spindelantrieb mit Handkurbel ein- und ausgefahren. Eine mechanische Verriegelung verhindert ein Ein- oder Ausfahren des Schalters im eingeschalteten Zustand.

# 7.6 Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen

Reihe VDE 0660-600

## 7.6.1 Anwendungsbereich

Die bisherige Norm VDE 0660-500 mit dem Titel „Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen – Teil 1: Typgeprüfte und partiell typgeprüfte Kombinationen", die eine Art „Grundnorm" für die verschiedenen Ausführungen von Schaltgerätekombinationen (Verteiler) darstellte, wurde am 01.06.2010 von zwei neuen Normen abgelöst und zwar von

- VDE 0660-600-1 „Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen – Teil 1: Allgemeine Festlegungen" und
- VDE 0660-600-2 „Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen – Teil 2: Energie-Schaltgerätekombinationen" (s. Abschn. 7.7).

Zusätzlich ist zum Teil 1 ein nützliches VDE-Beiblatt erschienen:

- VDE 0660-600-1 Bbl. 1 mit Berichtigung 1 „Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen – Teil 1: Allgemeine Festlegungen; Beiblatt 1: Leitfaden für die Spezifikation von Schaltgerätekombinationen".

Die VDE-Bestimmungen 0660-600-1 und -2 legen Begriffe fest, enthalten Bauanforderungen, technische Kenndaten, Betriebs- und Umgebungsbedingungen und Anforderungen für Nachweise für die jeweiligen Schaltanlagen und Verteiler. Hierbei stellt der Teil 1 (Untertitel: Allgemeine Festlegungen) jetzt sozusagen die Grundnorm für alle Schaltgerätekombinationen (Verteiler) dar. Der Teil 2 legt die besonderen Anforderungen für sog. Energie-Schaltgerätekombinationen fest (s. Abschn. 7.7).

Schaltanlagen und Verteiler, die einzeln oder in kleineren Stückzahlen für bestimmte Einsatzfälle hergestellt werden, fallen ebenfalls unter VDE 0660-600-1 (*bisher:* VDE 0660-500). Früher wurden solche Schaltanlagen und Verteiler i. Allg. nach VDE 0100:1973-05, § 30b gebaut; mit Ersatz dieses Abschnitts durch VDE 0100-729:1986-11, gibt es seitdem in VDE 0100 *keine* Bestimmungen mehr für das Herstellen von Schaltanlagen und Verteilern.

Eine *Niederspannungs-Schaltgerätekombination* ist nach der VDE-Bestimmung die Zusammenfassung eines oder mehrerer Niederspannungsschaltgeräte mit zugehörigen Betriebsmitteln zum Melden, Messen, Steuern, Regeln und Schützen. Dazu gehören alle inneren elektrischen und mechanischen Verbindungen und Konstruktionsteile.

Das Besondere an der Änderung dieser Normenstruktur ist neben einer anderen Unternummerierung, dass der Inhalt der alten Norm auf zwei neue Normen aufgeteilt worden ist, was sich natürlich in den Untertiteln der neuen Normen ausdrückt, und die Begriffe des alten Untertitels *typgeprüfte* und *partiell typgeprüfte* Schaltgerätekombinationen entfallen sind. Dies spiegelt auch eine wesentliche sachliche Änderung wider. Die nicht mehr gültige Norm VDE 0660-500 war gleichzeitig Produktnorm sowohl für Schaltgerätekombinationen zur Verwendung bei der Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Umformung elektrischer Energie sowie für die Steuerung von Betriebsmitteln, die elektrische Energie verbrauchen, als auch Grundnorm für spezielle Schaltgerätekombinationen. Sie galt für ortsfeste und ortsveränderbare Schaltgerätekombinationen mit oder ohne Gehäuse (neu: Umhüllung) sowie für solche Schaltgerätekombinationen, die für den Einsatz unter besonderen Verwendungsbedingungen, z. B. an Werkzeugmaschinen oder Hebezeugausrüstungen, bestimmt sind.

Unter einer *typgeprüften Niederspannungs-Schaltgerätekombination* (TSK) war eine Schaltgerätekombination zu verstehen, die unter Verantwortung des Herstellers komplett zusammengebaut wurde und die ohne wesentliche Abweichungen mit dem Ursprungstyp oder -system einer nach VDE 0660-500 typgeprüften Schaltgerätekombination übereinstimmt.

Eine *partiell typgeprüfte Niederspannungs-Schaltgerätekombination* (PTSK) war eine Schaltgerätekombination, die typgeprüfte und/oder nicht typgeprüfte Baugruppen enthält. Darunter fielen alle Schaltgerätekombinationen, die einzeln oder in kleineren Stückzahlen für bestimmte Einsatzfälle beim Hersteller oder am Einsatzort gebaut wurden. Nicht typgeprüfte Baugruppen mussten von typgeprüften abgeleitet sein, z. B. durch Berechnung.

Mit der neuen „Grundnorm" VDE 0660-600-1 wurde die Unterscheidung zwischen *typgeprüften Schaltgerätekombinationen* und *partiell typgeprüften Schaltgerätekombinationen* aufgegeben. An deren Stelle sind drei gleichwertige sog. *Nachweisverfahren* getreten und zwar

- Nachweis durch Prüfung,
- Nachweis durch Berechnung und/oder Messung oder
- Nachweis durch Erfüllung von Konstruktionsregeln.

Unter Nachweis durch Prüfung versteht man eine Prüfung an einem Muster einer Schaltgerätekombination oder an Teilen davon, um zu zeigen, dass die Bauart die Anforderungen der zutreffenden Norm erfüllt. Dies entspricht in etwa einer Typprüfung. Eine Konstruktionsregel ist im Sinne dieser Norm eine festgelegte Regel für die Konstruktion einer Schaltgerätekombination.

Die jeweilige Produktnorm für eine spezielle Schaltgerätekombination muss immer mit der Grundnorm VDE 0660-600-1 zusammen angewendet werden. Die Grundnorm enthält nur allgemeine Anforderungen, auf die in den ergänzenden bzw. speziellen Produktnormen verwiesen wird. Nur dann gelten die allgemeinen Anforderungen der Grundnorm. Wenn eine allgemeine Anforderung aus der Grundnorm auf eine spezielle Schaltgerätekombination nicht anwendbar ist, braucht sie für die spezielle Schaltgerätekombination nicht beachtet werden. Andererseits kann eine allgemeine Anforderung aus der Grundnorm, wenn sie unzureichend für die spezielle Schaltgerätekombination ist, ergänzt, geändert oder auch durch eine andere Anforderung ersetzt werden.

Die Grundnorm VDE 0660-600-1 stellt Anforderungen für Schaltgerätekombinationen mit einer mit einer Bemessungsspannung bis AC 1 000 V und DC 1 500 V zur Verwendung bei der Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Umformung elektrischer Energie und für die Steuerung von Betriebsmitteln, die elektrische Energie verbrauchen. Die Grundnorm gilt für ortsfeste und ortsveränderbare Schaltgerätekombinationen mit oder ohne Gehäuse (neu: Umhüllung) sowie für solche Schaltgerätekombinationen, die für den Einsatz unter besonderen Betriebsbedingungen, z. B. in explosionsfähiger Atmosphäre, auf Schiffen und Schienenfahrzeugen und für den Gebrauch in Wohngebäuden auch für die Bedienung durch Laien vorgesehen sind. Für den Einsatz unter besonderen Betriebsbedingungen sind spezifische Anforderungen zu beachten, die in den betreffenden Abschnitten dieses Buchs angesprochen werden und für die spezielle VDE-Bestimmungen zusätzlich gelten. Die Grundnorm gilt auch für Schaltgerätekombinationen, die für die elektrische Ausrüstung von Maschinen (s. Abschn. 11.6) bestimmt sind. Zusätzliche Anforderungen dazu werden in der Reihe VDE 0113 gestellt. Die Grundnorm gilt unabhängig davon, ob es sich bei einer Schaltgerätekombination um ein Einzelstück oder ein Serienprodukt handelt. Eine Schaltgerätekombination darf auch von anderen Personen oder Unternehmen als dem ursprünglichen Hersteller hergestellt und/oder zusammengebaut werden. Die andere Person oder das andere Unternehmen muss dann auch die Verantwortung für die fertige Schaltgerätekombination übernehmen. Der ursprüngliche Hersteller ist derjenige, der die ursprüngliche Konstruktion und den zugehörigen Nachweis nach den zutreffenden Normen der Schaltgerätekombination (Grundnorm VDE 0660-600-1 und betreffende spezielle Normen) durchgeführt hat.

Inzwischen sind weitere Einzelbestimmungen aus der Reihe VDE 0660 ersetzt worden und in diese Reihe VDE 0660-600 als Einzelteile eingebunden (Teile 3 bis 7), und zwar:

- VDE 0660-600-3 „Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen – Teil 3: Installationsverteiler für die Bedienung durch Laien (DBO)" (Ersatz für VDE 0660-504), (früher: „fabrikfertige Installationsverteiler" nach VDE 0659) (s. Abschn. 7.9),
- VDE 0660-600-4 „Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen – Teil 4: Baustromverteiler (BV)" (Ersatz für VDE 0660-501) (s. Abschn. 7.11),
- VDE 0660-600-5 „Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen – Teil 5: Schaltgerätekombinationen in öffentlichen Energieverteilungsnetzen" (Ersatz für VDE 0660-503),
- VDE 0660-600-6 „Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen – Teil 6: Schienenverteilersysteme (busways)" (Ersatz für VDE 0660-502) (s. Abschn. 7.10),
- VDE V 0660-600-7 „Vornorm – Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen – Teil 7: Schaltgerätekombinationen für bestimmte Anwendungen wie Marinas, Campingplätze, Marktplätze, Ladestationen für Elektrofahrzeuge".

Die jeweils ersetzte eigenständige VDE-Bestimmung ist mit dem jeweils neuen Teil der Reihe VDE 0660-600 zurückgezogen worden. Die Übergangsfristen für die ersetzten Bestimmungen sind inzwischen alle abgelaufen. Bei dem neuen Teil 7 handelt es sich um eine Vornorm (s. Abschn. 1.3), die zu gegebener Zeit in eine vollwertige VDE-Bestimmung übergeführt werden wird.

In neueren Teilen der Reihe VDE 0660-600 (seit 2013) sind entweder Buchstabenabkürzungen bereits im Titel oder in deutschen Begriffen unter dem Abschnitt Begriffe der jeweiligen Norm enthalten. Die Buchstabenabkürzung wird aus dem jeweiligen englischen Begriff abgeleitet. Nur der Teil 4 (Baustromverteiler (BV)) hat eine schon in der vorherigen Norm verwendete Abkürzung (BV), die aus dem deutschen Begriff abgeleitet ist. Erwähnt seien auch einige ausgewählte Abkürzungen von Begriffen, die nicht in Titeln von Normen enthalten sind, jedoch dem deutschen Begriff aus der jeweiligen Norm angehängt sind:

- Untertitel *Installationsverteiler für die Bedienung durch Laien (**DBO**)*, abgeleitet von **d**istribution **b**oard to be operated by **o**rdinary persons (VDE 0660-600-3),
- Begriff *Niederspannungsverteilung in öffentlichen Energieverteilungsnetzen **PENDA***, abgeleitet von **p**ublic **e**lectricity **n**etwork **d**istribution **A**SSEMBLY (VDE 0660-600-5),
- Begriff *Schienenverteilersystem **BTS***, abgeleitet von **b**usbar **t**runking **s**ystem (VDE 0660-600-6),
- Begriff *Schienenverteilereinheit **BTU***, abgeleitet von **b**usbar **t**runking **u**nit (VDE 0660-600-6).

Weitere, spezielle Bestimmungen sind

- VDE 0603-1 „Installationskleinverteiler und Zählerplätze" (s. Abschn. 7.8) und
- Schutz gegen elektrischen Schlag – Schutz gegen unabsichtliches direktes Berühren gefährlicher aktiver Teile: VDE 0660-514 (früher in zurückgezogener Norm VDE 0106-100) (s. Abschn. 7.6.8).

## 7.6.2 Bauformen

Unter dem Begriff Niederspannungs-Schaltgerätekombination oder kurz Schaltgerätekombination wird die gesamte Vielfalt an Niederspannungsschaltanlagen und Verteilern verstanden. In Kreisen der Praktiker sind die Bezeichnungen Schaltanlagen und Verteiler, auch Schaltschrank und Schaltkasten eher gebräuchlich. Schaltgerätekombinationen gibt es in vielfältigen Ausführungen, nach der einschlägigen VDE-Bestimmung Bauform genannt. Nach VDE 0660-600-1 gibt es u. a. folgende sog. äußere Bauformen von Schaltgerätekombinationen:

- *offene Bauform:* Ausführung, bei der die elektrischen Betriebsmittel in einer Tragkonstruktion so angeordnet sind, dass ihre aktiven Teile zugängig sind;
- *Tafelbauform:* offene Bauform mit einer Bedienungsfront, deren aktive Teile von anderen Richtungen als von vorn zugängig sein dürfen;
- *geschlossene Bauform:* die allseitig – gegebenenfalls mit Ausnahme der Befestigungsfläche – so umhüllt ist, dass ein festgelegter Schutzgrad erreicht wird;
- *Schrankbauform:* geschlossene Bauform zur Aufstellung auf dem Boden, die mehrere Felder, Fächer oder Abteile umfassen darf;
- *Mehrfach-Schrankbauform:* Kombination mehrerer mechanisch verbundener Schaltgerätekombinationen in Schrankbauform;
- *Pultbauform:* geschlossene Bauform mit waagrechter oder geneigter Bedienungsfläche oder einer Kombination aus beiden, in der Betätigungs-, Mess-, Meldegeräte usw. untergebracht sind;
- *Kastenbauform:* geschlossene Bauform zum Anbau an einer vertikalen Fläche;
- *Mehrfachkastenbauform:* Kombination von mechanisch miteinander verbundenen Kästen mit oder ohne gemeinsames Traggestell, bei der die elektrischen Verbindungen zwischen benachbarten Kästen durch Öffnungen in den gemeinsamen Berührungsflächen hindurchgeführt werden;
- *Schaltgerätekombination für Wandbefestigung:* zur Befestigung auf der Oberfläche einer Wand;

- *Schaltgerätekombination für Wandeinbau:* zum Einbau in eine Wandnische, in der die Umhüllung nicht zur Unterstützung des Wandabschnitts oberhalb der Schaltgerätekombination dient.

### 7.6.3 Kennzeichnung von Schaltgerätekombinationen

Jede Schaltgerätekombination muss mindestens folgende Aufschriften auf Bezeichnungsschildern tragen:

- Name des Herstellers oder Warenzeichen (als Hersteller gilt der ursprüngliche Hersteller oder wer die Verantwortung für die Herstellung/Zusammenbau übernimmt),
- Typbezeichnung, Kennnummer oder anderes Kennzeichen, aufgrund derer die notwendigen Informationen vom Hersteller der Schaltgerätekombination angefordert werden können,
- IEC 61439-X (X steht für den zutreffenden Teil der Norm), (die Grundnorm VDE 0660-600-1 schreibt die Angabe der internationalen Norm vor).
- In der jeweils zutreffenden speziellen Norm der Schaltgerätkombination kann festgelegt sein, ob weitere Angaben auf dem Bezeichnungsschild angegeben werden müssen.

### 7.6.4 Dokumentation

Weitere Angaben müssen, soweit zutreffend, aus der mitgelieferten technischen Dokumentation des Herstellers ersichtlich sein:

- Bemessungsspannung ($U_n$) der Schaltgerätekombination,
- Bemessungsbetriebsspannung ($U_e$) eines Stromkreises,
- Bemessungsisolationsspannung ($U_i$),
- Bemessungsstoßspannungsfestigkeit ($U_{imp}$),
- Bemessungsstrom der Schaltgerätekombination ($I_{nA}$),
- Bemessungsstrom jedes Stromkreises ($I_{nc}$),
- Bemessungsstoßstromfestigkeit ($I_{pk}$),
- Bemessungskurzzeitstromfestigkeit ($I_{cw}$) zusammen mit ihrer Dauer,
- bedingter Bemessungskurzschlussstrom ($I_{cc}$),
- Bemessungsfrequenz ($f_n$),
- Bemessungsbelastungsfaktor(en) (RDF).

Gegebenenfalls müssen zusätzlich angegeben werden:

- Kurzschlussfestigkeit und Art der Kurzschluss-Schutzeinrichtungen,
- Maßnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag,
- Gesamtmaße (einschl. vorstehender Teile wie Griffe, Verkleidungen, Türen),
- Masse, sofern > 30 kg.

Gegebenenfalls müssen kennzeichnende Merkmale angegeben werden, wie:

- Verschmutzungsgrad,
- System nach Art der Erdverbindung, für das die Schaltgerätekombination vorgesehen ist (z. B. TN-, IT-Netz),
- Innenraum- oder Freiluftaufstellung,
- ortsfest oder ortsveränderbarer Einsatz,
- IP-Schutzart,
- vorgesehen für die Verwendung durch Elektrofachkräfte oder Laien,
- Einteilung nach Elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV),
- äußere Bauform,
- Schutz gegen mechanische Einwirkung,
- die Art des Aufbaus – Einsätze und herausnehmbare Teile (z. B. Einschübe, s. Abschn. 7.7).

Wenn sich die Schaltung aus der konstruktiven Anordnung der eingebauten Geräte nicht klar erkennen lässt, müssen der Schaltgerätekombination Unterlagen, z. B. Schalt- oder Klemmenpläne, beiliegen.

### 7.6.5 Kennzeichnung der Betriebsmittel

Bestimmte Stromkreise und ihre Schutzeinrichtungen innerhalb der Schaltgerätekombination müssen eindeutig identifiziert werden können. Dazu sind Kennzeichnungen der Stromkreise und der Schutzeinrichtungen nach den einschlägigen Normen (DIN EN 81346-1 und -2) erforderlich. Die Kennzeichnungen müssen mit denen im Schaltplan übereinstimmen, der nach der Reihe VDE 0040 (Dokumente der Elektrotechnik) erstellt sein muss.

## 7.6.6 Betriebsbedingungen

Schaltgerätekombinationen sind – soweit in Normen über spezielle Schaltgerätekombinationen auf die Grundnorm VDE 0660-600-1 verwiesen wird – für den Einsatz unter den nachfolgenden Betriebsbedingungen vorgesehen:

*Umgebungstemperatur:*

- obere Grenze für Innenraum- und Freiluftaufstellung: +40 °C; Mittelwert über 24 Std.: ≤ +35 °C,
- untere Grenze für *Innenraumaufstellung:* –5 °C,
- untere Grenze für *Freiluftaufstellung:* –25 °C;

*Relative Luftfeuchte* der Umgebungsluft:

- *Innenraumaufstellung:* zwischen ca. 90 % bei Temperatur von +20 °C und ≤ 50 % bei Maximaltemperatur von +40 °C; gelegentlich auftretende mäßige Kondenswasserbildung infolge Temperaturschwankungen ist zu berücksichtigen,
- *Freiluftaufstellung:* vorübergehend bis 100 % bei Maximaltemperatur von +25 °C;

*Höhenlage* des Aufstellungsorts:

- ≤ 2000 m über N. N.; in größeren Höhen verringert sich bei elektrischen Betriebsmitteln die Isolationsfestigkeit, das Schaltvermögen der Geräte und die Kühlwirkung der Umgebungsluft.

**Verschmutzungsgrad**

Verschmutzung im Sinne der VDE-Bestimmungen 0110-1 und 0660-600-1 ist jede Ablagerung fester, flüssiger oder gasförmiger Fremdstoffe, die die Isolationsfestigkeit – auch elektrische Festigkeit genannt – oder den Oberflächenwiderstand der Isolierung von elektrischen Betriebsmitteln und Bauteilen verringern kann.

Der Verschmutzungsgrad ist eine Kennziffer (1 bis 4), die die zu erwartende Verschmutzung der unmittelbaren Umgebung, der sog. Mikroumgebung, der Isolierung der elektrischen Betriebsmittel und Bauteile einer Schaltgerätekombination angibt. Die Mikroumgebung beeinflusst besonders die Bemessung der Kriechstrecken. Der Verschmutzungsgrad hängt von der Menge an leitfähigem oder feuchtigkeitsaufnehmendem Staub, ionisiertem Gas oder Salz sowie von der relativen Luftfeuchte und der Häufigkeit ihres Auftretens ab. Abhängig von der Häufigkeit kommt es zur Aufnahme oder Kondensation von Feuchtigkeit. Dies wiederum verringert die Spannungsfestigkeit und/oder den Oberflächenwiderstand.

Um Luft- und Kriechstrecken zu bestimmen, wurden vier Verschmutzungsgrade für die Mikroumgebung festgelegt. Sie reichen von *Verschmutzungsgrad 1* (keine oder nur trockene, nichtleitende Verschmutzung; Verschmutzung wirkt sich nicht

aus) über *Verschmutzungsgrad 2* (nur nichtleitende Verschmutzung; es muss jedoch gelegentlich mit einer zeitweiligen Leitfähigkeit durch Betauung gerechnet werden) und *Verschmutzungsgrad 3* (leitende Verschmutzung oder trockene, nichtleitende Verschmutzung, die durch Betauung leitfähig werden kann) bis *Verschmutzungsgrad 4* (Verschmutzung, die dauernde Leitfähigkeit, z. B. aufgrund von leitendem Staub, Regen oder anderen feuchten Bedingungen, hervorruft). Verschmutzungsgrad 4 gilt nicht für die Mikroumgebung innerhalb der Schaltgerätekombination nach Norm VDE 0660-600-1.

Wenn nichts anderes angegeben wird, gilt für in der Industrie eingesetzte Schaltgerätekombinationen der Verschmutzungsgrad 3. Es dürfen natürlich auch andere Verschmutzungsgrade entsprechend dem jeweiligen Einsatz oder der Mikroumgebung angewendet werden. Durch Einbau in eine Umhüllung (Gehäuse) oder durch eine Heizung im Inneren kann der Verschmutzungsgrad der Mikroumgebung eines Betriebsmittels beeinflusst werden, weil z. B. die Aufnahme oder Kondensation von Feuchtigkeit verhindert wird.

**Besondere Betriebsbedingungen**

Falls besondere oder außergewöhnliche Betriebsbedingungen vorliegen, so müssen diese von dem Hersteller berücksichtigt werden. Der Betreiber muss den Hersteller oder Lieferanten auf derartige Betriebsbedingungen hinweisen und mit ihm eine besondere Vereinbarung treffen. Es ist sinnvoll, dies im schriftlichen Kaufvertrag festzulegen. Besondere Betriebsbedingungen können z. B. sein:

- abweichende Werte der Umgebungstemperatur, relativen Luftfeuchte und/oder Höhenlage, wie sie oben genannt sind,
- Auftreten schneller Temperatur- und/oder Luftdruckänderungen, so dass mit einer außergewöhnlichen Betauung innerhalb der Schaltgerätekombination gerechnet werden muss,
- besondere Atmosphäre an Staub, Rauch, korrosiven oder radioaktiven Bestandteilen, Dämpfen oder Salz,
- starke elektrische oder magnetische Felder (elektromagnetische Einwirkungen), die höhere Anforderungen an die EMV erfordern,
- außergewöhnliche Überspannungen,
- Unterbringung, wodurch die Stromtragfähigkeit oder das Ausschaltvermögen beeinflusst werden kann, z. B. durch Einbau der Schaltgerätekombination in Maschinen oder Mauernischen,
- Unterbringung in feuer- oder explosionsgefährdeten Bereichen,
- Auftreten heftiger Erschütterungen und Stöße, z. B. auch durch Erdbeben,
- Auftreten von Pilzen, Kleintieren.

### 7.6.7 Schutzarten

Die Schutzart für Schaltgerätekombinationen für Innenraumaufstellung beschränkt sich in der Regel auf den Schutz gegen das Berühren aktiver Teile und gegen das Eindringen fester Fremdkörper. Werden Schaltgerätekombinationen im Freien aufgestellt und – wo notwendig – in feuchten und nassen Bereichen im Innenbereich, muss auch ein Mindestschutz gegen schädliche Einwirkungen durch das Eindringen von Wasser gegeben sein.

Für Schaltgerätekombinationen für Innenraumaufstellung, bei denen kein Schutz gegen Eindringen von Wasser verlangt wird, gelten vorzugsweise (s. Abschn. 3) die Schutzarten IP00, IP2X, IP3X, IP4X, IP5X oder IP6X. In geschlossener Bauform ist die Schutzart mindestens IP2X, wenn die Schaltgerätekombination nach den Angaben des Herstellers aufgestellt und angeschlossen ist. Bei einer Schaltgerätekombination in sogenannter Tafelbauform (offene Bauform mit einer Bedienungsfront; von allen anderen Richtungen dürfen aktive Teile zugänglich sein) muss die Bedienungsfront mindestens in Schutzart IPXXB (s. Abschn. 3.3) sein.

Schaltgerätekombinationen für Freiluftaufstellung, die keinen zusätzlichen Schutz erhalten, müssen mindestens einen Wasserschutz von IPX3 bieten (Schutz gegen Sprühwasser (s. Abschn. 3.2). Im Freien sollte die Schaltgerätekombination als zusätzlichen Schutz ein Schutzdach und ähnliches haben.

Die vom Hersteller angegebene Schutzart gilt für die gesamte, nach den Angaben des Herstellers aufgestellte und angeschlossene Schaltgerätekombination; es sei denn, zwischen Hersteller und Abnehmer ist etwas anderes festgelegt worden. Das schließt das der IP-Schutzart entsprechende Abdichten von Öffnungen ein, z. B. offene Befestigungsflächen, Kabel- und Leitungseinführungen. Falls die Schaltgerätekombination nicht durchgängig dieselbe Schutzart aufweist, muss der Hersteller die Schutzarten für die unterschiedlichen Teile angeben, z. B. Bedienungsfront IP20, übrige Teile IP00.

Bei geschlossenen Schaltgerätekombinationen für Freiluftaufstellung und für Innenraumaufstellung, die hoher Luftfeuchte und in weiten Grenzen schwankenden Temperaturen ausgesetzt sind, müssen Maßnahmen gegen schädliche Kondensation innerhalb der Schaltgerätekombination ergriffen werden, z. B. Einbau einer Belüftung und/oder einer inneren Heizung oder von Klimastutzen. Die festgelegte Schutzart muss dabei jedoch erhalten bleiben.

## 7.6.8 Schutz gegen elektrischen Schlag

**Anforderungen an den Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren)**

Der Schutz kann erreicht werden durch

- Abdeckungen oder Gehäuse/Umhüllungen (IP2X oder IPXXB) oder
- Hindernisse.

Abdeckungen dürfen nur entfernt werden können, Gehäuse/Umhüllungen nur geöffnet werden können

- mit Hilfe eines Schlüssels oder Werkzeugs oder
- nach Ausschalten der Spannung an allen aktiven Teilen, gegenüber denen die Abdeckungen oder Umhüllungen als Schutz dienen.

Die Schutzvorkehrung „Schutz durch Hindernisse" darf nur in Anlagen angewendet werden, die nur von Elektrofachkräften oder elektrotechnisch unterwiesenen Personen betrieben und überwacht werden, z. B. in abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten. Werden in abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten Schaltgerätekombinationen in offener Bauart aufgestellt, so genügt ein Schutz durch Hindernisse (z. B. Schutzleiste). In diesem Fall müssen die aktiven Teile mindestens 200 mm hinter dem Geländer angeordnet sein, wenn sie nicht durch Bauart, Anordnung oder besondere Vorrichtung gegen zufälliges Berühren geschützt sind.

**Anordnung von Betätigungseinrichtungen in der Nähe berührungsgefährlicher aktiver Teile bzw. Schutz gegen unabsichtliches direktes Berühren gefährlicher aktiver Teile** (VDE 0660-514, Ersatz für VDE 0106-100, die noch bis 1.2.2005 angewendet werden konnte)

*Betätigungs- und Rückstelleinrichtungen* zum Einstellen oder Entsperren innerhalb einer Schaltgerätekombination müssen zur Betätigung leicht zugänglich sein. Betätigungseinrichtungen (früher auchBetätigungselemente genannt) in der Nähe von berührungsgefährlichen Teilen müssen nach VDE 0660-514 in einem Abstand von 0,20...2,00 m (früher: 0,20...2,10 m) angebracht sein.

Sind innerhalb von Schaltgerätekombinationen Betätigungseinrichtungen in der Nähe berührungsgefährlicher aktiver Teile angeordnet, so muss mindestens ein teilweiser Schutz gegen direktes Berühren sichergestellt sein. Als *Betätigungseinrichtungen* gelten Stellteile (z. B. Druckknöpfe, Kipphebel von Schutzschaltern) sowie auswechselbare Melde- oder Schutzeinrichtungen (z. B. Schraubsicherungen,

Meldelampen, Steckelemente). *Berührungsgefährliche aktive Teile* sind aktive Teile, von denen unter bestimmten Bedingungen ein schädlicher elektrischer Schlag ausgehen kann. Das sind üblicherweise Stromkreise, die mit einer Spannung > AC 50 V oder > DC 120 V betrieben werden. Der Schutz dient der Elektrofachkraft oder der elektrotechnisch unterwiesenen Person, die in Schaltanlagen Betätigungseinrichtungen bedienen muss. Der Schutz kann durch konstruktive Ausbildung der einzubauenden Betriebsmittel, durch entsprechende Anordnung der Betriebsmittel oder durch Abdeckungen erreicht werden. Die infrage kommenden Betätigungseinrichtungen müssen dabei innerhalb des im **Bild 7.24** festgelegten *Bereichs* angebracht werden.



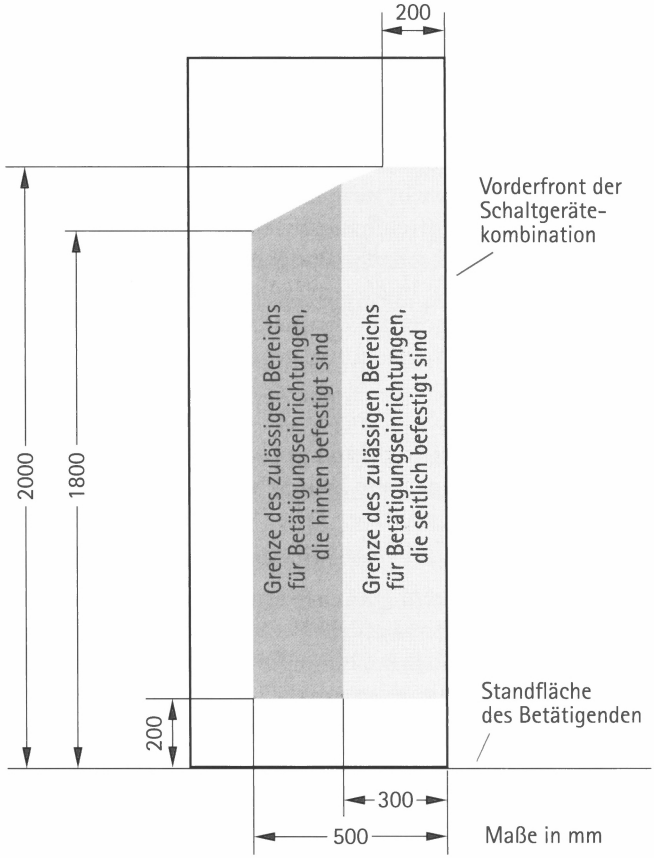



***Bild 7.24:*** *Zulässiger Bereich für die Anordnung von Betätigungseinrichtungen (VDE 0660-514)*

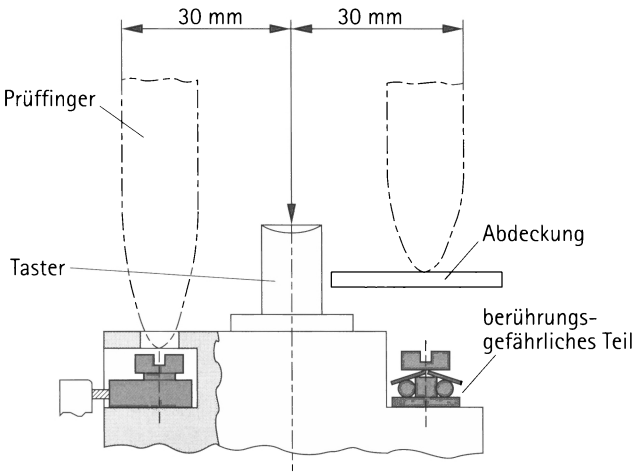



***Bild 7.25:*** *Fingersichere Anordnung berührungsgefährlicher Teile*

In einem Bereich von mindestens 30 mm um die Betätigungseinrichtungen müssen berührungsgefährliche aktive Teile fingersicher ausgeführt oder mit entsprechenden Abdeckungen versehen sein (**Bild 7.25**). *Fingersicher* sind berührungsgefährliche aktive Teile dann ausgeführt oder abgedeckt, wenn sie mit dem geraden Prüffinger (Prüfsonde 11 nach VDE 0470-2), der senkrecht zur Basisfläche angelegt wird, nicht berührt werden können. Die *Basisfläche* ist die Fläche, auf der das Betriebsmittel mit Betätigungseinrichtung befestigt ist und die die Begrenzung des Betätigungsraums im Bereich der Betätigungseinrichtung darstellt. Die geometrische Form der Basisfläche hängt von der Art der Betätigung und von der Art des Stellteils ab. Bei Druckbetätigung ist die Basisfläche eine Kreisfläche mit einem Radius von 100 mm um den äußeren Rand der Betätigungseinrichtung und der fingersichere Bereich der Basisfläche die Fläche mit einem Radius von 30 mm um den äußeren Rand der Betätigungseinrichtung (s. Bild 7.25). Bei Betätigungen eines Stellteiles mit Kipp-, Dreh- oder Schwenkbewegungen ist die Basisfläche abhängig von der Bewegungshüllkurve, die das jeweilige Stellteil bei Betätigung beschreibt. Um den fingersicheren Bereich befindet sich der sog. *Schutzraum*, in dem Betätigungseinrichtungen ohne Gefahr betätigt werden können und der durch die Basisfläche um die Betätigungseinrichtung und durch die Ausgangsfläche an der Bedienungsfront festgelegt ist. Innerhalb des Schutzraums wird eine handrückensichere Ausführung berührungsgefährlicher aktiver Teile gefordert (**Bild 7.26**). *Handrückensicher* sind berührungsgefährliche aktive Teile, die mit einer Kugel von 50 mm Durchmesser (Prüfsonde 1 nach VDE 0470-2) nicht berührt werden können (**Bild 7.27**).

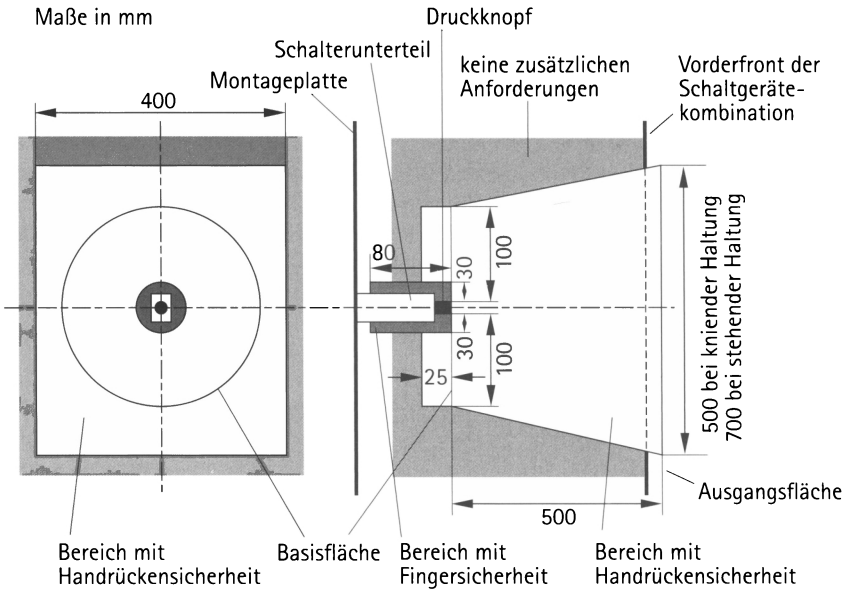



***Bild 7.26:*** *Betätigungsraum bei Druckbetätigung (nach VDE 0660-514)*

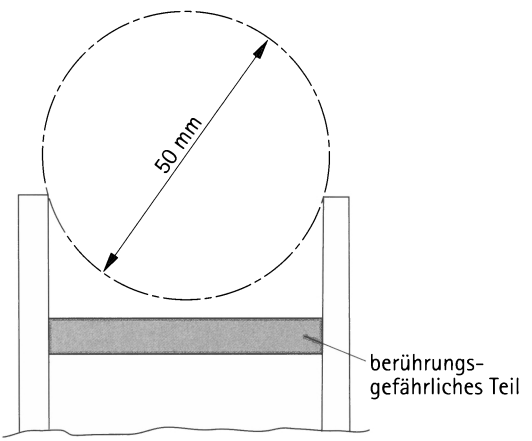



***Bild 7.27:*** *Handrückensichere Anordnung berührungsgefährlicher Teile*

Die geometrische Form des Schutzraums richtet sich nach Einbautiefe, Einbauhöhe, Lage und Art der Betätigungseinrichtungen sowie der Körperhaltung der Person. Davon hängt auch die Höhe der Basisfläche ab. Deswegen sind nach VDE 0660-514 für die Höhe Mindest- und Höchstmaße einzuhalten, abhängig von kniender und stehender Körperhaltung der betätigenden Person. Um komplizierte geometrische Formen des Schutzraums zu vermeiden, sollten die Betätigungseinrichtungen möglichst nahe an die Vorderfront des Schaltschrankes gesetzt werden. Handrückensicherheit wird auch gefordert für elektrische Betriebsmittel an der Innenseite von Türen, Deckeln, Blenden o. Ä., sofern berührungsgefährliche aktive Teile vorhanden sind.

**Abdeckungen, Umhüllungen (Gehäuse)**

Aktive Teile, die nur luftisoliert sind, müssen sich innerhalb einer Umhüllung oder hinter einer Abdeckung befinden. Diese Umhüllungen und Abdeckungen müssen mindestens die Schutzart IPXXB (s. Kap. 3) haben (geschützt gegen den Zugang mit dem Finger). Zugängliche Umhüllungen in einer Höhe $\leq 1{,}6$ m über der Standfläche müssen oben abgedeckt sein. Diese horizontale Abdeckung muss mindestens in Schutzart IPXXD ausgeführt sein (geschützt gegen Zugang mit Draht mit 1 mm Durchmesser).

Wenn Abdeckungen abgenommen oder Umhüllungen (Gehäuse) geöffnet werden können, darf das nur unter eine der folgenden Bedingungen möglich sein:

- durch Verwenden eines Schlüssels oder Werkzeugs oder
- alle aktiven Teile hinter der Abdeckung oder Umhüllung müssen vor dem Abnehmen oder Öffnen müssen allpolig (mit Ausnahme des Neutralleiters) abgeschaltet werden, wobei das Einschalten erst wieder möglich sein darf, wenn die Abdeckung wieder eingesetzt oder die Umhüllung wieder geschlossen worden ist, z. B. durch Verriegelung der Tür mit einem Trennschalter, oder
- eine Zwischenabdeckung mit einer Schutzart mindestens IPXXB (s. o.) verhindert die Berührung aktiver Teile. Auch die Zwischenabdeckung darf nur mit einem Schlüssel oder Werkzeug geöffnet werden können.

**Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren)**

Der Schutz kann erreicht werden durch folgende Schutzmaßnahmen (s. Kap. 5):

- *Doppelte oder verstärkte Isolierung* (frühere Bezeichnung: Schutzisolierung) (Betriebsmittel der Schutzklasse II),
- *Schutztrennung* oder
- *automatisches Abschalten der Stromversorgung* (Schutzleiter-Schutzmaßnahme).

Grundsätzlich sind auch weitere Fehlerschutzmaßnahmen möglich (s. Kap. 5).

Bei der Schutzmaßnahme *doppelte oder verstärkte Isolierung* (frühere Bezeichnung: Schutzisolierung) muss die Schaltgerätekombination vollständig von Isolierstoff umhüllt sein. Die Umhüllung muss im betriebsfertigen Zustand nach dem Anschließen an das Versorgungsnetz alle aktiven Teile, alle Körper und alle Teile eines Schutzleiterkreises so umschließen, dass sie nicht berührt werden können. Die Umhüllung muss wenigstens der Schutzart IP2XC (geschützt gegen den Zugang mit Werkzeug; s. Abschn. 3.3) entsprechen. Das Gehäuse muss das Zeichen ⧈ tragen, das von außen erkennbar sein muss. Wenn von außen herangeführte Schutzleiter durch das Innere der Schaltgerätekombination mit Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung durchgeschleift werden, müssen für den Anschluss der herangeführten Schutzleiter Anschlüsse vorgesehen werden und entsprechend gekennzeichnet werden. Innerhalb der Umhüllung müssen der Schutzleiter und seine Anschlüsse von den Körpern innerhalb der Schaltgerätekombination genauso isoliert werden wie von aktiven Teilen. Körper innerhalb der Schaltgerätekombination dürfen nicht mit dem Schutzleiterkreis verbunden werden, d. h., sie dürfen nicht in eine Schutzleiterschutzmaßnahme einbezogen werden. Das gilt auch für eingebaute Betriebsmittel, selbst wenn sie einen Schutzleiteranschluss haben.

Für die Schutzmaßnahme *automatisches Abschalten der Stromversorgung* kann der erforderliche Schutzleiter entweder aus einem gesonderten Schutzleiter oder aus leitfähigen Konstruktionsteilen oder aus beiden zugleich bestehen. Bei Deckeln, Türen u. Ä., an denen keine elektrischen Betriebsmittel befestigt sind, gelten die üblichen Schraubverbindungen und Scharniere aus Metall als ausreichend für die durchgehende Schutzleiterverbindung. Wenn Geräte mit höherer Spannung als AC 50 V bzw. DC 120 V befestigt sind, muss eine sichere Verbindung geschaffen werden (eigener PE, korrosionsgeschützte Scharniere).

Der Querschnitt des Schutzleiters kann in Abhängigkeit vom Außenleiter oder durch Berechnung ermittelt werden (s. auch Abschn. 5.6.8).

Bei Schaltgerätekombinationen mit eingebauten Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs), die den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) übernehmen sollen, muss von der Einführung der Anschlussleitung bis zur Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) die Schutzmaßnahme doppelte oder verstärkte Isolierung mit ggf. Einsatz von Betriebsmitteln der Schutzklasse II angewendet werden.

## 7.6.9 Kurzschlussschutz und Kurzschlussfestigkeit

Schaltgerätekombinationen müssen gegen die Auswirkung von Kurzschlussströmen geschützt werden. Die Schutzeinrichtungen können sowohl in der Schaltgerätekombination als auch außerhalb angeordnet sein.

Beim Bestellen einer Schaltgerätekombination muss der Anwender die Kurzschlussverhältnisse am Einbauort angeben.

Der Hersteller muss bei Schaltgerätekombinationen mit eingebauter Kurzschlussschutzeinrichtung (SCPD[1]) in der Einspeisung den *größtzulässigen unbeeinflussten Kurzschlussstrom* ($I_k''$ oder $I_S$) am Einbauort an den Klemmen der Einspeisung angeben. Bei Schaltgerätekombinationen ohne eingebaute Kurzschlussschutzeinrichtung in der Einspeisung muss er entweder den Strom angeben, den die Schaltgerätekombination im Fehlerfall ohne Schaden zu nehmen führen kann, oder die Kenndaten (Bemessungsstrom, Ausschaltvermögen, Durchlassstrom, $I^2t$-Wert usw.) des Strom begrenzenden Schaltgeräts zum Schutz der Schaltgerätekombination.

Die vom ursprünglichen Hersteller (s. Abschn. 7.6.1) der Schaltgerätekombination angegebene Kurzschlussfestigkeit muss nachgewiesen werden. Der Nachweis kann nach VDE 0660-600-1 durch

- Anwendung von Konstruktionsregeln (Vergleich der nachzuweisenden Schaltgerätekombination mit einer bereits geprüften Konstruktion unter Verwendung einer Checkliste),
- Vergleich mit einer Referenzkonstruktion oder
- Nachweis durch Prüfung

erfolgen. Der Nachweis der Kurzschlussfestigkeit wird nicht gefordert für

- Schaltgerätekombinationen mit einer Bemessungskurzzeitstromfestigkeit oder einem bedingten Bemessungskurzschlussstrom von ≤ 10 kA Effektivwert,
- Schaltgerätekombinationen, geschützt durch strombegrenzende Einrichtungen, deren Durchlassstrom beim höchstzulässigen unbeeinflussten Kurzschlussstrom an den Anschlüssen der Einspeisung der Schaltgerätekombination ≤ 17 kA ist,
- Hilfsstromkreise von Schaltgerätekombinationen, die für den Anschluss an Transformatoren vorgesehen sind mit einer Bemessungsleistung ≤ 10 kVA bei einer sekundären Bemessungsspannung ≥ 110 V oder 1,6 kVA bei einer sekundären Bemessungsspannung < 110 V und einer Kurzschlussimpedanz ≥ 4 %.

Alle anderen Stromkreise müssen nachgewiesen werden.

1 engl.: **S**hort-**C**icuit **P**rotective **D**evice (auch in neueren Normen in deutscher Sprache gebrauchte Abkürzung)

## 7.6.10 Elektrische Verbindungen, Leiter und Stromschienen

### 7.6.10.1 Isolierte und blanke Leitungen

Die isolierten Leitungen müssen ein ausreichendes Isoliervermögen aufweisen. I. Allg. empfiehlt sich die Verwendung folgender Leitungen:

| | |
|---|---|
| PVC-Aderleitungen mit | |
| eindrähtigem Leiter | H05 V-U |
| feindrähtigem Leiter | H05 V-K |
| eindrähtigem Leiter | H07 V-U |
| mehrdrähtigem Leiter | H07 V-R |
| feindrähtigem Leiter | H07 V-K |

Bei *Leitungshäufung* bzw. *hoher Umgebungstemperatur* ist der Einsatz von wärmebeständigen Leitungen ratsam, z. B. H05G-K, eine ein- oder mehrdrähtige Aderleitung für eine Grenztemperatur von 110 °C.

Soll eine kurzschluss- und erdschlusssichere Verlegung erreicht werden, empfiehlt sich NSGAFÖU, eine Sonder-Gummiaderleitung mit einem Isoliervermögen von 3 kV.

Leitungen, die *starker Verwindungsbeanspruchung* oder häufiger Bewegung ausgesetzt sind, müssen feindrähtig sein, z. B. Leitungen H07 V-K.

Kabel und Leitungen dürfen zwischen zwei Anschlussstellen keine Flickstelle oder Lötstelle haben. Die Verbindungen müssen möglichst an ortsfesten Anschlüssen hergestellt werden (s. auch Abschn. 7.6.10.6).

Wenn *starke Erschütterungen*, z. B. bei Baggern oder Hebezeugen, zu erwarten sind, sollte darauf geachtet werden, dass die Leiter mechanisch gehalten werden. Außer an Geräten mit Lötfahnen sind verlötete Enden von mehrdrähtigen Leitern für den Einsatz unter starken Erschütterungen nicht zulässig.

Zuleitungen zu *Geräten in Verkleidungen oder Türen* müssen so angebracht sein, dass sie beim Bewegen der Verkleidungen oder Türen mechanisch nicht beschädigt werden. Bei starker Verwindungsbeanspruchung oder bei häufiger Bewegung der betreffenden Teile ist die Verwendung feindrähtiger Leiter, z. B. Leitungen H07 V-K, erforderlich.

Für blanke spannungsführende Leiter (z. B. Sammelschienen, Verbindungen zwischen Geräten) und Klemmen (z. B. Kabelschuhe) müssen mindestens die *Kriechstrecken* und *Luftstrecken* eingehalten werden, die bei den unmittelbar angeschlossenen Betriebsmitteln gegeben sind. Die Mindestkriechstrecken (kürzester Abstand zwischen zwei leitfähigen Teilen längs einer Isolieroberfläche) hängen von

der Bemessungsspannung, dem Verschmutzungsgrad und dem Werkstoff ab und sind in Tabelle 2 der VDE 0660-600-1:2012-06 angegeben.

### 7.6.10.2 Kennzeichnung der Leiter

Der *Schutzleiter* (s. auch Abschn. 5.6.8) muss durch Form, Anordnung, Kennzeichnung oder Farbe leicht erkennbar sein. Wenn die Farbkennzeichnung verwendet wird, muss sie grün-gelb sein. Wird als Schutzleiter eine isolierte einadrige Leitung verwendet, so soll sich diese Farbkennzeichnung möglichst über die ganze Länge erstrecken. Blanke Schutzleiter müssen entweder über die ganze Länge des Leiters oder in jedem Teil oder jeder Einheit oder jeder zugänglichen Stelle grün-gelb gefärbt sein, Wenn Klebeband verwendet wird, muss dies ein zweifarbiges Band sein. Der *PEN-Leiter* (s. auch Abschn. 5.6.2.1) ist ebenfalls grün-gelb zu kennzeichnen. Der *Neutralleiter* (s. auch Abschn. 5.6.2.2) muss blau (bisher: hellblau) gekennzeichnet sein. Blanke Neutral- oder Mittelleiter müssen entweder mit einem blauen Streifen, 15 mm bis 100 mm breit, in jeder Einheit oder jedem Gehäuse oder an jeder zugänglichen Stelle gekennzeichnet oder über die ganze Länge blau gefärbt sein.

Die Kennzeichnung der anderen Leiter, z. B. durch Zahlen, Farben oder Symbole, unterliegt der Verantwortung des Herstellers. Sie muss jedoch mit den Angaben in Schaltplänen und Zeichnungen übereinstimmen.

Die Kennzeichnung der Anschlüsse von außen eingeführter Leiter (vgl. Abschn. 7.6.10.7) muss VDE 0197 (s. Anhang A5) entsprechen. Dies kann durch räumliche Anordnung, Farbkennzeichnung, Kennzeichnung mit Bildzeichen oder/und Beschriftung erfolgen.

### 7.6.10.3 Bemessung von isolierten Leitern

Die Querschnittswahl für Leiter innerhalb der Schaltgerätekombination richtet sich nach dem Nachweis der Erwärmung nach VDE 0660-600-1, 10.10. Das bedeutet, es muss nachgewiesen werden, dass bestimmte, in VDE 0660-600-1, 9.2 festgelegte Grenzübertemperaturen für die verschiedenen Teile der Schaltgerätekombination nicht überschritten werden. Zwei Nachweise dienen als Grundlage für die Auswahl von Leiterquerschnitten. Entweder wird der Nachweis nach der Methode *Nachweis durch Prüfung* (Nachweis a) nach VDE 0660-600-1, 10.10.2) oder *Ableitung der Bemessungswerte ähnlicher Varianten von eine geprüften Bauart* (Nachweis b) nach VDE 0660-600-1, 10.10.3) vorgenommen. Wenn der Nachweis nach a) erfolgt, unterliegt die Auswahl der Leiter und ihrer Querschnitte der Verantwortung des Herstellers. Wenn der Nachweis nach b) erfolgt, müssen die Leiter einen Mindestquerschnitt haben, wie er sich in Anlehnung an die Ermittlung

der Strombelastbarkeit von Kabeln und isolierten Leitungen nach VDE 0298-4 ergibt (s. Abschn. 8.3). Beispiele zur Anwendung der VDE 0298-4 für spezielle Bedingungen innerhalb von Schaltgerätekombinationen werden in Tabellen der VDE 0660-600-1, Anhang H gegeben. Außer von der Strombelastbarkeit hängt die Auswahl der Leitungen auch von den mechanischen Beanspruchungen, von der Verlegungsart und Befestigung der Leiter, von der Art der Isolierung und von der Art der angeschlossenen Betriebsmittel ab.

Der Querschnitt von Schutz- und PEN-Leitern in einer Schaltgerätekombination zum Anschließen der von außen herangeführten Schutzleiter muss mindestens dem nach Abschnitt 5.6.8 mit Tabellen 5.18 bis 5.21 ermittelten Querschnitt entsprechen. Dabei wird die Begrenzung durch Kurzschlussschutzeinrichtungen berücksichtigt, die die zugehörigen aktiven Leiter schützen. Über die Angaben in Tabelle 5.18 hinaus braucht der Querschnitt des Schutzleiters bei Außenleiterquerschnitten über 400 $mm^2$ Cu bis 800 $mm^2$ Cu nur mindestens 200 $mm^2$ Cu sein, bei einem Außenleiterquerschnitt über 800 $mm^2$ Cu nur mindestens ¼ des Außenleiterquerschnitts. Der PEN-Leiterquerschnitt muss ≥ 10 $mm^2$ Cu oder ≥ 16 $mm^2$ Al und darf nicht kleiner als der Querschnitt des Neutralleiters sein.

Wenn zwischen Hersteller und Anwender nichts anderes vereinbart wird, muss in *Drehstromkreisen mit Neutralleiter* der Neutralleiter folgenden Mindestquerschnitt als Cu-Leiter haben:

- bei Außenleiterquerschnitt > 16 $mm^2$:
  ½ Querschnitt der zugehörigen Außenleiters,
- bei Außenleiterquerschnitt ≤ 16 $mm^2$:
  Querschnitt der zugehörigen Außenleiter.

Dabei wird angenommen, dass der Neutralleiterstrom 50 % der Außenleiterströme nicht überschreitet. Wenn jedoch der Neutralleiterstrom infolge von Oberschwingungseffekten hohe Werte annehmen kann, z. B. in großen Beleuchtungsanlagen mit Leuchtstofflampen, muss der Neutralleiter mindestens die gleiche Strombelastbarkeit wie die Außenleiter haben.

### 7.6.10.4 Bemessung von Stromschienen

Die Bemessung der Stromschienen ist in erster Linie von der Strombelastung und der erforderlichen mechanischen Festigkeit im Kurzschlussfall abhängig. Die *Strombelastbarkeit* von Stromschienen kann nach DIN 43670 (Stromschienen aus Aluminium) und DIN 43671 (Stromschienen aus Kupfer) ermittelt werden. Aus **Tabelle 7.17** ist die nach DIN 43671 erlaubte Strombelastbarkeit von Kupferschienen zu ersehen.

*Tabelle 7.17: Strombelastbarkeit von Stromschienen aus Kupfer mit rechteckigem Querschnitt nach DIN 43671*

| Breite × Dicke mm × mm | Dauerstrom in A | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Schiene gestrichen | | Schiene blank | |
| | I Schiene | II[1)] Schienen | I Schiene | II[1)] Schiene |
| 12 × 2 | 123 | 202 | 108 | 182 |
| 15 × 3 | 187 | 316 | 162 | 282 |
| 20 × 3 | 237 | 394 | 204 | 348 |
| 20 × 5 | 319 | 560 | 274 | 500 |
| 20 × 10 | 497 | 924 | 427 | 825 |
| 30 × 5 | 447 | 760 | 379 | 672 |
| 30 × 10 | 676 | 1200 | 573 | 1060 |
| 40 × 5 | 573 | 952 | 482 | 836 |
| 40 × 10 | 850 | 1470 | 715 | 1290 |
| 50 × 5 | 697 | 1140 | 583 | 994 |
| 50 × 10 | 1020 | 1720 | 852 | 1510 |
| 80 × 10 | 1500 | 2410 | 1240 | 2110 |

[1)] Schienenabstand gleich Schienendicke

Die im Kurzschlussfall auf die Stromschienen einwirkenden Kräfte bestimmen in Abhängigkeit von der Befestigung der Schienen ebenfalls die Wahl des Schienenquerschnitts. Die für die Berechnung der *dynamischen Kurzschlussfestigkeit* erforderlichen statischen Werte der Schienen können ebenso wie die Strombelastbarkeit DIN 43670/71 entnommen werden. Typgeprüfte Stromschienensysteme, die bis zu einem vom Hersteller vorgegebenen Kurzschlussstrom kurzschlussfest sind, sollten bevorzugt werden.

### 7.6.10.5 Kurzschlussschutz von Leitern

Die Sammelschienen müssen so bemessen sein, dass sie den Kurzschlussbeanspruchungen standhalten, die aufgrund der Kurzschlussbegrenzung durch die Überstromschutzeinrichtung auf der Einspeiseseite der Sammelschienen auftreten können.

Die Leiter zwischen den Hauptsammelschienen und der Einspeiseseite einer einzelnen Funktionseinheit einschließlich der Bauteile dieser Einheiten dürfen für die verminderte Kurzschlussbeanspruchung bemessen sein, die auf der Ausgangsseite

der Überstromschutzeinrichtung dieser Einheit auftritt. Voraussetzung ist allerdings, dass diese Leiterverbindungen so angeordnet sind, dass unter bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen kein Kurzschluss zwischen Außenleitern und/oder zwischen Außenleitern und geerdeten Teilen zu erwarten ist (s. auch Abschn. 8.2.6). Auch wenn aktive Leiter nicht durch Kurzschlussschutzeinrichtungen geschützt sind, müssen die Leiter so ausgewählt werden und in ihrem gesamten Verlauf so verlegt sein, dass zwischen den Außenleitern oder zwischen Außenleitern und geerdeten Teilen kein Kurzschluss zu erwarten ist. Deswegen sind die in Abschnitt 7.6.10.1 genannten Leiter und Leitungen zu verwenden. Sind solche aktiven Leiter ungeschützt verlegt und eine Kurzschlussschutzeinrichtung (SCPD) befindet sich auf der Lastseite, dürfen diese Leiter nicht länger als 3 m sein.

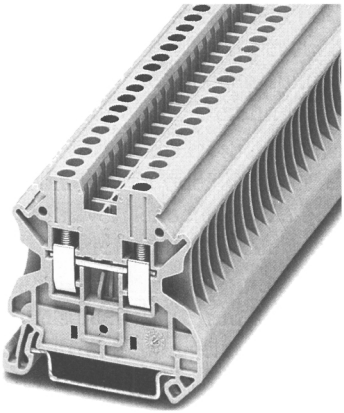
Hilfsstromkreise sind grundsätzlich gegen die Auswirkungen von Kurzschlüssen zu schützen, sofern durch ihre Unterbrechung keine Gefahr entstehen kann. Leiter, die nicht gegen die Auswirkungen von Kurzschlüssen geschützt sind, müssen so angeordnet sein, dass unter normalen Betriebsbedingungen kein Kurzschluss zu erwarten ist. Dies setzt i. Allg. eine kurzschluss- und erdschlusssichere Leitungsverlegung voraus (s. Abschn. 8.2.6).

### 7.6.10.6 Klemmen

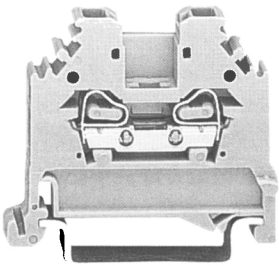
s. auch Abschn. 8.2.3

Die vom Verteiler abgehenden Leitungen und Kabel müssen über leicht zugängliche fest montierte Klemmen angeschlossen sein. Dies gilt sowohl für die Außenleiter als auch für die Neutral- und Schutzleiter. Es ist wichtig, für die Klemmstellen genügend Platz vorzusehen, um bei Prüfungen, Reparaturen und Erweiterungsarbeiten ohne Schwierigkeiten an die Klemmstellen heranzukommen. Als Anschlussstellen können auch die Klemmen an eingebauten Geräten gelten. Besser ist es, für die Leitungsabgänge Reihenklemmen nach der Reihe VDE 0611 vorzusehen. Eine *Reihenklemme* ist ein Betriebsmittel zum Anschließen oder Verbinden elektrischer Leiter. Sie ist anreihbar oder aufreihbar und hat i. Allg. zwei voneinander unabhängig wirkende Klemmstellen je Pol (**Bild 7.28**). Jeder Strompfad weist eine Kennzeichnungsmöglichkeit auf.

Die häufigste Montageart ist das Aufrasten auf genormte Tragschienenprofile. Für Schutzleiter und PEN-Leiter werden ebenfalls Reihenklemmen angeboten, die eine Schutzleiter- bzw. PEN-Leiter-Schiene ersetzen (s. Abschn. 5.6.8 und Tabelle 5.22). Zu beachten ist, dass die Anzahl der Anschlussstellen ebenso groß sein muss wie die der Zu- und Abgänge, um jeden Leiter einzeln lösbar anschließen zu können. Die Tragschiene der PE-/PEN-Reihenklemme verbindet in der Regel die einzelnen Klemmen. **Bild 7.29** zeigt einen PEN-Klemmblock. Für die Neutralleiter empfiehlt



a)



b)

***Bild 7.28:*** *Reihenklemmen:*
*a) Schraubklemme (Werkbild: Phoenix Contact),*
*b) mit Käfigzugfederanschluss (Werkbild: Wago)*

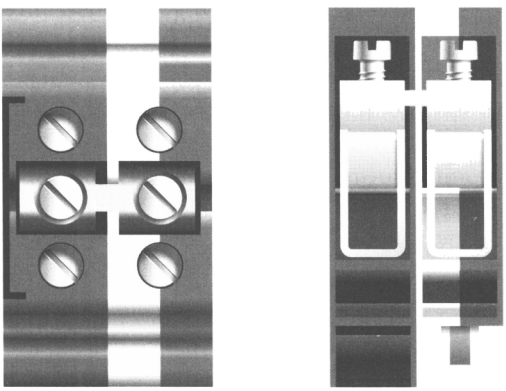


***Bild 7.29:*** *Aufbau von PEN-Blöcken: Brücke zwischen blauer N-Klemme (jeweils links) und grün-gelber PE-Klemme (jeweils rechts) (Werkbild: Phoenix Contact)*

sich eine *Neutralleiter-Trennklemme*. Diese ermöglicht es, den Isolationswiderstand der Neutralleiter gegen Erde ohne Abklemmen zu messen. Am häufigsten verwendet werden Klemmen, bei denen eine vorbeigeführte Sammelschiene mit einem sog. *Trennschieber* kontaktiert wird. Um den Trennschieber zu betätigen, muss eine Schraube geöffnet werden. Der Trennschieber lässt sich dann mit dem Schraubendreher von der Sammelschiene abschieben (**Bild 7.30**).

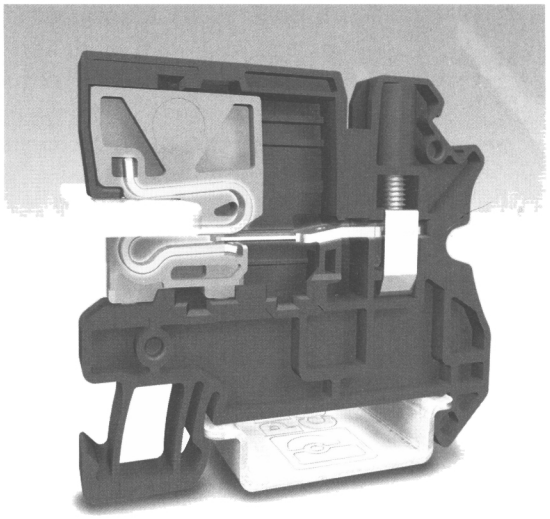


***Bild 7.30:*** *Neutralleiter-Trennklemme (Werkbild: Phoenix Contact)*

Neutralleiter-Trennklemmen sind für Leiterquerschnitte < 10 $mm^2$ Cu in explosivstoffgefährdeten Betriebsstätten (Herstellung, Lagerung von Sprengstoff) sowie in Anlagen nach VDE 0100-718 (vorher: VDE 0108, inzwischen zurückgezogen) (Bauliche Anlagen für Menschenansammlungen) zu empfehlen, da in den genannten Anlagen und Bereichen bei Anwenden des TN-Systems eine Isolationsmessung ohne Abklemmen der Neutralleiters möglich sein muss.

Auch in feuergefährdeten Betriebsstätten muss nach VDE 0100-420 jeder Neutralleiter unabhängig vom Leiterquerschnitt mit einer Einrichtung zum Trennen versehen sein. Dies können neben den speziellen Neutralleiter-Trennklemmen auch Trennschalter, Steckvorrichtungen oder Trennlaschen sein.

Die Klemmen für die von außen eingeführten Leiter müssen unabhängig vom Stromkreisbemessungsstrom den Anschluss der in **Tabelle 7.18** angegebenen Querschnitte ermöglichen. Die Tabelle gilt für den Anschluss eines Cu-Leiters je Anschlussstelle.

*Tabelle 7.18: Größte und kleinste Anschlussquerschnitte für Kupferleiter in mm²*

| Bemessungs-strom A | ein- und mehrdrähtige Leiter | | feindrähtige Leiter | |
|---|---|---|---|---|
| | min. | max. | min. | max. |
| 6 | 0,75 | 1,5 | 0,5 | 1,5 |
| 8 | 1 | 2,5 | 0,75 | 2,5 |
| 10 | 1 | 2,5 | 0,75 | 2,5 |
| 12 | 1 | 2,5 | 0,75 | 2,5 |
| 16 | 1,5 | 4 | 1 | 4 |
| 20 | 1,5 | 6 | 1 | 4 |
| 25 | 2,5 | 6 | 1,5 | 4 |
| 32 | 2,5 | 10 | 1,5 | 6 |
| 40 | 4 | 16 | 2,5 | 10 |
| 63 | 6 | 25 | 6 | 16 |
| 80 | 10 | 35 | 10 | 35 |
| 100 | 16 | 50 | 16 | 35 |
| 125 | 25 | 70 | 25 | 50 |
| 160 | 35 | 95 | 35 | 70 |
| 200 | 50 | 120 | 50 | 95 |
| 250 | 70 | 150 | 70 | 120 |
| 315 | 95 | 240 | 95 | 185 |

### 7.6.10.7 Anschlüsse für von außen eingeführte Leiter

Soweit keine anderen Vereinbarungen zwischen Hersteller und Betreiber getroffen werden, müssen

- Anschlussklemmen in Abhängigkeit vom Stromkreisbemessungsstrom die in Tabelle 7.18 genannten Querschnitte aufnehmen können; für den Anschluss von außen eingeführter Leiter elektronischer Stromkreise mit kleinen Strömen und Spannungen (< 1 A; < AC 50 V; < DC 120 V) gilt Tabelle 7.18 nicht;
- in Drehstromkreisen mit Neutralleiter an die Anschlüsse für den Neutralleiter Kupferleiter mit den in Abschnitt 7.6.10.3 geforderten Querschnitten angeschlossen werden können,
- Schutzleiteranschlussklemmen für den Anschluss von Kupferleitern geeignet sein und Kupferleiter mit den in Abschnitt 7.6.10.3 geforderten Querschnitten aufnehmen können.

Anschlüsse für ankommende und abgehende Neutralleiter, Schutzleiter und PEN-Leiter (s. Abschn. 7.6.10.3) müssen in der Nähe der zugehörigen Außenleiteranschlüsse angeordnet werden. Anschlussklemmen für von außen kommende Schutzleiter müssen mit „PE" oder dem Bildzeichen ⏚ gekennzeichnet sein. Das Bildzeichen darf entfallen, wenn für den von außen herangeführten Schutzleiter ein Anschluss an einem innenliegenden Schutzleiter vorgesehen ist, der eindeutig mit der Farbkombination Grün/Gelb gekennzeichnet ist. Für den Schutzleiter eines jeden abgehenden Stromkreises ist eine getrennte Anschlussklemme vorzusehen.

## 7.6.11 Erwärmung

Die Temperaturen für verschiedene Teile dürfen die in **Tabelle 7.19** angegebenen Grenzwerte nicht überschreiten. Die Grenzwerte für die Erwärmung in der Tabelle gelten für mittlere Umgebungstemperaturen ≤ 35 °C. Die Erwärmung einer Komponente oder eines Teils davon ist die Differenz zwischen der Temperatur dieses Teiles, wenn sie nach VDE 0660-600-1:2012-06, 10.10.2.3.3 gemessen wird, und der Umgebungstemperatur außerhalb der Schaltgerätekombination.

***Tabelle 7.19:*** *Temperaturgrenzen*

| **Teile der Schaltgerätekombination** | **Grenzübertemperatur K** |
|---|---|
| Bedienteile<br>• aus Metall<br>• aus Isolierstoff | <br>15<br>25 |
| berührbare Außenflächen<br>• aus Metall<br>• aus Isolierstoff | <br>30<br>40 |
| Anschlüsse für von außen eingeführte isolierte Leiter | 70 |
| eingebaute Betriebsmittel | entsprechend den für sie geltenden Bestimmungen |

## 7.6.12 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) für die meisten Arten von Schaltgerätekombinationen wird durch die EMV-Umgebung gekennzeichnet. Zwei Umgebungsbedingungen werden betrachtet: *Umgebung A* und *Umgebung B*. Die *Umgebung A* bezieht sich auf nichtöffentliche oder industrielle Niederspannungsnetze mit eigenen Hoch- oder Mittelspannungstransformatoren, Bereiche und Einrichtungen einschließlich starker Störquellen (z. B. Vorhandensein von industriellen,

wissenschaftlichen oder medizinischen Geräten (ISM-Geräte), häufiges Schalten großer induktiver oder kapazitiver Lasten, große Ströme und damit verbundene starke Magnetfelder). Der *Umgebung B* umfasst öffentliche Niederspannungsnetze (z. B. für die Bereiche Wohnen, Gewerbe (Kleinbetrieb, Geschäftsräume, Einzelhandelsverkaufsstellen, öffentliche Vergnügungseinrichtungen (z. B. Kinos, Tanzlokale), Außenbereiche wie Vergnügungs- und Sportstätten, Tankstellen) und Leichtindustrie, Kleinbetriebe (Werkstätten, Labors, Dienstleistungseinrichtungen).

Der Hersteller der Schaltgerätekombination muss gegebenenfalls die Maßnahmen angeben, die bei der Aufstellung, dem Betrieb und der Wartung der Schaltgerätekombination hinsichtlich EMV zu ergreifen sind. Falls eine Schaltgerätekombination, die speziell für die Umgebung A vorgesehen ist, in der Umgebung B verwendet werden soll, muss der folgende Warnhinweis in die Dokumentation (z. B. Betriebsanweisung) aufgenommen werden: „Hinweis: Dies ist ein Produkt für Umgebung A. In Umgebung B kann dieses Produkt unerwünschte elektromagnetische Störungen verursachen; in diesem Fall kann der Anwender verpflichtet sein, angemessene Maßnahmen zu durchzuführen".

## 7.6.13 Prüfungen

Statt früherer Typprüfungen und Stückprüfungen sind nach den VDE-Bestimmungen VDE 0660-600-1 und -2 anstelle der genannten Prüfungen für Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen das sog. *Nachweisverfahren* mit den gleichwertigen Nachweisverfahren *Bauartnachweis*, *Nachweis der Erwärmung*, *Nachweis der Kurzschlussfestigkeit mit Nachweisen entweder durch Prüfung, Ableitung von Bemessungswerten für ähnliche Varianten, Begutachtung oder Vergleich* (s. Abschn. 7.6.1) sowie der sog. *Stücknachweis* durchzuführen.

Durch die *Typprüfung* nach VDE 0660-500 war der Nachweis zu führen, dass die Anforderungen der VDE 0660 mit ihren Teilen erfüllt sind. Die Typprüfung wurde an einem Muster einer baugleichen Schaltgerätekombination vom Hersteller durchgeführt. Falls Bauteile einer Schaltgerätekombination konstruktiv geändert wurden, brauchten neue Typprüfungen nur in dem Umfang durchgeführt zu werden, in dem die Änderungen das Ergebnis der Typprüfung ungünstig beeinflussen konnten.

Durch *Stückprüfung* sollten etwaige Werkstoff- und Fertigungsfehler festgestellt werden. Stückprüfungen mussten an jeder neuen Schaltgerätekombination nach dem Zusammenbau durchgeführt werden.

Der *Nachweis durch Prüfung* nach VDE 0660-600-1 beispielsweise ist eine Prüfung an einem Muster einer Schaltgerätekombination oder an Teilen davon um zu zeigen, dass die Bauart die Anforderungen der zutreffenden Schaltgerätekombinationsnorm erfüllt. Dieser Nachweis entspricht einer Typprüfung.

Der *Stücknachweis* nach VDE 0660-600-1 ist ein Nachweis, dem jede Schaltgerätekombination während und/oder nach ihrer Herstellung unterworfen wird, um sicherzustellen, dass sie den Anforderungen der zutreffenden Schaltgerätekombinationsnorm entspricht. Der Stücknachweis entspricht in etwa der Stückprüfung nach VDE 0660-500. Der Stücknachweis dient dazu Werkstoff- und Fertigungsfehler festzustellen und das Funktionieren der fertigen Schaltgerätekombination sicherzustellen. Ob der Stücknachweis während und/oder nach der Fertigung durchgeführt wird, muss der Hersteller festlegen.

Stücknachweise für eingebaute Geräten bzw. elektrische Betriebsmittel und für für sich allein verwendbare Baugruppen brauchen nicht geführt zu werden, wenn normgerechte elektrische Betriebsmittel, Komponenten und Geräte ausgewählt und nach Anweisungen des Geräteherstellers eingebaut wurden. Normgerecht bedeutet, dass die Betriebsmittel, Komponenten und Geräte den einschlägigen nationalen (DIN VDE), Europäischen (EN, Harmonisierungsdokumenten (HD) und ggf. den internationalen (IEC, ISO) Normen entsprechen. Außerdem müssen die elektrischen, mechanischen und baulichen Daten der Betriebsmittel für den Anwendungsfall der fertigen, zu prüfenden Schaltgerätekombination geeignet sein. Der Stücknachweis umfasst folgende Sichtprüfungen, Messungen sowie Erprobungen (Funktionsprüfungen):

- IP-Schutzart von Umhüllungen (Gehäusen),
- Einbau und Kennzeichnung von Betriebsmitteln,
- mechanische Funktion (mechanische Betätigungselemente, Verriegelungen und Verschlüsse),
- Luft- und Kriechstrecken,
- Isolationseigenschaften,
- Schutz gegen elektrischen Schlag (Basis- und Fehlerschutz),
- Durchgängigkeit des Schutzleitersystems,
- innere elektrische Stromkreise und Verbindungen (stichprobenartige Prüfung der geschraubten Verbindungen),
- Anschlüsse für von außen eingeführte Leiter, Leitungen, Kabel,
- Verdrahtung, Betriebsverhalten und Funktion.

## 7.6.14 Vereinbarungen zwischen Hersteller und Betreiber

Folgende Punkte sollten nach VDE 0660-600-1 zwischen dem Hersteller und Betreiber der Schaltgerätekombination vor Vertragsabschluss u. a. vereinbart werden:

- Elektrisches Netz (u. a. Erdungsart des Netzes (TN-, TT-, IT-Netz), Bemessungsspannung, Überspannungskategorie, Verdrahtung, Betriebsverhalten, Funktion),
- Kurzschlussfestigkeit (Kurzschlussströme, Kurzschluss-Schutzeinrichtungen (Koordination)),
- Schutz gegen elektrischen Schlag (Basisschutz, Fehlerschutz),
- Installationsumgebung (u. a. Beschaffenheit des Aufstellungsorts, IP-/IK-Schutzart, Korrosionsbeständigkeit, Grenzwerte Umgebungstemperaturen, maximale Luftfeuchte, Verschmutzungsgrad, EMV-Umgebung, besondere Betriebsbedingungen),
- Art der Aufstellung bzw. Anbringung (u. a. Bauform, Abmessungen, Masse, von außen eingeführte elektrische Leiter (Art, Lage, Querschnitt, Werkstoff), Kennzeichnung von Anschlüssen),
- Lagerung und Handhabung (u. a. Art des Transports, Verpackung),
- Bedienbarkeit (Zugang zu manuell betätigten Geräten, Trennung der Abgangsstromkreise),
- Wartung und Erweiterung,
- Stromtragfähigkeit (u. a. Bemessungsstrom der Schaltgerätekombination und von Stromkreisen, Bemessungsbelastungsfaktor, Auftreten von Oberschwingungen mit Auswirkungen auf Querschnitt Neutralleiter).

## 7.7 Energie-Schaltgerätekombinationen

VDE 0660-600-2

**Anwendungsbereich**

Die neue VDE 0660-600-2 stellt besondere Anforderungen an so genannte Energie-Schaltgerätekombinationen mit einer Bemessungsspannung ≤ AC 1 000 V oder ≤ DC 1 500 V. Energie-Schaltgerätekombinationen sind Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen, die eingesetzt werden, um elektrische Energie für alle Arten von Last zu verteilen und zu steuern. Sie sind, wie es heißt, für den industriellen, kommerziellen und ähnlichen Einsatz gedacht. Sie sind nicht für die Bedienung durch Laien vorgesehen. Solche Schaltgerätekombinationen (Verteiler) werden in besonderen VDE-Bestimmungen und Normen behandelt (s. Abschn. 7.8 u. 7.9).

Diese neue VDE-Bestimmung 0660-600-2 ist der teilweise Ersatz der zurückgezogenen und nicht mehr gültigen VDE 0660-500. Sie ersetzt den Teil der zurückgezogenen VDE 0660-500, der die entsprechenden Anforderungen an Schaltgerätekombinationen zur Verwendung bei der Erzeugung, Übertragung, Verteilung und

Umformung elektrischer Energie und für die Steuerung von Betriebsmitteln, die elektrische Energie verbrauchen, gestellt hat (s. Abschn. 7.6.1).

Energie-Schaltgerätekombinationen werden in der internationalen Norm auch PSC[1]-Schaltgerätekombinationen genannt. Diese Abkürzung des englischen Begriffs wird aber in der deutschen Fassung der Norm nicht verwendet.

Für Energie-Schaltgerätekombinationen nach VDE 0660-600-2 gelten überwiegend auch die allgemeinen Anforderungen der VDE 0660-600-1 wie sie in Abschnitt 7.6.1 dieses Buchs angesprochen werden soweit sie für den Betreiber wichtig sind. Darüber hinaus sind mit Bezug auf Abschnitt 7.6 zu beachten:

**Technische Dokumentation**

In der mitgelieferten technischen Dokumentation des Herstellers muss über die Angaben in Abschnitt 7.6.4 hinaus angegeben werden die

- Bauart – Einschübe,
- Form der inneren Unterteilung (s. unten u. Tab. 7.20),
- Arten elektrischer Verbindung von Funktionseinheiten (nach VDE 0660-600-2, 8.5.101).

**IP-Schutzart**

Die für Schaltgerätekombinationen vorzugsweise geltenden IP-Schutzarten (s. Abschn. 7.6.7) gelten auch bei Energie-Schaltgerätekombinationen üblicherweise für die Betriebsstellung von Einschüben. Der Einschub ist ein herausnehmbares Teil einer Energie-Schaltgerätekombination. Der Einschub kann von der Betriebsstellung zur Trennstellung oder gegebenenfalls zu einer Prüfstellung gebracht werden. Dabei bleibt der Einschub mechanisch mit der Energie-Schaltgerätekombination verbunden. Die Betriebsstellung ist die Stellung eines Einschubs, in der dieser für die vorgesehene Funktion voll angeschlossen ist. Die erreichte IP-Schutzart in den anderen Positionen und während der Bewegung zwischen den Positionen muss vom Hersteller angegeben werden. Die Energie-Schaltgerätekombinationen können auch so konstruiert sein, dass die in der Betriebsstellung geltende IP-Schutzart auch in der Prüf- und Trennstellung sowie während der Bewegung von einer Position in die andere beibehalten wird. Sollte nach dem Entfernen eines Einschubs die ursprüngliche IP-Schutzart nicht beibehalten werden können, muss zwischen dem Hersteller und dem Betreiber eine Vereinbarung darüber getroffen werden, welche Maßnahmen ergriffen werden müssen, um einen angemessenen Schutz sicherzustellen. Der Hersteller kann allerdings auch entsprechende Maßnahmen angeben.

1 engl: **P**ower **S**witchgear and **C**ontrollgear

### Innere Unterteilung durch Schutzabdeckungen oder Trennwände

Durch innere Unterteilung von Schaltgerätekombinationen in getrennte Abteile oder geschützte Fächer (s. auch Dokumentation, Abschn. 7.6.4) soll erreicht werden:

- Schutz gegen Berühren gefährlicher Teiler in den benachbarten Funktionseinheiten (Schutzart mindestens IPXXB, s. Kap. 3),
- Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper aus einer Baueinheit in eine benachbarte (Schutzart mindestens IPX2, wobei diese Schutzart IPXXB abdeckt, s. Kap. 3).

Die Form der inneren Unterteilung und höhere Schutzarten müssen zwischen Hersteller und Anwender vereinbart werden (**Tabelle 7.20**).

Für den Fall, dass ein Fehler zu einem Lichtbogen in der Schaltgerätekombination führen kann, ist diese innen so zu unterteilen, z. B. durch Abdeckungen oder Trennwände, dass die Entstehung von Lichtbögen verhindert oder die Dauer der Lichtbögen begrenzt wird. Schutzabdeckungen für handbetätigte Schaltgeräte müssen so angeordnet sein, dass Personen durch Schaltlichtbögen nicht gefährdet werden können.

***Tabelle 7.20:*** *Formen der inneren Unterteilung in Schaltgerätekombinationen*

| **Hauptmerkmal** | **weitere Merkmale** | **Form** |
|---|---|---|
| keine innere Unterteilung | | 1 |
| innere Unterteilung zwischen Sammelschienen und Funktionseinheiten | Anschlüsse für von außen herangeführte Leiter/ nicht von den Sammelschienen unterteilt | 2a |
| | Anschlüsse für von außen herangeführte Leiter/ von den Sammelschienen unterteilt | 2b |
| innere Unterteilung zwischen Sammelschienen und Funktionseinheiten und Funktionseinheiten untereinander. Unterteilung der Anschlüsse für von außen herangeführte Leiter von den Funktionseinheiten, aber nicht von denen anderer Funktionseinheiten | Anschlüsse für von außen herangeführte Leiter/ nicht von den Sammelschienen unterteilt | 3a |
| | Anschlüsse für von außen herangeführte Leiter/ von den Sammelschienen unterteilt | 3b |
| innere Unterteilung zwischen Sammelschienen und allen Funktionseinheiten und zwischen allen Funktionseinheiten untereinander. Innere Unterteilung der zu einer Funktionseinheit gehörenden Anschlüssen für von außen herangeführte Leiter von denen aller anderen Funktionseinheiten und von den Sammelschienen | Anschlüsse für von außen herangeführte Leiter im gleichen Abteil wie die zugeordnete Funktionseinheit | 4a |
| | Anschlüsse für von außen herangeführte Leiter, die sich nicht im gleichen Abteil befinden wie die zugeordnete Funktionseinheit, sondern in einem gesonderten, eigenen, durch Umhüllung geschützten Raum oder Abteil angeordnet sind. | 4b |

### Schutz gegen elektrischen Schlag

Für Energie-Schaltgerätekombination gelten ebenfalls die grundlegenden Anforderungen an den Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) und Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) (s. Abschn. 7.6.8). Energie-Schaltgerätekombination können solche Abmessungen haben, dass sie für befugte Personen während des Betriebs von Innen begehbar sind. Es sind innenliegende Bedienungs- und Wartungsgänge möglich, nicht zu verwechseln mit Bedienungs- und Wartungsgängen zwischen Schaltgerätekombinationen (s. Abschn. 7.1.3). Ein Bedienungsgang innerhalb einer Energie-Schaltgerätekombination ist ein Raum, den der Bedienende zur einwandfreien Bedienung und Überwachung betreten muss. Ein Wartungsgang ist ein Raum, der nur berechtigten Personen zugänglich ist und der vorwiegend für die Instandhaltung eingebauter Betriebsmittel vorgesehen ist. Aussparungen mit begrenzter Tiefe ($\leq 1$ m) gelten nicht als Gänge. In solchen Bedienungs- und Wartungsgängen muss als Schutz gegen elektrischen Schlag der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) gegeben sein (s. Abschn. 5.3). Die Konstruktion und der Aufbau solcher Gänge müssen zwischen dem Hersteller und Betreiber vereinbart werden.

### Prüfungen

Der Nachweis der mechanischen Funktion im Zuge des Stücknachweises, wie er in Abschnitt 7.6.13 angegeben ist, muss die Überprüfung der Einrichtungen zum Verriegeln und Abschließen von herausnehmbaren Teilen und von Einschüben einschließen.

### Einschübe

In Schaltgerätekombinationen (Verteilern) sind elektrische Betriebsmittel und Baugruppen aus elektrischen Betriebsmitteln auf einer gemeinsamen Tragekonstruktion in der Regel fest eingebaut. Solche eine Baugruppe nennt man nach der Reihe VDE 0660-600 auch Einsatz. Darüber hinaus sind solche Baugruppen auch herausnehmbar. Ein herausnehmbares Teil kann als Ganzes von der Schaltgerätekombination entfernt werden, selbst wenn der Stromkreis unter Spannung bleibt. Ist das Teil für die vorgesehene Funktion voll angeschlossen, ist das die Betriebsstellung. Ein herausnehmbares Teil einer Energie-Schaltgerätekombination, das von der Betriebsstellung in eine Trennstellung oder ggf. in eine Prüfstellung gebracht werden kann, während es mechanisch mit der Energie-Schaltgerätekombination verbunden bleibt, wird Einschub genannt. In der Trennstellung eines Einschubs sind die Trennstrecken in den Hauptstrom- und Hilfsstromkreisen auf ihrer Einspeiseseite offen. Auch hier bleibt der Einschub mit der Energie-Schaltgerätekombination mechanisch verbunden. In der Prüfstellung sind die betreffenden Hauptstromkreise

auf der Einspeiseseite geöffnet (Anforderung an eine Trennstecke muss hierbei nicht erfüllt werden). Die Hilfsstromkreise sind aber so angeschlossen, dass die Funktion der eingebauten Geräte geprüft werden kann. Auch hierbei bleibt der Einschub mechanisch mit der Energie-Schaltgerätekombination verbunden. Alle aktiven Teile von Einschüben müssen bei geöffneter Tür und eingesetztem oder herausgenommenem Einschub gegen unbeabsichtigtes Berühren geschützt sein (s. Abschn. 7.6.8). Sofern es keine andere Vereinbarung zwischen Hersteller und Betreiber gibt, müssen Einschübe mit einer Einrichtung ausgerüstet sein, die sicherstellt, dass der Einschub nur bei unterbrochenem Hauptstromkreis herausgenommen und wieder eingesetzt werden kann.

## 7.8 Fabrikfertige Installationskleinverteiler

VDE 0603-1, DIN 43 871

Installationskleinverteiler (**Bild 7.31**) dienen als Stromkreisverteiler in Wohnhäusern, Schulen, Verwaltungsgebäuden und ähnlichen Anlagen. Sie enthalten im Wesentlichen nur Überstromschutzeinrichtungen, Schutzschalter und Schalteinrichtungen mit einem maximalen Bemessungsstrom von 63 A. Installationskleinverteiler müssen elektrische Betriebsmittel mit doppelter oder verstärkter Isolierung

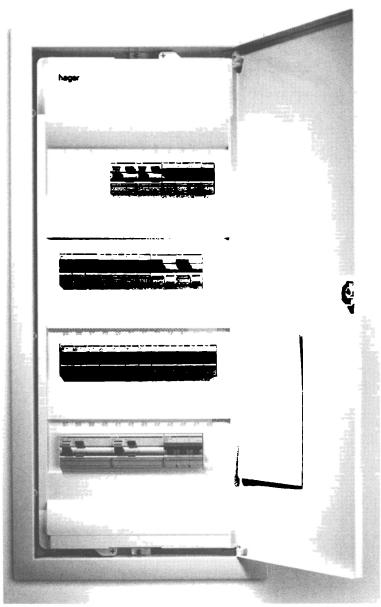



***Bild 7.31:*** *Installationskleinverteiler (Werkbild: Hager)*

(Betriebsmittel der Schutzklasse II) (frühere Bezeichnung: Schutzisolierung) sein. Abdeckungen, die den Schutz gegen direktes Berühren gewährleisten, dürfen nur mit Werkzeug lösbar sein. PE-, N- und PEN-Klemmen müssen gegenüber einer metallenen Tragekonstruktion isoliert angeordnet werden. Die Verteiler gibt es für Wandaufbau, Wandeinbau und Hohlwandmontage. Hohlwand-Installationsverteiler müssen das Zeichen ▽ tragen. Als Schutzarten sind IP30 bis IP54 oder höher vorgesehen.

Installationskleinverteiler werden durch den Hersteller typgeprüft. Nach dem Errichten des Verteilers sind Prüfungen nach Abschnitt 7.1.5 durchzuführen.

## 7.9 Installationsverteiler für die Bedienung durch Laien

VDE 0660-600-3

Installationsverteiler für die Bedienung durch Laien, wie sie jetzt heißen, (**Bild 7.32**) oder, wie sie nach der nicht mehr gültigen VDE 0660-504 hießen, „Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen, zu deren Bedienung Laien Zutritt haben", dienen, wie die Installationskleinverteiler, als Stromkreisverteiler in Wohnhäusern, Schulen, Verwaltungsgebäuden und ähnlichen Anlagen. In VDE 0660-600-3 sind nur die besonderen Anforderungen an Installationsverteiler geregelt, die über die Anforderungen der Schaltgerätekombinationen nach Abschnitt 7.6 hinausgehen oder abweichen (s. Abschn. 7.6.1). Als fabrikfertig gelten Verteiler, die unter Verantwortung des Herstellers anschlussfertig zusammengebaut sind oder die nach Angaben des Herstellers der fabrikfertigen Gehäuse und Bauteile zusammengebaut werden und für die der Bauartnachweis und der Stücknachweis erbracht wurde. Letztgenannte Verteiler müssen neben dem Herkunftszeichen des Herstellers auch das Herkunftszeichen der Stelle tragen, die den Zusammenbau durchgeführt hat.

Installationsverteiler müssen folgende Aufschriften tragen:

- Name des Herstellers oder Warenzeichen,
- Typbezeichnung oder anderes Kennzeichen,
- Aufschrift DIN EN 61439-3 (VDE 660-600-3);
  alte Verteiler: DIN EN 60439-1 (VDE 0660-500),
- Stromart und Frequenz,
- Bemessungsbetriebsspannung,
- Bemessungsstrom,
- IP-Schutzart.

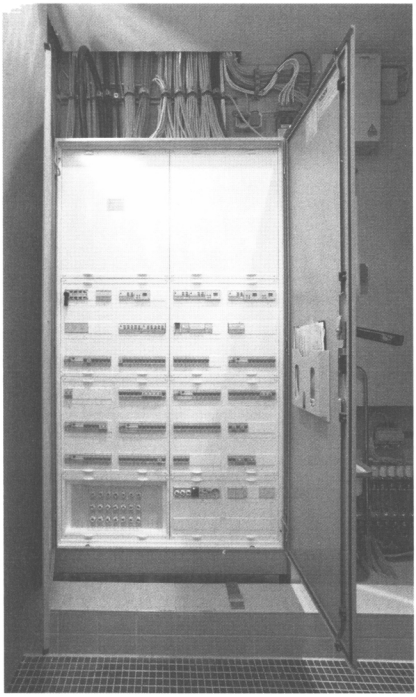


***Bild 7.32:*** *Installationsverteiler (Werkbild: Hager)*

Die Aufschriften können auch hinter der Tür oder dem Deckel angebracht sein. Andere Angaben, wie Bemessungsisolationsspannung, Funktionsgrenzwerte, Bemessungsstrom jedes Stromkreises, Kurzschlussfestigkeit, Schutzmaßnahmen, Betriebs- und Umgebungsbedingungen, Netzform sowie Abmessungen, müssen entweder auch als Aufschrift oder in den zugehörigen Unterlagen aufgeführt sein. Die Verteiler gibt es in Schutzklasse-I- (Schutzleiteranschluss) und in Schutzklasse-II-Ausführung (mit doppelter oder verstärkter Isolierung; frühere Bezeichnung: schutzisoliert).

Bei Deckeln oder Türen, die sich ohne Werkzeug öffnen lassen, muss der Berührungsschutz durch eine innere Geräteabdeckung gewährleistet sein, die nur mit Werkzeug entfernt werden kann.

### Prüfungen

Zu Bauartnachweis und Stücknachweis nach VDE 0660-600-3 siehe auch Abschnitt 7.6.13.

## 7.10 Schienenverteiler

VDE 0660-600-6,
vgl. VDE 0100-520

Schienenverteilersysteme (engl. abgekürzt: BTS[1]) dienen mit deren Zubehör für die Einspeisung und Verteilung elektrischer Energie in Wohnungen, Einzelhandel, öffentlichen, landwirtschaftlichen und industriellen Bereichen oder zur Versorgung von Beleuchtungsanlagen über Abgangskästen. Schienenverteilersysteme können auch Kommunikations- und Steuersysteme enthalten. Schienenverteilersysteme sind nicht zu verwechseln mit Stromschienensystemen (VDE 0604-100). Schienenverteilersysteme sind in der Regel Schaltgerätekombinationen mit Bauartnachweis nach VDE 0660-600-6 (s. dazu Abschn. 7.6.1).

In Fabrikanlagen, wo man im Zuge der Rationalisierung gezwungen sein kann, z. B. Werkzeugmaschinen häufig auszuwechseln oder in anderer Anordnung aufzustellen, findet man vielfach gekapselte Schienenverteiler bis 660 V mit veränderbaren Abgängen:

- bis 40 A Bemessungsstrom für steckbare Systeme,
- 40...100 A Bemessungsstrom zur Verteilung bis an die Verbraucher,
- 100...800 A Bemessungsstrom für normale Anwendungen,
- 800...5 000 A Bemessungsstrom für hohe Ströme.

Sie können bis 100 kA Scheitelwert kurzschlussfest gebaut werden. Das System besteht aus einem *Kanal* an der Decke, an Wänden oder Säulen mit innen liegenden *blanken Leitern* aus Kupfer oder Aluminium.

In Abständen von etwa 0,4 m, 1,2 m oder 3 m können die Arbeitsmaschinen über leicht lösbare *Abgangskästen* (**Bild 7.33**) schnell und gefahrlos mit Rohren oder beweglichen Leitungen angeschlossen und abgetrennt werden. Durch eine Verriegelung wird erreicht, dass die Kästen nur in spannungslosem Zustand abgenommen und angesetzt werden können. Lichtbögen an den Sammelschienen werden so sicher verhindert. Alle notwendigen Verlängerungs-, Sicherungs- und Abzweigstücke können von den Herstellern im Baukastensystem fertig bezogen werden.

Schienenverteiler können auch vertikal verlaufen, z. B. in Hochhäusern. Wenn das Metallgehäuse des Verteilers an den Stoßstellen zuverlässig elektrisch verbunden ist, kann es als Schutzleiter dienen. PEN-Leiterschienen dürfen ohne Isolatoren unmittelbar auf das Metallgehäuse gesetzt werden. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass es zur Vermeidung von Störungen informationstechnischer Anlagen von

1 busbar trunking systems

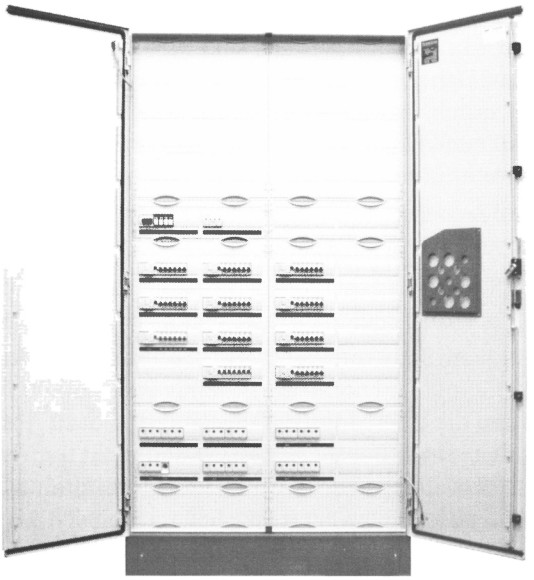


***Bild 7.33:*** *Isolierstoff-Abgangskasten mit NH-Sicherungslast-Trennschalter, hier in geöffneten Zustand (Werkbild: Siemens)*

Vorteil ist, den PEN-Leiter möglichst auch isoliert zu verlegen, da es sich auch um einen aktiven Leiter handelt und Streuströme über den Stromschienenkörper nicht auszuschließen sind (s. dazu Kap. 10).

Da die Ausbreitung von Bränden so weit wie möglich zu verhindern ist, müssen Durchbrüche von Decken, Wänden, Zwischenwänden und Hohlwänden nach der Durchführung der Schienenverteiler entsprechend der *Feuerwiderstandsdauer*, die für das entsprechende Gebäudeteil vorgeschrieben ist, verschlossen werden. Auch im Innern müssen Stromschienenkanäle entsprechend der Feuerwiderstandsdauer verschlossen werden, wie sie für das betreffende Gebäudeteil gefordert wird. Auf der sicheren Seite liegt man, wenn typgeprüfte Schottungen verwendet werden.

Zu den Schienenverteilern kann man auch die sog. *Strombahnen* rechnen, die zur Versorgung von kontinuierlich beweglichen Stromverbrauchern dienen, z. B. für Elektrowerkzeuge, Elektrozüge, Förderanlagen, Stofflegemaschinen und Zuschneidemaschinen.

Für die Speisung von Drehstromverbrauchern haben die Strombahnen vier Stromschienen, ein metallenes Gehäuse ist über einen fünften Stromabnehmer in die Schutzmaßnahme mit einbezogen. Bei Kunststoffgehäusen ist der fünfte Leiter zur Einhaltung der Schutzbestimmungen zwingend erforderlich.

Für die *Dauerbelastung von Stromschienensystemen* sind die Herstellerangaben zu beachten. Für nicht fabrikfertige Systeme sind die Leiterquerschnitte nach Tabelle 7.18 zu bemessen. Dabei sind die Lage der Leiter zueinander, die verminderte Wärmeabfuhr, z. B. durch eine Umhüllung, die Lage der Leiter zur Umhüllung, die Lage der Leiter zu leitenden inaktiven Teilen (Wirbelströme, Induktionswärme) und senkrechte oder waagerechte Schienenführung zu berücksichtigen.

## 7.11 Baustromverteiler (BV)

VDE 0660-600-4

Für die Herstellung von Baustromverteilern (BV) gelten die Anforderungen des neuen Teils VDE 0660-600-4. Die vorher geltende Bestimmung VDE 0660-501 ist nicht mehr gültig und die Übergangsfrist abgelaufen (s. dazu Abschn. 7.6.1). Diese Norm gilt nur für den reinen Baustellenbetrieb und nicht für Verteiler, die in Verwaltungs- und Betriebsräumen (Büros, Umkleide-, Versammlungs-, Schlafräumen, sanitären Räumen, Kantinen usw.) von Baustellen eingesetzt werden.

Baustromverteiler kommen auf Baustellen zum Einsatz. Das sind sog. zeitweilige Arbeitsstätten, bei denen Bauarbeiten, Montage-, Reparatur- oder Änderungsarbeiten erfolgen oder der Abriss von Gebäuden oder Bauwerken oder Ausschachtungsarbeiten vorgenommen werden. Baustromverteiler sind transportabel oder bewegbar ausgeführt. Sie werden nach den verschiedenen Funktionen eingeteilt und zwar nach Anschluss-, Mess-, Verteiler- und Transformatorfunktion. Dementsprechend werden von Herstellern verschiedene Verteilerarten angeboten.

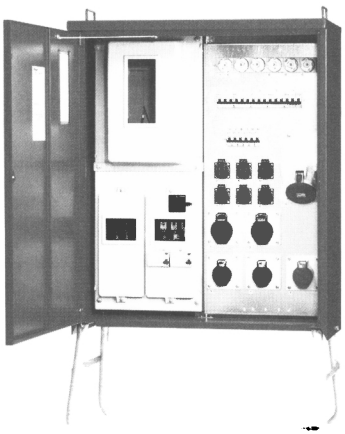


***Bild 7.34:*** *Bewegbarer Baustromverteiler für Freiluftaufstellung als Anschluss-Verteilerschrank (Werkbild: Walther-Werke)*

Dies sind Anschlussschränke, Hauptverteilerschränke, (Unter-)Verteilerschränke, Transformatorschränke für Großbaustellen, Endverteilerschränke und Steckdosenverteiler. Auf Großbaustellen und mittelgroßen Baustellen können zwei oder mehrere Baustromverteiler zu einer BV-Kombination vereinigt werden, z. B. Anschlussschrank mit Verteilerschrank (**Bild 7.34**). Bei kleinen Baustellen gibt es oft nur einen Anschlussschrank und einen Steckdosenverteiler.

**BV mit Anschlussfunktion**

Der BV mit Anschlussfunktion (Anschlussschrank) dient als Einspeisung (*Speisepunkt*) der elektrischen Anlage einer Baustelle. Er ist für den Anschluss an das öffentliche Netz, an eine Transformatorstation oder an einen Generator der Baustelle bestimmt und enthält Einrichtungen für die Messung und Zählung der elektrischen Energie.

Anschlussschränke umfassen in der Regel ein umschlossenes Abteil für die Aufnahme der Betriebsmittel der Leitungseinführung und der Messeinrichtung sowie Einrichtungen für das Schalten und den Schutz der abgehenden Leitung bei Überlast und Kurzschluss. Das umschlossene Abteil muss eine eigene Zugangsmöglichkeit, z. B. durch eine Abschlussplatte, einen Verschlussschieber oder eine Tür, haben. Für die *Einspeisung* sollten ein Schaltgerät mit Trennfunktion und eine Überstromschutzeinrichtung sowie eine Einrichtung für Messung und Zählung vorgesehen sein, damit eine entsprechende Forderung des Stromversorgungsunternehmens erfüllt werden kann (s. auch DIN 43868-1 bis 4 „Baustromverteiler-Anschlussschrank; Direkt-/Wandlermessung"). Für den Verbraucherabgang sind Trenneinrichtungen, Schalter, die unter Last betätigt werden können, und Überstromschutzeinrichtungen sowie Schutzeinrichtungen für den Schutz gegen elektrischen Schlag erforderlich. Diese Funktionen können auch in einem oder mehreren Geräten vereinigt sein. Der Trennschalter und die Schutzeinrichtung, die die Trennfunktion übernimmt, müssen in der Aus-Stellung abschließbar sein, z. B. durch ein Vorhängeschloss oder durch Unterbringung innerhalb eines verschließbaren Gehäuses. Der eigentliche Schalter muss dagegen ohne Verwendung eines Schlüssels oder Werkzeugs leicht zugänglich sein. Beim Abschalten müssen alle aktiven Leiter gleichzeitig geschaltet werden. Der Neutralleiter kann auch abgeschaltet werden, der PEN-Leiter darf dagegen in keinem Fall abgeschaltet werden.

Anschluss- und Verteilerschränke werden serienmäßig für einen Bemessungsstrom (Anschlusswert) von 25 A, 40 A, 63 A, 100 A, 160 A, 250 A, 400 A und 630 A geliefert. Die Querschnitte der Anschlussleitungen sind **Tabelle 7.21** zu entnehmen.

*Tabelle 7.21: Anschlussleitungen für Baustromverteiler*

| Bemessungsstrom des Schrankes A | Mindestquerschnitt der Anschlussleitung $mm^2$ Cu |
|---|---|
| 25...40 | 10 |
| 63 | 16 |
| 100 | 35 |
| 160 | 50 |
| 250 | 120 |
| 400 | 150 |
| 630 | 2 × 150 |

### BV mit Verteilerfunktion

Der BV mit Verteilerfunktion (Verteilerschränke, Haupt- und Unterverteilerschränke) besteht aus einer Einspeisung und mehreren Abgängen. Der *Hauptverteilerschrank* ist dem Anschlussschrank nachgeschaltet. An ihm ist die Hauptleitung zur Versorgung der verschiedenen Teile der Baustelle angeschlossen. Der *(Unter-)Verteilerschrank* ist am Ende der Hauptleitungen, die vom Anschlussschrank oder Hauptverteilerschrank kommen, angeschlossen. Von hier gehen die Versorgungsleitungen zu anderen Baustromverteilern oder Maschinen.

Für die Einspeisung von Verteilerschränken müssen Klemmen, die für den Bemessungsstrom der Einheit geeignet sein müssen, ein Schalter mit Trennfunktion und eine Kurzschlussschutzeinrichtung vorhanden sein. Auch hier muss der Schalter mit Trennfunktion in der Aus-Stellung gesichert werden können. Der Schutz bei Kurzschluss kann entfallen, wenn die Verteilerschränke durch einen Anschlussschrank oder wenn die Unterverteilerschränke durch einen Hauptverteilerschrank versorgt werden. Bei einem Hauptverteilerschrank muss der Bemessungsstrom der Einspeisung mindestens 630 A betragen, bei einem Unterverteilerschrank muss er größer als 125 A, darf aber nicht größer als 630 A sein.

Jeder Abgangsstromkreis in den Verteilerschränken muss – wie beim Anschlussschrank – mit Einrichtungen zum Trennen, zum Schalten und für den Überstromschutz sowie den Schutz gegen elektrischen Schlag versehen sein. Die Funktionen können auch durch eine Einrichtung erfüllt werden. Eine Abschließeinrichtung für die Aus-Stellung der Trenneinrichtung braucht nicht vorhanden zu sein.

Bei Unterverteilerschränken dürfen die abgehenden Leitungen an Klemmen oder an Steckvorrichtungen angeschlossen werden. Steckdosen mit Bemessungsströmen $\leq 32$ A, die üblicherweise für den Anschluss von handgeführten Elektrowerkzeugen und ähnlichen tragbaren Geräten verwendet werden, müssen durch Fehlerstrom-

schutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA geschützt werden. Dabei dürfen mehrere Steckdosenstromkreise durch dieselbe Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) geschützt werden. Bei IT-Systemen ist allerdings für jede Steckdose eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) erforderlich (s. auch Abschn. 14.6).

**BV mit Transformatorfunktion**

Ein BV mit Transformatorfunktion (Transformatorschrank) enthält hauptsächlich einen oder mehrere Transformatoren. Er besteht aus einer Einheit „Einspeisung" und einer Transformatoreinheit „Niederspannung/Schutzkleinspannung" (LV/ELV) und ggf. einer oder mehreren Transformatoreinheiten „Niederspannung/Niederspannung" (LV/LV). Die Einspeisung muss genau wie die Einspeisung eines Unterverteilerschrankes beschaffen sein. Der Bemessungsstrom darf nicht größer als 630 A sein.

Eine LV/ELV-Transformatoreinheit darf entweder mit LV/PELV- oder LV/SELV-Typen bestückt sein. Die sekundäre Bemessungsspannung darf AC 50 V nicht übersteigen.

Eine *LV/ELV-Transformatoreinheit* umfasst vor allem

- die Schutzeinrichtungen und Steuergeräte für die Primärseite;
- den LV/ELV-Transformator, der ein Transformator für Baustellen nach VDE 0570-2-23 sein muss;
- die Schutzeinrichtungen und Steuergeräte für die Abgänge.

Für die Verdrahtung der Kleinspannungsstromkreise ist die sichere Trennung zu beachten (s. Abschn. 5.9).

Eine *LV/LV-Transformatoreinheit* umfasst vor allem

- die Schutzeinrichtungen und Steuergeräte für die Primärseite;
- den LV/LV-Transformator, der ein Sicherheits-Trenntransformator nach VDE 0570-2-4 (früher: 0551) sein muss;
- die Schutzeinrichtungen und Steuergeräte für den Sekundärstromkreis;
- die Abgänge über Klemmen oder Steckdosen, wobei die Steckdosen über Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) geschützt werden müssen (s. oben).

Der LV/LV-Transformator braucht jedoch kein Trenntransformator zu sein, wenn außen am Gehäuse eine Klemme für den Anschluss eines Leiters zur Erdung des Mittelpunkts/Sternpunkts vorgesehen ist. Dieser Leiter muss im Innern des Gehäuses möglichst nahe an der Klemme durch eine Beschriftung gekennzeichnet sein.

**Abgänge**

Jeder Abgang kann aus einem Stromkreis oder mehreren Stromkreisen bestehen. Geräte zum Trennen und zum Schalten unter Last, Überstromschutzeinrichtungen ebenso wie Schutz- und Überwachungseinrichtungen für den Fehlerschutz müssen vorgesehen werden. Diese Funktionen dürfen in einem Geräte oder mehreren Geräten vereinigt sein. Ein Lastschalter muss leicht und ohne Verwenden eines Schlüssels oder Werkzeugs zugängig sein. Das Schaltgerät muss alle Außenleiter gleichzeitig schalten. Als Fehlerschutz des Schutzes gegen elektrischen Schlag sind bei Steckdosen Schutz durch automatische Abschaltung mit Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs), die Schutzmaßnahme Kleinspannung oder Schutztrennung (s. Abschn. 14.6) anzuwenden. Eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) darf mehrere Steckdosen schützen. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass es zu ungewolltem Auslösen kommen kann, wenn eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mehr als 6 Steckdosen schützt. Der Bemessungsstrom einer Überstromschutzeinrichtung darf nicht größer als der Bemessungsstrom der Steckdose sein.

Jeder Baustromverteiler muss mit einer dauerhaften *Aufschrift* versehen sein, die so angebracht ist, dass sie nach dem Aufstellen und Anschließen sichtbar und lesbar ist. Die Aufschrift muss enthalten:

- den Namen des Herstellers oder das Ursprungszeichen des Baustromverteilers;
- die Typbezeichnung, die Kennnummer oder ein anderes Kennzeichen, mit deren Hilfe vom Hersteller notwendige Informationen angefordert werden können;
- die Bezeichnung IEC 60439-4 (≡ VDE 0660-600-4);
- die Stromart, den Wert des Bemessungsstroms (= der Strom der Einspeisung des BV) und die Frequenz bei Wechselstrom;
- die Bemessungspannung ($U_n$);
- die IP-Schutzart;
- die Masse, wenn sie 30 kg überschreitet.

Als Hersteller gilt die Stelle, die den endgültigen Zusammenbau ausführt.

Steht der Name des Herstellers oder sein Firmenzeichen auf dem BV, darf die Angabe auf dem Typschild entfallen.

Die folgenden Angaben müssen in der mit dem BV mitgelieferten technischen Dokumentation des Herstellers enthalten sein:

- Bemessungsbetriebsspannung $U_e$, Bemessungsisolationsspannung und Bemessungsstoßspannungsfestigkeit;
- Bemessungsstrom eines jeden Stromkreises;

- Bemessungsstoßstromfestigkeit;
- Bemessungskurzzeitstromfestigkeit zusammen mit ihrer Dauer;
- bedingter Bemessungskurzschlussstrom;
- Bemessungsbelastungsfaktoren;
- Bemessungsfrequenz;
- alle notwendigen Angaben, die die anderen angegebenen kennzeichnenden Merkmale und Einteilungen betreffen;
- Kurzschlussfestigkeit und Eigenschaften der Kurzschluss-Schutzeinrichtungen;
- Betriebsbedingungen für eine Sonderverwendung, falls sie von den üblichen Betriebsbedingungen (Umgebungstemperatur, atmosphärische Bedingungen, Verschmutzungsgrad) abweichen;
- Abmessungen (Gesamtmaße, einschließlich vorstehender Teile, wie Griffe, Verkleidungen, Türen);
- Masse (> 30 kg);
- Funktion(en) (Anschluss-, Mess-, Verteiler-, Transformatorfunktion).

In den Herstellerunterlagen sollte angegeben werden, welche Typen von Baustromverteilern miteinander verbunden werden dürfen. Dies betrifft vor allem die Art der Erdung und/oder die Selektivität der Schutzeinrichtung. Alle Betriebsmittel müssen im Innern eines Gehäuses angeordnet sein, das nur mit Schlüsseln oder Werkzeugen zugänglich sein darf. Steckvorrichtungen, Betätigungseinrichtungen und -knöpfe müssen natürlich zugänglich sein. Auch das Betätigungselement des Hauptschalters muss leicht erreichbar sein. Alle Verbindungen für den Anschluss der Baustromverteiler müssen entweder lösbar ausgeführt sein oder Steckvorrichtungen haben. Die Bauteile zum Einführen der Leitungen werden vom Hersteller des Baustromverteilers festgelegt und müssen in der Beschreibung angegeben sein.

Der *Schutz gegen das Berühren* aktiver Teile und *gegen das Eindringen fester Fremdkörper* und *gegen schädliches Eindringen von Wasser* muss bei geschlossenen Türen, eingebauten Tafeln und abnehmbaren Abdeckungen mindestens IP44 sein. Wenn nichts anderes festgelegt ist, gilt die vom Hersteller angegebene Schutzart für den kompletten Baustromverteiler, vorausgesetzt, er wird nach dessen Angaben aufgestellt und angeschlossen. Abweichungen in der Schutzart eines inneren Teils (z. B.: Gesamtgerät: IP44 – innere Bedienungsfront: IP21) muss der Hersteller angeben, z. B. im Katalog oder in der Bedienungsanleitung. Belüftungs- und Entwässerungsstutzen (Löcher) dürfen die IP-Schutzart nicht reduzieren. Hinter einer Tür darf die Schutzart einer Bedienungsfront nicht geringer als IP21 sein, vorausgesetzt, die Tür kann in jeder Betriebssituation geschlossen werden. Wenn die Tür nicht geschlossen werden kann, muss auch die IP-Schutzart der Bedienungsfront mindestens IP44 sein.

Steckdosenkombinationen, die nicht durch das Gehäuse des Baustromverteilers geschützt sind, müssen ebenfalls mindestens der Schutzart IP44 genügen, gleichgültig, ob der Stecker herausgezogen oder vollständig eingeführt ist.

Der *Fehlerschutz* (Schutz bei indirektem Berühren), der für Baustromverteiler angewendet wird, ist in Abschnitt 14.6 beschrieben (VDE 0100-704). Der Anwender soll die Schutzmaßnahme beim Kauf angeben.

Das Gehäuse eines Baustromverteilers kann als Teil des Schutzleiterstromkreises verwendet werden. Dann muss

- die durchgehende elektrische Verbindung gegen mechanische, chemische und elektrochemische Beeinträchtigungen geschützt sein und
- die Leitfähigkeit mindestens dem Wert eines Kupferleiters von 2,5 $mm^2$ Querschnitt entsprechen und
- der Anschluss anderer Schutzleiter an jeder Stelle möglich sein, wo ein Abgang vorgesehen ist.

Bei eingebauten Steckvorrichtungen ist es wichtig, dass ein geeigneter Schutzleiter die Schutzleiterklemmen der Steckvorrichtungen mit der Hauptschutzleiterklemme des Baustromverteilers verbindet. Der Querschnitt jedes Schutzleiters innerhalb des Baustromverteilers, der nicht Teil der Leitung oder einer Leitungsumhüllung ist, muss mindestens 2,5 $mm^2$ Cu betragen.

Die Koordinierung von *Kurzschlussschutzeinrichtungen* muss zwischen Hersteller und Anwender vor Vertragsabschluss vereinbart werden, ggf. gelten die Angaben in der Beschreibung des Herstellers.

Um Fehlanschlüsse zu vermeiden, dürfen die Stecker für unterschiedliche Bemessungsspannungen und Bemessungsströme nicht austauschbar sein. Der Anschluss von Drehstromsteckdosen muss so erfolgen, dass ein Rechtsdrehfeld erzeugt wird. Im Gehäuse eines Baustromverteilers dürfen nur Betriebsmittel desselben elektrischen Systems und der gleichen Einspeisung eingebaut sein. Die Bemessungsspannung der Betriebsmittelgruppen innerhalb des Gehäuses braucht allerdings nicht gleich zu sein.

# 7.12 Farbwahl von Leuchtmeldern

VDE 0199

Grundsätzlich bedeuten bei Leuchtmeldern

- *rot* = Gefahr, Notfall, fehlerhafter Zustand
- *gelb* = Vorsicht/Warnung, anormaler Zustand
- *grün* = Sicherheit, normaler Zustand
- *blau* = vorschreibende Bedeutung

Für andere Zwecke, denen keine spezielle Bedeutung zugewiesen ist, müssen *weiß*, *grau* oder *schwarz* angewendet werden.

*Beispiele:*

Die Tür zu einer Niederspannungsanlage ist offen. Außerhalb des Raums, nahe beim Eingang, zeigt der Leuchtmelder rot, wenn der Hauptschalter geschlossen ist, und grün, wenn er offen ist: keine Spannung, Sicherheit. In der Stromverteilungsanlage ist auf der Schalttafel ein Abzweigschalter geschlossen, der Abzweig steht also unter Spannung, der Leuchtmelder auf dem Verteiler leuchtet weiß. Bei offenem Abzweigschalter leuchtet er grün: keine Spannung.

Der Hauptschalter an einer Maschine ist offen. Der Leuchtmelder am Bedienungsstand zeigt nichts an: keine Spannung. Nun wird der Hauptschalter geschlossen. Der Leuchtmelder zeigt weiß: Normalbetrieb. An der Maschine wird jetzt ein Abzweigschalter geschlossen. Es leuchtet ein grüner Melder auf: Die Hilfseinrichtungen laufen. Für einen Lüfter zum Absaugen gefährlicher Dämpfe wird der Motorschalter geschlossen. Am Zugang zum Lüfterraum leuchtet der Melder gelb: Achtung! Lüfter läuft. Vor Ort, wo gefährliche Dämpfe auftreten, leuchtet der Melder grün: Lüfter arbeitet, Sicherheit. Dieser Melder leuchtet rot, wenn der Lüfter ausfällt.

# 8 Leitungen und Kabel

Kabel in Hochspannungsnetzen s. Abschn. 6.1.4

## 8.1 Leitungs- und Kabelarten und ihre Anwendungsbereiche

### 8.1.1 Kennzeichnung

Nach der noch geltenden VDE-Bestimmung 0250-1:1981-01 müssen isolierte Leitungen einen einfädigen Kennfaden des Herstellers oder eine fortlaufende Angabe des Herstellernamens oder des Herstellerverzeichnisses auf der Ader oder dem Mantel tragen. Es können auch beide Angaben (Herstellername und -verzeichnis) vorhanden sein. Der Herstellerkennfaden ist als Warenzeichen (Ursprungszeichen) geschützt.

Nach der im Januar 2012 neu erschienenen VDE-Bestimmung 0285-525-1 für isolierte Leitungen bzw. nach VDE-Bestimmung 0276-603 für Kabel müssen isolierte Leitungen und Kabel eine *Ursprungskennzeichnung* tragen. Diese kann ein Herstellerkennfaden oder eine fortlaufende Angabe des Herstellernamens, des Warenzeichens oder einer Identifizierungsnummer des Herstellers sein. Die Identifizierungsnummer muss aber warenzeichenrechtlich geschützt sein. Das fortlaufende Ursprungskennzeichen muss entweder

- auf einem bedruckten Band in der Leitung oder im Kabel stehen oder
- bei Leitungen durch Bedrucken, erhabene Prägung oder Tiefprägung der Isolierhülle auf wenigstens einer Ader erfolgen, wobei jede Ader gewählt werden darf, und
- bei Kabeln durch farblich sich abhebende Bedruckung auf der Isolierung mindestens einer Ader des Kabels erfolgen oder,
- falls ein Leitungsmantel vorhanden ist, ebenfalls durch Bedrucken, erhabene Prägung oder Tiefprägung des Mantels der Leitung oder der Kabeloberfläche erfolgen.

Die Kennzeichnung von besonderen Leitungen, z. B. Wendelleitungen, ist in den jeweiligen VDE-Bestimmungen festgelegt.

Eine Kennzeichnung gilt als fortlaufend, wenn bestimmte Höchstabstände zwischen dem Ende eines Kennzeichens und dem Anfang des nächsten identischen Kennzeichens eingehalten werden und zwar 55 cm bei Kennzeichnung eines Leitungsmantels bzw. einer Kabeloberfläche sowie 27,5 cm auf einem Band in einer Leitung mit Mantel bzw. auf der Isolierhülle einer Leitung (ohne oder mit Mantel) bzw. auf der Kabelisolierung. Je nach Kabelbauart können in den jeweiligen Bauartbestimmungen andere Abstände festgelegt sein.

Die geforderte Ursprungskennzeichnung (Herstellerkennfaden, Name des Herstellers, Warenzeichen Identifizierungsnummer des Herstellers) und die geforderte Kennzeichnung der Leitungen mit Bauart-Kurzzeichen nach der Bauartbestimmung VDE 0285-525-1 bzw. den Reihen VDE 0285-525-2 und -3 (z. B. H03VV-F, H05RR-F) werden *festgelegte Kennzeichen* genannt. Eine zusätzliche Kennzeichnung, die z. B. nach einer Prüfung von einer anerkannten Prüfstelle (anerkanntes Drittstellenzertifizierungs-System) vergeben wird, ist zulässig. Dazu gehört u. a. auch das VDE-Kabelzeichen (s. u.). Zusätzlich Kennzeichnungen des Herstellers wie Anzahl der Leitungsadern, Leiterquerschnitt, Herstellungsdatum sind freiwillig und müssen nicht vorhanden sein.

Kabel und isolierte Starkstromleitungen dürfen nach der oben schon erwähnten noch geltenden Bestimmung VDE 0250-1 von Jan. 1981 neben dem Herstellerkennfaden einen einfädigen, schwarz-rot bedruckten „VDE-Kennfaden", den (internationalen) schwarz-rot-gelben „VDE-Harmonisierungskennfaden" oder das geprägte oder bedruckte „VDE-Kabelzeichen" fortlaufend auf einer Ader oder auf dem Mantel führen, wenn die Prüfung bei der VDE-Prüfstelle für einen Leitungs- oder Kabeltyp bestanden wurde. Der Druck oder die Prägung auf der Leitung oder dem Kabel hat bzw. hatte folgende Form:

 oder  .

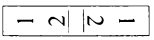
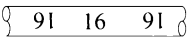
Kabel und Leitungen dürfen nach der oben schon genannten neu herausgekommenen VDE 0285-525-1 von Jan. 2012 allenfalls nur noch als sog. weitere Kennzeichnung, z. B. nach einem anerkannten Drittstellenzertifizierungs-System, oder als zusätzliche freiwillige Kennzeichnung so gekennzeichnet werden. Außerdem wird das frühere VDE-Kabelzeichen wie auch das „Harmonisierungszeichen" (siehe untere Darstellung) in der aktuellen VDE 0024 (Regelungen für das Prüf- und Zertifizierungswesen des VDE) von Okt. 2013 so nicht mehr erwähnt und nicht mehr dargestellt.

Auch die für *harmonisierte* Leitungen nach den zum 01.01.2012 zurückgezogenen VDE-Bestimmungen VDE 0281-1 und VDE 0282-1 (beide ersetzt durch VDE 0285-525-1 vom Jan. 2012) zulässige Harmonisierungskennzeichnung durch einen Harmonisierungskennfaden oder Aufdruck

◁HAR▷ oder ◁HAR▷

wird nach den Nachfolgebestimmungen VDE 0285-525-1 und -2 nicht mehr gefordert und ist auch nicht mehr zulässig. Auch die nach früheren Ausgaben der VDE-Bestimmung 0024 zugelassene VDE-Harmonisierungskennzeichnung (gemeinsamer Aufdruck <VDE> <HAR>) ist ebenfalls nicht mehr zulässig und wird in der aktuellen Ausgabe der VDE 0024 vom Okt. 2013 nicht mehr erwähnt.

Die Kennzeichnung von Leitungsadern erfolgt durch Farben (s. Abschn. 8.1.4) und/oder Bedrucken der Isolierhüllen mit Zahlen. Ob die Kennzeichnung durch Bedrucken mit Ziffern geschieht, wird in den einzelnen Bauartnormen für Kabel und Leitungen festgelegt. In den meisten Bauartnormen ist die Kennzeichnung durch Ziffern auf Kabel und Leitungen mit mehr als fünf Adern beschränkt. Nach VDE 0293-334 sind Adern dann wie folgt zu bedrucken: Jedes Kennzeichen besteht aus einer arabischen Zahl, jeweils mit 1 beginnend, und einem Strich, der diese Zahl unterstreicht. Zwei aufeinander folgende Kennzeichen liegen umgekehrt einander gegenüber.

*Beispiel:* 12. Ader:  16. Ader: 

## 8.1.2 Kurzzeichen

Die Kurzzeichen sollen Bauart und Verwendungszweck angeben (**Tabelle 8.1**). Eine Reihe von Leitungen sind international harmonisiert. Damit sind neue Kurzzeichen entstanden (**Tabelle 8.2**).

*Tabelle 8.1: Bauarten nach nationalen Normen (Auswahl)*

| Kurzzeichen | Bedeutung |
|---|---|
| **Isolierstoff** | |
| G | Gummi (wird nicht immer angegeben) |
| 2G | Silikonkautschuk (SiR) mit erhöhter Wärmebeständigkeit |
| 3G | Ethylen-Propylen-Kautschuk (EPR) |
| 4G | Ethylenvinylacetat (EVA) |
| H | halogenfreier Werkstoff |
| Y | Kunststoff, meist Polyvinylchlorid (PVC) |
| 2Y | Polyethylen (PE) |
| 3Y | Polystyrol |
| 4Y | Polyamid (PA, Nylon) |
| 5Y | Polytetrafluorethylen (Teflon) |
| 6Y | Polytrifluormonochlorethylen (Hostaflon) |
| 11Y | Polyurethan |
| **Bauart, Funktion, Eigenschaft** | |
| A | Aderleitung |
| C | konzentrisch (abgeschirmt) |
| F | Flachleitung; Fassungsader; feindrähtig |
| H | Handgeräteleitung |
| K | Kabel; Korrosionsschutz |
| L | Leuchtröhrenleitung; leicht |
| M | Mantelleitung (neue Bezeichnung: Installationsleitung); mittel |
| N | Normleitung |
| O | ozonbeständig |
| Ö | ölbeständig |
| S | Schnur; stark |
| U | unverbrennbar (geminderte Brennbarkeit) |
| W | wetterfest |
| w | erhöht wärmebeständig |
| -J | mit Schutzleiter |
| -O | ohne Schutzleiter |

*Tabelle 8.2: Harmonisierte Leitungen (Auswahl)*

| Kurzzeichen | Bedeutung |
|---|---|
| (A) | bisher anerkannter nationaler Typ; die bisher neben den harmonisierten Bauarten zulässigen nationalen Bauarten in Harmonisierungsdokumenten sind nicht mehr gültig; das dafür verwendete Kurzzeichen „A" wurde entfernt. |
| H | Leitung in Übereinstimmung mit harmonisierten Normen<br>ohne Kurzzeichen H: nicht harmonisierte Leitung; es darf jedes Kurzzeichen oder System verwendet werden, wenn es der harmonisierten Norm nicht entgegensteht |
| **Bemessungsspannung** | |
| allg. $U_0/U$ | $U_0$ Effektivwert zwischen einem Außenleiter und Erde<br>$U$ Effektivwert zwischen zwei Außenleitern |
| 01 | Bemessungsspannung 100/100 V |
| 03 | Bemessungsspannung 300/300 V |
| 05 | Bemessungsspannung 300/500 V |
| 07 | Bemessungsspannung 450/750 V |
| **Isolierstoff und nichtmetallischer Mantelwerkstoff** | |
| B | Ethylenpropylen-Gummi für eine Dauer-Betriebstemperatur von 90 °C |
| G | Ethylenvinylacetat |
| J | Glasfasergeflecht |
| M | Mineral |
| N | Polychloropren-Gummi (oder gleichwertiger Werkstoff) |
| N2 | Spezial-Polychloropren-Gummimischung für Mäntel von Lichtbogenschweißleitungen |
| N4 | chlorsulfiniertes oder chloriertes Polyethylen |
| N8 | Spezial-Polychloropren-Gummi-Mischung – wasserbeständig |
| Q | Polyurethan |
| Q4 | Polyamid |
| R | Ethylen-Propylen-Gummi oder gleichwertiges synthetisches Elastomer für eine Dauer-Betriebstemperatur von 60 °C |
| S | Silikongummi |
| T | Textilgeflecht über den verseilten Adern |
| T6 | Textilgeflecht über jeder Ader einer mehradrigen Leitung |
| V | Polyvinylchlorid (PVC), weich |
| V2 | PVC, weich, für eine Dauerbetriebstemperatur von 90 °C |
| V3 | PVC, weich, für Leitungen bestimmt für den Einsatz bei niedrigen Temperaturen |
| V4 | PVC, weich, vernetzt |
| V5 | PVC, weich, ölbeständig |
| Z | vernetzte Polyolefinmischung für Leitungen, die im Brandfall wenig korrosive Gase und wenig Rauch entwickeln |
| Z1 | thermoplastische Polyolefinmischung für Leitungen, die im Brandfall wenig korrosive Gase und wenig Rauch entwickeln |

*Tabelle 8.2: (Fortsetzung)*

| Kurzzeichen | Bedeutung |
|---|---|
| **metallische Umhüllung** | |
| C | konzentrischer Kupferleiter |
| C4 | Kupferschirm als Geflecht über den verseilten Adern |
| **Leiterform/Leiterwerkstoff** | |
| F | feindrähtig bei flexiblen Leitern |
| H | feinstdrähtig bei flexiblen Leitungen |
| K | feindrähtig bei Leitungen für feste Verlegung |
| R | mehrdrähtig |
| U | eindrähtig |
| Y | Lahnlitze |
| (ohne) | Kupfer (Cu) |
| -A | Aluminium |
| **Besonderheiten im Aufbau** | |
| G | mal-Zeichen bei Ausführung mit grün-gelber Ader<br>(Beisp.: 4 G 16 = vieradrige Leitung mit grün-gelber Ader u. Querschnitt 16 $mm^2$) |
| H | flache, aufteilbare Leitung |
| H2 | flache, nicht aufteilbare Leitung |
| H6 | flache Leitung nach VDE 0283-2 mit 3 oder mehr Adern |
| H8 | Wendelleitung |
| X | mal-Zeichen bei Ausführung ohne grün-gelbe Ader<br>(Beisp.: 4 X 16 = vieradrige Leitung ohne grün-gelbe Ader u. Querschnitt 16 $mm^2$) |

*Beispiele für nationale Leitungen:*

NTMÖU-J 5 × 6: Trosse mit Gummimantel mit Schutzleiter 5 × 6 $mm^2$

NYIFY-O 2 × 1,5: Stegleitung ohne Schutzleiter 2 × 1,5 $mm^2$
(FY: äußere Umhüllung aus PVC; F: äußere Umhüllung aus Gummi)

*Beispiele für harmonisierte Leitungen:*

H05VV-F 2 X 1,5: harmonisierte PVC-Steuerleitung, ölbeständig, ohne Schutzleiter 2 × 1,5 $mm^2$

H07RN-F 3 G 1,5: harmonisierte Gummischlauchleitung (neue Bezeichnung: flexible Gummileitung)
3 × 1,5 $mm^2$ mit Schutzleiter

Eine Übersicht über die derzeit nach VDE genormten Leitungen für feste Verlegung gibt die Tabelle 8.6 und für flexible Leitungen die Tabelle 8.7.

### 8.1.3 Farben der Außenhüllen

Die Außenhüllen von Starkstromleitungen und Kabeln sind je nach Verwendungszweck unterschiedlich gefärbt (**Tabelle 8.3**).

***Tabelle 8.3:*** *Außenhüllen von Kabeln und Leitungen*

| Kabel bzw. Leitung | Kennzeichnung der Außenhülle |
|---|---|
| Leitungen und Kabel bis 1 kV | schwarz |
| Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt) in Sonderfällen (z. B. Wohnungen, Küchen, Molkereien) | hellgrau |
| Gummileitungen NSSHÖU und Kabel in Bergwerken unter Tage | gelb |
| Leitungen und Kabel über 1 kV | rot |
| Leuchtröhrenleitungen | gelb |
| Mäntel und Schutzhüllen von Kabeln in eigensicheren Anlagen bei farbiger Kennzeichnung | hellblau |

### 8.1.4 Farben der Adern

VDE 0293-1, -308, VDE 0197, VDE 0100-510 u. -520, VDE 0660-600-1

Für die Kennzeichnung von Leitern in Kabeln und Leitungen, von Aderleitungen, von Sammelschienen und in Geräten sind die Farben Schwarz, Braun, Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett, Grau, Weiß, Rosa und Türkis erlaubt. Die Einzelfarben Grün und Gelb dürfen nach der Errichtungsbestimmung VDE 0100-510 für die Farbkennzeichnung von Aderleitungen nicht verwendet werden, damit keine Verwechslung mit Schutzleitern, PEN-, PEL- und PEM-Leitern sowie Schutzpotenzialausgleichsleitern möglich ist. Die Farbkennzeichnung muss – wenn für bestimmte Anwendungen nichts anderes vorgeschrieben wird – an Anschlüssen und vorzugsweise durchgehend über die gesamte Leiterlänge, entweder durch die Farbe der Isolierung oder durch Farbmarken, erfolgen. Bei blanken Leitern muss eine Kennzeichnung an den Enden und allen Anschlusspunkten vorhanden sein. Zusätzliche Markierungen sind erlaubt, wenn die Farbkennzeichnung eindeutig bleibt.

Eine Farbkennzeichnung ist nicht erforderlich bei:

- konzentrischen Leitern in Kabeln und Leitungen,
- Metallmänteln oder Bewehrungen in Kabeln und Leitungen, die als Schutzleiter genutzt werden,
- blanken Leitern, bei denen eine permanente Kennzeichnung nicht durchführbar ist,

- äußeren leitfähigen Teilen, die als Schutzleiter genutzt werden,
- ungeschützten leitenden Teilen, die als Schutzleiter genutzt werden.

Nach VDE 0293-308 werden blanke konzentrische Leiter, wie metallene Mäntel, Armierungen oder Schirme nicht als Leiter betrachtet, weil ein konzentrischer Leiter durch seine Anordnung gekennzeichnet ist und daher nicht durch Farben gekennzeichnet zu werden braucht.

Für *Verdrahtungsleitungen* mit Bemessungsspannungen $U_0/U$ bis 300/500 V (Typ H05V...) sind alle zweifarbigen Kombinationen dieser Einzelfarben erlaubt, Ausnahme: grün-gelb. Die Einzelfarben grün und gelb dürfen nur insoweit verwendet werden, wie es die jeweils betreffenden Sicherheitsbestimmungen zulassen; grün ist zur Kennzeichnung von Lichterketten erlaubt.

Für *Aderleitungen* mit Bemessungsspannungen $U_0/U$ bis 450/750 V (Typ H07V...) dürfen die o. g. Farben mit Ausnahme der Farben grün und gelb verwendet werden. Zweifarbige Kombinationen sind nicht zulässig, Ausnahme: grün-gelb. Die Farbe der Ader von einadrigen Kabeln und einadrigen ummantelten Leitungen muss gelbgrün für den Schutzleiter und blau für den Neutralleiter sein. Als Farbe der Ader von einadrigen Kabeln und Leitungen für Außenleiter wird braun, schwarz oder grau empfohlen. Ausgenommen sind Illuminations- und Lichterkettenleitungen, bei denen die Ader braun ist.

Zu den *einadrigen* Kabeln und Leitungen gehören auch solche, die neben der einen Ader einen konzentrischen Leiter oder einen Metallmantel haben, der als Rückleiter dient. *Mehradrige* Kabel und Leitungen haben 2...5 Adern (einschl. Neutral- und Schutzleiter). *Vieladrige* Kabel und Leitungen sind solche mit mindestens 6 Adern gleichen Querschnitts.

Die farbliche Kennzeichnung der Adern sowohl von flexiblen Leitungen als auch von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung war bisher bei 2- und 3-adriger Ausführung unterschiedlich. Nun ist sie gleich (**Tabellen 8.4** und **8.5**). Neu ist auch, dass statt bisher 2 schwarzer Adern nun eine davon grau sein muss. Ausnahme: 5-adrige Kabel und Leitungen haben 2 schwarze Adern. Sind bei vieladrigen (> 5 Adern) Kabeln und Leitungen für feste Verlegung sowie flexiblen Leitungen die Adern numerisch gekennzeichnet und wird ein Leiter als Neutralleiter verwendet, muss dieser an jedem Leiterende blau gekennzeichnet werden. Schutzleiter bei mehradrigen Kabeln und Leitungen müssen über die gesamte Länge grün-gelb gekennzeichnet sein. Werden bei mehradrigen Kabeln und Leitungen numerisch gekennzeichnete Leiter als PEN-, PEL- oder PEM-Leiter verwendet, brauchen diese *nicht* durchgehend grün-gelb, müssen aber an jedem Leiterende grün-gelb und blau gekennzeichnet werden.

*Tabelle 8.4: Farbliche Kennzeichnung von Leitungsadern mit grün-gelber Ader*

| Adernanzahl | Kennzeichnung |
|---|---|
| 3 | grün-gelb, blau, braun |
| 4 | grün-gelb, schwarz, grau, braun bzw. in bestimmten Fällen grün-gelb, schwarz, blau, braun |
| 5 | grün-gelb, schwarz, blau, braun, grau |
| 6 und mehr | grün-gelb, weitere Adern mit Zahlenaufdruck |

*Tabelle 8.5: Farbliche Kennzeichnung von Leitungsadern ohne grün-gelbe Ader*

| Adernanzahl | Kennzeichnung |
|---|---|
| 2 | blau, braun |
| 3 | schwarz, braun, grau |
| 4 | schwarz, blau, braun, grau |
| 5 | schwarz, blau, braun, grau, schwarz |
| 6 und mehr | schwarz mit Zahlenaufdruck |

Konzentrisch ausgeführte Schutzleiter sind nicht besonders zu kennzeichnen; in diesem Fall gilt für die Farben der Ader die Kennzeichnung wie für Leitungen ohne Schutzleiter. Jedoch sollten die Enden oder zugänglichen Stellen deutlich grün-gelb oder mit dem Erdungszeichen gekennzeichnet werden (s. unten).

Bei Kabeln mit massegetränkter Papierisolierung gilt naturfarben als braun und grünnaturfarben als grün-gelb. Haben Kabel eine Ader mit geringerem Leiterquerschnitt, so ist diese Ader grün-gelb bzw. blau zu kennzeichnen.

Die Zweifarbenkombination grün-gelb muss zur Kennzeichnung des *Schutzleiters* und darf für keinen anderen Zweck verwendet werden, z. B. als Schalt- oder Außenleiter. Die grün-gelbe Kennzeichnung gilt auch für den PEN-Leiter. Bei nach März 1996 neu errichteten elektrischen Anlagen müssen isolierte PEN-Leiter zusätzlich zu der durchgehend grün-gelben Kennzeichnung an den Leiterenden blau markiert werden, z. B. durch Klebeband oder Isolierschlauch. In öffentlichen und damit vergleichbaren anderen Verteilungsnetzen, z. B. in der Industrie, kann die zusätzliche Kennzeichnung an den Leiterenden entfallen. Außerhalb Deutschlands kann der isolierte PEN-Leiter umgekehrt auch durchgehend blau und zusätzlich an den Leiterenden grün-gelb markiert sein. In Deutschland ist die durchgehend blaue Kennzeichnung für PEN-Leiter nicht zulässig, es sei denn, öffentliche oder damit vergleichbare Verteilungsnetze werden von einem TT-System in ein TN-System geändert. Auch *Schutzpotenzialausgleichsleiter* und *Erdungsleiter mit Schutzfunktion* sind wie Schutzleiter grün-gelb zu kennzeichnen. Hier genügt es, die Enden dauerhaft grün-gelb zu kennzeichnen, z. B. durch einen grün-gelben Isolierschlauch.

Wird ein konzentrischer Leiter oder der Metallmantel eines Kabels als Schutzleiter verwendet, so braucht dieser nicht besonders gekennzeichnet zu sein. Die Enden oder zugänglichen Stellen sollten jedoch grün-gelb oder durch das Schutzleitersymbol (Erdungszeichen im Kreis) gekennzeichnet sein.

Für den *Neutralleiter* N (bei Wechselstrom) und den *Mittelleiter* M (bei Gleichstrom) ist die blaue Ader oder, wenn eine solche fehlt, eine Ader mit Zahlenaufdruck, z. B. mit „1", zu verwenden. Wo der Neutralleiter nicht benötigt wird, darf die blaue Ader auch für einen anderen Leiter, jedoch nicht für den Schutzleiter verwendet werden.

Bestehen Schutzleiter und Neutralleiter/Mittelleiter aus blanken Leitern oder Sammelschienen, so müssen diese mit geschlossen aneinander liegenden gleich breiten grünen und gelben Streifen (PE) bzw. blauen Streifen (N, M) gekennzeichnet sein. Die einzelnen Streifen müssen zwischen 15 mm und 100 mm breit sein. Die Kennzeichnung muss über die gesamte Länge jedes Leiters oder in jedem Feld oder Fach oder Gehäuse oder an jeder zugänglichen Stelle angebracht sein. Es kann auch grün-gelbes (PE) bzw. blaues (N, M) Klebeband verwendet werden. Die beschriebene Kennzeichnung gilt nicht für Schaltgerätekombinationen (Schaltanlagen oder Verteiler). Konstruktionsteile und fremde leitfähige Teile, die als Schutzleiter verwendet werden, müssen nicht gekennzeichnet werden.

Innerhalb von Geräten, Schaltanlagen oder Verteilern wird bei einadriger Verdrahtung – mit Ausnahme für den Schutz- und Neutralleiter – keine Farbkennzeichnung der Leiter vorgeschrieben. Diese liegt in der Verantwortung des Herstellers der Geräte, Schaltanlagen oder Verteiler. Bei Einzelanfertigungen bzw. Anfertigungen auf Bestellung ist jedoch eine Absprache mit dem Abnehmer zu empfehlen. Der Schutzleiter muss jedoch bei Farbkennzeichnung in jedem Fall grün-gelb sein. Wird als Schutzleiter eine isolierte einadrige Leitung verwendet, so muss sich die grün-gelbe Kennzeichnung möglichst über die ganze Länge erstrecken. Für den Neutralleiter wird bei Farbkennzeichnung blau empfohlen. Werden die Schutz- und Neutralleiter nicht durch Farbe gekennzeichnet, so muss der Schutzleiter durch Form, Anordnung oder Kennzeichnung leicht erkennbar sein. Für den Neutralleiter ist dies zu empfehlen.

Zur Farbkennzeichnung von Leitern speziell bei elektrischen Einrichtungen für Maschinen siehe Abschnitt 11.6.

Die Adern einadriger Kabel und Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt), die als Schutzleiter, PEN-Leiter oder Neutralleiter verwendet werden, brauchten bis zum Inkrafttreten des Teils 510 der VDE 0100 am 1. Jan. 1997 nicht besonders gekennzeichnet zu werden. Beim Errichten musste jedoch eine dauerhafte Kennzeichnung an den Enden angebracht werden, und zwar grün-gelb für den Schutzleiter und PEN-Leiter sowie hellblau für den Neutralleiter. Als Enden galten die Teile des Kabels oder der Leitung, bei denen an Anschlussstellen der Mantel

entfernt wurde. Diese Ausnahme von der allgemein notwendigen durchgehenden Kennzeichnung war bei einadrigen Kabeln und Leitungen noch zulässig, wenn sie als Schutzleiter verwendet wurden und die Schutzleiter oder PEN-Leiter durch ihre Anordnung leicht zu erkennen waren. An den Enden sollten die Leiter jedoch dauerhaft grün-gelb gekennzeichnet werden. Nun muss auch bei einadrigen Kabeln und Leitungen die Ader durchgehend grün-gelb gekennzeichnet sein (s. S. 366). Jedoch dürfen ummantelte einadrige Kabel und Leitungen sowie Aderleitungen, die nach ihren Betriebsmittelnormen nicht mit grün-gelber oder blauer Isolierung erhältlich sind, z. B. bei großen Querschnitten von mehr als 16 $mm^2$, verwendet werden als

- Schutzleiter, wenn eine grün-gelbe Markierung an jeder Anschlussstelle angebracht wird,
- PEN-Leiter, wenn eine grün-gelbe *und* eine blaue Markierung an jeder Anschlussstelle angebracht wird, und
- Neutralleiter, wenn eine blaue Markierung an jeder Anschlussstelle angebracht wird.

Es ist aber darauf zu achten, dass die Kennzeichnung an den Leiterenden dauerhaft ausgeführt ist und die Markierungsbänder bei der Verlegung nicht verloren gehen oder beschädigt werden können.

Die Elektrofachkraft darf sich niemals auf die Farbkennzeichnung einer ihr unbekannten Anlage verlassen. Bei Instandsetzungen muss sie stets die Zugehörigkeit der einzelnen Adern selbst prüfen.

Grundsätzlich sind beim Neubau, bei der Erweiterung und beim Wiederaufbau elektrischer Anlagen neue, d. h. zu diesem Zeitpunkt geltende VDE-Bestimmungen anzuwenden. Bei Nachinstallationen muss besonders sorgfältig geprüft werden, welche Ader bisher als Schutzleiter verwendet wurde. Nach Fertigstellen der Anlage sind alle Anschlüsse erneut zu überprüfen, um mit Sicherheit Verwechslungen zwischen Außenleiter und Schutzleiter auszuschließen.

Man darf jedoch das alte und neue Farbsystem nicht etwa im selben Rohr „mixen", also z. B. in einem Isolierrohr gleichzeitig eine grün-gelbe und rote oder graue Ader verlegen. Dagegen bestehen keine Bedenken, das neue System bei Erweiterungen an das alte „anzuknüpfen". In diesem Fall wäre im TN-System grün-gelb mit rot und blau zu verbinden. Ein grauer PEN-Leiter wäre mit grün-gelb weiterzuführen. Schließlich ist es bei Erweiterungen notwendig, den PEN-Leiter in der Altanlage in einen grün-gelben Schutzleiter und einen blauen N-Leiter aufzuspalten.

### 8.1.5 Leitungen für feste Verlegung

VDE 0298-3, -300 (zurückgezogen), -565-1 u. -2

Einen Überblick über die Leitungen für feste Verlegung gibt die **Tabelle 8.6**. Die bisherige VDE-Bestimmung 0298-300 ist am 01.02.2015 zurückgezogen worden und durch die zwei Teilbestimmungen VDE 0298-565-1 und -2 ersetzt worden. Für VDE 0298-300:2009-09 besteht eine Übergangsfrist bis zum 17.02.2017. Bei VDE 0298-300 handelt es sich um ein Harmonisierungsdokument. Bei den neuen Teile der Bestimmung VDE 0298-565-1 und -2 handelt es sich um die deutsche Fassung der europäischen Norm EN 50565-1 u. -2 und ist damit auch deutsche Norm (DIN EN 50565-1 u. -2). Der Teil 1 enthält den allgemeinen Leitfaden für die Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen, der Teil 2 die spezifischen – wie es heißt – Leitlinien für jeden Kabel- und Leitungstyp, wie Bezeichnungen, Konstruktionsdetails. Installationsempfehlungen, Betriebsbedingungen, Betriebseinschränkungen, Temperaturgrenzen, empfohlene Verwendung und Eignung und natürlich auch Aktualisierungen gegenüber dem zurückgezogenen Teil 300.

Isolierte Starkstromleitungen dürfen nicht im Erdreich verwendet werden. Allerdings gelten Durchführungen von Leitungen durch Brandabschottungen in Form von Sandtassen usw. oder zeitlich begrenzte Abdeckungen von Gummischlauchleitungen NSSHÖU oder Leitungstrossen mit Erdreich, Sand oder ähnlichem Material (z. B. auf Baustellen) nicht als Erdverlegung.

*Leitungen mit flammwidrigem Mantel*, z. B. NYM, NYBUY, H07VVH6-F, dürfen unmittelbar auf und in normal entflammbaren Bauteilen, wie Holzbalken und -brettern, verlegt werden. Das Verlegen von Leitungen in Holzkanälen kommt dem in wärmedämmenden Wänden gleich. Nach VDE 0298-4 beträgt dort die Belastbarkeit z. B. einer mehradrigen Leitung mit einem Leiterquerschnitt von 1,5 $mm^2$ Cu im Drehstrombetrieb nur 13 A. Werden zwei dieser Leitungen in einen Kanal gelegt, so reduziert sich die Belastbarkeit nach der gleichen Norm auf 10,4 A. Aderleitungen dürfen anstelle von mehr- und vieladrigen Leitungen bei geschützter Verlegung, z. B. in Rohren, Kanälen, Schaltanlagen, verwendet werden. Bevorzugt werden PVC-Aderleitungen der Bauart H07V-U/R/K.

*PVC-Aderleitungen* und Verdrahtungsleitungen sind ausschließlich für die innere Verdrahtung von Schaltschränken und Geräten bestimmt. Üblich sind PVC-Aderleitungen H05V-U/K. Im zu öffnenden Elektroinstallationskanal darf diese Bauart nur für Signal- und Überwachungskreise verwendet werden.

*Kabel und Leitungen mit verbessertem Verhalten im Brandfall* (alte Bezeichnung: halogenfreie Kabel und Leitungen) eignen sich wegen ihres verbesserten Verhaltens im Brandfall besonders für feuergefährdete Betriebsstätten (**Bild 8.1** auf S. 376).

*Tabelle 8.6: Leitungen für feste Verlegung*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt $mm^2$ | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II [3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PVC-Verdrahtungsleitung | H05V-U<br>H05V-K | 0285-525-2-31 | 300/500 | 1 | 0,5···1 | 70/160 | nein | innere Verdrahtung von Geräten und Leuchten; für Signalanlagen Verlegung in Rohr a. P./u. P. |
| PVC-Aderleitung | H07V-U<br>H07V-R<br>H07V-K | 0285-525-2-31 | 450/750 | 1 | 1,5···10<br>1,5···1 000<br>1,5···240 | 70/160<br>> 300 $mm^2$: 70/140 | nein | Verlegung in Rohren a. P./u. P. und in geschlossenen Installationskanälen; Verdrahtung von Geräten, Schaltanlagen und Verteilern |
| wärmebeständige PVC-Verdrahtungsleitung | H05V2-U<br>H05V2-R<br>H05V2-K | 0285-525-2-31 | 300/500 | 1 | 0,5···1 | 90/160 | nein | innere Verdrahtung u. geschützte Verlegung in Geräten und von Leuchten, wo höchste Temperatur am Leiter bei bestimmungsgemäßem Gebrauch ≤ 90 °C. Geeignet für Installation im E-Rohr, auf oder unter Putz, jedoch nur für Signal- u. Steuerstromkreise. |
| wärmebeständige PVC-Aderleitung | H07V2-U<br>H07V2-R<br>H07V2-K | 0285-525-2-31 | 450/750 | 1 | 1,5···10<br>1,5···35<br>1,5···35 | 90/160 | nein | Installation im E-Rohr auf oder unter Putz oder in ähnlichen geschlossenen Systemen, wo höchste Temperatur am Leiter bei bestimmungsgemäßem Gebrauch ≤ 90 °C. Bei Verwendung in elektrischen Verteilungsanlagen muss die Dauerbetriebstemperatur am Leiter auf 70 °C begrenzt werden. Geeignet für geschützte feste Verlegung, in Beleuchtungsanlagen oder Schalt- und Steuergeräten für $U \leq$ AC 1 000 V oder bis ≤ DC 750 V gegen Erde. |

*Tabelle 8.6:* *(Fortsetzung)*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt $mm^2$ | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II [3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aderleitungen mit erhöhter Wärmebeständigkeit | H07G-U<br>H07G-R<br>H07G-K | 0285-525-2-42 | 450/750 | 1 | 1,5···10<br>1,5···240<br>1,5···240 | 110/250 | nein | Installation im Rohr auf oder unter Putz oder in ähnlichen geschlossenen Systemen bei hohen Umgebungstemperaturen u. einer Leitertemperatur im bestimmungsgemäßen Gebrauch von ≤ 110 °C |
| Verdrahtungsleitungen mit erhöhter Wärmebeständigkeit | H05G-U<br>H05G-K | 0285-525-2-42 | 300/500 | 1 | 0,5···1 | 110/250 | nein | für innere Verdrahtung von Betriebsmitteln und Anlagen bei hoher Umgebungstemperatur und einer Leitertemperatur im bestimmungsgemäßen Gebrauch ≤ 110 °C |
| ETFE-Aderleitung mit erhöhter Wärmebeständigkeit | N7YA<br>N7YAF | 0250-106 | 450/750 | 1 | 0,25···6 | 135/250* * 160 bei Weichlotverbindung | nein | zur inneren Verdrahtung von Betriebsmitteln der Leistungselektronik, von Wärmegeräten und von Leuchten bei Umgebungstemperaturen > 55 °C; bei $S \geq 1{,}5\ mm^2$ Verlegung in Rohr a. P./u. P. |
| wärmebeständige Silikon-Aderleitung ohne Geflecht | H05S-K<br>H05S-U | 0285-525-2-41 | 300/500 | 1 | 0,5···2,5 | 180/350 | nein | für innere Verdrahtung von Betriebsmitteln u. in geschützten Räumen mit hohen Umgebungstemperaturen bei einer Leitertemperatur im bestimmungsgemäßen Gebrauch ≤ 180 °C; empfindlich gegen mechanische Belastung; Beschädigungsgefahr durch Ziehen über scharfe Kanten und durch Abrieb |

*Tabelle 8.6: (Fortsetzung)*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt $mm^2$ | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II[3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| wärmebeständige einadrige silikonisolierte und -ummantelte Leitung | H05SS-K | 0285-525-2-41 | 300/500 | 1 | 0,75···2,5 | 180/250 | nein | für innere Verdrahtung u. in geschützten Räumen mit hohen Umgebungstemperaturen bei Leitertemperatur im bestimmungsgemäßen Gebrauch ≤ 180 °C, insbesondere wenn es erforderlich ist, Leitungen mit Isolierhülle u. Mantel einzusetzen; empfindlich gegen mechanische Belastung; Beschädigungsgefahr durch Ziehen über scharfe Kanten und durch Abrieb; bei S ≥ 1,5 $mm^2$ Verlegung in Rohr a. P/u. P. zulässig |
| Silikon-Aderleitung mit erhöhter Wärmebeständigkeit | N2GFA<br>N2GFAF | 0250-502 | 300/300 | 1 | 0,75 | 180/350 | nein | für den Einsatz bei Umgebungstemperaturen $\vartheta_U$ > 55 °C; insbesondere zur inneren Verdrahtung von Leuchten |
| wärmebeständige Silikon-Aderleitung[2] | H05SJ-K<br>H05SJ-U | 0285-525-2-41 | 300/500 | 1 | 0,5···95<br>1···10 | 180/350 | nein | für innere Verdrahtung u. in geschützten Räumen mit hohen Umgebungstemperaturen bei Leitertemperatur im bestimmungsgemäßen Gebrauch ≤ 180 °C; Beschädigungsgefahr durch Ziehen über scharfe Kanten und durch Abrieb; bei $S \geq 1{,}5$ $mm^2$ Verlegung in Rohr a. P./u. P. |
| Sonder-Gummiaderleitung bis 3,6/6 kV | NSGAÖU<br>NSGAFÖU | 0250-602 | 0,6/1 kV<br>1,7/3 kV<br>3,6/6 kV | 1 | 1,5···300 | 90/250 | nein | für Schienenfahrzeuge und Obusse sowie in trockenen Räumen; kurzschluss- und erdschlusssichere Verlegung in Schaltanlagen bei $U \geq 3$ kV |

*Tabelle 8.6:* *(Fortsetzung)*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt $mm^2$ | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II[3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| einadrige Leitungen ohne Mantel zur Verlegung bei tiefen Temperaturen | H07V3-U<br>H07V3-R<br>H07V3-K | 0281-9 | 450/750 | 1 | 1,5···400<br>1,5···400<br>1,5···240 | 70/160 | nein | innere Verdrahtung bei niedrigen Temperaturen (–25 °C) |
| Stegleitung | NYIF<br>NYIFY | 0250-201 | 230/400 | 2···5<br>2···3 | 1,5/2,5 4 | 70/160 | nein | in und unter Putz in trockenen Räumen sowie in Hohlräumen aus nicht brennbaren Baustoffen |
| PVC-Installationsleitung | NYM | 0250-204 | 300/500 | 1<br>2···5<br>7 | 1,5···16<br>1,5···35<br>1,5/2,5 | 70/160 | ja | auf, in und unter Putz in trockenen und feuchten Räumen und im Freien |
| PVC-Installationsleitung mit Tragseil | NYMT | 0250-206 | 300/500 | 2···5 | 1,5···35 | 70/160 | ja | für selbsttragende Aufhängung, auch im Freien; Spannweite bis 50 m |
| Bleimantelleitung | NYBUY | 0250-210 | 300/500 | 2···5 | 1,5···35 | 70/160 | ja | wie NYM, sowie bei Einwirkungen durch Lösungsmittel oder andere Chemikalien |
| mineralisolierte Leitung | leichte schwere Bauart | 0284-1 | 500<br>750 | 1,2-4,7<br>2…4, 7, 12, 19 | 1···4<br>1,0···400 | keine Angabe | ja | leichte Bauart (500 V), schwere Bauart (750 V); wie NYM, in feuergefährdeten Betriebsstätten sowie bei geforderten Funktionserhalt |
| isolierte Heizleitung | NH… (s. S. 377) | 0253 | 300/500 | 1 | – | – | – | Verwendung je nach Heizleitungsart in Rohren, Kanälen, in und unter Putz und in Beton |

*Tabelle 8.6: (Fortsetzung)*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt mm² | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II [3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Installationsleitung mit verbessertem Verhalten im Brandfall | NHXMH | 0250-214 | 300/500 | 1<br>2···5<br>7 | 1,5···16<br>1,5···35<br>1,5/2,5 | 70/160 | ja | in feuer- oder explosionsgefährdeten Bereichen bzw. in Gebäuden mit hoher Personenanzahl und Sachwertkonzentration |
| Installationsleitung mit speziellen Eigenschaften im Brandfall | NHMH | 0250 -215 | 300/500 | 1<br>2···5<br>7 | 1,5···16<br>1,5···35<br>1,5/2,5 | 70/250 | ja | wie NYM |
| halogenfreie, raucharme Verdrahtungsleitungen für feste Verlegung mit vernetzter Isolierung | H05Z-U<br>H05Z-K | 0285-525-3-41 | 300/500 | 1 | 0,5···1,0 | 90/250 | nein | feste geschützte Verlegung in Betriebsmitteln u. für den Anschluss von Leuchten; geeignet für Installation im E-Installationsrohr auf oder unter Putz, jedoch nur für Signal- u. Steuerstromkreise; nicht für Isolationserhalt im Brandfall |
| halogenfreie, raucharme Aderleitungen für feste Verlegung mit vernetzter Isolierung | H07Z-U<br>H07Z-R<br>H07Z-K | 0285-525-3-41 | 450/750<br>450/750<br>400/750 | 1<br>1<br>1 | 1,5···10<br>1,5···630<br>1,5···240 | 90/250 | nein | Verlegen im E-Installationsrohr, im zu öffnenden u. geschlossenen E-Installationskanal, Verdrahtung innerhalb von Betriebsmitteln; für geschützte Verlegung in Beleuchtungsanlagen; Anwendungen, in denen im Brandfall gefordert wird, dass nur wenig Rauch und korrosive Gase freigesetzt werden; nicht für Isolationserhalt im Brandfall |

*Tabelle 8.6:* *(Fortsetzung)*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt $mm^2$ | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II[3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| halogenfreie, raucharme Aderleitungen (H07...) bzw. Verdrahtungsleitungen (H05...) mit thermoplastischer Isolierung für feste Verlegung (gibt im Brandfall nur geringe Mengen Rauch und korrosive Gase ab) | H07Z1-U<br>H07Z1-R<br>H07Z1-K<br>H05Z1-U<br>H05Z1-R<br>H05Z1-K | 0285-<br>525-3-31 | 450/750<br>450/750<br>450/750<br>300/500 | 1<br>1<br>1<br>1<br>1<br>1 | 1,5···10<br>1,5···630<br>1,5···240<br>0,5···1,0 | 70/160[4] | nein | Leitungen H05... u. H07...: nicht ausgelegt, um Isolationserhalt im Brandfall zu gewähren; Installation im E-Installationsrohr auf oder unter Putz (H05: nur für Signal- und Steuerstromkreise); im zu öffnenden Elektro-Installationskanal (H05: nur für Signal- und Überwachungskreise); Verdrahtung innerhalb von Geräten und Betriebsmitteln; speziell für Anwendungen Leitung H07...: im geschlossenen Elektro-Installationskanal; geschützte feste Verlegung in Beleuchtungsanlagen oder Schalt- und Steuergeräten für $U_0 \leq$ AC 1000 V/ DC ≤ 750 V im zu öffnenden u. geschlossenen E-Installationskanal; Leitungen des Typs 2 für Bereiche mit besonderen Anforderungen im Brandfall oder wenn durch örtliche Bedingungen oder Regulierungen erhöhte Anforderungen an die öffentliche Sicherheit gefordert sind (z. B. in Krankenhäusern, Kinos oder Schulen). Besonders für die Verlegung in Bündeln geeignet.<br>Leitung H05...: Feste und geschützte Verdrahtung in Geräten u. für Anschlüsse von Leuchten. |

[1] $\vartheta_B$ Grenztemperatur am Leiter im Betrieb, $\vartheta_K$ Grenztemperatur am Leiter bei Kurzschluss, $\vartheta_U$ Umgebungstemperatur

[2] Bei Verlegung in Rohrsystemen müssen diese an den Enden offen und belüftet sein, da bei Luftabschluss in Verbindung mit Temperaturen über 90 °C sich die mechanischen Eigenschaften des Silikongummis verschlechtern.

[3] SKII: geeignet für Schutzklasse II (schutzisoliert)

[4] H07Z1-R: > 300 $mm^2$: 140 °C

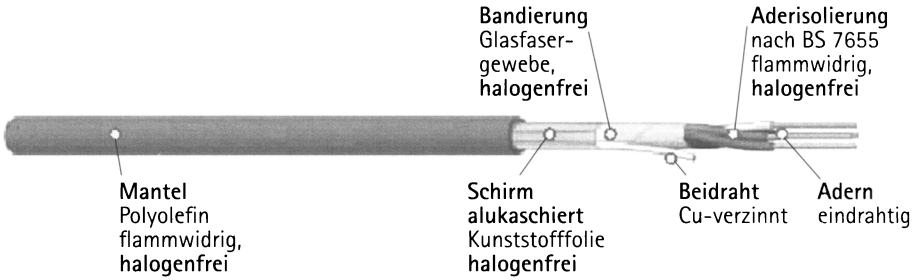



***Bild 8.1:*** *Abisolierte halogenfreie Leitung (Werkbild: Dätwyler)*

*Mineralisolierte Leitungen* werden in erster Linie für die Stromversorgung wichtiger Sicherheitseinrichtungen verwendet. Die Leitungen gibt es in leichter Bauart (Bemessungsspannung 500 V) und in schwerer Bauart (Bemessungsspannung 700 V). Die bisherige Bauartkennzeichnung NUM ist zurückgezogen worden, eine neue Bauartkennzeichnung gibt es zz. nicht. Die Kupferleiter sind in eine festgepresste Mineralisolierung aus Magnesiumoxidpulver eingebettet und mit einem nahtlos gezogenen Kupfermantel umhüllt, der zugleich als Schutzleiter dienen kann. Die Leitung ist nicht brennbar, alterungsbeständig, wasserdicht, äußerst robust und korrosionsbeständig. Für mineralisolierte Leitungen sind spezielle Endabschlüsse erforderlich, die VDE 0284-2 entsprechen müssen (**Bild 8.2**). Mineralisolierte Leitungen sollten nur von fachkundigen Personen ausgewählt, installiert und in Betrieb genommen werden. Dabei sind die Herstellerangaben und der Anwendungsleitfaden (VDE 0284-3) über mineralisolierte Leitungen unbedingt zu beachten.

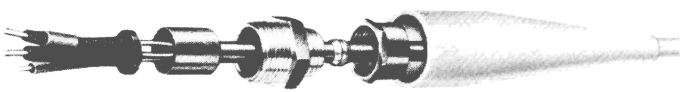


***Bild 8.2:*** *Endabschluss einer mineralisolierten Leitung*

Neben den nach VDE genormten Leitungen bieten verschiedene Hersteller eine Reihe von *nicht genormten Leitungen für Sonderfälle* an. Der Hersteller hat hier die Verpflichtung, die allgemein geltenden sicherheitstechnischen Anforderungen für Leitungen einzuhalten. Er haftet dafür im Rahmen seiner Produkthaftung.

Eine Sonderkonstruktion sind z. B. die von einem Hersteller angebotenen *Flachleitungen*, die für das Verlegen unter dem Teppichboden geeignet sind (**Bild 8.3**). Der Querschnitt des Leiters ist auf 89 mm Breite und weniger als 1 mm Höhe verteilt. Angeboten werden Energie-, Telefon- und Koaxialleitungen. Die Energieleitung wird an der Unterseite durch ein PVC-Band und an der Oberseite durch ein Kup-

ferband geschützt, das in Abständen von 700 mm mit dem Schutzleiter verbunden ist. Zusätzliche Sicherheit bietet eine Stahlfolie, die die Leiter überlappt und somit einen weiteren mechanischen Schutz bewirkt. Die rollstuhlfeste Leitung wird auf den fertigen Fußboden unter den Teppichboden geklebt. Für die Leitung gibt es spezielle Wandanschlüsse, Leitungsverbinder, Abzweigvorrichtungen und Bodenanschlusstanks.

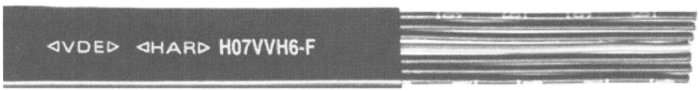



***Bild 8.3:*** *Flexible und kältefeste Flachleitung H07VVH6-F nach der zurückgezogenen VDE 0281-404, jetzt: VDE 0283-2 (Werkbild: Brunskabel)*

*Heizleitungen* (VDE 0253) geben Wärme für Heizzwecke ab. Die Leitungen gibt es mit oder ohne Schirm oder Metallmantel. Der isolierte *Heizleiter* ist der metallene Teil einer Heizleitung, in dem elektrische Energie in Wärme umgesetzt wird. Das Bauartkurzzeichen beginnt bei allen Leitungen mit der Buchstabenkombination NH... Die Heizleitungen bestehen alle aus dem Heizleiter und einer Isolierhülle. Die Leitung mit dem Kurzzeichen NHM hat zusätzlich einen Mantel, diejenige mit dem Kurzzeichen NHQU zusätzlich eine metallene Umhüllung und eine Schutzhülle, die mit dem Kurzzeichen NHKU zusätzlich einen Bleimantel und eine Schutzhülle, die mit dem Kurzzeichen NHW zusätzlich einen Wellmantel.

## 8.1.6 Flexible Leitungen

Einen Überblick über flexible Leitungen gibt **Tabelle 8.7**.

Für geringe mechanische Beanspruchung in trockenen Wohnräumen, auch für Bügeleisen, war die inzwischen zurückgezogene *flexible Gummileitung* H03RT-F (alte Bezeichnung: Gummiaderschnur H03RT-F (NSA)) 0,75...1,5 $mm^2$ geeignet. Die vergleichbare Leitung, die nun für diesen Zweck anwendbar ist, ist die Leitung mit *EPR-Isolierhülle und Textilgeflecht für Anwendungen, die hohe Flexibilität erfordern* H03RT-H. Wird bei Kleingeräten Wärmestrahlungsschutz für notwendig erachtet, dann kann eine *Silikonschlauchleitung* gewählt werden, die bis zu einer Grenztemperatur von 180 °C beansprucht werden darf.

*Tabelle 8.7: Flexible Leitungen*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt $mm^2$ | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II[3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lahnlitzen-leitung (auch Lahnlitzen-Zwillingslei-tung genannt) mit thermo-plastischer PVC-Isolierung | H03VH-Y (früher: NLYZ) | 0285-525-2-71 | 300/300 | 2 | 0,1 | 40/150 | ja | für leichte Handgeräte, $I \leq 0{,}2$ A, $l \leq 2$ m, z. B. Rasiergeräte |
| Zwillingslei-tung | H03VH-H | Normteil ersatzlos zurück-gezogen | 300/300 | 2 | 0,5/0,75 | 70/150 | ja | in trockenen Räumen bei sehr gerin-gen mechanischen Beanspruchungen; nicht für Elektrowerkzeuge und Heiz-geräte; nicht in gewerblichen oder landwirtschaftlichen Betrieben, jedoch erlaubt in Schneiderwerkstätten u. dgl. |
| Schlauchleitung mit thermo-plastischer PVC-Isolierung für leichte Be-anspruchung | H03VV-F, rd.<br>H03VVH2-F, fl. | 0285-525-2-11 | 300/300 | 2···4<br>2 | 0,5/0,75 | 60/150 | ja | in Haushalten und Büroräumen, für Geräte und Anwendungen mit leichter Beanspruchung (z. B. Radiogeräte, Tisch- u. Stehleuchte, Büromaschinen); nicht für Heizgeräte geeignet; bei Lei-tungen mit $S = 0{,}5$ $mm^2$: Länge ≤ 2 m u. Strombelastung ≤ 3 A |
| Schlauchleitung mit thermo-plastischer PVC-Isolierung für mittlere Be-anspruchung | H05VV-F, rd.<br>H05VVH2-F, fl. | 0285-525-2-11 | 300/500 | 2···5<br>2 | 0,75···4<br>1,0···2,5 | 60/150 | ja | in Haushalten u. Büroräumen, für Anwendungen mit mittlerer Beanspru-chung und Haushaltsgeräten, inklusive Feuchträumen (z. B. Staubsauger, Waschmaschinen, Wäscheschleudern und Kühlschränke); vorübergehende u. zeitlich begrenzte Verwendung im Freien |

*Tabelle 8.7: (Fortsetzung)*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt mm² | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II [3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PVC-Wendelleitung mit thermoplastischer PVC-Isolierung für leichte Beanspruchung | H03VVH8-F, rd.<br>H03VVH2H8-F, fl. | 0285-525-2-12 | 300/300 | 2/3<br>2 | 0,5···0,75 | 60/150 | ja | bei leichten mechanischen Beanspruchungen in Haushalt, Küchen und Büroräumen für leichte Handgeräte (Radiogeräte, Tisch- u. Stehleuchten, Büromaschinen); nicht für Koch- und Wärmegeräte; bei Leitungen mit $S = 0{,}5$ mm²: Länge ≤ 2 m u. Strombelastung ≤ 3 A |
| PVC-Wendelleitung mit thermoplastischer PVC-Isolierung für mittlere Beanspruchung | H05VVH8-F, rd.<br>H05VVH2H8-F, fl. | 0285-525-2-12 | 300/500 | 2/3<br>2 | 0,75···1,5<br>0,75 | 60/150 | ja | bei mittleren mechanischen Beanspruchungen in Haushalten, Küchen, Büroräumen; für Hausgeräte auch in feuchten Räumen (z. B. Waschgeräte, Kühlschränke); vorübergehende u. zeitlich begrenzte Verwendung im Freien |
| trennbare Zwillingsleitung mit thermoplastischer PVC-Isolierung | H03VH7H-F | 0285-525-2-72 | 300/300 | 2 | 0,5 | 60/150 | ja | für die interne Verdrahtung oder zum Anschluss von Leuchten der Schutzklasse II (schutzisoliert); bei Nutzung als Anschlussleitung: Länge ≤ 2 m; Betriebsstrom ≤ 3 A |
| wärmebeständige Schlauchleitung mit thermoplastischer PVC-Isolierung für leichte Beanspruchung (90 °C) | H03V2V2-F, rd.<br>H03V2V2H2-F, fl. | 0285-525-2-11 | 300/300 | 2···4<br>2 | 0,5 u. 0,75 | 90/150 | ja | bei leichten mechanischen Beanspruchungen in Haushalten, Küchen, Büroräumen, für leichte Handgeräte, bei hohen Umgebungstemperaturen; für interne Verdrahtung; bei Leitungen mit $S = 0{,}5$ mm²: Länge Leitung ≤ 2 m u. Strombelastung ≤ 3 A |

*Tabelle 8.7: (Fortsetzung)*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt $mm^2$ | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II [3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| wärmebeständige Schlauchleitung mit thermoplastischer PVC-Isolierung für mittlere Beanspruchung (90 °C) | H05V2V2-F, rd.<br>H05V2V2H2-F, fl. | 0285-525-2-11 | 300/500 | 2···5<br>2 | 0,75···4,0<br>0,75···1,5 | 90/150 | ja | bei mittleren mechanischen Beanspruchungen in Haushalten, Büroräumen; für Haushaltsgeräte bei hohen Umgebungstemperaturen und in Geräten ohne Kontakt mit heißen Teilen; vorübergehende u. zeitlich begrenzte Verwendung im Freien |
| wärmebeständige Schlauchleitung mit thermoplastischer PVC-Isolierung u. mit Zugentlastungselementen für mittlere Beanspruchung (90 °C) | H05V2V2D3-F (Ersatz für NYPLYW Pendelschnur) | 0285-525-2-11 | 300/500 | 2···4 | 0,75 | 90/150 | ja | für den Anschluss von Pendelleuchten, speziell bei hohen Umgebungstemperaturen; vorübergehende u. zeitlich begrenzte Verwendung im Freien; es muss sichergestellt werden, dass Last nur durch das Zugentlastungselement aufgenommen wird u. nicht durch die Leiter; Empfehlung: Bruchlast der Zugentlastung ≥ 250 N, Nutzlast ≥ 50 % niedriger |

*Tabelle 8.7: (Fortsetzung)*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt $mm^2$ | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II[3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ölbeständige Steuerleitung mit thermoplastischer PVC-Isolierung, geschirmt und ungeschirmt | H05VV5 F<br>H05VVC4V5-K | 0285-525-2-51 | 300/500 | 2···60 | 0,5 ···2,5 | 60/150 | ja | für Anschluss u. Verbindung von Steuergeräten in und an Be- und Verarbeitungsmaschinen; nicht für dauernde Biegebeanspruchung geeignet; Leitungen dürfen nach der Installation bewegt werden, insbesondere zur Ein- und Ausrichtung sowie zur Inspektion der Maschinen, ohne mechanische Überlastung der Leitungen während der Bewegungen; beständig gegen Allzweckmineralöle, darf aber nicht dauernd im Öl verbleiben; Installation in Rohren, Kanälen empfohlen; bei Spezialölen: Rückfrage beim Leitungshersteller; Vermeiden der Kontaminierung mit Kohlenwasserstoffen, Säuren u. Laugen |

*Tabelle 8.7: (Fortsetzung)*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt mm² | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II [3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| wärmebeständige Schlauchleitungen mit Polyurethanmantel für mittlere (H05...) und für schwere (H07...) Beanspruchung (früher: Gummischlauchleitung) | H05BQ-F (früher: NGMH11YÖ)<br>H07BQ-F | 0285-525-2-21 | 300/500<br>450/750 | 2···5<br>2···5 | 0,75/1,0<br>1,0···16 | 90/250 | ja<br>ja | Geräteanschlussleitung für leichte (H05...) oder schwere (H07...) mechanische Beanspruchung; für allgemeine Anwendungsfälle mit *leichter* Beanspruchung in Haushalten, Küchen und Büroräumen mit vorübergehender und zeitlich begrenzter Verwendung im Freien (H05...) und für Anwendungsfälle in gewerblichen und landwirtschaftlichen Werkstätten mit *schwerer* Beanspruchung und Anschluss von gewerblichen und landwirtschaftlichen Maschinen mit Verwendung in trockenen, feuchten oder nassen Räumen, auch für feste Verlegung, z. B. auf Putz in provisorischen Bauten und Wohnbaracken (H07...) |
| wärmebeständige EVA-Schlauchleitungen für mittlere Beanspruchung (früher: wärmebeständige Gummischlauchleitung) | H05GG-F (runde Leitung)<br>H05GGH2-F (flache Leitung) | 0285-525-2-21 | 300/500 | 2···5<br>3/4<br>2 | 0,75···2,5<br>0,75···6,0<br>0,75 | 110/250 | ja | in Haushalten, Küchen und Büroräumen, bei hohen Umgebungstemperaturen zum Anschluss von Geräten bei geringer mechanischer Belastung; zeitlich begrenzte Verwendung im Freien |

*Tabelle 8.7: (Fortsetzung)*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt mm² | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II[3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| wärmebeständige Schlauchleitung mit Elastomer-Isolierung für mittlere Beanspruchung | H05BB-F | 0285-525-2-21 | 300/500 | 2/5<br>3/4 | 0,75···2,5<br>0,75···6,0 | 90/250 | ja | für allgemeine Anwendung in Haushalten, Küchen und Büroräumen und Zuleitungen bei leichten mechanischen Beanspruchungen, z. B. an Staubsaugern, Kochgeräten, Lötkolben, Toastern; nicht in Werkstätten, aber erlaubt in Schneiderwerkstätten; zeitlich begrenzte Verwendung im Freien |
| wärmebeständige Schlauchleitung für mittlere Beanspruchung | H05BN4-F | 0285-525-2-21 | 300/500 | 2/3 | 0,75/1,0 | 90/250 | ja | wie H05BB-F |
| wärme- und kältebeständige Schlauchleitung mit vernetzter Elastomer-Isolierhülle für schwere Beanspruchung | H07BB-F | 0285-525-2-21 | 450/750 | 1<br>2<br>3/4/5 | 1,5···630<br>1,0···25<br>1,0···300 | 90/250 | ja | in trockenen und feuchten Räumen, im Freien nur bei Nachweis eines geeigneten UV-Schutzes durch den Hersteller (gilt nicht für H07BN4-F); in gewerblichen und landwirtschaftlichen Werkstätten zum Anschluss von Geräten für schwere Beanspruchung u. Anschluss von Maschinen, bei denen die Leitungen mittleren mechanischen Beanspruchungen unterliegen (z. B. Heizplatten, Handleuchten, Elektrowerkzeuge, Handwerkergeräte); verwendbar auch für feste Verlegung, z. B. auf Putz, in provisorischen Bauten, Wohnbaracken |
| wärmebeständige Schlauchleitung mit vernetzter Elastomer-Isolierhülle für schwere Beanspruchung | H07BN4-F | 0285-525-2-21 | 450/750 | 1<br>2/5<br>3/4<br>vieladrig | 1,0···630<br>1,0···25<br>1,0···300<br>1,5···4,0 | 90/250 | ja | |

*Tabelle 8.7: (Fortsetzung)*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt $mm^2$ | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II [3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| wärmebeständige, halogenfreie Schlauchleitung mit vernetzter Isolierung sowie geringer Entwicklung von Rauch u. korrosiven Gasen für schwere Beanspruchung | H07ZZ-F | 0285-525-3-21 | 450/750 | 1<br>2/5<br>3/4<br>vieladrig | 1,5···630<br>1,0···25<br>1,0···300<br>1,5···4,0 | 90/250 | ja | für Verwendung in Innenräumen und vorübergehende Verwendung im Freien; in trockenen, feuchten oder nassen Räumen, in explosionsgefährdeten Betrieben für mittlere mechanische Beanspruchungen, z. B. für Geräte in gewerblichen und landwirtschaftlichen Betrieben; große Kochkessel, Heizplatten, Handleuchten, Elektrowerkzeuge, transportable Maschinen auf Baustellen; verwendbar auch für feste Verlegung, z. B. auf Putz, in provisorischen Bauten, Wohnbaracken; zulässig für direkte Verlegung in Hebezeugen, Maschinen usw.; in Rohren oder ähnlichen geschlossenen Systemen ist die Verwendung der Leitung ≤ AC 1 000 V oder ≤ DC 750 V gegen Erde zugelassen; Leitungen sind nicht ausgelegt, um Isolationserhalt im Brandfall zu gewähren |

*Tabelle 8.7: (Fortsetzung)*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt $mm^2$ | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II[3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| wärmebeständige Silikonschlauchleitung (auch umflochten) ohne/mit Zugentlastung (D3) | H05SS-F<br>H05SS(T)-F<br>H05SSD3-K<br>H05SSD3 T-K | 0285-525-2-83 | 300/500 | 2···5<br>3/4<br>2···5 | 0,75···2,5<br>4,0/6,0<br>0,75/1,0 | 180/350 | ja | bei hohen Temperaturen oder bei Berührung mit heißen Oberflächen für feste Verlegung in und an Leuchten bei industriellen Anwendungen bei mechan. geschützter Verlegung und für die Verwendung an Geräten, die beim Gebrauch bewegt werden und geringen mechan. Belastungen ausgesetzt sind; nicht über scharfe Kanten ziehen; Brandverhalten umflochtener Leitungen muss vor der Installation vom Hersteller bestätigt werden; vorübergehende und zeitlich begrenzte Verwendung im Freien (H05SS-F, H05SST-F) |
| flache PVC-ummantelte flexible Leitung (bisherige Bezeichnung: PVC-Flachleitung) | H07VVH6-F<br>H07VVD3H6-F | 0283-2 | 450/750 | 3···12 | 1,5···25 | 70/160 | ja | für Aufzüge und Industriemaschinen bis zu einer freien Einhängelänge von 35 m; nicht geeignet im Freien |

*Tabelle 8.7: (Fortsetzung)*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt mm² | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II [3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| flache PVC-ummantelte Steuerleitung ohne oder mit Zugentlastungs-elementen (ZEE) | H05VVH6-F (ohne ZEE) H05VVD3H6-F (mit ZEE) | 0283-2 | 300/500 | 4···24 | 0,75···1,0 | 70/160 | ja | für Aufzüge mit geringer Hubhöhe; nicht für die Verwendung im Freien oder bei Umgebungstemperatur unter 0 °C oder über 40 °C empfohlen; empfohlen für Anlagen mit freien Einspannlängen bis 35 m und Fahrgeschwindigkeiten nicht über 1,6 m/s; Leitung sollte sich beim Abrollen u. Aufhängen nicht verdrehen oder keine Schleifen bilden; die freie Bewegung der Leitung darf beim Betrieb in keiner Weise behindert werden |
| flache PVC-ummantelte Steuerleitung ohne oder mit Zugentlastungs-elementen (ZEE) | H05V3V3H6-F (ohne ZEE) H05V-3V3D3H6-F (mit ZEE) | 0283-2 | 300/500 | 12···24 | 0,75···1,0 | 70/160 | ja | für Aufzüge mit großer Hubhöhe und hoher Fahrgeschwindigkeit; für die Verwendung unter Aufzügen in Innenräumen oder im Freien empfohlen; im Freien sollte die Leitung keinem Regen, Schnee oder direktem Sonnenlicht ausgesetzt werden; geeignet für Umgebungstemperaturen von −15 °C bis +40 °C; Einsatz bis maximal 6,3 m/s Fahrgeschwindigkeit empfohlen; > 6,3 m/s Hersteller befragen; bei freier Einspannlänge > 45 m Leitungen mit ZEE vorgeschrieben, dass sich keine Schlaufen oder Kinken bilden |
| Gummiader-schnur, gummiisoliert | H03RT-F (Bauart gestrichen) | 0282-4 (zurück-gezogen) | 300/300 | 2/3 | 0,75···1,5 | 60/200 | nein | in trockenen Räumen für Heizgeräte, z. B. Bügeleisen, bei geringen mechanischen Beanspruchungen |

*Tabelle 8.7: (Fortsetzung)*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt mm² | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II[3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| hochflexible umflochtene Leitung mit vernetzter Elastomer-Isolierung, für Anwendungen, die hohe Flexibilität erfordern | H03RT-H (vergleichbar H03RT-F; s. o.) | 0285-525-2-22 | 300/300 | 2/3 | 0,75···1,5 | 60/200 | ja | Hauptsächlich vorgesehen für Anwendungen, wo Gefahr des unvorhergesehenen Berührens mit heißen Oberflächen besteht (z. B. elektrische Bügeleisen). Anwendung in Haushalten, Küchen, Büros; zum Anschluss von Handgeräten. Ungeeignet für die ständige Verwendung im Freien, in gewerblichen (außer Schneidereien u. dgl.) oder landwirtschaftlichen Werkstätten oder für Anschluss von gewerblichen Elektrowerkzeugen |
| Schlauchleitung für mittlere Beanspruchung mit vernetzter Elastomer-Isolierung (frühere Bezeichnung: gummiisolierte Schlauchleitung) | H05RR-F | 0285-525-2-21 | 300/500 | 2···5<br>3/4 | 0,75···4<br>0,75···6 | 60/200 | ja | flexible Leitung für allgemeine Anwendungsfälle in Haushalten, Küchen und Büroräumen für den Anschluss von Elektrogeräten bei geringen mechanischen Beanspruchungen (z. B. Staubsauger, Küchengeräte, Lötkolben, Toaster, ortsveränderliche Haushaltsgeräte, Handinspektionsleuchten); vorübergehende und zeitlich begrenzte Verwendung im Freien |

*Tabelle 8.7: (Fortsetzung)*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt mm² | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II [3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| flexible Schlauchleitung für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung (frühere Bezeichnung: schwere Schlauchleitung, gummiisoliert) | H07RN-F | 0285-525-2-21 | 450/750 | 1<br>2/5<br>3/4<br><br>6, 7, 12, 18, 24, 36<br><br>6, 7, 12, 18 | 1,0···630<br>1,0···95<br>1,0···300<br><br>} 1,5/2,5<br><br>4,0 | 60/200 | ja | in gewerblichen u. landwirtschaftlichen Werkstätten für schwere Beanspruchung, bei denen Leitungen für mittlere mechanische Beanspruchungen nicht ausreichen (z. B. Heizplatten, Handleuchten, Elektrowerkzeuge wie Bohrmaschinen, Kreissägen und Handwerkergeräte); Verwendung in trockenen, feuchten oder nassen Räumen; feste Verlegungen, z. B. auf Putz in provisorischen Bauten und Wohnbaracken; vieladrige solcher Leitungen können für den Anschluss von Werkzeugmaschinen verwendet werden; bei Verlegen in Rohren oder ähnlichen geschlossenen Systemen ist die Verwendung der Leitung bis $U \leq$ AC 1 000 V oder bis ≤ DC 750 V gegen Erde zugelassen; im Freien kann die Leitung auf Dauer eingesetzt werden |
| Sonder-Gummischlauchleitung | NMHVÖU | 0250-806 | 230/400 | 2···4<br>3/4 | 0,75<br>1,5 | 60/200 | ja | für Elektrowerkzeug bei besonders hohen Verdrehungs- und Knickbeanspruchungen |
| geschirmte Gummischlauchleitung | NSHCÖU | 0250-811 | 0,6/1 kV | 2···4 | 1,5···16 | 60/200 | ja | bei erforderlicher elektrischer Schirmung und hoher mechanischer Beanspruchung |
| Gummischlauchleitung NSSH | NSSHÖU | 0250-812 | 0,6/1 kV | 1···7 | 1,5···400 | 90/250 | ja | für sehr hohe mechanische Beanspruchungen, z. B. auf Baustellen, im Tagebau; auch für feste Verlegung |

*Tabelle 8.7: (Fortsetzung)*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt mm² | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II [3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gummi-schlauchleitung | NSHTÖU | 0250-814 | 0,6/1 kV | 3···7 | 1,5···240 | 60/200 | ja | für Hebezeuge und Förderanlagen bei häufigem Auf- und Abwickeln und hoher Zugbeanspruchung |
| Theaterleitung | NTSK | 0250-802 | 300/500 | 1···n | 2,5···35 | 90/200 | ja | für den Anschluss beweglich aufgehängter Beleuchtungskörper in Bühnenräumen |
| Lichtbogen-schweißleitung mit vernetzter Elastomer-Hülle | H01N2-D<br>H01N2-E | 0285-525-2-81 | 100/100 | 1 | 10···185 | 85/250 | nein | für den Einsatz an handgeführten Elektrodenhaltern bis 100 V; für Verbindungen zwischen der Schweißenergiequelle und dem Elektrodenhalter und dem Werkstück |
| wasserbeständige schwere Schlauchleitungen für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-isolierung | H07RN8-F | 0285-525-2-21 | 450/750 | 1<br>2/5<br>3/4<br>6···36<br>6···18 | 1,5···630<br>1,0···25<br>1,0···300<br>1,5 u. 2,5<br>4,0 | 60/200 | ja | für Anwendungen in gewerblichen u. landwirtschaftlichen Werkstätten (z. B. Werkzeugmaschinen) in trockenen, feuchten oder nassen Räumen zum Anschluss von Geräten für schwere Beanspruchung u. Anschluss von gewerblichen u. landwirtschaftlichen Maschinen, bei denen Leitungen mittleren mechanischen Beanspruchungen unterliegen (z. B. Heizplatten, Handleuchten, Elektrowerkzeuge wie Bohrmaschinen, Kreissägen und Handwerkergeräte); speziell für die Anwendung in Frischwasser bis 10 m Wassertiefe und einer max. Wassertemperatur von 40 °C, zum Anschluss von Tauchpumpen und ähnlichen Anwendungen |

*Tabelle 8.7: (Fortsetzung)*

| Bauart mit Kurzzeichen | | VDE | $U_0/U$ V | Adern-anzahl | Querschnitt $mm^2$ | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | SK II [3] | Anwendung/Verlegung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gummiflach-leitung | NGFLGÖU | 0250-809 | 300/500 | 2···24 | 1,0···95 | 60/200 | ja | für den Anschluss bewegter Teile, wenn die Leitungen Biegungen in nur einer Ebene ausgesetzt sind |
| Leitungstrosse | NTM···WÖU<br>NTS···WÖU | 0250-813 | 0,6/1 kV | 1···4<br>3<br>5···7<br>viel-adrig | 2,5···185<br>2,5···150<br>2,5···95<br>2,5···4 | 90/250 | ja | für sehr hohe Beanspruchungen, z. B. im Bergbau, auf Baustellen, in Industrieanlagen |
| PVC-isolierte Schlauchleitung mit Polyure-thanmantel | NYMH11YÖ | 0250-407 Entwurf | 300/500 | 2···5 | 0,75 ···2,5 | 70/150 | ja | Geräteanschlussleitung für mittlere mechanische Beanspruchung, insbe-sondere hohe Scheuer- und Schleif-beanspruchung für den Einsatz in trockenen Räumen zum Anschluss von Elektrowerkzeugen und Leuchten. Leitung ist nicht für den Einsatz in feuchten und nassen Räumen sowie im Freien und landwirtschaftlichen Betriebsstätten bestimmt. |

[1] $\vartheta_B$ Grenztemperatur am Leiter im Betrieb, $\vartheta_K$ Grenztemperatur am Leiter bei Kurzschluss

[2] Bei Verlegen in Rohrleitungssystemen müssen diese an den Enden offen und belüftet sein, da bei Luftabschluss in Verbindung mit Temperaturen über 90 °C sich die mechanischen Eigenschaften des Silikongummis verschlechtern.

[3] SK II: geeignet für Schutzklasse II (schutzisoliert) bzw. Schutzmaßnahme „Doppelte oder verstärkte Isolierung"

Eine besonders leichte, flexible Anschlussleitung ist die leichte Zwillingsleitung H03VH-Y (früher: NLYZ). Dieser sog. *Lahnlitzenleiter* hat etwa 0,1 mm$^2$ Querschnitt. Er besteht aus vielen Textilfäden, die jeweils mit einem sehr dünnen Kupferband umwickelt sind. Er gewährleistet eine außerordentliche Beweglichkeit, erfordert andererseits aber auch Verbindungen durch Quetschhülsen o. Ä. Sonst entspricht der Aufbau der Zwillingsleitung. Die Leitung darf nur in trockenen Räumen zum Anschluss besonders leichter Handgeräte, z. B. elektrischer Rasierapparate, nicht aber für Wärmegeräte verwendet werden. Die Strombelastung darf 0,2 A und die Leitungslänge 2 m nicht überschreiten. Um Überlastungen zu vermeiden, dürfen die Leitungen nur fest an Geräte angeschlossen oder in Verbindung mit Gerätesteckdosen gebraucht werden. Für Ströme über 1 A sind sie nicht zulässig.

Als nächststärkerer Typ ist die *PVC-Schlauchleitung mit thermoplastischer Isolierhülle für leichte Beanspruchung* H03VV-F (frühere Bezeichnung: leichte zwei- bis vieradrige Kunststoffschlauchleitung H03VV-F und A03VV-F (NYLHY)) 0,5 mm$^2$ und 0,75 mm$^2$ zu nennen. Der Querschnitt von 0,5 mm$^2$ darf nur in den Ausnahmefällen verwendet werden, die z. B. in VDE 0710 und 0711 (Leuchten) genannt sind, wenn die Anschlussleitung nicht länger als 2 m und die Stromaufnahme nicht höher als 3 A ist. Sie ist nur für leichte Handgeräte in trockenen Räumen gedacht. Für Wärmegeräte ist sie nur dann zugelassen, wenn sie keine Teile berührt, die wärmer als 85 °C werden können. Dann, aber ebenfalls nur in trockenen Räumen, müsste die *Schlauchleitung für mittlere Beanspruchung mit Isolierhülle und Mantel aus EPR* H05RR-F (frühere Bezeichnung: leichte Gummischlauchleitung NLH) gewählt werden.

Zugelassen ist ferner die *PVC-Schlauchleitung für mittlere Beanspruchung* H05VVH2-F, flach (alt: NYMHY, zurückgezogen Mai 1996) 0,75...4,0 mm$^2$. Sie kann in *trockenen* Räumen zum Anschluss ortsveränderlicher Stromverbraucher bei mittleren mechanischen Beanspruchungen verwendet werden. An Haus- und Küchengeräten (z. B. Staubsaugern, Kühlgeräten, Waschmaschinen, Wäscheschleudern) wird sie auch in *feuchten* Räumen (z. B. Großküchen, feuchten Kellern) zugelassen. Sie darf jedoch nicht an Wärmegeräten (z. B. Kochplatten, Waffeleisen, Bügeleisen, Tauchsieder), die Temperaturen über 85 °C annehmen können, angeschlossen werden. Ebenso wenig eignet sie sich auf Baustellen oder in landwirtschaftlich genutzten Betriebsstätten.

Für Küchengeräte, Handleuchten, Handbohrmaschinen bei geringen mechanischen Beanspruchungen – auch in feuchten Räumen und im Freien – ist weiterhin die *flexible Schlauchleitung für mittlere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung* H05RN-F (alte Bezeichnung: Gummischlauchleitung H05RN-F oder Gummilichterkettenleitung) 0,75 u. 1,0 mm$^2$ zu verwenden.

Bei mittleren und schweren mechanischen Beanspruchungen, also z. B. bei fahrbaren Motoren, schweren Werkzeugen oder landwirtschaftlichen Geräten, ist die *Flexible Schlauchleitung für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung* (frühere Bezeichnung: Schwere Schlauchleitung, gummiisoliert) H07RN-F 1...630 $mm^2$ am Platz (s. Tabelle 8.7). Für sehr schwere Beanspruchung, z. B. Baumaschinen, gibt es Gummischlauchleitungen NSSHÖU und Leitungstrosse mit einem Gummimantel NTM...WÖU 2,5...185 $mm^2$. Diese Leitungsbauarten dürfen in nicht zugänglichen unterirdischen Kanälen außerhalb von Gebäuden verlegt werden. Kabel sind jedoch vorzuziehen. Gummischlauchleitungen eignen sich nicht für die ständige Verwendung im Wasser. Bestimmte Bauarten flexibler Leitungen dürfen auch fest verlegt werden (s. Tabelle 8.7).

An der *Einführungsstelle* muss die Zuleitung gegen starkes Verbiegen und gegen Verletzungen geschützt sein, z. B. durch Kunststoffschutzschläuche. Ein Knicken von Zuleitungen an der Einführungsstelle muss, z. B. durch Abrunden der Einführungsstelle oder durch Tüllen, verhindert werden. Verknoten der Leitungen in sich und Festbinden der Leitungen am Gerät sind unzulässig. Die Knickbeanspruchung flexibler Leitungen stellt eine noch größere Gefahr dar als Zug oder Verdrehung. Beim Knicken wird die Kupferader gestaucht und damit bruchanfällig.

Alle *Anschlüsse flexibler Leitungen* müssen in jedem Fall, auch bei nur vorübergehend aufgestellten Geräten, sorgfältig hergestellt werden. Leitungen für ortsveränderliche Betriebsmittel, z. B. Bügeleisen, Staubsauger, Rasenmäher, Elektrowerkzeuge, müssen an den Anschlussstellen von Zug und Schub entlastet, Leitungsumhüllungen gegen Abstreifen und Leitungsadern gegen Verdrehen gesichert sein. Schutzleitungsadern in Betriebsmitteln mit Metallgehäusen müssen so lang sein, dass sie beim Versagen der Zugentlastung erst nach den stromführenden Adern auf Zug beansprucht werden. Die Zugentlastungsvorrichtung muss so beschaffen sein, dass ein mechanisches Beschädigen der zugentlasteten Leitung vermieden wird.

Die *Zugentlastungsschelle* ist ein sehr bedeutsames Konstruktionsteil. Nicht immer wird sie ihrem Sinn gerecht. Wird sie zu kräftig angezogen, so sind Adernverletzungen möglich, die manchmal erst nach Monaten zu Störungen führen. Wird die Schelle zu wenig angezogen, dann werden die Anschlussklemmen auf Zug beansprucht.

Wenn Zugbeanspruchungen an flexiblen Leitungen zu erwarten sind, dürfen Stopfbuchsverschraubungen u. dgl. nicht als einziges Zugentlastungsmittel verwendet werden. Leitungen, die Bewegungen ausgesetzt sind, müssen eine angemessene Schleifenlänge haben.

Feindrähtige Leiter (Litzen) müssen an den Anschlussstellen gegen das Abspleißen einzelner Drähte gesichert sein, z. B. durch Hülsen, Kabelschuhe, Ringösen,

Schellenklemmen mit Hülsen, Mantelklemmen mit Abquetschschutz oder durch Quetschen (wegen verlöteter Leiterenden s. Abschn. 8.2.3).

*Ortsfeste Betriebsmittel*, deren Standort zum Zweck des Anschließens, Reinigens o. dgl. vorübergehend geändert werden muss, z. B. Herde, Waschmaschinen, Speicherheizgeräte, oder die im begrenzten Ausmaß Bewegungen ausgesetzt sind, z. B. durch Schwingungen auf Federwippen, oder deren Anschlussstellen nicht für den Anschluss fest verlegter Leitungen ausgebildet sind, müssen mit *flexiblen Leitungen* angeschlossen werden. Wird die flexible Leitung an die Installation fest angeschlossen, dann muss der Anschluss über Klemmen in ortsfesten Gehäusen, z. B. über Geräteanschlussdosen nach VDE 0606-1, hergestellt werden. Ein Anschluss über Steckvorrichtungen ist ebenfalls möglich.

Für flexible Leitungen mit starker mechanischer Beanspruchung kann durch *Kunststoffschutzschläuche* ein zusätzlicher Schutz erreicht werden.

*Metallschutzschläuche* dürfen nur dann verwendet werden, wenn sie so ausgeführt sind, dass sie in die Maßnahme zum Schutz bei indirektem Berühren einbezogen werden können. Sie dürfen jedoch nicht als alleinige Schutzleiter verwendet werden.

### 8.1.7 Kabel

Die **Tabelle 8.8** gibt eine Übersicht über die wichtigsten genormten Kabel für Nennspannungen bis 1 000 V. Zur Kabelverlegung siehe Abschnitt 8.2.12.

Die **Tabelle 8.9** enthält die Kurzzeichen, die zur Kennzeichnung von Niederspannungskabeln verwendet werden.

Die **Tabelle 8.10** erläutert die Verwendung von Kunststoffkabeln.

Die **Tabelle 8.11** gibt eine Übersicht über Kabel mit Papierisolierung. Die VDE-Bestimmung 0255 wurde im Mai 1997 zurückgezogen. Kabel mit Papierisolierung und Metallmantel bis 1 kV wurden in neue Normen nicht mehr übernommen, weil diese Kabel in Deutschland keine Bedeutung mehr haben. Die bisherigen Bauartkurzzeichen nach VDE 0255 bleiben aber zunächst unverändert erhalten.

Kabel NYKY mit thermoplastischer Schutzhülle über dem Bleimantel (VDE 0265) werden bevorzugt an Stellen eingesetzt, an denen dauernd Kraftstoffe, Öle, Lösungsmittel usw. auftreten, vor allem an Tankstellen, im Erdreich, im Wasser, im Freien und in Innenräumen. Unmittelbar unter dem Bleimantel ist ein Leiter zulässig, der nur zum Erden des Bleimantels verwendet werden darf.

Aderfarben: grün-gelb, schwarz, blau, braun, grau (bisher: schwarz).

***Tabelle 8.8:*** *Die wichtigsten Niederspannungskabel*

| Bauart | Kurzzeichen | VDE | Ader-anzahl | Querschnitt $mm^2$ | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | zulässige Einsatzgebiete |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Kabel mit massegetränkter Papierisolierung und Metallmantel (Gürtelkabel mit Bleimantel oder Aluminiummantel) | NKY, NKBA<br>NKBY<br>NKLY<br>NAKLEY | 0255[2] | 1···5 | 1,5···500 | 80/180 | in Innenräumen, im Freien, in Erde und in Wasser; Kabel mit Metallmantel auch dort, wo die Gefahr der Einwirkungen von Lösemitteln und Kraftstoffen besteht |
| Kabel mit Kunststoffisolierung und Bleimantel für Starkstromanlagen | NYK<br>NYKY | 0265 | 1···61 | 1,5···300<br>> 300 | 70/160<br>70/140 | in Innenräumen, im Freien, in Erde, in Wasser und Beton;<br>Kabel mit Metallmantel dürfen auch dort verlegt werden, wo die Gefahr der Einwirkungen von Lösemitteln und Kraftstoffen besteht. |
| Starkstromkabel – Energieverteilungskabel 0,6/1 kV Kabel mit PVC-Isolierung und PVC-Mantel | NYY, NAYY<br>NYCY<br>NYCWY<br>NAYCY<br>NAYCWY | 0276-603 | 1···4 | 1,5···300<br>> 300···1 000 | 70/160<br>70/140 | |
| Starkstromkabel – Energieverteilungskabel 0,6/1 kV Kabel mit VPE-Isolierung und PVC-oder PE-Mantel | N2XY, N2X2Y<br>N2XCWY<br>N2XCW2Y<br>NA2XY<br>NA2X2Y<br>NA2XCWY<br>NA2XCW2Y | 0276-603 | 1···4 | 1,5···500<br>einadrig:<br>1 000 | 90/250 | |
| Starkstromkabel – vieladrige und vielpaarige Kabel mit PVC- oder VPE-Isolierung und PVC- oder PE-Mantel | NYY, NYCY<br>N2XHX<br>N2XCHX | 0276-627 | 7···19<br>24···40 | 1,5···4,0<br>1,5/2,5 | 70/160 (PVC)<br>90/250 (VPE) | |
| Starkstromkabel – halogenfreie vieladrige und vielpaarige Kabel mit VPE-Isolierung und Polyolefin(PO)-Mantel mit verbessertem Verhalten im Brandfall | N2XH<br>N2XCH | 0276-627 | 7···19<br>24···40 | 1,5···4,0<br>1,5/2,5 | 90/250 (VPE) | in Innenräumen und Luft; direkte Verlegung in Erde und Wasser nicht zulässig |

*Tabelle 8.8: (Fortsetzung)*

| Bauart | Kurzzeichen | VDE | Ader-anzahl | Querschnitt $mm^2$ | $\vartheta_B/\vartheta_K$ [1] °C | zulässige Einsatzgebiete |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Starkstromkabel mit verbessertem Verhalten im Brandfall 0,6/1 kV (halogenfreies, raucharmes Kabel mit verminderter Brandfortleitung) | NHXHX, NHXCHX NHXHX FE | 0266 | 1···5 7···40 | 1,5···500 | 90/250 | bei besonders hohen Brandschutzanforderungen; FE-Kabel für Isolationserhalt 180 min bei Brandeinwirkung in Innenräumen, in Luft oder Beton; direkt in Erde oder Wasser nicht zulässig; in Rohr, wenn sich kein Wasser ansammeln kann. |
| Installationskabel mit VPE-Isolierung und PVC-Mantel 0,6/1 kV | NI2XY | 0262 | 1···40 | 1,5···35 | 90/250 | zur Verlegung in trockenen, feuchten und nassen Räumen, im Mauerwerk, im Freien, zur direkten Einbettung in Rüttel- und Stampfbeton; Verlegung in Erde und Wasser nicht zulässig. |

[1] $\vartheta_B$ Grenztemperatur am Leiter im Betrieb; $\vartheta_K$ Grenztemperatur am Leiter bei Kurzschluss
[2] VDE 0255 zurückgezogen

***Tabelle 8.9:*** *Kurzzeichen für Kabel $U_0/U$ 0,6/1 kV*

| Kurzzeichen | Bedeutung |
|---|---|
| – | ohne Kurzzeichen: Kupferleiter |
| A | Aluminiumleiter |
| B | Bewehrung aus Stahlband |
| C | konzentrischer Leiter aus Kupfer (wendelförnig) |
| CW | konzentrischer Leiter aus Kupfer (wellenförmig) |
| E | einzeln mit Metallmantel umgebene Adern (Dreimantelkabel); eindrähtiger Leiter |
| F | feindrähtiger Leiter |
| FE | 20 min Funktionserhalt im Brandfall |
| H | Mantel aus thermoplastischem halogenfreiem Polyolefin (PO) |
| HX | Isolierung aus vernetzter halogenfreier Polyolefinmischung |
| K | Bleimantel |
| KL | gepresster glatter Aluminiummantel |
| M | mehrdrähtiger Leiter |
| N | Normtyp (Kabel nach Norm) |
| R | Rundleiter |
| S | Sektorleiter |
| 2X | Isolierung aus vernetztem Polyethylen (VPE) |
| Y | PVC-Isolierung/PVC-Mantel |
| 2Y | Mantel aus Polyethylen (PE) |
| –J | Kabel mit grün-gelb gekennzeichneter Ader |
| –O | Kabel ohne grün-gelb gekennzeichnete Ader |

*Hinweis:* Das Bauartkurzzeichen steht nicht in direkter Beziehung zur Zusammensetzung der Mischung.

*Beispiel:*

NA2XCWY 3 × 120 SE/120 0,6/1 kV

| | |
|---|---|
| N | Normtyp |
| A | Aluminiumleiter |
| 2X | Aderisolierung aus vernetztem Polyethylen |
| CW | konzentrischer, wellenförmig aufgebrachter Leiter aus Kupfer |
| Y | PVC-Außenmantel |
| 3 × 120 SE | dreiadriges Kabel (120 $mm^2$ Al) mit sektorförmigen eindrähtigen Leitern |
| /120 | konzentrischer Leiter aus Kupfer, dessen Widerstand dem eines Aluminiumleiters mit 120 $mm^2$ entspricht |
| 0,6/1 kV | Nennspannung |

***Tabelle 8.10:*** *Kabel mit Kunststoffisolierung und Kunststoffmantel (VDE 0276-603 und -627)*

| Bauart | Kurzzeichen | Einsatzgebiete |
|---|---|---|
| Kabel ohne metallene Umhüllung | NYY | vorzugsweise in Kabelkanälen und Innenräumen; im Erdreich, im Wasser und im Freien, wenn keine nachträglichen Beschädigungen zu erwarten sind |
| Kabel mit konzentrischem Leiter | NYCY | vorzugsweise als Erdkabel, im Freien, in Kabelkanälen und in Innenräumen |
| Kabel mit gewelltem konzentrischem Leiter | NYCWY | vorzugsweise als Erdkabel für Ortsnetze (von Hackethal Ceander-Kabel genannt) |
| VPE-isolierte Kabel – unbewehrt | N(A)2XY<br>N(A)2X2Y | Kabel dürfen in Innenräumen, im Freien, in Erde, in Wasser oder in Beton verlegt werden. |
| VPE-isolierte Kabel – bewehrt | N(A)2XCWY<br>N(A)2XCW2Y | Kabel ohne metallene Umhüllung sind für Schutzklasse II geeignet. (A): mit Aluminiumleiter |
| Kabel mit verbessertem Verhalten im Brandfall für Kraftwerke | N2XH<br>N2XCH | Kabel dürfen in Innenräumen, in Luft oder in Beton verlegt werden. Kabel ohne metallene Umhüllung sind für Schutzklasse II geeignet. |

Aderfarben: grün-gelb, schwarz, blau, braun, grau (bisher: schwarz).
Die Adern von einadrigen ummantelten Leitungen oder Kabeln sind schwarz oder grün-gelb.

***Tabelle 8.11:*** *Kabel mit Papierisolierung und Metallmantel (früher: VDE 0255)*

| Bauart | Kurzzeichen | Einsatzgebiete |
|---|---|---|
| Kabel mit Bleimantel, Stahlbewehrung und äußerer Schutzhülle aus Faserstoffen | NKBA | vorzugsweise für Erdverlegung |
| Kabel mit Aluminiummantel, Aluminiumleitern und PVC-Außenmantel | NAKLEY | vorzugsweise im Ortsnetzbau, wobei der Aluminiummantel als geerdeter Neutralleiter verwendet wird |

Aderfarben: grün-naturfarben, schwarz, blau, naturfarben, schwarz.
Die Adern von einadrigen Kabeln sind schwarz.

## 8.1.8 Kennzeichnung der Leiter und Anschlüsse in Anlagen

Die **Tabelle 8.12** gibt eine Übersicht.

***Tabelle 8.12:*** *Leiter- und Anschlussbezeichnungen nach VDE 0197*

| Leiter | alphanumerische Bezeichnung | veraltete Bezeichnung | Bildzeichen | Farbe |
|---|---|---|---|---|
| Wechselstrom<br>Außenleiter 1<br>Außenleiter 2<br>Außenleiter 3<br>Neutralleiter | <br>L 1<br>L 2<br>L 3<br>N | <br>R<br>S<br>T<br>Mp | ~ * | <br>sw, br o. gr<br>sw, br o. gr<br>sw, br o. gr<br>blau |
| Gleichstrom<br>Positiv<br>Negativ<br>Mittelleiter | <br>L +<br>L –<br>M | <br>P<br>N<br>Mp | ⎓* <br>+<br>– | <br>keine Empfehlung<br>keine Empfehlung<br>blau |
| Schutzleiter | PE | SL | ⏚* | grün-gelb |
| PEN-Leiter<br>PEL-Leiter<br>PEM-Leiter | PEN<br>PEL<br>PEM | SL + Mp | | grün-gelb (blau an den Enden) |
| Schutzpotenzialausgleichsleiter | PB | – | | grün-gelb |
| geerdeter Schutzpotenzialausgleichsleiter* | PBE | – | – | grün-gelb |
| ungeerdeter Schutzpotenzialausgleichsleiter | PBU | – | – | grün-gelb |
| Erde | E | | | z. B. schwarz |
| Funktionserdungsleiter | FE | TE | | – |
| Funktionspotenzialausgleichsleiter | FB | MM | | – |
| Masse | MM | | | |
| Lastanschlussklemmen | an L1: U<br>an L2: V<br>an L3: W<br>an N: N<br>an M: M<br>an L+: +<br>an L–: – | | | |

* Da ein Schutzpotenzialausgleichsleiter in den meisten Fällen ein geerdeter Schutzpotenzialausgleichsleiter ist, braucht er nicht gekennzeichnet werden, nur wenn zwischen einem geerdeten und ungeerdeten unterschieden werden muss (z. B. in medizinischen Räumen).

# 8.2 Leitungsverlegung

VDE 0100-520, 0298-3, 0298-300 und DIN 18015-3, s. auch Kap. 9

## 8.2.1 Leitungsweg

Vor Beginn des Verlegens müssen genaue Unterlagen über die Art der Geräte und über ihren Aufstellungsort vorliegen. Änderungen in der Aufstellung bedeuten Änderungen der Leitungsführung, die je nach der Art des Verlegens, z. B. in Kanälen, sehr teuer sein können. Daher muss sich der Elektroinstallateur vor Beginn der Arbeiten vom Auftraggeber einen genauen und verbindlichen Aufstellungsplan für alle elektrischen Verbrauchsmittel aushändigen lassen.

Es ist nicht unwesentlich, wenn bei der geplanten Leitungsführung zwei einfache alte Regeln handwerklichen Könnens beachtet werden:

- Eine fest verlegte Anlage ist immer sicherer als eine ortsveränderliche.
- Eine Leitung außerhalb des Handbereichs ist immer sicherer als eine im Handbereich. Im und unter Putz sowie in Decken und Wandhohlräumen verlegte Leitungen gelten als außerhalb des Handbereichs angeordnet und mechanisch geschützt.

Der Leitungsweg ist beim Verlegen in Wänden, wie unter Putz, in gemauerten und betonierten Wänden, in Leichtbauwänden, bei Vorwandinstallationen oder in Ständerwänden, so zu wählen, dass die Leitungen *senkrecht* oder *waagerecht*, also nicht schräg, über die Wand oder in der Wand gezogen werden (*Installationszonen*). Von der Leitungsführung in den festgelegten Installationszonen darf in Fertigbauteilen und Leichtbauwänden nur abgewichen werden, wenn eine Überdeckung der Leitungen von mindestens 6 cm sichergestellt ist oder die Leitungen in ausreichend großen, unverfüllten Hohlräumen so installiert sind, dass man mit einer Leitung gegebenenfalls ausweichen kann. Auch beim Verlegen auf Putz sollte die senkrechte und waagerechte Führung bevorzugt werden. Neu mit Inkrafttreten der neuen DIN 18015-3 (Sept. 2007; Berichtigung 2008-09) ist, dass auch für die Leitungsführung auf Decken Vorgaben gemacht werden. Bisher gab es für die Verlegung von elektrischen Leitungen in oder auf Decken keine Vorgaben. Leitungen durften auf kürzestem Wege verlaufen. *Unter Decken* wird hier der genormte Begriff verstanden, der sowohl für oben liegende Raumdecken als auch – was umgangssprachlich als Fußboden verstanden wird – für die unten liegenden Decken (Fußboden) gilt. *Unter Fußboden* wird nach Norm die oberste Fläche der Beläge auf der Decke (raumseitige Fläche der Nutzschicht) verstanden. Leitungen unter Decken sind mit einem Mindestabstand von 20 cm parallel zu den Raumwänden anzuordnen. Darunter sind Leitungen unter Putz, im Putz, in Hohlräumen und in abgehängten Decken zu verstehen.

Die Übergänge von den Installationszonen auf bzw. unter der Decke zu den senkrechten Installationszonen an Wänden müssen rechtwinklig ausgeführt werden. Die elektrischen Leitungen auf der Decke sind parallel zu den Wänden zu führen. Mehrere elektrische Leitungen sind in der Regel bündig nebeneinander anzuordnen. Hierbei sind Mindestabstände zu informationstechnischen Leitungen zu beachten (s. u.). Die Installation von elektrischen Leitungen und von Leitungen und Rohren anderer Gewerke ist rechtzeitig, möglichst im Zuge der Planungen abzusprechen. Dabei sollte eine geradlinige, parallele und möglichst kreuzungsfreie Anordnung erreicht werden. Für die elektrischen Leitungsanlagen ist nach Norm mindestens *eine* separate Zone bereitzustellen. Die Installationszonen nach DIN 18015-3 für die Leitungsführung auf der Decke sind dabei zu beachten. Für die Leitungsanordnung *in* Decken (Installation direkt oder innerhalb von Leerrohren in der Rohdecke) sind keine Installationszonen vorgeschrieben.

Die Leitungen auf oder in den Wänden sollen bei senkrechter Leitungsführung möglichst in der Nähe von Wandecken oder etwa 15 cm von der Türkante und bei waagerechter Leitungsführung etwa 30 cm unterhalb der Decke verlegt werden (**Bild 8.4**). Beim Verlegen oberhalb von Fenstern ist das spätere Bohren von Löchern für Befestigungselemente von Wohnungsdekorationen wie Gardinen zu berücksichtigen; der Bereich sollte deshalb für die Leitungsverlegung gemieden werden. Die Leitung von Steckdose zu Steckdose ist etwa 30 cm über der Oberkante des fertigen Fußbodens zu verlegen. Schalter sind vorzugsweise neben den Türen 105 cm über der fertigen Fußbodenfläche vorzusehen. Für barrierefreie Wohnungen gelten andere Maße. In Küchen oder ähnlichen Bereichen mit Arbeitsflächen gilt eine sog. mittlere waagerechte Installationszone. Hier sind Schalter und Steckdosen über der Arbeitsfläche in einem Bereich von 100 cm bis 130 cm über der fertigen Fußbodenfläche anzuordnen. Auslässe, Schalter, Steckdosen, Herdanschlussdosen können der individuell geplanten Inneneinrichtung, z. B. in Küchen, angepasst werden. Leitungen zu Betriebsmitteln wie Auslässen, Schaltern, Steckdosen, die üblicherweise außerhalb der genannten Installationszonen angeordnet sind, sind als senkrecht geführte Stichleitungen aus einer waagerechten Installationszone zu führen.

Leitungen zu elektrischen Verteilern dürfen nur senkrecht zu den Verteilern geführt werden.

Von *warmen Rohrleitungen* (Dampf, Heißwasser, Ofenrohr) ist ein genügend großer Abstand zu halten, damit nicht die Lebensdauer der elektrischen Isolierstoffe verkürzt und die zulässige Belastbarkeit der Leitungsquerschnitte vermindert werden. Die Kabel und Leitungen können gegen diese schädigenden Einflüsse durch Abschirmung geschützt werden. Auch in diesem Fall ist die zulässige Belastbarkeit der Leiterquerschnitte zu beachten. Von einem gemeinsamen Verlegen von Stark-

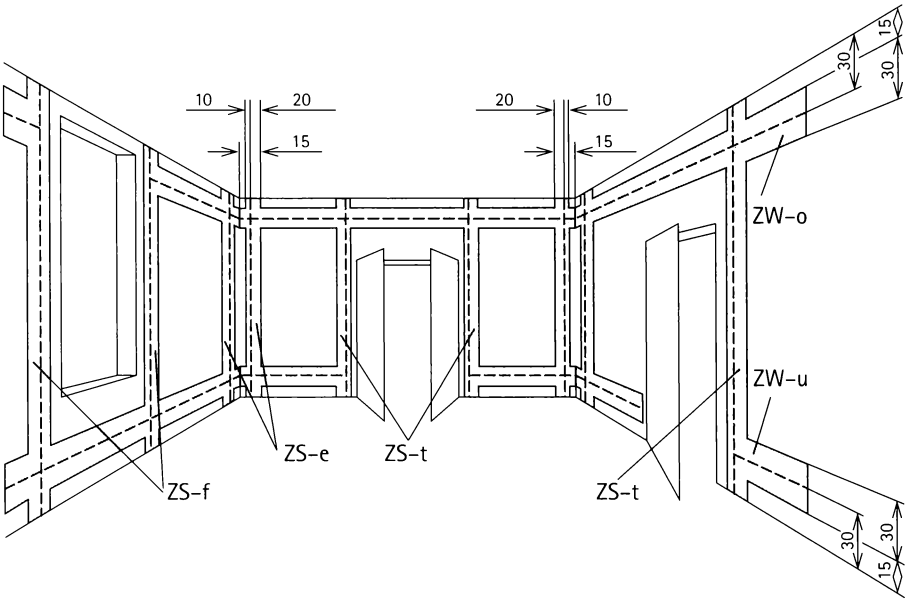



***Bild 8.4:*** *Installationszonen und Vorzugsmaße für Räume von Wohnungen ohne Arbeitsflächen an Wänden nach DIN 18015-3*

ZS-t Senkrechte Installationszonen an Türen:
von 10 cm bis 30 cm neben den Rohbaukanten
ZS-f Senkrechte Installationszonen an Fenstern:
von 10 cm bis 30 cm neben den Rohbaukanten
ZS-e Senkrechte Installationszonen an Wandecken:
von 10 cm bis 30 cm neben den Rohbauecken
ZW-u Untere waagerechte Installationszone:
von 15 cm bis 45 cm über dem Fußboden
ZW-o Obere waagerechte Installationszone:
von 15 cm bis 45 cm unter der Deckenbekleidung

stromleitungen in Rohrschächten und Kanälen zusammen mit Rohrleitungen für Heizung, sanitärer Installation u. dgl. ist dringend abzuraten. Wird es erforderlich, elektrische Leitungen mit Leitungen für andere Medien in engerer Nachbarschaft zu verlegen, so müssen sie deren betriebsmäßigen Einflüssen, z. B. Feuchte und Hitze, standhalten.

In *Aufzugsschächten* dürfen betriebsfremde elektrische Leitungen nur unter bestimmten Bedingungen verlegt werden, die bei den Technischen Überwachungsvereinen erfragt werden können.

Auf *Schornsteinwangen* dürfen Leitungen weder in noch auf Putz verlegt werden, und zwar wegen der meist höheren Erwärmung dieser Gebäudeteile und der damit verbundenen Verringerung der Lebensdauer der Isolierung.

In *Schächten* und *begehbaren Kanälen*, die nicht zur Aufnahme von Leitungen dienen, dürfen Leitungen nur dann verlegt werden, wenn sie ordnungsgemäß befestigt werden können und nicht Wasser, korrosiven oder verschmutzten Stoffen o. dgl. ausgesetzt sind. In Lüftungskanälen und Schornsteinzügen dürfen keine Leitungen verlegt werden.

Bei Näherungen von *Antennenleitungen* („Kabelverteilsystemen für Ton- und Fernsehrundfunk-Signale") an Starkstromanlagen von Gebäudeinstallationen muss zwischen leitfähigen Teilen des Antennennetzes (z. B. Schirmung einer Koaxialleitung) und leitfähigen Teilen des Starkstromverteilnetzes mit Spannungen zwischen 50 V und 1 000 V ein Abstand von mindestens 10 mm bei Installationen in geschlossenen Räumen und mindestens 20 mm bei Installationen im Freien eingehalten werden. Anstelle dieses vorgegebenen Abstands können auch Trennstege vorgesehen werden. Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt) und Kabel dürfen ohne Abstand und ohne Trennsteg verlegt werden. Eine Steckdose der Starkstromanlage und eine *Antennensteckdose* unter einer gemeinsamen Abdeckung ist nur zulässig, wenn die Antennensteckdose so installiert werden kann, dass gefährliche spannungsführende Teile des Starkstromverteilsystems durch den Errichter der Antennenanlage nicht berührt werden können. Auch kombinierte Anschluss- und Verteileinrichtungen, die für den Anschluss oder/und die Verteilung sowohl von *informationstechnischen Leitungen* als auch von Stromversorgungsleitungen vorgesehen sind, müssen getrennte Abdeckungen für die zwei Leitungssysteme aufweisen. Stattdessen ist eine einzige Abdeckung zulässig, falls die Stromversorgungsleitungen nach dem Öffnen der Abdeckung geschützt bleiben, sodass der Schutz gegen elektrischen Schlag gewahrt bleibt.

Bei *Kreuzungen oder Näherungen* von Starkstromkabel und -leitungen einerseits und Kabel und Leitungen mit metallenen Leitern für die *Information und Telekommunikation* (bisher und weiterhin nach der Normenreihe VDE 0800 auch noch mit dem Oberbegriff *Fernmeldetechnik* bezeichnet) andererseits, für die dieselben Kabel- und Leitungsführungssysteme (Elektroinstallationsrohre und -kanalsysteme, Schienenverteiler, Kabelwannen- und -trägersysteme) und Gebäudeöffnungen benutzt werden, müssen diese in Bezug auf elektrische Sicherheit (Schutz gegen elektrischen Schlag) sowie elektromagnetische Verträglichkeit und Funktionalität getrennt verlegt werden, z. B. auf Abstand. Je nach Anforderung sind in einigen Fällen unterschiedliche Abstände erforderlich. Hierbei hat der Aspekt der elektrischen Sicherheit (Schutz gegen elektrischen Schlag) stets Vorrang. Hinsichtlich des Schutzes gegen elektrischen Schlag brauchen Kabel und Installationsleitungen

(auch Mantelleitungen genannt) von Niederspannungsanlagen gegenüber Kabeln und Leitungen der Informations- und Kommunikationstechnik nicht auf Abstand verlegt werden. Ansonsten sind die Anforderungen an das gemeinsame Verlegen von Stromkreisen mit Spannungen bis AC 50 V bzw. DC 120 V (Band I) und Stromkreisen mit Spannungen von AC 50...600 V (Außenleiter gegen Erde) bzw. DC 120...900 V (Band II) in demselben Installationsrohr oder demselben Kanal einzuhalten (s. Abschn. 9.1). Die Trennung zwischen Starkstromkabel und -leitungen sowie informations- und telekommunikationstechnische Kabel und Leitungen aus Gründen der elektromagnetischen Verträglichkeit und Funktionalität muss durch Abstand (räumliche Trennung oder Trennstege) oder Schirmung gewährleistet werden. Der Errichter der informations- und telekommunikationstechnischen Systeme muss hinsichtlich der elektromagnetischen Beeinflussung die einschlägigen Normen wie VDE 0800-174-2 „Informationstechnik; Installation von Kommunikationsverkabelung; Teil 2: Installationsplanung und -praktiken in Gebäuden" beachten. Hervorzuheben sind die Festlegungen bezüglich der Trennung zwischen metallenen Kabeln und Leitungen der Informationstechnik sowie Kabeln und Leitungen der Stromversorgung (VDE 0800-174-2:2015-02, Abschnitt 6). Dort ist ein detailliertes Verfahren beschrieben, wie ein Mindestabstand zwischen Kabeln und Leitungen der beiden Systeme ermittelt werden kann.

Die Anforderungen an die Trennung zwischen Kabeln und Leitungen der Informationstechnik sowie der Stromversorgung hängen ab

- von der elektromagnetischen Verträglichkeit des Kabels oder der Leitung der Informationstechnik,
- vom Aufbau und von den Maßen des Kabels oder der Leitung der Stromversorgung,
- von der Art vorhandener Trennkomponenten zwischen den Kabeln oder Leitungen der Informationstechnik und der Stromversorgung, wie Trennung ohne elektromagnetische Barrieren, Verlegen im offenen metallenen Kabelkanal, im Lochblechkabelkanal, im massiven metallenen Kabelkanal,
- von der Anzahl der Stromkreise,
- von der Strombelastung der Kabel oder der Leitungen.

In *Beton* dürfen Kabel verlegt werden. Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt), z. B. NYM, dürfen nicht direkt in Beton verlegt werden, wenn dieser einem Schüttel-, Rüttel- oder Stampfprozess unterzogen wird. Das Einbringen in Aussparungen und Bedecken mit Beton in der Art einer Unterputzverlegung ist jedoch zulässig. Andernfalls müssen sie, ebenso wie PVC-Aderleitungen, z. B. H07V-U (NYA), in Stahlrohren (mit AS gekennzeichnet (s. Abschn. 8.2.10) verlegt werden.

Stegleitungen dürfen nicht in Beton verlegt werden. Gerätedosen, Geräteverbindungsdosen, Leuchtenanschlussdosen und Verbindungskästen müssen für die Installation in Beton geeignet sein (Reihe VDE 0606) und die Kennzeichnung  tragen. Dabei muss auch die Wärmebeanspruchung infolge erhöhter Temperaturen während des Abbindeprozesses im Beton berücksichtigt werden. Rohre, Dosen und Kästen müssen bei Verwenden von Aderleitungen ein geschlossenes System bilden. Auch bei Aussparungen in Betonbauteilen, z. B. an Stoßstellen zwischen Wand und Decke, dürfen die Leitungen nur in isolierenden Dosen oder Kästen verbunden und geführt werden. An Dehnungsfugen sind Kabel und Leitungen durch Schlaufen vor mechanischer Beschädigung zu schützen.

Unmittelbar *in Erde* dürfen nur Kabel verlegt werden (s. jedoch Abschn. 8.1.5). In Erde verlegte Kabel sollen mindestens 0,6 m, unter Fahrbahnen von Straßen mindestens 0,8 m unter der Erdoberfläche verlegt werden. Bei geringeren Verlegetiefen ist das Kabel z. B. durch Verlegen in geeigneten Rohren zu schützen. Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt), z. B. NYM, dürfen im Erdreich in Schutzrohren und geschlossenen Installationskanälen verlegt werden. Das Schutzrohr mit ausreichender mechanischer Festigkeit muss belüftet und gegen Eindringen von Flüssigkeiten geschützt sein. Die Leitung muss zugänglich und auswechselbar bleiben. Typischer Anwendungsfall für diese Verlegungsart ist die Verbindung zwischen Wohnhaus und Garage. Die Verlegung von NYM-Leitung im Schutzrohr in Erde sollte allerdings auf Strecken unter 5 m beschränkt bleiben.

Die Erde darf nicht zur betriebsmäßigen ausschließlichen Rückleitung für Starkstromanlagen benutzt werden; es ist stets ein besonderer Leiter dafür zu verlegen, der auch aus einem metallenen Konstruktionsteil bestehen kann, z. B. Magnetkupplungen. Dabei ist sicherzustellen, dass die Bemessungsspannung von 50 V nicht überschritten wird und dass es sich um keinen feuer- oder explosionsgefährdeten Raum handelt. Die Konstruktionsteile müssen ausreichenden Querschnitt haben und dauerhaft miteinander verbunden sein.

In Bauten mit *Blitzschutzanlagen* müssen elektrische Anlagen in ausreichender Entfernung von der Blitzschutzanlage verlegt oder an Näherungsstellen mit der Blitzschutzanlage durch Überspannungsableiter verbunden werden (s. Kap. 17). Auch Kabel mit höherer Stoßspannungsfestigkeit, z. B. NYY, gewähren besseren Schutz. Wenn ein Schutzpotenzialausgleich durchgeführt ist, gilt 0,5 m als ausreichende Entfernung. Gegen Gefährdung durch Nagetiere schützt z. B. Stahlumhüllung oder Bewehrung der Leitungen und Kabel.

## 8.2.2 Zulässige Verlegearten

*Blanke Leiter* dürfen auf Isolatoren verlegt werden.

*Isolierte Leiter (Aderleitungen)* dürfen verlegt werden

- in Elektroinstallationsrohren,
- in zu öffnenden Elektroinstallationskanälen. Dazu gehören auch Sockelleisten- und Unterflur-Fußbodenkanäle. Die Kanäle müssen mindestens die Schutzart IP4X oder IPXXD haben (Schutz gegen Berühren mit Werkzeugen, Drähten o. Ä.), und die Deckel dürfen nur mithilfe von Werkzeug oder mit besonderer Anstrengung mit der Hand geöffnet werden können,
- in geschlossenen Elektroinstallationskanälen,
- in abgehängten, zu öffnenden Elektroinstallationskanälen,
- im Fußboden in fußbodenbündigen, zu öffnenden Elektroinstallationskanälen,
- auf Isolatoren.

*Kabel und Installationsleitungen* (auch *Mantelleitungen* genannt) (mit Bewehrung und Isolierung) dürfen verlegt werden

- in Elektroinstallationsrohren,
- in zu öffnenden Elektroinstallationskanälen einschl. Sockelleisten- und Unterflur-Fußbodenkanälen,
- in geschlossenen Elektroinstallationskanälen,
- auf Kabelpritschen, auf Kabelwannen (geschlossen, durchbrochen, waagerecht oder senkrecht), auf Auslegern (waagerecht oder senkrecht),
- direkt in Mauerwerk,
- direkt in Beton, ausgenommen ist die direkte Einbettung in Rüttel- oder Stampfbeton,
- in wärmegedämmten Wänden (anliegend auf der inneren Wandseite mit Schellen),
- direkt an und in Decken mit geeignetem Befestigungsmaterial (Schellen, Abstandsschellen),
- ohne Befestigungsmaterial in Hohldecken und Hohlraumböden,
- in abgehängten, zu öffnenden Elektroinstallationskanälen,
- im Fußboden in fußbodenbündigen, zu öffnenden Elektroinstallationskanälen oder belüfteten Kabelkanälen,
- ohne Befestigungsmaterial in baulichen Hohlräumen, direkt oder in geschlossenen Elektroinstallationskanälen,
- mit Tragseilen.

Kabel dürfen ohne oder mit mechanischem Schutz direkt in Erde und Wasser verlegt werden.

Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt) dürfen in Erde nur in geeigneten Elektroinstallationsrohren oder in geeigneten geschlossenen Elektroinstallationskanälen verlegt werden. In Wasser dürfen Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt) weder direkt noch in Elektroinstallationsrohren oder -kanälen verlegt werden.

*Stegleitungen* (s. Abschn. 8.2.8) dürfen nur in trockenen Räumen verlegt werden

- in und unter Putz,
- in Hohlräumen von Decken und Wänden aus Beton, Stein oder ähnlichen nicht brennbaren Baustoffen.

*Elektroinstallationsrohre* (s. Abschn. 8.2.10) dürfen je nach Eignung verlegt werden

- in Mauerwerk,
- in allen Arten Beton, auch in Rüttel- oder Stampfbeton,
- auf Wänden mit geeignetem Befestigungsmaterial (Schellen, Abstandsschellen),
- in wärmegedämmten Wänden (anliegend auf der inneren Wandseite),
- im Fußboden in fußbodenbündigen, zu öffnenden Elektroinstallationskanälen oder belüfteten Kabelkanälen,
- in waagerecht oder senkrecht verlegten geschlossenen Kabelkanälen,
- in belüfteten Kabelkanälen im Fußboden,
- in baulichen Hohlräumen,
- in Erde bei entsprechender Eignung,

### 8.2.3 Leiterverbindungen

VDE 0100-520, Reihe VDE 0606, VDE 0609-1 u. -101, Reihe VDE 0611, Reihe VDE 0613, VDE 0627

*Leiterverbindungen und -abzweige* dürfen nur auf isolierender Unterlage oder mit isolierender Umhüllung durch Verschrauben mit

- *Reihenklemmen* nach Reihe VDE 0611 und
- *Schraubklemmen* nach VDE 0613-2-1, unterteilt in Buchsen-, Kopfkontakt-, Bolzen-, Laschen- und Mantelklemmen,

*schraublose Klemmstellen*

- nach VDE 0613-2-2, vorwiegend für den Anschluss von unvorbereiteten Leitern, die zum Anschließen von zwei oder mehreren Leitern vorgesehen sind (Anschluss direkt oder indirekt durch Federn, Keile oder Ähnliches),
- als *Schneidklemmen* nach VDE 0613-2-3, vorwiegend für den Anschluss von isolierten, unvorbereiteten Leitern (durch Anschluss wird Isolierung des Leiters am Kontaktpunkt durchstoßen, durchbohrt, durchschnitten, entfernt, verdrängt oder in anderer Weise unwirksam gemacht; Klemmen gibt es als wiederverwendbare (mehr als einmal verwendbar), nicht wiederverwendbare (nur einmal verwendbar) und nicht auswechselbare (nur einmal verwendbar und nur durch Abschneiden der Leiter vom Stromkreis trennbar) Klemmen),
- als *Drehklemmen* (wird auf zwei oder mehr Leiterenden gedreht) nach VDE 0613-2-4, zum Verbinden von zwei oder mehr nicht vorbereiteten starren und/oder flexiblen Kupferleitern mit Querschnitten $\geq 0{,}5\ mm^2$ bis $\leq 16\ mm^2$; Gesamtquerschnitt $\leq 35\ mm^2$,
- als *Flachsteckverbindungen* nach VDE 0613-6, bestehend aus Flachstecker und passender Steckhülse, zur Verwendung als eingebautes oder als integriertes Teil eines Betriebsmittels oder Bauteils oder als Einzelteil zur Verbindung elektrischer Kupferleiter nach den Angaben des Herstellers; Kupferleiter können flexible oder starre, mehrdrähtige Leiter $\leq 6\ mm^2$ oder starre eindrähtige Leiter $\leq 2{,}5\ mm^2$ sein.

Klemmen bzw. Verbindungsmaterial mit Schutz gegen elektrischen Schlag müssen so konstruiert sein, dass spannungsführende Teile nicht zugängig sind, wenn die Klemmen fachgerecht und nach Herstellerangaben installiert und mit einem isolierten Leiter des kleinsten und/oder größten Querschnitts versehen sind.

Die beschriebenen Klemmen nach der Reihe VDE 0613 dienen dem Verbinden von zwei oder mehr elektrischen Kupferleitern. Diese können starr (ein- oder mehrdrähtig) oder flexibel sein. Die Klemmen gibt es für ein sog. *Bemessungsanschlussvermögen* mit einem Querschnitt von $0{,}2\ mm^2$ bis $\leq 35\ mm^2$ in den genormten Stufen $0{,}34\ mm^2$, $0{,}5\ mm^2$, $0{,}75\ mm^2$, $1\ mm^2$, $1{,}5\ mm^2$, $2{,}5\ mm^2$, $4\ mm^2$, $6\ mm^2$, $10\ mm^2$, $16\ mm^2$ und $25\ mm^2$. Das Bemessungsanschlussvermögen ist der Querschnitt des vom Hersteller angegebenen größten anschließbaren starren Leiters. Ist die Klemme nur für flexible Leiter geeignet, ist das Bemessungsanschlussvermögen der Querschnitt des anschließbaren größten flexiblen Leiters. Bei Einsatz von Klemmen bei Umgebungstemperaturen > 40 °C müssen die Klemmen verwendet werden, die mit dem Großbuchstaben T gekennzeichnet sind. Der Hersteller gibt entsprechende Temperaturen an, z. B. 55 °C, 140 °C oder 200 °C. Darüber hinaus muss das Verbindungsmaterial (Klemmen) folgende Aufschriften tragen: Bemessungs-

anschlussvermögen, Bemessungsisolationsspannung in V, Typkennzeichen (z. B. Katalognummer), Name des Herstellers, die Handelsmarke oder ein Ursprungszeichen und bei > IP20 die IP-Schutzart. Ist die Oberfläche des Klemmenmaterials für eine vollständige Aufschrift zu klein, reicht die Angabe des Typkennzeichens und der Herstellerherkunft. Jedoch müssen in diesem Fall alle genannten Angaben auf der kleinsten Verpackungseinheit sichtbar sein. Bei angegebenen Symbolen steht V für Volt, $mm^2$ oder ein Quadratsymbol (□) für den vom Hersteller angegebenen Querschnitt der größten anschließbaren Leiter in $mm^2$ (Bemessungsanschlussvermögen genannt) und T für die höchste Umgebungstemperatur in °C, z. B. T 55. Schraubklemmen nach VDE 0613-2-1 müssen zwei oder mehr Leiter desselben oder unterschiedlichen Nennquerschnitts oder auch Kombinationen davon und starre und/oder flexible unvorbereitete Leiter aufnehmen können. Wenn eine Klemme nur eine Leiterart aufnehmen kann, muss der Hersteller auf dem Endprodukt (der Klemme), auf der kleinsten Verpackungseinheit oder in einem Katalog mit den Buchstaben „r" für starre Leiter und „f" für flexible Leiter, im Falle von schraublosen Klemmen nach VDE 0613-2-2 auch mit „s" oder „sol" für eindrähtige Leiter angeben. Bei schraublosen Klemmen nach VDE 0613-2-2 muss auch eine geeignete Kennzeichnung angegeben werden, die anzeigt, auf welche Länge der Leiter vor dem Einführen in die Klemme abzuisolieren ist. Die Angabe „f" bedeutet auch, dass die Leiter ohne Verwendung besonderer Hilfsmittel, z. B. Aderendhülsen, angeschlossen werden können. Verlötete feindrähtige Leiterenden sind für Schraubklemmen ungeeignet, da das Lot unter dem Kontaktdruck fließt. Lötverbindungen sind eher zu vermeiden. Sollten Lötverbindungen angewendet werden, sind bei der Anfertigung das Fließen des Lötmittels, mechanische Belastungen und eine Temperaturerhöhung im Fehlerfall zu berücksichtigen. Es ist zulässig, nur die Spitze des Aderendes zu verlöten. Wenn allerdings geeignete Klemmen verwendet werden, ist das Verlöten des Leiterendes von mehr-, fein- und feinstdrähtigen Leitern zulässig. Nicht zulässig sind verlötete oder verzinnte Leiterenden von fein- und feinstdrähtigen Leitern, wenn an den Anschluss- und Verbindungsstellen zwischen verlötetem und nicht verlötetem Leiterteil betriebliche Relativbewegungen auftreten können. Bei sonstigen gelöteten Verbindungen und Anschlüssen ist bei der Auswahl und dem Betrieb von Kabeln und Leitungen zu berücksichtigen, dass bei weichgelöteten Verbindungen und Anschlüssen die Grenztemperatur auf 160 °C herabgesetzt ist.

Leiterverbindungen und -abzweige dürfen bei Rohrverlegung nur in Dosen und Kästen, bei Mehraderleitungen, z. B. NYM, und Kabeln nur in Dosen, Kästen oder Muffen hergestellt werden. Anschluss- und Verbindungsmittel müssen der Anzahl und den Querschnitten der anzuschließenden bzw. zu verbindenden Leiter entsprechen.

Lösbare Verbindungsstellen, z. B. Klemmverbindungen, müssen zur Besichtigung, Prüfung und Wartung zugänglich sein. Davon ausgenommen sind Muffen von erd-

verlegten Kabeln und mit Isoliermasse gefüllte oder gekapselte Muffen. Ebenfalls nicht zugänglich zu sein brauchen Verbindungen zwischen der Anschlussleitung und dem Heizelement für Decken-, Fußboden- und Rohrheizsysteme. Mit Inkrafttreten des neuen Teils 520 der VDE-Bestimmung 0100 am 01. Juni 2013 sind weitere elektrische Verbindungen hinzugekommen, die zur Besichtigung, Prüfung und Wartung nicht zugänglich zu sein brauchen und zwar Schweiß-, Löt-, und Hartlötverbindungen sowie mit einem geeigneten Werkzeug hergestellte Crimpverbindungen. Ebenfalls dazugekommen sind – wie es heißt – Verbindungen, die Teil eines einer Produktnorm entsprechenden Betriebsmittels sind. Gemeint sind damit z. B. speziell eine besondere Ausführung von Steckverbindern, die bei Fertigbauteilen eingesetzt werden können, die sog. *elektrischen Verbinder für Fertigbauteile* (EIFs) nach VDE 0606-201:2004-09 (zz. Entwurf). EIFs sind beim Einsatz in Fertigbauteilen nach deren Zusammenbau in der Regel überhaupt nicht mehr zugänglich. Der aktuelle Entwurf der VDE-Bestimmung 0606-201:2004-09 besitzt einen sog. Vermerk des „Wirksamwerdens von Ermächtigungen", wonach der Entwurf als Grundlage für Konformitätsnachweise verwendet werden darf.

Man unterscheidet *Anschlussklemmen*, die zum Anschluss von Leuchten, Zählern, Maschinen, Installationsgeräten und anderen Betriebsmitteln, auch für den Anschluss von Erdungs- und Schutzleitern, benutzt werden, und *Verbindungsklemmen*, die eine Verbindung oder Abzweigung von Leitern, z. B. in Verbindungsdosen und Verteilerkästen, ermöglichen. Eine Verbindungsklemme kann eine, zwei oder mehrere Klemmstellen je Pol und Anschlussseite haben.

Nach VDE 0620-1 und 0632-1 müssen Schraubklemmen in Wandsteckdosen und Schaltern, die als Verbindungsklemmen genutzt werden, den Anschluss von zwei Leitern gestatten. Nur solche Steckdosen lassen ein „Durchschleifen" von Steckdosenleitungen zu; bei Schutzleitern ist jedem Leiter eine besondere Anschluss- oder Verbindungsklemme zuzuordnen.

*Leuchtenklemmen* (*Lüsterklemmen*) und *Geräteklemmen* dürfen nicht als Verbindungsklemmen im Zuge fest verlegter Leitungen (außerhalb von Geräten) verwendet werden, dagegen sehr wohl innerhalb von Leuchten, Abzweigdosen o. dgl. In einem Lichtband allerdings dürfen nur Geräteklemmen, aber keine Leuchtenklemmen verwendet werden.

Sehr bewährt haben sich die *Steckanschlussklemmen* (**Bild 8.5**). Sie bestehen aus einer Anschlussschraube, einer gewölbten Federscheibe aus Federstahl und der Leiterauflage. Die Anschlussschraube wird nur so weit gelockert, dass das abgesetzte gerade Leiterende unter die Federscheibe gesteckt werden kann. Nach dem Festziehen der Anschlussschraube ist durch den besonders hohen Kontaktdruck einwandfreier Stromübergang gewährleistet. Die Federeigenschaften der gewölbten Scheibe sichern die Anschlussverbindung gegen unbeabsichtigtes Lockern bei




***Bild 8.5:*** *Steckanschlussklemme eines NH-Sicherungsunterteils der Größe 00 (Werkbild: Siemens)*

betriebsmäßigen Wärmebeanspruchungen oder Erschütterungen. Mehrdrähtige Leiter werden zweckmäßig mit Hilfe von *Aderendhülsen* angeschlossen. Es können auch zwei Leiter gleichen oder – in gewissen Grenzen – verschiedenen Querschnitts angeschlossen werden. Der Verdrehungsschutz der Federscheibe und der anzuschließenden Leiter ist gewährleistet. Bei Aderendhülsen verringert sich der Nennquerschnitt der Klemmen i. Allg. um eine Stufe. Es sollten möglichst Kupferhülsen verwendet werden. Beim Anschluss von Aluminiumleitern sind besondere Voraussetzungen zu beachten, die beim Klemmenhersteller zu erfragen sind.

Sehr gut leitende Verbindungen ergeben sich mit *Flachsteckverbindungen*, die auch als Steck-Schraub-Klemmen hergestellt werden. Die Flachsteckverbindungen bestehen aus einem Flachstecker der Größe 2,8 mm, 4,8 mm, 6,3 mm oder 9,5 mm und einer passenden Steckhülse. Die angeschlossenen elektrischen Kupferleiter können flexible oder starre mehrdrähtige Leiter mit einem Querschnitt bis 6 $mm^2$ oder starre eindrähtige Leiter mit einem Querschnitt bis 2,5 $mm^2$ sein. Die Bemessungsspannung darf AC 1 000 V und DC 1 500 V nicht überschreiten. Der Hersteller dieser Flachsteckverbindungen muss das empfohlene Verfahren angeben, wie der Leiter mit dem Anschlussteil zu verbinden ist (z. B. das Werkzeug, die Abisolierlänge). Flachsteckerverbindungen eignen sich in und an Geräten aller Art, wie Waschmaschinen, Büromaschinen, Werkzeugmaschinen, Schalt- und Steuerschränken, Schützen. Sie sind auch als Schutzleiteranschluss möglich.

Als Frontverdrahtungsklemme wird die *schraubenlose Klemme* mit der sog. *Käfigzugfeder* bis 35 $mm^2$ Bemessungsquerschnitt (Klemmkraft 240 N) hergestellt.

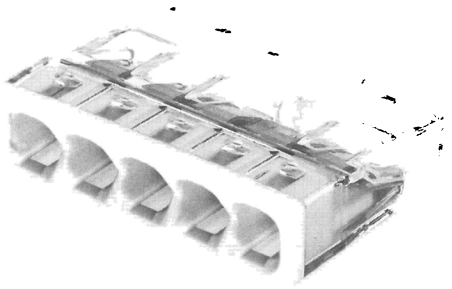


***Bild 8.6:*** *Schraubenlose Verbindungsdosenklemme (Werkbild: Wago)*

Für Installationsschalter bis 16 A und 250 V sowie für Lichtdrücker und für Leiter mit 1,5 $mm^2$ und 2,5 $mm^2$ Querschnitt sind nach VDE 0632-1 schraubenlose Anschluss- oder Verbindungsklemmen zulässig. Sollen zwei eindrähtige Leiter angeschlossen werden, so müssen zwei voneinander unabhängige Klemmstellen vorhanden sein. Das Lösen geschieht durch Druck auf einen Hebel.

Für Verbindungen innerhalb von Installationsdosen gibt es geprüfte *Steckverbindungsklemmen* bis 400 V, 2,5 $mm^2$ (**Bild 8.6**). Durch die automatische Verklemmung wird eine elektrisch und mechanisch einwandfreie Verbindung hergestellt, die Schrauben, Quetschen oder Löten übertrifft. Bei Klemmstellen für den Anschluss mehrerer Leiter werden die Leiter unabhängig voneinander verklemmt. Die Verbindung ist zug- und rüttelsicher, also auch für den Schutzleiter geeignet. Der Kaltfluss des Leiters, die Ursache von Wackel- und Glühkontakten, wird kompensiert. Der Kontaktdruck ist auch bei thermischen oder chemischen Beanspruchungen konstant.

Beim Zusammenfassen mehrerer Stromkreise in einem gemeinsamen Kasten muss die Übersicht gewahrt bleiben. Das ist durch die Verwendung von *Reihenklemmen* nach VDE 0611 zu erreichen. Andernfalls müssen die Stromkreise durch isolierende Zwischenwände getrennt werden. **Bild 8.7** zeigt eine schraubenlose Reihenklemme nach Reihe VDE 0611.

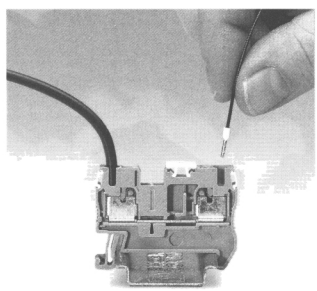


***Bild 8.7:*** *Schraubenlose Zugfeder-Reihenklemme (Werkbild: Phoenix Contact)*

Bei größeren Querschnitten gibt es Verfahren, die das Auflösen von Kabelschuhen ersetzen sollen, z. B. Quetschkabelschuhe oder einfaches Einlegen der unbehandelten Leiterenden von vorn in die Klemme (Klemmenkabelstutzen), die aus nahtlosem Kupferrohr mit Inspektionsloch für Leiterquerschnitte von 0,5...500 $mm^2$ vibrations- und korrosionsfest mit einen Pressdruck bis zu 20 t hergestellt werden können.

*Lose Klemmen* oder gar *Würgeverbindungen* bedeuten Wackelkontakt und damit mindestens elektromagnetische Störungen. In schlimmeren Fällen können sie sich bis 800 °C, d. h. bis zur Brandentzündung, erhitzen und wegen Unterbrechung des PEN-Leiters sogar tödliche Unfälle zur Folge haben. Schutzleiterklemmen müssen deshalb gesichert werden, z. B. durch Gegenmuttern. Die Gehäuse von Abzweigdosen und ihre Deckel müssen bei brennbarer Umgebung aus schwer entflammbaren Werkstoffen bestehen. Mangelhafte Klemmverbindungen zählen zu den häufigsten Ursachen elektrisch gezündeter Brände.

Immer häufiger werden so genannte *Installationssteckverbinder* nach VDE 0606-200 als lösbare elektrische Verbindungen eingesetzt (**Bild 8.8**). Sie werden dort genutzt, wo es auf rasches und einfaches Verbinden von unterschiedlichen Teilen der Installation ankommt. Spätere vorgesehene Änderungen oder Reparaturen werden durch den Einsatz von Installationssteckverbindern erleichtert. Sie bestehen aus einer Installationssteckdose und einem Installationsstecker und sind nur für eine dauernde Verbindung vorgesehen. Stecker und Steckdose sind mechanisch verriegelt. An sie können sowohl Leitungen mit massiven Leitern als auch flexible Leitungen angeschlossen werden. Installationssteckverbinder dürfen nicht unter Last verbunden oder getrennt werden. Sie sind nur zum Verbinden und Trennen bei der Erstinstallation, bei Wartungsmaßnahmen oder bei Änderungen der Installation vorgesehen. Dabei sind sie nur ohne Last, ganz stromlos zu verbinden oder zu trennen. Installationssteckverbinder dürfen auf keinen Fall als Ersatz für normale Stecker- und Steckdosensysteme verwendet werden. Installationssteckverbinder

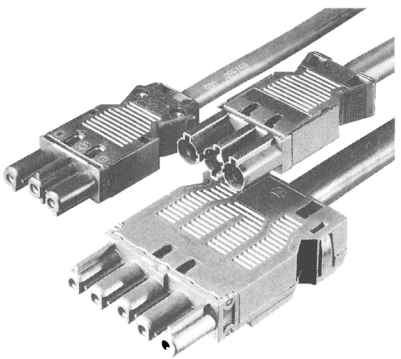


***Bild 8.8:*** *Vorkonfektionierte Steckverbinder zur Installation von Beleuchtung, Steckdosen und Schaltern (Werkbild: Wieland Electric)*

gibt es in *wiederanschließbarer* und *nicht wiederanschließbarer* Ausführung. Bei wiederanschließbaren Installationssteckverbindern kann die Leitung ersetzt werden. Bei der nicht wiederanschließbaren Ausführung bilden die Installationssteckverbinder eine vollständige Einheit mit der Leitung. Installationssteckverbinder nach der genannten Norm gibt es in zwei- bis fünfpoliger Ausführung mit oder ohne Schutzkontakt bis 10 $mm^2$ Anschlussvermögen und nur für Innenräume. Sie werden z. B. in Fertighäusern, Installationshohlräumen (z. B. Doppelböden), abgehängten Decken, Kabelträgersystemen, Kabelführungssystemen, Kabelkanalsystemen, in Trennwänden, Ausstellungsräumen oder ähnlichen Anwendungen eingesetzt (**Bild 8.9**). Installationssteckverbinder können auch direkt als Anschlussleitungen von Betriebsmitteln eingesetzt werden, z. B. bei separaten fest installierten Leuchten in einem Beleuchtungssystem oder zum Verbinden von verschiedenen elektrischen Komponenten z. B. einer Klimaanlage wie Motoren, Steuervorrichtungen und Pumpen.

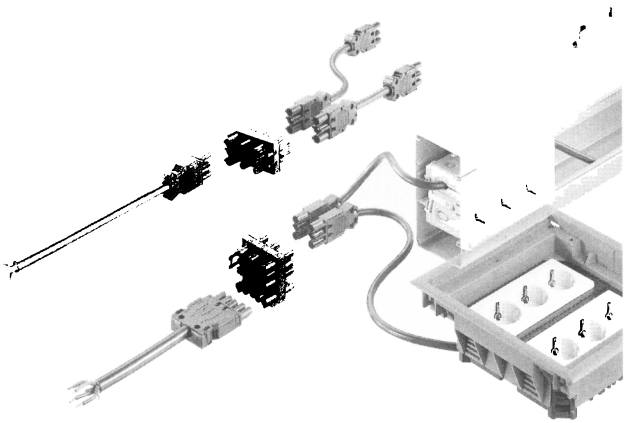


***Bild 8.9:*** *Steckbare Elektroinstallation für Decke, Brüstungskanal und Bodenaufbauten (Werkbild: Wieland Electric)*

## 8.2.4 Installationsdosen

In Installationsdosen nach VDE 0606-1 werden Klemmen zum Verbinden von Leitungen, Installationsgeräte (z. B. Schalter, Steckvorrichtungen) und Befestigungsvorrichtungen für Leuchten mit den zugehörigen Leuchtenanschlussklemmen untergebracht. Installationsdosen dienen dem mechanischen Schutz der eingebauten Geräte und Betriebsmittel sowie dem Schutz gegen direktes Berühren aktiver Teile. Sie können rund oder eckig sein und aus Metall oder Isolierstoff bestehen. Sie haben Einführungsöffnungen für Rohre und/oder Leitungen.

Nach der Produktbestimmung VDE 0606-1 von Okt. 2000, die durch die nachfolgenden Ausgaben (aktuelle Ausgabe 2014-01) grundsätzlich ersetzt worden ist, aber in einzelnen Abschnitten, z. B. für Hohlwanddosen, noch gilt, wurden Dosen wie nachfolgend aufgeführt, unterschieden. Die Aufstellung wird hier zunächst beibehalten, weil es sich nach Ansicht des Autors um eine praxisnahe Einteilung handelt:

- *Verbindungsdosen* zum Verbinden und zum Abzweig von Leitungen,
- *Gerätedosen* zum Einbau von Geräten, wie Schalter und Steckvorrichtungen,
- *Geräteverbindungsdosen* zum Einbau von Geräten mit zusätzlichem Platz für Verbindungsklemmen,
- *Deckenleuchten-Verbindungsdosen* zum Anschluss von Leuchten und mit zusätzlichem Platz für Verbindungsklemmen,
- *Deckenleuchten-Anschlussdosen* zum Anschluss einer Leuchte (üblicherweise mit Deckenhaken ausgerüstet),
- *Wandleuchten-Anschlussdosen* zum Anschluss einer Leuchte,
- *Geräteanschlussdosen* zum festen Anschluss von Verbrauchsmitteln über bewegliche Leitungen,
- *Übergangsdosen* für Leitungsverbindungen beim Übergang von einer Leitungsart auf eine andere, z. B. von Freileitungen auf Hauseinführungsleitungen,
- *Verbindungsmuffen* zum Verbinden von zwei Kabeln bzw. Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt),
- *Hauptabzweigkästen* zum Verbinden von Hauptleitungen.

Nach der aktuellen Ausgabe der VDE 0606-1 von Jan. 2014 werden die Dosen und Umhüllungen (Gehäuse) eingeteilt nach:

- Art ihres Werkstoffs
  - Isolierstoff,
  - Metall,
  - Verbundmaterial (Kombination aus Metall und Isolierstoff),

- Art der Installation (Dosen und Umhüllungen (Gehäuse) können für mehrere Installationsarten geeignet sein)
  - Unterputz, Imputz oder eingebettet in

    nicht brennbare Wände, nicht brennbare Decken oder nicht brennbare Böden,

    brennbare Wände, brennbare Decken oder brennbare Böden,

    Hohlwände, Hohldecken, Hohlböden oder Möbel,
  - Aufputz auf

    nicht brennbare Wände, nicht brennbare Decken, nicht brennbare Böden oder nicht brennbare Möbel,

    brennbare Wände, brennbare Decken, brennbare Böden oder brennbare Möbel,
  - Montage,

    geeignet für das Einbringen in Beton,

    geeignet für alle Arten der Installation außer in Beton,
- Art der Einführungen bzw. Ausführungen, wobei Dosen und Umhüllungen (Gehäuse) mehr als eine Art der Einführungsöffnung besitzen können,

  mit Einführungen bzw. Ausführungen für
  - Mantelleitungen,
  - flexible Leitungen,
  - glatte oder gewellte Elektroinstallationsrohre,
  - Elektroinstallationsrohre mit Gewinde,
  - andere Arten von Leitern/Leitungen oder Elektroinstallationsrohren,

  sowie
  - mit Einführungsstutzen,
  - ohne Einführungen (Einführungsöffnungen werden während der Installation hergestellt),
- Befestigungsmittel
  - mit Kabel- oder Leitungsrückhaltung,
  - mit Zugentlastung der Kabel oder Leitungen,
  - mit Befestigungsmitteln für flexible Elektroinstallationsrohre,
  - ohne Befestigungsmittel,

- minimale und maximale Temperaturen während der Installation
  - –5 °C bis +60 °C,
  - –15 °C bis +60 °C,
  - –25 °C bis +60 °C,
- maximale Temperatur während des Beton-Gießprozesses
  - +60 °C,
  - +90 °C (diese Arten sind für den Gebrauch in Beton vorgesehen und widerstehen während des Abbindeprozesses kurzzeitig Temperaturen von bis zu +90 °C),
- Dosen und Gehäuse für Hohlwände und Ähnliches
  - nach der Schutzart des in der Hohlwand montierten Teils

    IP2X,

    > IP2X,
- vorgesehenem Befestigungszubehör an Dosen
  - Dosen, geliefert mit Schrauben,
  - Dosen für Schraubbefestigung,
  - Dosen für Krallenbefestigung,
  - Dosen für andere Befestigungsmittel.

Innerhalb einer Installationsdose sollte nur ein Stromkreis verklemmt werden. Sind für mehrere Stromkreise Verbindungen oder Abzweigungen in einer gemeinsamen Installationsdose erforderlich, so müssen befestigte Reihenklemmen nach Reihe VDE 0611 verwendet werden, oder die Klemmen der verschiedenen Stromkreise sind durch isolierende Zwischenwände voneinander zu trennen.

Zum Schutz gegen direktes Berühren aktiver Teile sind die Deckel von Installationsdosen nach VDE 0606-1 nur mit Werkzeug lösbar. Schraubenlos befestigte Deckel haben eine oder mehrere erkennbare Einrichtungen, z. B. Aussparungen, die das Einsetzen eines Werkzeugs zum Entfernen der Deckel ermöglichen. Installationsdosen aus Metall verfügen über einen Schutzleiteranschluss.

Durch Verwenden von *Geräteverbindungsdosen* können Verbindungsdosen überflüssig werden. Alle Leitungsverbindungen und -abzweige sind dabei unmittelbar in den Wandgehäusen der Unterputz-Schalter, -Taster oder -Steckdosen zusammengefasst. Die Geräteverbindungsdose ist aus Isolierstoff. Sie muss neben dem eingebauten Gerät, z. B. dem Schalter, Raum für mindestens drei Verbindungsklemmen haben. Solche Dosen sind mit „Schwalbenschwänzen" oder Stutzen versehen, mit denen beliebig viele Dosen für Kombinationen aneinander gereiht

werden können. Sie erfordern weniger Stemmarbeiten, und meist kann man ohne Leiter vom Boden aus verdrahten. Die Störungssuche wird erleichtert. Ein weiterer Vorteil dieser Installationsform liegt darin, dass durch Herausnahme des Betriebsmittels (Schalter, Steckdose) die elektrische Anlage ohne Beschädigung der Tapete geändert werde kann.

Die Installationsdosen sind nach der noch gültigen Norm VDE 0606-1:2000-10 durch folgende Symbole gekennzeichnet:



Aufputzdose,


Unterputzdose,


Imputzdose,


Hohlwanddose,


Betonbaudose,


Installationskanaldose.

## 8.2.5 Mechanischer Schutz

Die Schutzverkleidung oder Außenhülle der Leitungen und Kabel ist, vor allem im Handbereich, in die Abdeckung der elektrischen Betriebsmittel (Dosen, Schalter, Klemmenkästen) einzuführen. Metallene Umhüllungen dürfen dagegen nicht in den Anschlussraum hineinragen. Normalerweise gelten Leitungen in Rohren mit dem Kennzeichen A (s. Abschn. 8.2.10), ummantelte Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) und Kabel als ausreichend geschützt. Ein *zusätzlicher Leitungsschutz* gegen mechanische Beschädigung ist stets an Stellen besonderer Gefährdung, z. B. bei Fußbodendurchführungen, vorzusehen. Dies kann z. B. durch übergeschobene Kunststoff- und Stahlrohre oder durch Verkleidungen, die sicher befestigt sein müssen, geschehen. Schädliche Einwirkungen benachbarter Rohrsysteme (Wasserdampf, Dampfheizungs- oder Gasrohre) sind z. B. durch ausreichenden Abstand, notfalls durch Abschottung zu berücksichtigen. Wärme- oder chemische Einwirkungen durch die Umgebung sind zu beachten.

Die Schutzart der Betriebsmittel, z. B. IP21, IP54, muss durch ordnungsgemäßes Einführen der Anschlussleitung, etwa mit Stopfbuchsenverschraubung, erhalten bleiben.

Leitungsauslässe im Handbereich, z. B. für Leuchten und Heizstrahler, bei denen damit gerechnet werden muss, dass zeitweise keine Verbrauchsmittel angeschlossen sind, müssen in einer Wandauslassdose oder Verbindungsdose enden.

### 8.2.6 Kurzschluss- und erdschlusssicheres Verlegen

Ist ein Schutz bei Kurzschluss durch Abschalten nicht möglich oder erlaubt, so ist der Schutz durch eine *entsprechende Verlegungsart* zu gewährleisten. Die Verlegungsart bzw. die Leiteranordnung muss durch Abstand oder Isolierung bei bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen einen Kurzschluss oder Erdschluss sicher verhindern.

Dies kann geschehen durch

- Verlegen blanker oder isolierter Einzelleiter, die so angeordnet sind, dass eine gegenseitige Berührung und eine Berührung mit geerdeten Teilen verhindert ist und dass durch äußere Einflüsse (z. B. herabfallende Teile) kein Kurzschluss zu erwarten ist. Dies kann z. B. durch ausreichende Abstände mit Abstandhalter oder durch Führen der Einzelleiter in getrennten Elektroinstallationsrohren oder in getrennten Elektroinstallationskanälen oder deren getrennten Zügen erreicht werden,
- Anordnungen aus
  - einadrigen Energieverteilungskabeln (z. B. NYY),
  - einadrigen Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt) NYM,
  - einadrigen Schlauchleitungen für mittlere oder schwere Beanspruchung mit vernetzter Elastomer-Isolierung (H05RR-F, H05RN-F, H07RN-F),
- zugängliche und nicht auf oder in der Nähe brennbarer Stoffe verlegte Kabel oder Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt), bei denen die Gefahr einer mechanischen Beschädigung verhindert ist,
- Anordnungen aus Aderleitungen
  - Sondergummiaderleitungen der Bauart NSGAFÖU,
  - Sondergummiaderleitungen mit verbessertem Verhalten im Brandfall der Bauarten NSHXAÖ, NSHXAFÖ, NSHXFCMÖ,

  alle mit Nennspannungen $U_0/U$ von mindestens 1,8/3 kV.

Anordnungen von Kabeln und Leitungen, die ohne Gefahr für ihre Umgebung ausbrennen können, z. B. Kabel im Erdreich, können einem kurzschluss- und erdschlusssicheren Verlegen gleichgesetzt werden.

Ein Beispiel für das Anwenden der kurzschluss- und erdschlusssicheren Verlegung bestimmter Kabel und Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt) in abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten, die gegen mechanische Beschädigung gut geschützt sind, sind Verbindungsleitungen zwischen Transformatoren, Stromerzeugern, Akkumulatoren und Schaltanlagen sowie Stromkreise, deren Unterbrechung den Betrieb einer Anlage gefährden kann (s. Abschn. 8.6).

## 8.2.7 Stemmarbeiten, Aussparungen und Befestigungstechnik

*Schlitze* und *Aussparungen* sind nach DIN 1053-1 (zurückgezogen) in tragenden Wänden ohne Nachweis nur zulässig, wenn dadurch die Standfestigkeit der tragenden Wände nicht beeinträchtigt wird. Die zulässigen Maße für Schlitztiefe und Einzelschlitzbreite hängen von der Wanddicke, der Schlitzlänge, dem Verlauf des Schlitzes (waagerecht, schräg, senkrecht) und davon ab, ob es sich um *nachträglich hergestellte* Schlitze und Aussparungen handelt (**Tabelle 8.13**).

Senkrechte Schlitze und Aussparungen sind auch dann ohne Nachweis zulässig, wenn die Querschnittsschwächung, bezogen auf 1 m Wandlänge, nicht mehr als 6 % beträgt und die Wand nicht drei- oder vierseitig gehalten gerechnet ist. Hierbei müssen die Restwanddicken nach Tabelle 8.13, Spalte 8, und ein Mindestabstand zwischen den Schlitzen und Aussparungen nach Spalte 9 eingehalten werden.

In *Schornsteinmauerwerk* waren Schlitze und Aussparungen früher nicht zulässig. In der Norm DIN 18015-1 werden dazu keine Aussagen mehr gemacht. Trotzdem ist es nicht ratsam, Schlitze und Aussparungen in Schornsteinmauerwerk einzubringen, zumal nach den Feuerungsverordnungen mancher Bundesländer Schlitze und Aussparungen ausdrücklich verboten sind. Abgewichen werden kann von diesem Verbot bei Schornsteinen, in die ein Rauchrohr eingebracht ist. Im Einzelfall sollte bei den zuständigen Stellen nachgefragt werden (z. B. beim Schornsteinfeger).

Bei jeder Befestigung muss die Sicherheit gewährleistet sein. Der Elektroinstallateur muss daher über die ordnungsgemäße Technik bei Bolzensetzgeräten und über die Verwendung von Dübeln Bescheid wissen. Zentrale Zulassungsstellen sind das Institut für Bautechnik in Berlin und die Studiengemeinschaft für Fertigbau e. V. in Wiesbaden.

***Tabelle 8.13:*** *Ohne Nachweis zulässige Schlitze und Aussparungen in tragenden Wänden nach DIN 1053-1 (inzwischen zurückgezogen) (alle Maße in mm)*

| Wanddicke | horizontale und schräge Schlitze[1], nachträglich hergestellt | | vertikale Schlitze und Aussparungen, nachträglich hergestellt | | | vertikale Schlitze und Aussparungen in gemauertem Verband | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Schlitztiefe[3] (Schlitzlänge unbeschränkt) | Schlitztiefe (Schlitzlänge ≤ 1,25 m)[2] | Schlitztiefe[4] | Einzelschlitzbreite[5] | Abstand der Schlitze und Aussparungen von Öffnungen | Schlitzbreite[5] | Restwanddicke | Mindestabstand der Schlitze und Aussparungen | |
| | | | | | | | | von Öffnungen | untereinander |
| ≥ 115 | – | – | ≤ 10 | ≤ 100 | ≥ 115 | – | – | ≥ 2-fache Schlitzbreite bzw. ≥ 240 | ≥ Schlitzbreite |
| ≥ 175 | 0 | ≤ 25 | ≤ 30 | ≤ 100 | | ≤ 260 | ≥ 115 | | |
| ≥ 240 | ≤ 15 | ≤ 25 | ≤ 30 | ≤ 150 | | ≤ 385 | ≥ 115 | | |
| ≥ 300 | ≤ 20 | ≤ 30 | ≤ 30 | ≤ 200 | | ≤ 385 | ≥ 175 | | |
| ≥ 365 | ≤ 20 | ≤ 30 | ≤ 30 | ≤ 200 | | ≤ 385 | ≥ 240 | | |

[1] Horizontale und schräge Schlitze sind nur zulässig in einem Bereich × 0,4 m ober- oder unterhalb der Rohdecke sowie jeweils an einer Wandseite. Sie sind nicht zulässig bei Langlochziegeln.

[2] Mindestabstand in Längsrichtung von Öffnungen ∅ 490 mm, vom nächsten Horizontalschlitz 2-fache Schlitzlänge.

[3] Die Tiefe darf um 10 mm vergrößert werden, wenn Werkzeuge verwendet werden, mit denen die Tiefe genau eingehalten werden kann. Bei Verwendung solcher Werkzeuge dürfen auch in Wänden ∅ 240 mm gegenüber liegende Schlitze mit jeweils 10 mm Tiefe ausgeführt werden.

[4] Schlitze, die bis maximal 1 m über den Fußboden reichen, dürfen bei Wanddicken ∅ 240 mm bis 80 mm Tiefe und 120 mm Breite ausgeführt werden.

[5] Die Gesamtbreite von Schlitzen nach den Spalten 5 und 7 darf je 2 m Wandlänge die Maße in Spalte 7 nicht überschreiten. Bei geringeren Wandlängen als 2 m sind die Werte in Spalte 7 proportional zur Wandlänge zu verringern.

## 8.2.8 Stegleitungen

VDE 0100-520, VDE 0250-201

Auch nach Inkrafttreten der neuen VDE 0100-520 im Juni 2013 dürfen Stegleitungen in Deutschland weiter verwendet werden. Stegleitungen sind für das Verlegen *im oder unter Putz* ausschließlich in *trockenen Räumen* bestimmt. Sie werden zwei- und dreiadrig bis 4 $mm^2$ und fünfadrig bis 2,5 $mm^2$ Cu hergestellt. Abgesehen von den nachstehenden Ausnahmen, müssen sie auf ihrem ganzen Verlauf von rissfestem Putz bedeckt sein. Die bisher in den Erläuterungen zur VDE-Bestimmung genannte Forderung nach einer Putzdicke von mindestens 4 mm ist nicht praxisgerecht, u. a., weil die Putzdicke nicht messbar ist. Wichtig ist, dass eine rissfeste Putzbedeckung gegeben ist. *Ohne Putzabdeckung* dürfen Stegleitungen in Hohlräumen von Decken und Wänden, die aus Beton, Stein oder ähnlichen nicht brennbaren Baustoffen bestehen, verlegt werden. Stegleitungen dürfen jedoch nicht in Elektroinstallationskanälen verlegt werden.

Das Verlegen unter Gipskartonplatten ist zulässig, wenn die Platten nicht geschraubt oder genagelt werden, sondern z. B. mit Gipspflastern auf Decken oder Wänden befestigt sind, die aus Beton, Stein oder ähnlichen nicht brennbaren Baustoffen bestehen. Wenn die Gipskartonplatten mit einer Wärmedämmschicht versehen sind, muss diese mindestens schwer entflammbar sein. Das Verlegen ist nicht zulässig, wenn die Gipskartonplatten auf einen Lattenrost aufgebracht werden, weil beim Aufbringen des Lattenrosts mit einer Beschädigung der Leitungen gerechnet werden muss.

Nicht zulässig ist ferner das Verlegen von Stegleitungen auf brennbaren Bauteilen, auf Holz oder in Holzhäusern und in landwirtschaftlich genutzten Betriebsstätten, auch nicht bei Putzabdeckung.

Stegleitungen dürfen nicht einbetoniert werden. Außerdem dürfen sie nicht unmittelbar auf oder unter Drahtgeweben, Streckmetallen o. dgl. verlegt werden.

Eine Häufung durch Bündelung von Stegleitungen ist unzulässig.

Stegleitungen sind unentbehrlich, wenn in Bauten aus Spann- oder Schüttbeton oder mit Leichtbauplatten Schlitze für das Verlegen von Leitungen aus statischen Gründen nicht zulässig sind. Stegleitungen neigen wegen des durch den Steg gewährleisteten größeren Leiterabstands weniger zu Lichtbogenkurzschlüssen als etwa Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt). Im und unter Putz sowie in Decken und Wandhohlräumen verlegte Leitungen gelten als außerhalb des Handbereichs angeordnet und als mechanisch geschützt.

In größeren Zimmern ist es ratsam, eine vier- oder fünfadrige Stegleitung zum Deckenanschluss und zum zugehörigen Schalter zu verlegen, um nachträglich eine Serienschaltung ausführen zu können. Werden mehrere Stegleitungen nebeneinander verlegt, so ist es zweckmäßig, die Leitungen in einem Abstand von 1…2 cm zu

führen, um einen besseren Halt der Putzschicht sicherzustellen. Zur Herstellung von Bögen wird der Steg in der Längsrille auf eine Länge von 1...2 cm aufgeschnitten und auf eine Gesamtlänge von 10...15 cm weiter von Hand aufgetrennt. Ein oder zwei Adern werden nach innen gezogen, wodurch sich der Bogen ohne zusätzliche Verdickung ausführen lässt. Die Stegleitung kann auch rechtwinklig umgebogen werden. In diesem Fall ist aber das Mauerwerk infolge der Verdickung der Bogenstelle etwas auszusparen, damit die Leitung auch an dieser Stelle vollständig vom Putz bedeckt werden kann.

Zur *Befestigung* der Stegleitungen dürfen nur solche Mittel und Verfahren angewendet werden, die eine Formänderung oder Beschädigung der Isolierhülle ausschließen. Zulässige Befestigungsmittel sind beispielsweise Gipspflaster oder der Leitungsform angepasste Schellen aus Isolierstoff oder aus Metall mit isolierender Zwischenlage. Auch das Befestigen durch Nageln ist zulässig. Es dürfen aber nur Stahlnadeln mit Isolierstoff-Unterlegscheibe und Rundkopf verwendet werden, dessen Durchmesser kleiner ist als der der Unterlegscheibe. Die Länge der Nadeln muss dem Untergrund angepasst sein. Die Nadeln müssen durch die in der Stegleitung beiderseits vorhandene keilförmige Rille geschlagen werden. Zwei sich kreuzende Stegleitungen dürfen nicht mit einer Stahlnadel gemeinsam befestigt werden.

Die Leitung muss fest auf der Rohmauer aufliegen, damit nicht beim Verputzen zwischen Leitung und Wand Putz eindringen und dadurch die Leitung aus der Putzfläche herausdrücken kann. Deshalb sollen die Befestigungsmittel nicht weiter als 25 cm auseinander liegen.

Als *Zubehör* für Stegleitungen sind Dosen aus Isolierstoff (Vollisolierung), in die Klemmen fest eingebaut sind, zulässig; nicht zulässig sind dagegen Metalldosen, also z. B. verbleite Dosen. Die Geräte- und Abzweigdosen sind entsprechend der Putzdicke 12 mm tief. Sie werden mit handelsüblichen Zentraldübeln befestigt.

Nach Fertigung und Austrocknen des Putzes sind das Altpapier oder die Putzdeckel aus den Wandgehäusen zu entfernen. Dann folgt die Vorbereitung der Leitungsenden für den Anschluss der Leiter an die Anschlussklemmen der Schalter und Steckdosen. Der Steg der Leitung wird von Hand aufgetrennt. Die Adern sollen so lang wie möglich gelassen und bis zum Eintritt in die Wandgehäuse aufgeteilt werden, um die einzelnen Leitungsadern dann bequem zu den Klemmen des Geräteeinsatzes führen zu können. Schwierigkeiten treten bei Imputzleitungen manchmal bei *Deckenauslässen* auf. Das Ende der Leitung hat hier keinen Halt, wodurch beim Anschließen die Putzabdeckung ausbrechen kann. Deckenauslasstüllen aus Isolierpressstoff oder flache Deckendosen helfen, diesen Nachteil vermeiden. Für den Deckenhaken muss ein geeigneter Dübel (Spreizdübel), der den Haken aufnimmt und die Last trägt, vor dem Aufkleben der Endtülle gesetzt werden. Die Endtülle kann den Beleuchtungskörper nicht tragen.

Vor den Maler- und Tapezierarbeiten müssen die Leitungen auf Stromdurchgang und Isolationswiderstand geprüft werden.

### 8.2.9 Ummantelte Installationsleitungen (Mantelleitungen)

VDE 0100-520, Reihe VDE 0250

Ummantelte Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt), z. B. PVC-Installationsleitungen NYM (VDE 0250-204), dürfen über, auf, in oder unter Putz, jedoch nicht im Erdboden und nicht in Wasser verlegt werden. Lediglich in geeigneten Installationsrohren (z. B. AS) oder geschlossenen Elektroinstallationskanälen dürfen sie in Erde verlegt werden. Die Leitungen sollten jedoch zugänglich und auswechselbar bleiben und die Rohre und Kanäle gegen das Eindringen von Feuchtigkeit geschützt und belüftet sein. Diese Verlegung von Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) sollte jedoch die Ausnahme und auf kurze Strecken, z. B. bis 5 m, beschränkt bleiben. Das Verlegen von Kabeln ist vorzuziehen. Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) sind im Freien, in trockenen, feuchten, nassen, feuergefährdeten und explosionsgefährdeten Bereichen zulässig. Beim Verlegen im Freien müssen sie aber vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt werden.

Da die Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) durch die äußere Umhüllung gegen Feuchtigkeit und chemische Angriffe geschützt sind, kommt es bei der Planung und Ausführung der Installation darauf an, möglichst Stellen zu vermeiden, an denen die Leitung unterbrochen und deswegen der Kunststoffmantel entfernt werden muss. Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) (NYM) dürfen nicht unmittelbar einbetoniert werden, sofern der Beton einem Rüttel-, Schüttel- oder Stampfprozess unterzogen wird. Das Einbringen in Aussparungen und Bedecken mit Beton ist jedoch zulässig. In Mauerwerk dürfen Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) verlegt werden.

Die Oberflächentemperatur der Leitung muss bei ihrer Verlegung mindestens 5 °C betragen, um Risse am PVC-Mantel zu vermeiden. Bei niedrigeren Umgebungstemperaturen ist die Leitung vor ihrem Verlegen ggf. zu erwärmen.

Werden Leitungen um Ecken oder im Winkel verlegt, so ist darauf zu achten, dass ihre kleinsten *zulässigen Biegeradien* nicht unterschritten werden.

Kleinere Biegeradien sind beim *Ausformen* der Leitungen zulässig. Ausformen bedeutet, dass eine Leitung nur einmalig im warmen Zustand (mindestens übliche Raumtemperatur) mittels einer Schablone oder eines ähnlichen Hilfsmittels gebogen wird. Die kleinsten zulässigen Biegeradien unter diesen Voraussetzungen

*Tabelle 8.14: Kleinste zulässige Biegeradien von Leitungen bei fester Verlegung*

| Außendurchmesser D der Leitung oder Dicke D der Flachleitung | Biegeradius | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Leitungen mit starren Leitern | | Leitungen mit flexiblen Leitern | |
| | bei bestimmungsgemäßem Gebrauch | bei Ausformen mit vorsichtigem Biegen | feste Verlegung | flexible Anwendung |
| D ≤ 8 mm | 4 · D | 2 · D | 3 · D | 4 · D |
| D > 8...12 mm | 5 · D | 3 · D | 3 · D | 4 · D |
| D > 12...20 mm | 6 · D | 4 · D | 4 · D | 5 · D |
| D > 20 mm | 6 · D | 4 · D | 4 · D | 6 · D |

sind **Tabelle 8.14** zu entnehmen. Hierbei entspricht der kleinste zulässige Biegeradius dem inneren Radius; die Tabellenwerte gelten für eine Leitertemperatur von (20 ± 10) °C.

Eingeknickte oder gebrochene Leitungen sind nicht zu verlegen, sondern an diesen Stellen aufzuschneiden und durch eine Dose oder andere geeignete Zwischenglieder zu verbinden. An Stellen, wo mit mechanischer Beschädigung gerechnet werden muss, sind Schutzrohre oder gleichwertige Verkleidungen über die Leitungen zu schieben. Die Leitungen sollten mit *Isolierstoffschellen* oder solchen aus Metall mit fabrikationsmäßig hergestellter Isolierstoffeinlage befestigt werden. Nach Möglichkeit sind doppellappige Schellen zu verwenden. Mangelhaft angebrachte oder nicht passende Schellen sind eine große Gefahr für die Leitungsanlage. Die größten Befestigungsabstände bei fester Verlegung von Leitungen sollten abhängig vom Außendurchmesser D der Leitung sowohl bei waagerechter als auch bei senkrechter Verlegung den Werten der **Tabelle 8.15** entsprechen. Diese Abstände können auch für das Verlegen an Spanndrähten herangezogen werden. Bei glatter Oberfläche der Decken oder Wände dürfen Installationsleitungen (auch Mantel-

*Tabelle 8.15: Größter Abstand zwischen Befestigungsmitteln bei fester Verlegung von Leitungen*

| Außendurchmesser D der Leitung | größter Abstand | |
|---|---|---|
| | waagerecht | senkrecht |
| ≤ 9 mm | 25 cm | 40 cm |
| > 9...15 mm | 30 cm | 40 cm |
| > 15...20 mm | 35 cm | 45 cm |
| > 20...40 mm | 40 cm | 55 cm |

leitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) unmittelbar auf Putz oder Stahlkonstruktionsteilen u. dgl. befestigt werden.

Leitungen mit thermoplastischer Isolierung sind *wärmedruckempfindlich*. Bei der Montage ist deshalb darauf zu achten, dass solche Leitungen vornehmlich an Kanten, Biegestellen usw. nicht dauernd Wärme und Druck zugleich ausgesetzt sind. Insbesondere bei der Nutzung von Kabelbindern ist auf den Anpressdruck zu achten. *Kabelbinder* (VDE 0604-201) dürfen nicht zum Befestigen und Tragen verwendet werden. Sie dienen nur zum Bündeln oder Binden von Gruppen von Kabeln und/oder Leitungen, und das auch nur grundsätzlich bei waagerechter Verlegung, z. B. auf durchgehenden Kabelträgersystemen (Kabelrinnen mit ungelochten Böden, gelochte Kabelrinnen, Kabelleiter) oder auf Zwischendecken. Der Hersteller von Kabelbindern oder der verantwortliche Lieferant muss in seinen Unterlagen u. a. die empfohlene Installationsmethode einschließlich des zu verwendenden Werkzeugs sowie der anzuwendenden Anzugskraft angeben.

Die Leitungen können bei starker Häufung auch auf *Kabelrosten* oder *Kabelwannen* aus verzinktem Stahl verlegt werden. Sie sind darauf z. B. mit den erwähnten Kabelbindern zu befestigen; bei waagerechter Führung kann dies auch unterbleiben. Bei geringerer Häufung von Leitungen oder auf kurzen Strecken können die Leitungen in einen Installationskanal nach VDE 0604-1 aus Isolierstoff für isolierte Leiter, Kabel und Leitungen gelegt werden. Es wird zwischen zu *öffnenden* und *geschlossenen* Elektroinstallationskanalsystemen unterschieden. Darüber hinaus gibt es Elektroinstallationskanäle, die zusätzlich für den Einbau von Geräten wie Schalter, Steckdosen, Leitungsschutzschalter geeignet sind (s. Abschn. 8.2.11). Dabei sollte berücksichtigt werden, dass Installationskanäle aus Isolierstoff eine erhebliche Brandlast aufweisen, die sich im Brandfall negativ auswirkt. Auch ist die Wärmeabfuhr stärker behindert als bei metallenen Kabelwannen.

Generell ist zu beachten, dass bei Kabel- oder Leitungshäufungen die Belastbarkeit der Leitungsquerschnitte sinkt (s. Abschn. 8.3).

Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) dürfen ferner an *Spanndrähten* und in Schutzrohren aus Metall oder Kunststoff verlegt werden.

Das *Abmanteln* der Leitungsenden muss mit größter Sorgfalt möglichst mittels eines Spezial-Mantelschneiders oder einer Mantelschneidzange geschehen, damit die Isolierung der Adern nicht verletzt wird. Es gibt fabrikmäßig hergestellte Abmantelgeräte und thermische Abziehgeräte zum Entisolieren der Einzeladern nach dem Abmanteln. Die Einführung in Feuchtraumdosen und andere Geräte (nur in Feuchtraumausführung) muss sorgfältig abgedichtet werden (z. B. Stopfbuchsenverschraubung nach **Bild 8.10** mit Verkitten oder Verwenden von sog. Plastik- oder Würgenippeln).



***Bild 8.10:*** *Kabelverschraubungen mit Zugentlastung (Werkbild: Jacob)*

Besondere Wand- oder Deckendurchführungen sind nicht erforderlich. Die Leitungen können unmittelbar durch das Mauerwerk verlegt werden, wobei Zement, nicht aber Kalk oder Gips zu verwenden ist. Bei Deckendurchführungen ist die Leitung über dem Fußboden durch Verkleidung (Rohr, Holz) gegen Beschädigung zu schützen.

Der *Übergang von* Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) *auf andere isolierte Leitungen* soll an einer trockenen Stelle außerhalb des Raums stattfinden, in dem die Installationsleitung (auch Mantelleitung, früher auch Feuchtraumleitung genannt) verlegt ist. Die Installationsleitung (auch Mantelleitung, früher auch Feuchtraumleitung genannt) ist ordnungsgemäß abzumanteln und in eine Trockenraumdose einzuführen.

Für *selbsttragende Aufhängung* im Freien gibt es die Mantelleitung mit Tragseil NYMT (VDE 0250-206) mit 2...5 Adern. Die bisher verwendeten Spanndrahtseile und Hängeschellen werden dadurch überflüssig. Die Norm für Mantelleitung mit zugfester Bewehrung (Tragegeflecht) (NYMZ) (früher: VDE 0250-205) ist im Dez. 1999 zurückgezogen worden. Mithilfe von korrosionsbeständigen Abspannklemmen ist eine schnelle und sichere Montage durchführbar. Die Leitungen lassen eine Spannweite bis zu 50 m zu. Der Adernquerschnitt beträgt 1,5...35 $mm^2$ Cu. Diese Typen können für Straßenbeleuchtung, Hofüberspannungen, Hausanschlüsse, Bauplätze usw. verwendet werden. In gleicher Weise eignen sich dafür isolierte Freileitungsseile für oberirdische Verteilungsnetze mit der Bemessungsspannung $U_0/U$ = 0,6/1 kV nach VDE 0276-626/A1, Typ NFA2X, 1 × 25 $mm^2$ bis 4 × 70 $mm^2$.

Der *Übergang von Freileitung auf Mantelleitung* soll im Freien erfolgen. An der Übergangsstelle sind Übergangsköpfe oder -kästen vorzusehen, in die die Mantelleitung eingeführt wird. Die Austrittsstelle der an die Freileitung führenden einzelnen Leitungen ist in geeigneter Weise gegen den Eintritt von Feuchtigkeit abzudichten. Der Übergangskopf muss höher liegen als die Verbindungsstelle mit der Freileitung.

Der *Übergang von Mantelleitung auf bewegliche Leitung* bei begrenzt bewegbaren Betriebsmitteln, z. B. einem Elektroherd, ist in einer zu diesem Zweck geeigneten Geräteanschlussdose (Herdanschlussgerät) für Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) herzustellen. Dabei muss Gewähr für eine genügende Abdichtung der Übergangsstelle gegeben sein. Ferner ist sorgfältig auf eine wirksame Zugentlastung der beweglichen Anschlussleitung sowohl in der Anschlussdose als auch am Gerät zu achten.

Anschlüsse sowie Verbindungen und Abzweigungen innerhalb von Mantelleitungen dürfen nur in Dosen und Kästen oder Muffen hergestellt werden.

## 8.2.10 Installationsrohre

VDE 0100-520, Reihe VDE 0605

Nach der im Dez. 1995 zurückgezogenen VDE 0605:1982-04 wurden Elektroinstallationsrohre in Klassen eingeteilt (**Tabelle 8.16**).

VDE-geprüfte Rohre tragen das Prüfzeichen. Zu den Installationsrohren gehören auch Kunststoff- und Metall-Schutzschläuche (s. Abschn. 8.1.6).

***Tabelle 8.16:*** *Einteilung der Elektroinstallationsrohre nach VDE 0605:1982-04*

| Kennzeichen | Beanspruchung/Eigenschaft |
|---|---|
| AS | schwere Druckbeanspruchung (bis 1 000 N auf 100 mm Länge) |
| A | mittlere Druckbeanspruchung (bis 500 N auf 100 mm Länge) |
| B | leichte Druckbeanspruchung (bis 250 N auf 100 mm Länge) |
| C | Isolierstoffrohre mit besonderen elektrischen Eigenschaften |
| F | flammwidrige Isolierstoffrohre |
| H | Isolierstoffrohre aus halogenfreiem Werkstoff |
| 105 | Isolierstoffrohre mit einer Wärmefestigkeit bis 105 °C |

*Beispiele* für die Kennzeichnung nach VDE 0605:1982-04

| | |
|---|---|
| ACF | flammwidriges Isolierstoffrohr für mittlere Druckbeanspruchung |
| AS | Stahlrohr für schwere Druckbeanspruchung |
| ASCF | flammwidriges Isolierstoffrohr für schwere Beanspruchung |
| BC 105 | nicht flammwidriges Isolierstoffrohr für leichte Druckbeanspruchung und Wärmefestigkeit bis 105 °C. |

In der Praxis haben sich vielerorts die Herstellerbezeichnungen eingebürgert.

*Beispiele* gemäß den Listen der Fränkischen Rohrwerke:

| | |
|---|---|
| FBY | für weiße oder schwarze PE-Wellrohre (BC 105) |
| FFKuM | für graue PVC-Wellrohre (ACF) |
| FPKu-HO | für graue, halogenfreie glatte Kunststoffrohre (ACFH 105). |

Halogenfreie Rohre sollten überall dort Verwendung finden, wo erhöhte Anforderungen an den vorbeugenden Brandschutz gestellt werden. Im Brandfall werden durch sie keine toxischen und korrosiven Gase freigesetzt.

Für Verlegen auf Putz sind nur Installationsrohre mit dem Kennzeichen A und flammwidrige Isolierstoffrohre mit der Kennzeichnung F zugelassen. In Stampf- und Schüttelbeton dürfen nur Installationsrohre mit der Kennzeichnung AS verwendet werden. Für Verlegen auf Putz sind AS-, ASCF- und ACF-Rohre geeignet. Unter Putz eignet sich auch die Bauart BC.

Elektroinstallationsrohre, die nachweislich vor dem 31.1.1996 der VDE 0605:1982-04 entsprochen haben, durften noch bis zum Jahr 2001 nach dieser Norm gefertigt werden.

Nach der Neuausgabe der VDE 0605-1 und -24 werden *Elektroinstallationsrohrsysteme* (Rohre und Zubehörteile) eingeteilt nach

- den mechanischen Eigenschaften
  - Widerstand gegenüber Druckbelastung, Schlagbeanspruchung, Biegung,
  - Zugfestigkeit,
  - Hängelast-Aufnahmefähigkeit;
- den zulässigen Temperaturen
  - Mindesttemperaturbereich,
  - Höchsttemperaturbereich;
- den elektrischen Eigenschaften
  - elektrische Leiteigenschaften,
  - elektrische Isolationseigenschaften;
- dem Widerstand gegen äußere Einflüsse
  - Schutz gegen das Eindringen von Festkörpern,
  - Schutz gegen das Eindringen von Wasser,
  - Schutz gegen Korrosion;
- dem Widerstand gegen Flammenausbreitung
  - nicht flammenausbreitend,
  - flammenausbreitend,
  - andere Brandfolgeerscheinungen.

Die Rohre und Zubehörteile müssen mit dem Namen des Herstellers oder des Vertreibers oder einem Warenzeichen und einem Produkterkennungszeichen versehen sein. Zusätzlich kann der Hersteller die Rohre mit einem *Klassifizierungscode* kennzeichnen, der die genannten Eigenschaften darstellt. Die zusätzliche Kennzeichnung mit dem Code kann auch in Firmenprospekten angegeben werden. Der Code besteht aus 12 Ziffern. Die Ziffer 13, die Brandfolgeerscheinungen bezeichnen soll, ist in Vorbereitung. Mindestens die ersten vier Ziffern müssen angegeben werden. Die Bedeutung der Ziffern ist in **Tabelle 8.17** angegeben. Die Kennzeichnung von Zubehörteilen kann auch mit einem Etikett auf dem Bauteil oder dem Verpackungsmaterial vorgenommen werden.

Die Ziffer 2 für die Mindestdruckfestigkeit (erste Ziffer) gilt für die folgenden Verlegeorte: auf, im und unter Putz, in Hohlwänden, auf Holz, in und auf brennbaren Materialien, unter Estrich, in baulichen Hohlräumen, in abgehängten Decken, im Außenbereich/im Freien.

Die Ziffer 3 gilt für die folgenden Verlegeorte: in Beton, in Heißasphalt, in Erde.

*Beispiele* für Klassifizierungscodes (Quelle: Fränkische Rohrwerke):

- biegsames Kunststoff-Isolierrohr aus PVC, geringe Druckfestigkeit, sehr biegsam ohne Querschnittsverengung (darf nicht in Beton verlegt werden, für leichtere Unterputz- und Hohlwandinstallationen geeignet)

  Klassifizierung nach Tabelle 8.17: 2221
  (Druckfestigkeit: leicht; Schlagfestigkeit: leicht; Temperatur bei Transport und Dauergebrauch nicht unter –5 °C; Dauergebrauch und Installation bei nicht mehr als 60 °C)
- biegsames halogenfreies Kunststoff-Panzerrohr mit Mantel aus Spezialkunststoff, hochtemperaturbeständig, mittlere Druckfestigkeit, biegsam ohne Querschnittsverengung (für Verlegung in Hohlwänden und Zwischendecken (abgehängten Decken) sowie für Aufputz, Unterputz, auf Holz und in Beton)

  Klassifizierung nach Tabelle 8.17: 3323
  (Druckfestigkeit: mittel; Schlagfestigkeit: mittel; Temperatur bei Transport und Dauergebrauch nicht unter –5 °C; Dauergebrauch und Installation bei nicht mehr als 105 °C)

Flammenausbreitende Materialien der Rohrsysteme müssen orange eingefärbt sein; ein Anstrich ist nicht zulässig. Die anderen Materialien dürfen jede andere Farbe haben, außer gelb, orange oder rot, es sei denn, dass sie auf dem Bauteil eindeutig als nicht flammenausbreitend gekennzeichnet sind.

Elektroinstallationsrohrsysteme, die *in die Erde verlegt* werden können (VDE 0605-24), dienen dem Schutz und der Führung isolierter Leiter und Kabel im Erdreich. Für diese Rohrsysteme gilt dieselbe Klassifizierung, mit der Ausnahme, dass es für den Widerstand gegenüber Druck- und Schlagbeanspruchung nur jeweils zwei Ziffern gibt (Druckbeanspruchung: 1 normale Ausführung; 2 leichte Ausführung; Schlagbeanspruchung: 1 starr, 2 biegsam). Ziffern für die zulässigen Temperaturbereiche und die elektrischen Eigenschaften gibt es nicht.

***Tabelle 8.17:*** *Klassifizierungscode für Elektroinstallationsrohre einschl. Zubehör nach VDE 0605-1*

| **Erste Stelle** | | | **Zweite Stelle** | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Ziffer** | **Widerstand gegen Druckbelastung** | **Druckkraft N** | **Ziffer** | **Widerstand gegen Schlagbeanspruchung** | **Fallgewicht in kg/ Fallhöhe in mm** |
| 1 | sehr gering (sehr leicht) | bis 125 | 1 | sehr gering (sehr leicht) | 0,5/100 |
| 2 | gering (leicht) | bis 320 | 2 | gering (leicht) | 1,0/100 |
| 3 | mittel | bis 750 | 3 | mittel | 2,0/100 |
| 4 | hoch (schwer) | bis 1 250 | 4 | hoch (schwer) | 2,0/300 |
| 5 | sehr hoch (sehr schwer) | bis 4 000 | 5 | sehr hoch (sehr schwer) | 6,8/300 |

| **Dritte Stelle** | | **Vierte Stelle** | |
|---|---|---|---|
| **Ziffer** | **Transport, Dauergebrauch und Installation bei nicht weniger als °C** | **Ziffer** | **Dauergebrauch und Installation bei nicht mehr als °C** |
| 1 | +5 | 1 | 60 |
| 2 | −5 | 2 | 90 |
| 3 | −15 | 3 | 105 |
| 4 | −25 | 4 | 120 |
| 5 | −45 | 5 | 150 |
| | | 6 | 250 |
| | | 7 | 400 |

| **Fünfte Stelle** | | **Sechste Stelle** | |
|---|---|---|---|
| **Ziffer** | **Widerstand gegen Biegung** | **Ziffer** | **elektrische Eigenschaften** |
| 1 | starr | 0 | nicht erklärt |
| 2 | biegsam | 1 | mit elektrischen Leiteigenschaften |
| 3 | biegsam/sich selbst zurückbildend | 2 | mit elektrischen Isolationseigenschaften |
| 4 | flexibel | 3 | mit elektrischen Leit- und Isolationseigenschaften |

*Tabelle 8.17: (Fortsetzung)*

| Siebte Stelle | | Achte Stelle | |
|---|---|---|---|
| **Ziffer** | **Widerstand gegen das Eindringen von Festkörpern** | **Ziffer** | **Widerstand gegen das Eindringen von Wasser** |
| 3 | IP3X | 0 | IPX0 |
| 4 | IP4X | 1 | IPX1 |
| 5 | IP5X | 2 | IPX2 |
| 6 | IP6X | 3 | IPX3 |
| | | 4 | IPX4 |
| | | 5 | IPX5 |
| | | 6 | IPX6 |
| | | 7 | IPX7 |

| Neunte Stelle | | | Zehnte Stelle | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Ziffer** | **Korrosionsbeständigkeit von metallenen Rohrsystemen und Gemischtbauweise** | **Beispiel** | **Ziffer** | **Zugfestigkeit** | **Zugkraft in N** |
| 1 | geringer Schutz innen und außen | Grundierung | 0 | nicht erklärt | |
| | | | 1 | sehr gering (sehr leicht) | 100 |
| 2 | mittlerer Schutz innen und außen | Einbrennlackierung, Elektroverzinkung/ lufttrocknender Anstrich | 2 | gering (leicht) | 250 |
| | | | 3 | mittel | 500 |
| | | | 4 | hoch (schwer) | 1 000 |
| | | | 5 | sehr hoch (sehr schwer) | 2 500 |
| 3 | mittlerer Schutz innen, hoher Schutz außen | Einbrennlackierung/Scheradisierung | | | |
| 4 | hoher Schutz innen und außen | Feuerverzinkung/Scheradisierung | | | |

| Elfte Stelle | | Zwölfte Stelle | | |
|---|---|---|---|---|
| **Ziffer** | **Widerstand gegen Flammenausbreitung** | **Ziffer** | **Hängelastaufnahmefähigkeit** | **Last in N Zeitspanne 48 min** |
| 1 | nicht flammenausbreitend | 0 | nicht erklärt | |
| 2 | flammenausbreitend | 1 | sehr gering (sehr leicht) | bis 20 |
| | | 2 | gering (leicht) | bis 30 |
| | | 3 | mittel | bis 150 |
| | | 4 | hoch (schwer) | bis 450 |
| | | 5 | sehr hoch (sehr schwer) | bis 850 |

in Klammern: Bezeichnungen nach VDE 0605-1

Neben dem Namen des Herstellers oder dem Warenzeichen und einem Produkterkennungszeichen muss auf den Rohren und Zubehörteilen zusätzlich der Rohrtyp mit N für normale Ausführung oder L für leichte Ausführung angegeben sein. Die Rohre müssen in gleichen Abständen (1 m, maximal 3 m) gekennzeichnet sein. Der Hersteller muss, z. B. in Katalogen, über alles informieren, was für eine ordnungsgemäße und sichere Installation notwendig ist.

Für *Aufputzmontage* eignen sich besonders glatte Kunststoffrohre in Stangen zu 3 m aus Hart-PVC in grauer Farbe. Der Schellenabstand kann hier gegenüber Leitungen größer gewählt werden.

Isolierstoffrohre verhindern bei Isolationsfehlern von Leitungen eine Spannungsverschleppung. Metallrohre ohne Auskleidung und Metallschläuche müssen in eine Schutzmaßnahme gegen elektrischen Schlag einbezogen werden, wenn sie nur betriebsisolierte Leitungen, z. B. H07V-U, enthalten.

Das Verlegen von Rohr *unter Putz* erfolgt in der Regel sofort, nachdem der Rohbau fertiggestellt ist, also vor dem Beginn des Putzens. Die Rohre sollen nicht im, sondern unter Putz liegen, d. h., sie sollen mit der rohen Mauerwerkswand bündig sein, damit sie beim Putzen möglichst geschont werden. Die Baufeuchtigkeit zieht in alle unter Putz verlegten Rohre ein. Mit dem Einziehen der Leitungen sollte deshalb gewartet werden, bis der Bau genügend ausgetrocknet ist, weil sonst Isolationsfehler auftreten können.

Die Zuordnung der Leiteranzahl zu den Installationsrohren ist der **Tabelle 8.18** zu entnehmen.

***Tabelle 8.18:*** *Zuordnung der Anzahl von H07V-U- und H07V-R-Leitern zu den lichten Weiten von Installationsrohren in mm*

| **Bemessungsquerschnitt mm²** | **Leiteranzahl** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** |
| 1,5 | 11 | 11 | 13,5 | 13,5 | 16 |
| 2,5 | 11 | 13,5 | 16 | 16 | 23 |
| 4 | 13,5 | 16 | 16 | 23 | 23 |
| 6 | 16 | 16 | 23 | 23 | 23 |
| 10 eindrähtig | 23 | 23 | 23 | 29 | 29 |
| 10 mehrdrähtig | 23 | 23 | 23 | 29 | 29 |
| 16 eindrähtig | 23 | 23 | 29 | 29 | 36 |
| 16 mehrdrähtig | 23 | 23 | 29 | 29 | 36 |
| 25 eindrähtig | 29 | 29 | 36 | 36 | 48 |
| 25 mehrdrähtig | 29 | 29 | 36 | 36 | 48 |
| 35 mehrdrähtig | 29 | 36 | 36 | 48 | 48 |

Anschlüsse oder Verbindungen und Abzweigungen innerhalb der Rohrverlegung dürfen nur in Dosen oder Abzweigkästen hergestellt werden. Die Rohre sind so einzuführen, dass die Leitungsisolierung durch vorstehende Teile oder scharfe Kanten nicht verletzt werden kann.

In Elektroinstallationsrohren oder Zügen von Elektroinstallationskanälen dürfen isolierte Leiter (Aderleitungen) mit anderen Kabeln oder Leitungen, aber auch mit Aderleitungen anderer Stromkreise *gemeinsam* verlegt werden, wenn alle Leiter für die höchste vorhandene Spannung isoliert sind und die Rohre und Kanäle ausreichenden Querschnitt haben. Das bedeutet, dass die Rohre und Kanäle so ausreichend groß sein müssen, dass eine Beschädigung der Leiterisolierungen ausgeschlossen werden kann. Eine maximale Belegung von 60 % sollte deshalb nicht überschritten werden.

### 8.2.11 Installationskanäle

Reihe VDE 0604

Stahlskelett, Stahlbetongerippe, Aluminium- und Glasfassaden, verstellbare Innenwände und Großraumplanung lassen häufig die herkömmliche Unterputzverlegung in den Wänden nicht mehr zu. Damit wird der Leitungsweg von Starkstrom- und Fernmeldeanlagen zwangsweise in den Fußboden, in Kanäle oder in die Zwischendecke verwiesen. Das Verlegen geschieht in Stahlrohren oder Stahlblechschächten oder in Kunststoffkanälen unterhalb der Fensterbrüstung bzw. in Sockelleisten. Bei den Kanälen handelt es sich um Installationskanalsysteme für elektrische Installationen nach der Reihe VDE 0604, die außer für die Aufnahme von isolierten Leitern, Kabeln und Leitungen (s. Abschn. 8.2.9) zusätzlich für den Einbau von Geräten wie Schalter, Steckdosen, Leitungsschutzschalter geeignet sind.

Elektroinstallationskanäle für das Verlegen auf Wänden und Decken sowie deren Einbaueinheiten müssen VDE 0604-2-1, Elektroinstallationskanäle für die Unterflurinstallation und deren Einbaueinheiten VDE 0604-2-2 (bisher: VDE 0634, zurückgezogen: 2009-07) entsprechen. Als Leitungen können z. B. solche des Typs H07V-U gewählt werden, wenn alle Leiter für die höchste vorhandene Spannung bemessen sind und der Kanal nur mit Werkzeug geöffnet werden kann. Sind es von Hand zu öffnende Kanäle, so wird man z. B. Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt), keinesfalls jedoch Stegleitungen, wählen oder Kunststoffrohre verlegen. Die Einzelteile für die Schächte, Dosen und Zapfsäulen werden serienmäßig geliefert, die Zugdosen z. B. in den Nenngrößen 150 mm, 190 mm, 250 mm und 350 mm entsprechend den standardisierten Kanalbreiten 150 mm, 190 mm, 250 mm und 350 mm. Installationskanaldosen werden nach VDE 0606-1 durch das Symbol  gekennzeichnet (s. Abschn. 8.2.4).

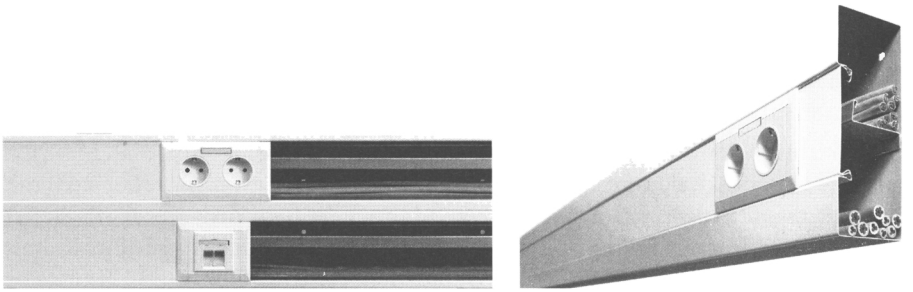


***Bild 8.11:*** *Elektroinstallationskanalsysteme (Werkbild: Hager)*

Installationskanäle für Wand- und Brüstungsinstallation werden aus flammwidrigem Kunststoff oder Stahlblech mit Kunststoffdeckel mit mehreren verstellbaren Fächern hergestellt, sodass Leitungen mit verschiedenen Spannungen und Funktionen getrennt verlegt werden können. Der Kanal kann ferner auf die Wand geschraubt oder auf Abstandshalterungen verlegt werden. Es sind Kanalgrößen z. B. mit 133 mm, 173 mm und 213 mm Höhe, 63 mm Tiefe und ≈ 2 m Länge lieferbar. Der Kanal wird durch die eingebauten UP-Dosen verengt; man darf daher nicht zu kleine Größen wählen. Unterflur- und Kanalinstallation werden häufig in Verwaltungsbauten, Schulen, Labors, Werkstätten und bei der Altbau-Modernisierung, kurz: beim mobilen Arbeiten und Wohnen angewendet. Diese Installationstechnik entspricht den VDE-Bestimmungen (**Bild 8.11**). Installationskanäle können das VDE-Prüfzeichen erhalten.

Bei der Sanierung von Altbauten muss der Eingriff in die bauliche Substanz auf ein Minimum beschränkt werden, sodass ein Unterflur-Installationssystem oder ein Brüstungskanal meist nicht möglich ist. Für solche Fälle wurde ein *Aufboden-Installationskanal* entwickelt, der entlang der Fensterfronten oder Wände auf dem Fußboden verlegt werden kann.

Der Kanal wird in den Nennbreiten 150 mm, 200 mm und 250 mm sowie mit den Nennhöhen 30 mm, 40 mm und 70 mm hergestellt. Der Einbau von Unterflur-Einbaueinheiten ist möglich. Der Kanal besteht aus einem Stahlblechunterteil in ein-, zwei- oder dreizügiger Ausführung, das auf der Fußbodenkonstruktion durch Anschrauben oder Andübeln befestigt wird. Die Standard-Lieferlänge beträgt 2,4 m. Der Kanaldeckel aus 3 mm dickem Stahlblech ist trittfest. Jedes Kanalunterteil enthält zwei Anschlussklemmen für den Schutzleiter.

Andere Hersteller haben, ebenfalls für Altbauten, senkrecht stehende Sockelleistenkanäle aus PVC entwickelt. Diese können auch als „Galerieleisten" in Form eines Tapetenabschlusses als Ringleitung geführt werden. Stichleitungskanäle in der Ecke oder Türzarge verbinden dann Sockel- und Galerieleistenkanal miteinander.

Bei der Kanalinstallation sind einige Grundsätze zu befolgen:

- Konstruktionsteile von metallenen Kabelbetten oder Kabelkanälen brauchen nicht in den Schutz gegen elektrischen Schlag einbezogen zu werden, wenn in ihnen nur Leitungen liegen (z. B. NYM), die für die Schutzklasse II geeignet (frühere Bezeichnung: schutzisoliert) sind. Handelt es sich aber um Konstruktionsteile, die mit Rohren vergleichbar sind, sodass z. B. H07V-U-Leitungen eingelegt oder eingezogen werden, dann sind sie wie Rohre ohne isolierende Auskleidung zu behandeln, also in eine Schutzmaßnahme einzubeziehen. Das Gleiche gilt für Fußbodenzugdosen oder Unterflur-Anschlussdosen mit Klemmstellen. Der Berührung zugängliche Metallgehäuse oder Metallabdeckungen müssen dann zum Anschluss eines Schutzleiters eingerichtet sein. Die einzelnen Teile der Metallgehäuse und Metallabdeckungen müssen untereinander und mit der Klemmstelle für den Schutzleiter gut leitend verbunden sein. Die Anschlussstelle für den Schutzleiter ist durch das Symbol ⏚ gekennzeichnet. Die Reihen VDE 0605 und 0606 sind zu beachten.
  Metallkanäle sind in den Potenzialausgleich einzubeziehen.
- Die Kanäle sowie die Verbindungs- und Abzweigdosen müssen für die auftretende mechanische Beanspruchung geeignet sowie korrosionsgeschützt sein. Die Spannungsfestigkeit von Isolierstoffkanälen wird mit 2 000 V geprüft. Nach den Normen (Reihe VDE 0604) hergestellte, nichtmetallische Systembestandteile der Kanalsysteme bestehen aus flammwidrigen Werkstoffen und dürfen sich nicht entzünden oder im Falle der Entzündung ohne Zündquelle nicht weiter brennen, kein Feuer verursachen und nicht aktiv zu Bränden beitragen.
- Für Unterflurverlegung müssen die Elektroinstallationskanäle und -einbaueinheiten nach der Art der Fußbodenpflege (trocken, nass) ausgewählt werden. Zumindest die Anschlussdosen müssen bei Nassreinigung spritzwassergeschützt (z. B. IP54) ausgeführt sein.
- Aufsatzgeräte für die Aufnahme von Schaltern, Steckvorrichtungen, Anschlussklemmen u. dgl. müssen ein stoßfestes Gehäuse haben. Sie müssen korrosionsgeschützt und schwer entflammbar sein.
- Die Abdeckung der Kanäle muss jederzeit abnehmbar sein. Nicht benutzte Auslässe sind durch Blinddeckel zu verschließen.
- Fernmeldeleitungen dürfen zusammen mit Starkstromleitungen in einem Kanal verlegt werden, wenn die Abteile durch eine Trennwand eindeutig und sicher unterteilt sind oder ausschließlich Mantel- und Schlauchleitungen verwendet werden. Starkstrom- und Fernmeldeabteile von Dosen und Aufsatzgeräten müssen unabhängig voneinander zugänglich sein.

- Eine übermäßige Häufung von Leitungen und Kabeln in einem längeren Kanalabschnitt ist zu vermeiden (s. auch Abschn. 8.3). Als Leitungen sollen mindestens Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) NYM verlegt werden.
- Leitungsverbindungen in Installationskanälen dürfen nur in Kästen oder Dosen hergestellt werden. Lösbare Verbindungsstellen, z. B. Klemmverbindungen, müssen zugänglich bleiben.
- Als Verbindungsleitung zwischen Leitungen im Installationskanal, z. B. NYM, und einem Installationsgerät ist eine flexible Leitung, z. B. H05RR-F oder H07RN-F, zu wählen. Da Zugbeanspruchungen zu erwarten sind, müssen geeignete Zugentlastungsmittel verwendet werden; Stopfbuchsen reichen nicht aus.
- Das Gleiche ist bei einer Doppelboden-Installation (Fehlboden) zu beachten. Die Installationsgeräte der in die Doppelbodenplatten eingesetzten Einbaueinheiten müssen mit der nächstgelegenen Verteilerstelle mit beweglichen Leitungen verbunden werden. Auch hier ist eine ordnungsgemäße Zugentlastung erforderlich.
- Deckendurchführungen sollten aus Brandschutzgründen auf die Fälle beschränkt bleiben, wo absolut keine Möglichkeit für ein anderes Unterflur-Installationssystem vorhanden ist.
- Bei der Montage von Kunststoffkanälen ist zu beachten, dass sich Hart-PVC bei Wärme dehnt, und zwar um 0,07 mm/(m · K). Das bedeutet, dass sich die Länge eines Kanals von 2 m bei einer Temperaturdifferenz von 30 K um 4,2 mm ändert. Dies ist bei der Montage in den Wintermonaten besonders zu beachten. Für anspruchsvolle Einsatzbereiche eignen sich Kabelbahnen aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GfK), z. B. in der chemischen Industrie, im Flughafenbau, im Küstenbereich oder bei der Forderung nach Feuer-, Hitze- oder Kältebeständigkeit.
- Auch bei geöffnetem Installationskanal muss der Schutz gegen direktes Berühren gewährleistet sein, d. h., aktive Teile von Geräteeinbauten müssen durch Einbaudosen o. dgl. geschützt sein.

### 8.2.12 Verlegen kurzer Kabelstrecken in Luft und Erde

VDE 0265, VDE 0276-603, VDE 0627, VDE 0800-174-3

Der Installateur kann vor die Aufgabe gestellt sein, kurze Kabel in Erde verlegen zu müssen. Besonders einfach ist diese Arbeit bei *Kabeln mit Kunststoffisolierung und Kunststoffmantel*, etwa den Typen NYY, NYCY oder NYKY nach VDE 0276-603 und VDE 0265. Auf den Bleimantel kann vielfach wegen der überaus hohen Wasserfestigkeit des Kunststoffs verzichtet werden, und die gute mechanische Festig-

keit erübrigt in manchen Fällen eine besondere Stahlbandbewehrung. Kabel mit Kunststoffisolierung zeichnen sich durch geringes Gewicht und enge Biegeradien aus. Sie müssen gegen die am Verlegungsort zu erwartenden chemischen oder mechanischen Einwirkungen geschützt sein.

Bei einzelnen Kabelarten, z. B. NYKY, befindet sich unmittelbar unter dem Bleimantel ein zusätzlicher mehrdrähtiger, verzinnter Kupferleiter von – abhängig vom Querschnitt der Außenleiter – mindestens 1,5 $mm^2$ oder 2,5 $mm^2$ Querschnitt. Der zusätzliche Leiter dient dem Erden des Bleimantels, darf aber keineswegs allein als Neutral- oder Schutzleiter verwendet werden.

Das Kabel NYCWY mit gewelltem konzentrischem Leiter (W bedeutet wendelförmig) gestattet eine leichte Abzweigung für Hausanschlüsse mit Klemmen und ohne Unterbrechung des Neutralleiters. Das Kabel entspricht VDE 0276-603.

Am häufigsten wird das Kabel *im Erdboden* und nicht in Kanälen verlegt. Es soll mindestens 0,6 m, unterhalb befahrener Flächen oder Wege aber nicht weniger als 0,8 m tief liegen. Zum Schutz gegen äußere Beschädigungen können die Kabel mit Ziegel- oder Formsteinen abgedeckt werden. Verwendet man Ziegelsteine, so sind die Kabel zunächst mit einer etwa 10 cm dicken Schicht, möglichst aus Sand, andernfalls aus steinfreiem Boden, zu bedecken. Die Ziegel werden dann auf die Sandschicht gelegt. Durch Trassenwarnbänder aus Kunststoff schränkt man die Beschädigungsgefahr bei Erdarbeiten ein. Bei Kabeln mit konzentrischem Leiter, z. B. NYCY, stellt dieser den empfohlenen Schutz gegen nachträgliche Beschädigung sicher.

Bei *Kreuzungen oder Näherungen von Starkstrom- und Informationsverarbeitungs- und Telekommunikationskabel* (ältere, in den Normen noch teilweise benutzte Bezeichnung: *Fernmeldekabel*) soll ein Mindestabstand von 10 cm eingehalten werden, andernfalls sind die Kabel bei Näherungen durch eine Zwischenlage aus nicht brennbaren Baustoffen zu trennen, z. B. in Form von Mauerziegeln, Kabelschutzhauben aus Ton oder Beton, Formsteinen aus Beton, Kabelschutzrohren oder -halbrohren. Bei Kreuzungen ist ein mechanischer Schutz zwischen den Kabeln vorzusehen, z. B. in Form von Kabelschutzeisen, Kabelschutzrohren aus Metall oder Kunststoff, Kabelschutzhauben oder Formsteinen aus Beton. Der Schutz muss mindestens 50 cm über den Näherungs- bzw. Kreuzungsbereich hinausragen. Werden die Fernmelde- und Starkstromkabel vom selben Betreiber genutzt, so darf auf den Schutz verzichtet werden. Es muss aber sichergestellt sein, dass bei ungestörtem Betrieb und bei Kurzschluss keine schädliche Erwärmung auftritt und die Kabel beim Verdichten des Erdreichs nicht beschädigt werden.

Werden Kabelkanäle für Informationsverarbeitungs- und Telekommunikationskabel (ältere Bezeichnung: Fernmeldekabel) von Starkstromkabeln unterkreuzt, so

müssen die Starkstromkabel in Schutzrohre (z. B. geteilte Formsteine) gelegt werden, damit bei Instandhaltungs- oder Änderungsarbeiten an den Starkstromkabeln Aufgrabungen im Kreuzungsbereich vermieden werden. Treffen Starkstromkabel mit Kabelkanälen für Informationsverarbeitungs- und Telekommunikationskabel (ältere Bezeichnung: Fernmeldekabel) aus Kunststoffrohren zusammen, so müssen beim Ober- und Unterkreuzen, beim Nähern und beim Parallelführen Mindestabstände eingehalten werden. Diese betragen 30 cm ohne besonderen Schutz der Kunststoffrohre und 10 cm bei besonderem Schutz der Kunststoffrohre (z. B. bei Verfüllen der Rohrzwischenräume mit Magerbeton). Davon kann abgewichen werden, wenn sich die beiden Betreiber über geringere Abstände einig sind.

Zu Masten der Informations- und Telekommunikationstechnik einschließlich deren Anker, Streben und Erdern soll der Abstand mindestens 0,8 m betragen, es sei denn, das Starkstromkabel ist zusätzlich mechanisch geschützt. Der Schutz muss beidseitig mindestens 0,5 m über die Stelle des Zusammentreffens hinausragen. Bei Verlegen von Kabeln in der Nähe von Eisenbahnen, Autobahnen oder Wasserstraßen ist bei Näherungen eine Abstimmung mit den zuständigen Betreibern bzw. Behörden erforderlich.

An den *Wänden von Gebäuden* sind die Kabel druckgeschützt in passende Schellen von 0,5...0,8 m Abstand zu legen. In Kabelkanälen soll der Abstand der Kabel voneinander mindestens 5 cm betragen. An den Austrittsstellen aus Rohren und Kanälen sind die Kabel gegen Abscheren zu sichern. Kabeleinführungen in Gebäude sind gegen Wassereintritt mittels eines plastischen Dichtungsmittels, das von Kalk und Zement nicht angegriffen wird, sorgfältig abzuschließen.

In Gebäuden und begehbaren Kanälen ist eine äußere Juteumhüllung der Kabel dann zu entfernen, wenn zwei oder mehr Kabel nebeneinander oder untereinander frei liegen oder wenn dies zum Brandschutz notwendig ist, also in feuergefährdeten Betriebsstätten. Um Korrosion zu vermeiden, ist in solchen Fällen die Bandstahl- oder Drahtbewehrung mit einem Schutzanstrich zu versehen.

Die Kabel müssen *Endverschlüsse*, *Muffen* oder gleichwertige Mittel erhalten. So kann bei Kunststoffkabeln der Zwickel der Aderteilung mit einem kalt härtenden Gießharz ausgegossen werden. In gleicher Weise werden auch Verbindungs- und Abzweigmuffen ausgegossen, wobei die Leiter in gewohnter Weise mit Löthülsen oder Abzweigklemmen zu verbinden sind. Außerdem sind elastische, alterungsbeständige und wetterfeste Kunststoff-Endverschlüsse auf dem Markt, die nach Einfetten der Adern übergestreift werden, oder es wird ein Gießharz-Endabschluss gewählt. Ferner gibt es Kabelmuffen, bei denen Kunststoff-Erdkabel ohne Vergießen verlegt werden können. Durch eine Plastikdichtung erreichen sie die staub- und druckwasserdichte Kapselung IP67. Sie können auch zur Verlegung von Ölpapierkabeln in Verbindung mit Kunststoffkabeln verwendet werden. Hierbei ist jedoch

ein Vergießen mit Spezial-Vergussmasse erforderlich, weil sonst das Tränköl der Papierisolierung in den Muffenraum eindringen kann. Bei kunststoffisolierten Kabeln ist eine Endabdichtung jedoch nur dann erforderlich, wenn mit dem Eindringen von Wasser in die Kabel gerechnet werden muss.

An den Verbindungsstellen müssen die Metallmäntel, die konzentrischen Leiter und die Schirme gut leitend miteinander verbunden werden, sofern nicht Isoliermuffen verwendet werden.

## 8.3 Strombelastbarkeit von Leitungen und Kabeln

VDE 0298-4, VDE 0276-1000, VDE 0265, VDE 276-603, -604, -627

Die *Strombelastbarkeit* – auch kurz Belastbarkeit genannt – einer Leitung oder eines Kabels ist der unter bestimmten Bedingungen höchstzulässige Strom, bei dem der Leiter an keiner Stelle über die *zulässige Betriebstemperatur* erwärmt wird. Die Strombelastbarkeit wird mit $I_z$ bezeichnet und ist abhängig vom Querschnitt, Leitermaterial und Isolierwerkstoff der Leitung sowie von deren Umgebungstemperatur, Verlegeart und Betriebsart. Auch die Anzahl der belasteten Adern in einer Leitung und die Bündelung (Häufung) mehrerer Leitungen haben einen entscheidenden Einfluss. Die Strombelastbarkeit ist für die Bemessung von Leitungen und Kabeln von grundlegender Bedeutung. Unabhängig vom Schutz bei Überlast und Kurzschluss muss der Planer und Errichter die Leitung oder das Kabel entsprechend dem zu erwartenden Betriebsstrom bemessen.

VDE 0298-4 enthält empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit von Leitungen und Kabeln bis 1 kV AC für feste Verlegung in Gebäuden und von flexiblen Leitungen. Die Strombelastbarkeit und die Berücksichtigung von Umrechnungsfaktoren von im Erdboden verlegten Kabeln sind VDE 0276-603 und -1000 zu entnehmen. Die Belastbarkeitsgrößen, die Umrechnungsfaktoren für abweichende Umgebungstemperaturen und für die Häufung gelten für unbewehrte Kabel, Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) und Aderleitungen. Die Strombelastbarkeitswerte wurden unter Berücksichtigung der verschiedensten Betriebsbedingungen und Werkstoffeigenschaften erarbeitet. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse führen zu den **Tabellen 8.21** bis **8.30** und **8.41**. Diesen Belastbarkeitswerten in den Tabellen liegen bestimmte Betriebsbedingungen zugrunde, die zu einer Strombelastbarkeit führen, die mit $I_r$ (Bemessungswert, von **r**ated value) bezeichnet wird. Den Strombelastbarkeitswerten in den Tabellen liegt Dauerbetrieb zugrunde. Bei abweichenden Verlegebedingungen erhält man die Strombelastbarkeit bei tatsächlichen Betriebsbedingungen, indem man die den Tabellen 8.21 bis 8.30 und 8.41 entnommenen Werte – soweit zutreffend – mit den *Umrechnungsfaktoren f* aus den **Tabellen 8.31** bis **8.39** multipliziert:

$$I_z = I_r \cdot \prod f \; ; \tag{8.1}$$

$I_z$ Strombelastbarkeit bei tatsächlichen, von den Tabellenwerten abweichenden Betriebsbedingungen (Hinweis: nach der aktuellen VDE 0298-4:2013-06 ist der Index der Kleinbuchstabe „z", nach der aktuellen VDE 0100-430:2010-10 der Großbuchstabe „Z", s. Abschn. 8.4.1),

$I_r$ Strombelastbarkeit bei vereinbarten Betriebsbedingungen nach den Tabellen 8.21 bis 8.30,

$\prod f$ Produkt aller erforderlichen Umrechnungsfaktoren $f$.

Die Umrechnungsfaktoren nach den Tabellen 8.32 bis 8.36 gelten für einen hohen *Gleichzeitigkeitsfaktor* der gehäuft verlegten Stromkreise. Bei geringen Gleichzeitigkeitsfaktoren kann auf eigene Verantwortung ein höherer Belastungswert gewählt werden. Wichtig ist zu beachten, dass die höchste zulässige Betriebstemperatur am Leiter an keiner Stelle und zu keinem Zeitpunkt überschritten werden darf.

Die *Umgebungstemperatur* ist die Temperatur der umgebenden Luft bei unbelastetem Kabel oder unbelasteter Leitung. Wenn die Umgebungstemperatur durch die Verlustwärme der Kabel oder Leitungen erhöht wird, wie dies in geschlossenen Räumlichkeiten, z. B. in Kabelkanälen, Zwischenböden, Gehäusen, vorkommen kann, müssen die entsprechenden Umrechnungsfaktoren für abweichende Umgebungstemperaturen nach der Tabelle 8.31 angewendet werden. Sonneneinwirkung und andere Wärmestrahlungen müssen ebenso berücksichtigt werden; ggf. sind Abdeckungen einzusetzen, wobei dann auf genügende Luftzirkulation geachtet werden muss.

Wechseln die Betriebsbedingungen im Verlauf einer Installation, so müssen für die Bemessung des Leiterquerschnitts die *ungünstigsten Bedingungen* während der Dauer des Betriebs und im gesamten Verlauf des Kabels oder der Leitung zugrunde gelegt werden.

Zu beachten ist, dass Kabel und Leitungen mit einer zulässigen Betriebstemperatur am Leiter von 90 °C (Tabellen 8.25 und 8.26) im Bereich von Einbaugeräten, Steckvorrichtungen, Schaltgeräten, Klemmen, Befestigungsmaterialien usw. nur mit einer maximalen Betriebstemperatur von 70 °C betrieben werden dürfen, weil diese Betriebsmittel nur für eine Betriebstemperatur von 70 °C bestimmt sind. Das bedeutet, dass die Kabel und Leitungen nur so belastet werden dürfen, dass die maximale Betriebstemperatur von 70 °C am Leiter nicht überschritten wird. Die höhere zulässige Betriebstemperatur von 90 °C kann dann an anderen Stellen im Verlauf der Installation ohne Betriebsmittel als thermische Reserve bei Häufung oder höheren Umgebungstemperaturen genutzt werden.

Die Belastbarkeit der Leitung oder des Kabels hängt entscheidend von der *Verlegeart* (Verlegebedingung) ab. Für Leitungen und Kabel für feste Verlegung in Gebäuden und in einem Kabelschacht im Erdboden gelten die Verlegebedingungen in

*Tabelle 8.19: Referenzverlegearten nach VDE 0298-4*

| Referenz-verlegeart | Charakteristik |
|---|---|
| A1 | Aderleitungen im Elektroinstallationsrohr in einer wärmegedämmten Wand |
| A2 | mehradriges Kabel oder mehradrige *Installationsleitung (auch Mantelleitung genannt)* im Elektroinstallationsrohr in einer wärmegedämmten Wand |
| B1 | Aderleitungen oder einadrige Kabel bzw. ummantelte Installationsleitungen im Elektroinstallationsrohr oder -kanal auf einer Wand, auch unter der Decke (s. Tabelle 8.32) |
| B2 | mehradriges Kabel oder mehradrige *Installationsleitung (auch Mantelleitung genannt)* im Elektroinstallationsrohr auf einer Wand, auch unter der Decke, oder in einem Fußbodenleistenkanal (s. Tabelle 8.32) |
| C | ein- oder mehradriges Kabel oder ein- oder mehradrige *Installationsleitung (auch Mantelleitung genannt)* auf einer Wand, auch unter der Decke (s. Tabelle 8.32) |
| D | mehradriges Kabel oder mehradrige ummantelte *Installationsleitung (auch mehradrige Mantelleitung genannt)* im Elektroinstallationsrohr/-kanal (aus Kunststoff, Steingut oder Metall) oder in einem Kabelschacht im Erdboden (Umgebungstemperatur 20 °C, spezif. Erdbodenwärmewiderstand 2,5 K · m/W u. Verlegetiefe 0,7 m) |
| E | mehradriges Kabel oder mehradrige *Installationsleitung (auch mehradrige Mantelleitung genannt)* frei in Luft mit Abstand ≥ 0,3 $D_{\text{Leitung/Kabel}}$ zur Wand |
| F | einadrige Kabel oder einadrige *Installationsleitungen* (auch einadrige Mantelleitungen genannt), mit Berührung, frei in Luft mit Abstand ≥ $D_{\text{Leitung/Kabel}}$ zur Wand |
| G | einadrige Kabel oder einadrige *Installationsleitungen* (auch einadrige Mantelleitungen genannt), mit Abstand $D$, frei in Luft mit Abstand ≥ $D_{\text{Leitung/Kabel}}$ zur Wand |

**Tabelle 8.19**, die nach VDE 0298-4 Referenzverlegearten darstellen. Bei Verlegung in Luft wird vorausgesetzt, dass die Kabel und Leitungen in ausreichend großen oder belüfteten Räumen verlegt sind, in denen die Umgebungstemperatur durch die Verlustwärme der Kabel oder Leitungen nicht merklich erhöht wird.

Wird ein Kabel oder eine Leitung durch ein Elektroinstallationsrohr oder einen Elektroinstallationskanal von nicht mehr als 1 m Länge geführt, so braucht keine Reduktion der Belastbarkeit vorgenommen zu werden, vorausgesetzt, das Rohr oder der Kanal ist frei in Luft oder auf einer senkrechten Fläche verlegt. Wenn eine Verlegung auf oder in einem Material erfolgt, dessen spezifischer Wärmewiderstand > 2 K · m/W ist, darf die Verlegelänge maximal 0,2 m sein, andernfalls muss der Strombelastungswert reduziert werden. Ein Leiter, der mit einem Strom von weniger als 30 % seiner Belastbarkeit bei *Häufung* belastet wird, kann bei der Bestimmung des Umrechnungsfaktors für die anderen Kabel oder Leitungen ver-

nachlässigt werden. Die Umrechnungsfaktoren für die Häufung beziehen sich auf den Dauerbetrieb mit einer Belastung von 100 % aller Leiter. Wenn die Belastung für alle Leiter < 100 % ist, können die Umrechnungsfaktoren höher sein.

Für die Zuordnung der vielen unterschiedlichen Verlegearten zu den Referenzverlegearten ist die **Tabelle 8.20** hilfreich.

In den **Tabellen 8.21** bis **8.24** sind die Strombelastbarkeiten für die international festgelegte Umgebungstemperatur 30 °C und zusätzlich die Werte für 25 °C enthalten. Diese Umgebungstemperatur entspricht den in Deutschland üblichen Betriebsbedingungen. Wenn abweichende Betriebsbedingungen vorliegen, z. B. eine andere Umgebungstemperatur als 25 °C oder eine andere Häufung, müssen die auf 30 °C Umgebungstemperatur bezogenen Tabellenwerte mit den entsprechenden Umrechnungsfaktoren angewendet werden.

***Tabelle 8.20:*** *Ermittlung der Referenzverlegeart*

| **konkrete Verlegeart der Leitungen bzw. Kabel** | **Referenz-verlegeart** | **Bemerkungen** |
|---|---|---|
| **Aderleitungen** | | |
| • direkt in Formleisten oder Formteilen | A1 | ggf. B1, B2 |
| • in einem Fußbodenleistenkanal | B1 | |
| • auf Isolatoren | G | |
| **Aderleitungen im Installationsrohr** | | |
| • in einer wärmegedämmten Wand ($\leq 0{,}1\ m^2 \cdot K/W$)<br>• in Türfüllungen oder Fensterrahmen | A1 | |
| • direkt auf einer Wand<br>• mit Abstand von einer Wand ($< 0{,}3\ D_{Rohr}$)<br>• in einem belüfteten Kabelkanal im Fußboden[1)]<br>• im Mauerwerk/Beton ($\leq 2\ K \cdot m/W$) | B1 | |
| • im unbelüfteten Kabelkanal<br>• in einem Gebäudehohlraum | B2 | ggf. B1[1)2)] |
| **Aderleitungen im geschlossenen Installationskanal** | | |
| • auf einer Wand (waagerecht und senkrecht)[1)]<br>• für Unterflurverlegung<br>• abgehängt | B1 | |
| • im Mauerwerk/Beton ($\leq 2\ K \cdot m/W$)[1)]<br>• im Gebäudehohlraum[1)] | B2 | ggf. B1, C, E oder F[1)2)] |

*Tabelle 8.20: (Fortsetzung)*

| konkrete Verlegeart der Leitungen bzw. Kabel | Referenz-verlegeart | Bemerkungen |
|---|---|---|
| **einadriges Kabel oder einadrige Installationsleitung (auch einadrige Mantelleitung genannt)** | | |
| • in Türfüllungen oder Fensterrahmen | A1 | |
| • im Installationsrohr direkt auf einer Wand<br>• im Installationsrohr auf einer Wand mit Abstand $< 0{,}3\ D_{\text{Rohr}}$<br>• im Installationsrohr im Mauerwerk/Beton ($< 2\ \text{K} \cdot \text{m/W}$)<br>• im Fußbodenleistenkanal<br>• im geschlossenen Installationskanal auf einer Wand[1)]<br>• im belüfteten Kabelkanal mit waagerechtem oder senkrechtem Verlauf[1)]<br>• im offenen Kabelkanal (waagerecht oder senkrecht)[1)] | B1 | bei senkrechtem Verlauf ggf. Einschränkungen[1)] |
| • im Gebäudehohlraum<br>• im Deckenhohlraum<br>• im aufgestellten Fußboden | B2 | ggf. B1, C, E oder F[1)2)] |
| • direkt auf einer Wand<br>• auf einer Wand mit Abstand $< 0{,}3\ D_{\text{Leitung/Kabel}}$<br>• direkt unter der Decke<br>• mit Abstand von einer Decke<br>• auf nicht gelochter Kabelwanne (weniger als 30 % der Gesamtoberfläche sind Löcher)<br>• direkt im Mauerwerk/Beton ($\leq 2\ \text{K} \cdot \text{m/W}$) mit oder ohne zusätzlichen mechanischen Schutz[1)] | C | |
| • im Erdreich in einem Elektroinstallationsrohr*/-kanal* oder Kabelschacht | D | * aus Kunststoff, Steingut oder Metall |
| • auf gelochter Kabelwanne waagerecht oder senkrecht<br>• abgehängt am Tragseil oder mit eingebautem Tragseil | E/F | |
| • auf Kabelkonsolen<br>• mit Abstand $> 0{,}3\ D_{\text{Leitung/Kabel}}$ auf einer Wand<br>• auf Kabelpritsche (senkrecht) | E/F/G | |
| **mehradriges Kabel oder mehradrige Installationsleitung (auch mehradrige Mantelleitung genannt)** | | |
| • in Türfüllungen oder Fensterrahmen | A1 | |
| • direkt in einer wärmegedämmten Wand<br>• in einem Installationsrohr in einer wärmegedämmten Wand ($\leq 0{,}1\ \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$) | A2 | |

*Tabelle 8.20: (Fortsetzung)*

| konkrete Verlegeart der Leitungen bzw. Kabel | Referenz-verlegeart | Bemerkungen |
|---|---|---|
| • im offenen Kabelkanal[1)]<br>• im belüfteten Kabelkanal mit waagerechtem oder senkrechtem Verlauf[1)] | B1 | |
| • im Installationsrohr direkt auf einer Wand<br>• im Installationsrohr mit einem Abstand < 0,3 $D_{Rohr}$ von einer Wand<br>• im geschlossenen Installationskanal auf der Wand (waagerecht oder senkrecht)[1)]<br>• im Installationsrohr im Mauerwerk/Beton (< 2 K · m/W)<br>• im Installationskanal für Unterflurverlegung<br>• im Gebäudehohlraum<br>• im abgehängten Installationskanal<br>• im Fußbodenleistenkanal<br>• im Deckenhohlraum<br>• im aufgestellten Fußboden | B2 | ggf. B1, C, E oder F[1)2)]<br><br>ggf. B1, C, E oder F[1)2)]<br>ggf. B1, C, E oder F[1)2)] |
| • direkt auf einer Wand<br>• auf einer Wand mit einem Abstand < 0,3 $D_{Leitung/Kabel}$ von einer Wand<br>• unter der Decke<br>• mit Abstand von einer Decke<br>• auf nicht gelochter Kabelwanne (weniger als 30 % der Gesamtoberfläche sind Löcher)<br>• direkt im Mauerwerk oder Beton (≤ 2 K · m/W) mit oder ohne zusätzlichen mechanischen Schutz[1)] | C | |
| • im Erdreich in einem Elektroinstallationsrohr*/-kanal* oder Kabelschacht | D | * aus Kunststoff, Steingut oder Metall |
| • auf gelochter Kabelwanne waagerecht oder senkrecht<br>• abgehängt am Tragseil oder mit eingebautem Tragseil | E/F | |
| • auf Kabelkonsolen<br>• mit Abstand > 0,3 $D_{Leitung/Kabel}$ auf einer Wand<br>• auf Kabelpritsche (senkrecht) | E/F/G | |
| **Stegleitung** | | |
| • in Hohlräumen aus nicht brennbaren Baustoffen<br>• im oder unter Putz | B2<br>C | ggf. auch B1[1)2)] |
| **blanke Leitungen** | | |
| • auf Isolatoren | G | |

[1)] s. VDE 0298-4:2003-08, Tab. 9, Nr. 47

[2)] Konkrete Zuordnung hängt von Abmessungen und Größenverhältnis ab.

***Tabelle 8.21:*** *Strombelastbarkeit $I_r$ in A von Kabeln[1)] und Leitungen[1)] nach VDE 0298-4 für feste Verlegung in Gebäuden*
Umgebungstemperaturen: 30 °C und 25 °C
zulässige Betriebstemperatur am Leiter: 70 °C
Verlegearten: A1 und A2

| Bemessungs-querschnitt mm² | Verlegeart | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A1 | | | | A2 | | | |
| | Anzahl der belasteten Adern | | | | | | | |
| | 2 | | 3 | | 2 | | 3 | |
| | Umgebungstemperatur in °C | | | | | | | |
| | 30 | 25 | 30 | 25 | 30 | 25 | 30 | 25 |
| **Cu** | | | | | | | | |
| 1,5 | 15,5 | 16,5 | 13,5 | 14,5 | 15,5 | 16,5 | 13,0 | 14,0 |
| 2,5 | 19,5 | 21 | 18,0 | 19 | 18,5 | 19,5 | 17,5 | 18,5 |
| 4 | 26 | 28 | 24 | 25 | 25 | 27 | 23 | 24 |
| 6 | 34 | 36 | 31 | 33 | 32 | 34 | 29 | 31 |
| 10 | 46 | 49 | 42 | 45 | 43 | 46 | 39 | 41 |
| 16 | 61 | 65 | 56 | 59 | 57 | 60 | 52 | 55 |
| 25 | 80 | 85 | 73 | 77 | 75 | 80 | 68 | 72 |
| 35 | 99 | 105 | 89 | 94 | 92 | 98 | 83 | 88 |
| 50 | 119 | 126 | 108 | 114 | 110 | 117 | 99 | 105 |
| 70 | 151 | 160 | 136 | 144 | 139 | 147 | 125 | 133 |
| 95 | 182 | 193 | 164 | 174 | 167 | 177 | 150 | 159 |
| 120 | 210 | 223 | 188 | 199 | 192 | 204 | 172 | 182 |
| 150 | 240 | 254 | 216 | 229 | 219 | 232 | 196 | 208 |
| 185 | 273 | 289 | 245 | 260 | 248 | 263 | 223 | 236 |
| 240 | 320 | 339 | 286 | 303 | 291 | 308 | 261 | 277 |
| 300 | 367 | 389 | 328 | 348 | 334 | 354 | 298 | 316 |
| **Al** | | | | | | | | |
| 25 | 63 | – | 57 | – | 58 | – | 53 | – |
| 35 | 77 | – | 70 | – | 71 | – | 65 | – |
| 50 | 93 | – | 84 | – | 86 | – | 78 | – |
| 70 | 118 | – | 107 | – | 108 | – | 98 | – |
| 95 | 142 | – | 129 | – | 130 | – | 118 | – |
| 120 | 164 | – | 149 | – | 150 | – | 135 | – |
| 150 | 189 | – | 170 | – | 172 | – | 155 | – |
| 185 | 215 | – | 194 | – | 195 | – | 176 | – |
| 240 | 252 | – | 227 | – | 229 | – | 207 | – |
| 300 | 289 | – | 261 | – | 263 | – | 237 | – |

[1)] z. B. Aderleitungen H05V, H07V; PVC-Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt) NYM, NYMZ, MYMT; umhüllter Rohrdraht NHYRLUZY; Dachständerleitung NYDY; halogenfreie Installationsleitung (auch Mantelleitung genannt) NHXMH; Installationsleitung (auch Mantelleitung genannt) mit speziellem Verhalten im Brandfall NHMH; Kabel NYY, NYCY

***Tabelle 8.22:*** *Strombelastbarkeit $I_r$ in A von Kabeln[1] und Leitungen[1] nach VDE 0298-4 für feste Verlegung in Gebäuden*
Umgebungstemperaturen: 30 °C und 25 °C
zulässige Betriebstemperatur am Leiter: 70 °C
Verlegearten: B1 und B2

| Bemessungs-querschnitt mm² | Verlegeart | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B1 | | | | B 2 | | | |
| | Anzahl der belasteten Adern | | | | | | | |
| | 2 | | 3 | | 2 | | 3 | |
| | Umgebungstemperatur in °C | | | | | | | |
| | 30 | 25 | 30 | 25 | 30 | 25 | 30 | 25 |
| **Cu** | | | | | | | | |
| 1,5 | 17,5 | 18,5 | 15,5 | 16,5 | 16,5 | 17,5 | 15 | 16,0 |
| 2,5 | 24 | 25 | 21 | 22 | 23 | 24 | 20 | 21 |
| 4 | 32 | 34 | 28 | 30 | 30 | 32 | 27 | 29 |
| 6 | 41 | 43 | 36 | 38 | 38 | 40 | 34 | 36 |
| 10 | 57 | 60 | 50 | 53 | 52 | 55 | 46 | 49 |
| 16 | 76 | 81 | 68 | 72 | 69 | 73 | 62 | 66 |
| 25 | 101 | 107 | 89 | 94 | 90 | 95 | 80 | 85 |
| 35 | 125 | 133 | 110 | 117 | 111 | 118 | 99 | 105 |
| 50 | 151 | 160 | 134 | 142 | 133 | 141 | 118 | 125 |
| 70 | 192 | 204 | 171 | 181 | 168 | 178 | 149 | 158 |
| 95 | 232 | 246 | 207 | 219 | 201 | 213 | 179 | 190 |
| 120 | 269 | 285 | 239 | 253 | 232 | 246 | 206 | 218 |
| **Al** | | | | | | | | |
| 25 | 79 | – | 70 | – | 71 | – | 62 | – |
| 35 | 97 | – | 86 | – | 86 | – | 77 | – |
| 50 | 118 | – | 104 | – | 104 | – | 92 | – |
| 70 | 150 | – | 133 | – | 131 | – | 116 | – |
| 95 | 181 | – | 161 | – | 157 | – | 139 | – |
| 120 | 210 | – | 186 | – | 181 | – | 160 | – |

[1] z. B. Aderleitungen H05V, H07V; PVC-Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt) NYM, NYMZ, MYMT, umhüllter Rohrdraht NHYRUZY; Dachständerleitung NYDY; halogenfreie Installationsleitung (auch Mantelleitung genannt) NHXMH; Installationsleitung (auch Mantelleitung genannt) mit speziellem Verhalten im Brandfall NHMH; Kabel NYY, NYCY

***Tabelle 8.23:*** *Strombelastbarkeit $I_z$ in A von Kabeln[1] in Luft und Leitungen[1] nach VDE 0298-4 für feste Verlegung in Gebäuden*
Umgebungstemperaturen: 30 °C und 25 °C
zulässige Betriebstemperatur am Leiter: 70 °C
Verlegearten: C und E

| Bemessungs-querschnitt mm² | Verlegeart | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C | | | | E | | | |
| | Anzahl der belasteten Adern | | | | | | | |
| - | 2 | | 3 | | 2 | | 3 | |
| | Umgebungstemperatur in °C | | | | | | | |
| | 30 | 25 | 30 | 25 | 30 | 25 | 30 | 25 |
| **Cu** | | | | | | | | |
| 1,5 | 19,5 | 21 | 17,5 | 18,5 | 22 | 23 | 18,5 | 19,5 |
| 2,5 | 27 | 29 | 24 | 25 | 30 | 32 | 25 | 27 |
| 4 | 36 | 38 | 32 | 35[1) 2)] | 40 | 42 | 34 | 36 |
| 6 | 46 | 49 | 41 | 43 | 51 | 54 | 43 | 46 |
| 10 | 63 | 67 | 57 | 63[2)] | 70 | 74 | 60 | 64 |
| 16 | 85 | 90 | 76 | 81 | 94 | 100 | 80 | 85 |
| 25 | 112 | 119 | 96 | 102 | 119 | 126 | 101 | 107 |
| 35 | 138 | 146 | 119 | 126 | 148 | 157 | 126 | 134 |
| 50 | 168 | 178 | 144 | 153 | 180 | 191 | 153 | 162 |
| 70 | 213 | 226 | 184 | 195 | 232 | 246 | 196 | 208 |
| 95 | 258 | 273 | 223 | 236 | 282 | 299 | 238 | 252 |
| 120 | 299 | 317 | 259 | 275 | 328 | 348 | 276 | 293 |
| 150 | 344 | 365 | 299 | 317 | 379 | 402 | 319 | 338 |
| 185 | 392 | 416 | 341 | 361 | 434 | 460 | 364 | 386 |
| 240 | 461 | 489 | 403 | 427 | 514 | 545 | 430 | 456 |
| 300 | 530 | 562 | 464 | 492 | 593 | 629 | 497 | 527 |
| **Al** | | | | | | | | |
| 25 | 83 | – | 73 | – | 89 | – | 78 | – |
| 35 | 103 | – | 90 | – | 111 | – | 96 | – |
| 50 | 125 | – | 110 | – | 135 | – | 117 | – |
| 70 | 150 | – | 140 | – | 173 | – | 150 | – |
| 95 | 195 | – | 170 | – | 210 | – | 183 | – |
| 120 | 226 | – | 197 | – | 244 | – | 212 | – |
| 150 | 261 | – | 227 | – | 282 | – | 245 | – |
| 185 | 298 | – | 259 | – | 322 | – | 280 | – |
| 240 | 352 | – | 305 | – | 380 | – | 330 | – |
| 300 | 406 | – | 351 | – | 439 | – | 381 | – |

[1)] z. B. Aderleitungen H05V, H07V; PVC-Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt) NYM, NYMZ, MYMT; umhüllter Rohrdraht NHYRUZY; Dachständerleitung NYDY; halogenfreie Installationsleitung (auch Mantelleitung genannt) NHXMH; Installationsleitung (auch Mantelleitung genannt) mit speziellem Verhalten im Brandfall NHMH; Kabel NYY, NYCY

[2)] Bei Verlegung auf Holz: Belastbarkeit nur 34 A (4 mm²) bzw. 60 A (10 mm²).

***Tabelle 8.24:*** *Strombelastbarkeit $I_z$ in A von Kabeln[1] in Luft und Leitungen[1] nach VDE 0298-4 für feste Verlegung in Gebäuden*
Umgebungstemperaturen: 30 °C und 25 °C
zulässige Betriebstemperatur am Leiter: 70 °C
Verlegearten: F und G

| Bemessungs-querschnitt mm² | Verlegeart | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | F | | | | | | G | | | |
| | (1) | | | | (2) | | (3) | | (4) | |
| | Anzahl der belasteten Adern | | | | | | | | | |
| | 2 | | 3 | | | | | | | |
| | Umgebungstemperatur in °C | | | | | | | | | |
| | 30 | 25 | 30 | 25 | 30 | 25 | 30 | 25 | 30 | 25 |
| **Cu** | | | | | | | | | | |
| 25 | 131 | 139 | 114 | 121 | 110 | 117 | 146 | 155 | 130 | 138 |
| 35 | 162 | 172 | 143 | 152 | 137 | 145 | 181 | 192 | 162 | 172 |
| 50 | 196 | 208 | 174 | 184 | 167 | 177 | 219 | 232 | 197 | 209 |
| 70 | 251 | 266 | 225 | 239 | 216 | 229 | 281 | 298 | 254 | 269 |
| 95 | 304 | 322 | 275 | 292 | 264 | 280 | 341 | 361 | 311 | 330 |
| 120 | 352 | 373 | 321 | 340 | 308 | 326 | 396 | 420 | 362 | 384 |
| 150 | 406 | 430 | 372 | 394 | 356 | 377 | 456 | 483 | 419 | 444 |
| 185 | 463 | 491 | 427 | 453 | 409 | 434 | 521 | 552 | 480 | 509 |
| 240 | 546 | 579 | 507 | 537 | 485 | 514 | 615 | 652 | 569 | 603 |
| 300 | 629 | 667 | 587 | 622 | 561 | 595 | 709 | 752 | 659 | 699 |
| 400 | 754 | 799 | 689 | 730 | 656 | 695 | 852 | 903 | 795 | 843 |
| 500 | 868 | 920 | 789 | 836 | 749 | 794 | 982 | 1041 | 920 | 975 |
| **Al** | | | | | | | | | | |
| 25 | 98 | – | 87 | – | 84 | – | 112 | – | 99 | – |
| 35 | 122 | – | 109 | – | 105 | – | 139 | – | 124 | – |
| 50 | 149 | – | 133 | – | 128 | – | 169 | – | 152 | – |
| 70 | 192 | – | 173 | – | 166 | – | 217 | – | 196 | – |
| 95 | 235 | – | 212 | – | 203 | – | 265 | – | 241 | – |
| 120 | 273 | – | 247 | – | 237 | – | 308 | – | 282 | – |
| 150 | 316 | – | 287 | – | 274 | – | 356 | – | 327 | – |
| 185 | 363 | – | 330 | – | 315 | – | 407 | – | 376 | – |
| 240 | 430 | – | 392 | – | 375 | – | 482 | – | 447 | – |
| 300 | 497 | – | 455 | – | 434 | – | 557 | – | 519 | – |
| 400 | 600 | – | 552 | – | 526 | – | 671 | – | 629 | – |
| 500 | 694 | – | 640 | – | 610 | – | 775 | – | 730 | – |
| 630 | 808 | – | 746 | – | 711 | – | 900 | – | 852 | – |

***Tabelle 8.24:*** *(Fortsetzung)*

[1] z. B. Aderleitungen H05V, H07V; PVC-Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt) NYM, NYMZ, MYMT, umhüllter Rohrdraht NHYRUZY; Dachständerleitung NYDY; halogenfreie Installationsleitung (auch Mantelleitung genannt) NHXMH; Installationsleitung (auch Mantelleitung genannt) mit speziellem Verhalten im Brandfall NHMH; Kabel NYY, NYCY

(1) mit Berührung waagerecht oder senkrecht nebeneinander liegende einadrige Kabel mit Abstand von mindestens 1 × Kabeldurchmesser *D* zur Wand

(2) einadrige Kabel im Bündel (mit Berührung) mit Abstand von mindestens 1 × Kabeldurchmesser *D* zur Wand

(3) mit Abstand *D* (Kabeldurchmesser) waagerecht nebeneinander liegende einadrige Kabel mit Abstand von mindestens 1 × Kabeldurchmesser *D* zur Wand

(4) mit Abstand *D* (Kabeldurchmesser) senkrecht nebeneinander liegende einadrige Kabel mit Abstand von mindestens 1 × Kabeldurchmesser *D* zur Wand

***Tabelle 8.25:*** *Strombelastbarkeit $I_r$ in A von Kabeln[1] in Luft und Leitungen[1] nach VDE 0298-4 für feste Verlegung in Gebäuden*
*Umgebungstemperatur: 30 °C*
*zulässige Betriebstemperatur am Leiter: 90 °C*
*Verlegearten: A1, A2, B1 und B2*

| Bemessungs-querschnitt mm² | Verlegeart | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A1 | | A2 | | B1 | | B2 | |
| | Anzahl der belasteten Adern | | | | | | | |
| | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 |
| | Cu | | | | | | | |
| 1,5 | 19 | 17 | 18,5 | 16,5 | 23 | 20 | 22 | 19,5 |
| 2,5 | 26 | 23 | 25 | 22 | 31 | 28 | 30 | 26 |
| 4 | 35 | 31 | 33 | 30 | 42 | 37 | 40 | 35 |
| 6 | 45 | 40 | 42 | 38 | 54 | 48 | 51 | 44 |
| 10 | 61 | 54 | 57 | 51 | 75 | 66 | 69 | 60 |
| 16 | 81 | 73 | 76 | 68 | 100 | 88 | 91 | 80 |
| 25 | 106 | 95 | 99 | 89 | 133 | 117 | 119 | 105 |
| 35 | 131 | 117 | 121 | 109 | 164 | 144 | 146 | 128 |
| 50 | 158 | 141 | 145 | 130 | 198 | 175 | 175 | 154 |
| 70 | 200 | 179 | 183 | 164 | 253 | 222 | 221 | 194 |
| 95 | 241 | 216 | 220 | 197 | 306 | 269 | 265 | 233 |
| 120 | 278 | 249 | 253 | 227 | 354 | 312 | 305 | 268 |
| 150 | 318 | 285 | 290 | 259 | – | – | – | – |
| 185 | 362 | 324 | 329 | 295 | – | – | – | – |
| 240 | 424 | 380 | 386 | 346 | – | – | – | – |
| 300 | 486 | 435 | 442 | 396 | – | – | – | – |

*Tabelle 8.25: (Fortsetzung)*

| Bemessungs-querschnitt mm² | Verlegeart | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A1 | | A2 | | B1 | | B2 | |
| | Anzahl der belasteten Adern | | | | | | | |
| | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 |
| | Al | | | | | | | |
| 25 | 84 | 76 | 78 | 71 | 105 | 93 | 94 | 84 |
| 35 | 103 | 94 | 96 | 87 | 130 | 116 | 115 | 103 |
| 50 | 125 | 113 | 115 | 104 | 157 | 140 | 138 | 124 |
| 70 | 158 | 142 | 145 | 131 | 200 | 179 | 175 | 156 |
| 95 | 191 | 171 | 175 | 157 | 242 | 217 | 210 | 188 |
| 120 | 220 | 197 | 201 | 180 | 281 | 251 | 242 | 216 |
| 150 | 253 | 226 | 230 | 206 | – | – | – | – |
| 185 | 288 | 256 | 262 | 233 | – | – | – | – |
| 240 | 338 | 300 | 307 | 273 | – | – | – | – |
| 300 | 387 | 344 | 352 | 313 | – | – | – | – |

[1] z. B. wärmebeständige PVC-Aderleitung H07V2, halogenfreie, raucharme Aderleitung H07Z, Installationskabel NI2XY; Kabel mit verbessertem Verhalten im Brandfall N2XH, N2XCH, NHX(C)HX FE 180, NHXH FE 180, NHX(C)HX; Kabel N2XY, N2X2Y

***Tabelle 8.26:*** *Strombelastbarkeit $I_r$ in A von Kabeln[1)2)] nach VDE 0298-4 für feste Verlegung in Gebäuden*
Umgebungstemperatur: 30 °C
zulässige Betriebstemperatur am Leiter: 90 °C
Verlegearten: C, E, F und G

| Bemessungs-querschnitt mm² | Verlegeart | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C | | E | | F | | | G | |
| | | | | | (1) | | (2) | (3) | (4) |
| | Anzahl der belasteten Adern | | | | | | | | |
| | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | | | |
| | Cu | | | | | | | | |
| 1,5 | 24 | 22 | 26 | 23 | – | – | – | – | – |
| 2,5 | 33 | 30 | 36 | 32 | – | – | – | – | – |
| 4 | 45 | 40 | 49 | 42 | – | – | – | – | – |
| 6 | 58 | 52 | 63 | 54 | – | – | – | – | – |
| 10 | 80 | 71 | 86 | 75 | – | – | – | – | – |
| 16 | 107 | 96 | 115 | 100 | – | – | – | – | – |
| 25 | 138 | 119 | 149 | 127 | 161 | 141 | 135 | 182 | 161 |
| 35 | 171 | 147 | 185 | 158 | 200 | 176 | 169 | 226 | 201 |
| 50 | 209 | 179 | 225 | 192 | 242 | 216 | 207 | 275 | 246 |

*Tabelle 8.26:* *(Fortsetzung)*

| Bemessungs-querschnitt mm² | Verlegeart | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C | | E | | F | | | G | |
| | | | | | (1) | | (2) | (3) | (4) |
| | Anzahl der belasteten Adern | | | | | | | | |
| | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | | | |
| 70 | 269 | 229 | 289 | 246 | 310 | 279 | 268 | 353 | 318 |
| 95 | 328 | 278 | 352 | 298 | 377 | 342 | 328 | 430 | 389 |
| 120 | 382 | 322 | 410 | 346 | 437 | 400 | 383 | 500 | 454 |
| 150 | 441 | 371 | 473 | 399 | 504 | 464 | 444 | 577 | 527 |
| 185 | 506 | 424 | 542 | 456 | 575 | 533 | 510 | 661 | 605 |
| 240 | 599 | 500 | 641 | 538 | 679 | 634 | 607 | 781 | 719 |
| 300 | 693 | 576 | 741 | 621 | 783 | 736 | 703 | 902 | 833 |
| 400 | – | – | – | – | 940 | 868 | 823 | 1085 | 1008 |
| 500 | – | – | – | – | 1083 | 998 | 946 | 1253 | 1169 |
| 630 | – | – | – | – | 1254 | 1151 | 1088 | 1454 | 1362 |
| Al | | | | | | | | | |
| 25 | 101 | 90 | 108 | 97 | 121 | 107 | 103 | 138 | 122 |
| 35 | 126 | 112 | 135 | 120 | 150 | 135 | 129 | 172 | 153 |
| 50 | 154 | 136 | 164 | 146 | 184 | 165 | 159 | 210 | 188 |
| 70 | 198 | 174 | 211 | 187 | 237 | 215 | 206 | 271 | 244 |
| 95 | 241 | 211 | 257 | 227 | 289 | 264 | 253 | 332 | 300 |
| 120 | 280 | 245 | 300 | 263 | 337 | 308 | 296 | 387 | 351 |
| 150 | 324 | 283 | 346 | 304 | 389 | 358 | 343 | 448 | 408 |
| 185 | 371 | 323 | 397 | 347 | 447 | 413 | 395 | 515 | 470 |
| 240 | 439 | 382 | 470 | 409 | 530 | 492 | 471 | 611 | 561 |
| 300 | 508 | 440 | 543 | 471 | 613 | 571 | 547 | 708 | 652 |
| 400 | – | – | – | – | 740 | 694 | 663 | 856 | 792 |
| 500 | – | – | – | – | 856 | 806 | 770 | 991 | 921 |
| 630 | – | – | – | – | 996 | 942 | 899 | 1154 | 1077 |

[1] Bei Kabeln mit konzentrischem Leiter gilt die Belastbarkeit nur für mehradrige Ausführungen.

[2] z. B. Installationskabel NI2XY; Kabel mit verbessertem Verhalten im Brandfall N2XH, N2XCH, NHX(C)HX FE 180, NHXH FE 180, NHX(C)HX; Kabel N2XY, N2X2Y

(1) mit Berührung waagerecht oder senkrecht nebeneinander liegende einadrige Kabel mit Abstand von mindestens 1 × Kabeldurchmesser *D* zur Wand

(2) einadrige Kabel im Bündel (mit Berührung) mit Abstand von mindestens 1 × Kabeldurchmesser *D* zur Wand

(3) mit Abstand *D* (Kabeldurchmesser) waagerecht nebeneinander liegende einadrige Kabel mit Abstand von mindestens 1 × Kabeldurchmesser *D* zur Wand

(4) mit Abstand *D* (Kabeldurchmesser) senkrecht nebeneinander liegende einadrige Kabel mit Abstand von mindestens 1 × Kabeldurchmesser *D* zur Wand

***Tabelle 8.27:*** *Strombelastbarkeit I, in A von mehradrigen Kabeln oder mehradrigen ummantelten Installationsleitungen nach VDE 0298-4 oder VDE 0276-603 in einem Elektroinstallationsrohr oder einem Kabelschacht im Erdboden*
Umgebungstemperatur: 20 °C
Verlegeart D (Verlegung nicht direkt im Erdreich)

| **Bemessungs-querschnitt mm²** | **Verlegeart D zulässige Betriebstemperatur am Leiter** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **70 °C[1)]** | | **90 °C[2)]** | |
| | **Anzahl der belasteten Adern** | | | |
| | **2** | **3** | **2** | **3** |
| | **Cu** | | | |
| 1,5 | 18,5 | 15,5 | 22 | 19 |
| 2,5 | 25 | 21 | 29 | 25 |
| 4 | 32 | 27 | 37 | 32 |
| 6 | 40 | 34 | 47 | 39 |
| 10 | 54 | 45 | 62 | 53 |
| 16 | 69 | 59 | 81 | 69 |
| 25 | 88 | 76 | 103 | 89 |
| 35 | 106 | 91 | 124 | 107 |
| 50 | 126 | 108 | 147 | 126 |
| 70 | 156 | 133 | 181 | 156 |
| 95 | 184 | 161 | 214 | 187 |
| 120 | 209 | 183 | 244 | 213 |
| 150 | 236 | 205 | 275 | 240 |
| 185 | 265 | 231 | 309 | 271 |
| 240 | 307 | 266 | 356 | 312 |
| 300 | 347 | 298 | 403 | 349 |
| | **Al** | | | |
| 25 | 68 | 59 | 79 | 69 |
| 35 | 82 | 71 | 95 | 83 |
| 50 | 96 | 83 | 112 | 97 |
| 70 | 119 | 103 | 139 | 120 |
| 95 | 141 | 124 | 164 | 143 |
| 120 | 161 | 141 | 187 | 164 |
| 150 | 181 | 158 | 212 | 184 |
| 185 | 204 | 180 | 237 | 210 |
| 240 | 235 | 208 | 274 | 244 |
| 300 | 266 | 237 | 309 | 278 |

[1)] z. B. NYM, NYBUY, NHXMH, NHMH, NYY, NYCWY, NYCY, NAYY, NAYCY
[2)] z. B. NI2XY, N2XH, N2XCH, NHXHX FE180, NHXCHX FE180, NHXH FE180, NHXCH FE180, NHXHX, NHXCHX, N2XY, N2X2Y
Einschränkungen für Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt) s. Abschn. 8.2.9

***Tabelle 8.28:*** *Strombelastbarkeit $I_r$ in A von Gummileitungen H07RN-F und A07RN-F für industrielle Anwendungen nach VDE 0298-4 für Verlegung frei in Luft*
Umgebungstemperatur: 30 °C
zulässige Betriebstemperatur am Leiter: 60 °C

| **Bemessungs-querschnitt Cu mm²** | **Anzahl der Adern in der Leitung** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **1**[1] | **1**[2] | **2** | **3** | **3** | **4** | **5** |
| | **Anzahl der belasteten Adern** | | | | | | |
| | **2** | **3** | **2** | **2** | **3** | **3** | **3** |
| 1,0 | – | – | 15,0 | 15,5 | 12,5 | 13,0 | 13,5 |
| 1,5 | 19,0 | 16,5 | 18,5 | 19,5 | 15,5 | 16,0 | 16,5 |
| 2,5 | 26 | 22 | 25 | 26 | 21 | 22 | 23 |
| 4,0 | 34 | 30 | 34 | 35 | 29 | 30 | 30 |
| 6,0 | 43 | 38 | 43 | 44 | 36 | 37 | 38 |
| 10,0 | 60 | 53 | 60 | 62 | 51 | 52 | 54 |
| 16,0 | 79 | 71 | 79 | 82 | 67 | 69 | 71 |
| 25,0 | 104 | 94 | 105 | 109 | 89 | 92 | 94 |
| 35 | 129 | 117 | – | 135 | 110 | 114 | – |
| 50 | 162 | 148 | – | 169 | 138 | 143 | – |
| 70 | 202 | 185 | – | 211 | 172 | 178 | – |
| 95 | 240 | 222 | – | 250 | 204 | 210 | – |
| 120 | 280 | 260 | – | 292 | 238 | 246 | – |
| 150 | 321 | 300 | – | 335 | 273 | 282 | – |
| 185 | 363 | 341 | – | 378 | 309 | 319 | – |
| 240 | 433 | 407 | – | 447 | 365 | 377 | – |
| 300 | 497 | 468 | – | 509 | 415 | 430 | – |
| 400 | 586 | 553 | – | – | – | – | – |
| 500 | 670 | 634 | – | – | – | – | – |
| 630 | 784 | 742 | – | – | – | – | – |

[1] zwei einadrige Leitungen nebeneinander
[2] drei einadrige Leitungen im Dreieck zusammen Abstand der Leitung von einer festen Fläche
- bei Einaderleitungen mindestens 1 × Durchmesser einer Leitung,
- bei Mehraderleitungen mindestens 0,3 × Durchmesser der Leitung

Für Leitungen zum Anschluss von Haus- und Handgeräten wird eine geringere Belastung im Vergleich zur allgemeinen Anwendung vorgeschrieben, um eine zu große Erwärmung der Leitung zu verhüten.

Für flexible PVC-Leitungen H03VH-Y/H (Zwillingsleitungen) ist die höchstzulässige Temperatur am Leiter bei Dauerlast auf 40 °C, für PVC-Leitungen 03/05/VV/H8 auf 60 °C festgelegt.

Die Umrechnungsfaktoren sind für die Ermittlung der Strombelastbarkeit gleichartiger und gleich belasteter Kabel oder Leitungen bei Häufung in derselben Verlegeart anzuwenden. Die Leiterquerschnitte dürfen sich dabei höchstens um eine Querschnittsstufe unterscheiden. Wenn der waagerechte lichte Abstand zwischen benachbarten Kabeln oder Leitungen das 2-fache ihres Außendurchmessers überschreitet, braucht kein Reduktionsfaktor angewendet zu werden. Dieselben Reduktionsfaktoren sind bei Gruppen von 2 oder 3 einadrigen Kabeln oder Leitungen oder mehradrigen Kabeln oder Leitungen anzuwenden.

Wenn eine Kabel- oder Leitungsanlage sowohl aus zwei- als auch aus dreiadrigen Kabeln oder Leitungen besteht, nimmt man zunächst die Gesamtzahl der Kabel oder Leitungen als Anzahl der Stromkreise an. Der dafür zutreffende Faktor ist auf die Tabellen für 2 belastete Leiter von zweiadrigen Kabeln oder Leitungen oder auf die Tabellen für 3 belastete Leiter von dreiadrigen Kabeln oder Leitungen anzuwenden. Wenn eine Gruppe von Kabeln oder Leitungen aus mehr als 3 belasteten einadrigen Kabeln oder Leitungen besteht, darf die Gruppe z. B. bei 6 belasteten einadrigen Kabeln oder Leitungen entweder wie 6/2 = 3 Stromkreise mit je 2 belasteten Leitern oder wie 6/3 = 2 Stromkreise mit je 3 belasteten Leitern betrachtet werden.

***Tabelle 8.29:*** *Strombelastbarkeit $I_r$ mehradriger gummi-/PVC-isolierter Leitungen nach VDE 0298-4 für Haus- oder Handgeräte, auf oder an Flächen*

| **Bemessungsquerschnitt Cu mm²** | **Strombelastbarkeit $I_r$ in A** | |
|---|---|---|
| | **2 belastete Adern** | **3 belastete Adern** |
| 0,5 | 3 | 3 |
| 0,75 | 6 | 6 |
| 1 | 10 | 10 |
| 1,5 | 16 | 16 |
| 2,5 | 25 | 20 |
| 4 | 32 | 25 |
| 6 | 40 | – |
| 10 | 63 | – |

***Tabelle 8.30:*** *Strombelastbarkeit I, in A von Leitungen mit Nennspannungen ab 0,6/1 kV nach VDE 0298-4 in Luft*[1)]
Umgebungstemperatur: 30 °C

| Bemessungs-querschnitt Cu mm² | Sonder-Gummiaderleitung | | einadrige[2)] u. mehradrige Gummischlauchleitungen[3)] u. Leitungstrossen | |
|---|---|---|---|---|
| | zulässige | | empfohlene | |
| | Betriebstemperatur | | | |
| | am Leiter 90 °C | | – 80 °C | |
| | Verlegeart | | | |
| | frei in Luft[4)] | | auf oder an Flächen | |
| | Nennspannung | | | |
| | 0,6/1 kV u. 1,8/3 kV | 3,6/8 kV | ≤ 6/10 kV | > 6/10 kV |
| | Anzahl der belasteten Adern | | | |
| | 1 | 1 | 3 | 3 |
| 1,5 | 30 | 32 | – | – |
| 2,5 | 41 | 43 | 30 | – |
| 4 | 55 | 56 | 41 | – |
| 6 | 70 | 71 | 53 | – |
| 10 | 98 | 99 | 74 | – |
| 16 | 132 | 133 | 99 | 105 |
| 25 | 176 | 174 | 131 | 139 |
| 35 | 218 | 215 | 162 | 172 |
| 50 | 276 | 270 | 202 | 216 |
| 70 | 347 | 338 | 250 | 265 |
| 95 | 416 | 403 | 301 | 319 |
| 120 | 488 | 473 | 352 | 371 |
| 150 | 566 | 546 | 404 | 428 |
| 185 | 644 | 622 | 461 | 488 |
| 240 | 775 | – | – | – |
| 300 | 898 | – | – | – |

1) ausreichend große oder belüftete Räume, in denen die Umgebungstemperatur durch die Verlustwärme der Leitungen nicht merklich erhöht wird; Wärmestrahlungen, wie z. B. Sonneneinwirkung, sind zu berücksichtigen bzw. zu verhindern, z. B. durch Abdeckungen; bei Abdeckungen ist auf ungestörte Luftzirkulation zu achten.

2) einadrige, im Dreieck mit Berührung angeordnete Bauarten

3) NSSHÖU

4) einadrige Leitungen; Abstand zwischen den Leitungen und von einer Fläche jeweils ≥ Durchmesser einer Leitung

*Tabelle 8.31: Umrechnungsfaktoren für abweichende Umgebungstemperaturen*

| Umgebungs-temperatur °C | Zulässige bzw. empfohlene Betriebstemperatur | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **40 °C** | **60 °C** | **70 °C** | **80 °C** | **85 °C** | **90 °C** |
| 10 | 1,73 | 1,29 | 1,22 | 1,18 | 1,17 | 1,15 |
| 15 | 1,58 | 1,22 | 1,17 | 1,14 | 1,13 | 1,12 |
| 20 | 1,41 | 1,15 | 1,12 | 1,10 | 1,09 | 1,08 |
| 25 | 1,22 | 1,08 | 1,06 | 1,05 | 1,04 | 1,04 |
| 30 | **1,00** | **1,00** | **1,00** | **1,00** | **1,00** | **1,00** |
| 35 | 0,71 | 0,91 | 0,94 | 0,95 | 0,95 | 0,96 |
| 40 | – | 0,82 | 0,87 | 0,89 | 0,90 | 0,91 |
| 45 | – | 0,71 | 0,79 | 0,84 | 0,85 | 0,87 |
| 50 | – | 0,58 | 0,71 | 0,77 | – | 0,82 |
| 55 | – | 0,41 | 0,61 | 0,71 | – | 0,76 |
| 60 | – | – | 0,50 | 0,63 | – | 0,71 |
| 65 | – | – | 0,35 | 0,55 | – | 0,65 |
| 70 | – | – | – | 0,45 | – | 0,58 |
| 75 | – | – | – | 0,32 | – | 0,50 |
| 80 | – | – | – | – | – | 0,41 |
| 85 | – | – | – | – | – | 0,29 |

***Tabelle 8.32:*** *Umrechnungsfaktoren für Häufung auf der Wand, im Rohr und Kanal, auf dem Fußboden und an der Decke*

| **Verlegeanordnung** | **Anzahl der mehradrigen Kabel oder Leitungen oder Anzahl der Wechsel- oder Drehstromkreise aus einadrigen Kabeln oder Leitungen (2 bzw. 3 stromführende Leiter)** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **1** | **2** | **3** | **5** | **7** | **9** | **12** | **14** | **16** | **20** |
| gebündelt direkt auf der Wand, auf dem Fußboden, im Elektroinstallationsrohr oder -kanal, auf oder in der Wand | 1,00 | 0,80 | 0,70 | 0,60 | 0,54 | 0,50 | 0,45 | 0,43 | 0,41 | 0,38 |
| einlagig auf der Wand (waagerecht) oder auf dem Fußboden mit Berührung | 1,00 | 0,85 | 0,79 | 0,73 | 0,72 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 |
| einlagig auf der Wand (waagerecht) oder auf dem Fußboden, mit Zwischenraum gleich dem Außendurchmesser des Kabels oder der Leitung | 1,00 | 0,94 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 |
| einlagig unter Decke, mit Berührung | 0,95 | 0,81 | 0,72 | 0,68 | 0,64 | 0,62 | 0,61 | 0,61 | 0,61 | 0,61 |
| einlagig unter der Decke, mit Zwischenraum gleich dem Außendurchmesser des Kabels oder der Leitung | 0,95 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 |

Die Umrechnungsfaktoren für Häufung von Kabeln oder Leitungen auf Wannen und Pritschen (**Tabellen 8.33** und **8.34**) gelten nur für einlagig verlegte Gruppen von Kabeln oder Leitungen. Sie gelten nicht, wenn die Kabel oder Leitungen mit Berührung übereinander verlegt sind oder die ebenfalls angegebenen Abstände zwischen den Kabelwannen oder Kabelpritschen unterschritten werden. In solchen Fällen sind die Umrechnungsfaktoren z. B. nach **Tabelle 8.32** zu reduzieren.

***Tabelle 8.33:*** *Umrechnungsfaktoren für Häufung von mehradrigen Kabeln oder Leitungen auf Wannen*

| **Verlegeanordnung** | **Anzahl der Wannen** | **Anzahl der mehradrigen Kabel oder Leitungen** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **1** | **2** | **3** | **4** | **6** | **9** |
| ungelochte Kabelwannen übereinander; Kabel/Leitungen waagerecht nebeneinander, mit Berührung; Abstand der Wannen mindestens 300 mm; Abstand der Wanne von der Wand mindestens 20 mm | 1 | 0,97 | 0,84 | 0,78 | 0,75 | 0,71 | 0,68 |
| | 2 | 0,97 | 0,83 | 0,76 | 0,72 | 0,68 | 0,63 |
| | 3 | 0,97 | 0,82 | 0,75 | 0,71 | 0,66 | 0,61 |
| | 6 | 0,97 | 0,81 | 0,73 | 0,69 | 0,63 | 0,58 |
| gelochte Kabelwannen übereinander; Kabel/Leitungen waagerecht nebeneinander, mit Berührung; Abstand der Wannen mindestens 300 mm; Abstand der Wanne von der Wand mindestens 20 mm | 1 | 1,00 | 0,88 | 0,82 | 0,79 | 0,76 | 0,73 |
| | 2 | 1,00 | 0,87 | 0,80 | 0,77 | 0,73 | 0,68 |
| | 3 | 1,00 | 0,86 | 0,79 | 0,76 | 0,71 | 0,66 |
| | 6 | 1,00 | 0,84 | 0,77 | 0,73 | 0,68 | 0,64 |
| gelochte Kabelwannen übereinander; Kabel/Leitungen waagerecht nebeneinander, mit Abstand (1 × Kabel-/Leitungsdurchmesser); Abstand der Wannen mindestens 300 mm; Abstand der Wanne von der Wand mindestens 20 mm | 1 | 1,00 | 1,00 | 0,98 | 0,95 | 0,91 | – |
| | 2 | 1,00 | 0,99 | 0,96 | 0,92 | 0,87 | – |
| | 3 | 1,00 | 0,98 | 0,95 | 0,91 | 0,85 | – |
| gelochte Kabelwannen senkrecht parallel mit mindestens 225 mm Abstand; Kabel/Leitungen waagerecht übereinander, mit Berührung | 1 | 1,00 | 0,88 | 0,82 | 0,78 | 0,73 | 0,72 |
| | 2 | 1,00 | 0,88 | 0,81 | 0,76 | 0,71 | 0,70 |
| gelochte Kabelwannen senkrecht parallel mit mindestens 225 mm Abstand; Kabel/Leitungen waagerecht übereinander, mit Abstand (1 × Kabel-/Leitungsdurchmesser) | 1 | 1,00 | 0,91 | 0,89 | 0,88 | 0,87 | – |
| | 2 | 1,00 | 0,91 | 0,88 | 0,87 | 0,85 | – |

***Tabelle 8.34:*** *Umrechnungsfaktoren für Häufung mehradriger Kabel oder Leitungen auf Pritschen*

| Verlegeanordnung | Anzahl der Pritschen | Anzahl der mehradrigen Kabel oder Leitungen | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 9 |
| Kabelpritschen übereinander; Kabel/Leitungen waagerecht nebeneinander, mit Berührung; Abstand der Pritschen mindestens 300 mm; Abstand der Pritsche von der Wand mindestens 20 mm | 1 | 1,00 | 0,87 | 0,82 | 0,80 | 0,79 | 0,78 |
| | 2 | 1,00 | 0,86 | 0,81 | 0,78 | 0,76 | 0,73 |
| | 3 | 1,00 | 0,85 | 0,79 | 0,76 | 0,73 | 0,70 |
| | 6 | 1,00 | 0,83 | 0,76 | 0,73 | 0,69 | 0,66 |
| Kabelpritschen übereinander; Kabel/Leitungen waagerecht nebeneinander, mit Abstand (1 × Kabel-/Leitungsdurchmesser); Abstand der Pritschen mindestens 300 mm; Abstand der Wanne von der Wand mindestens 20 mm | 1 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | – |
| | 2 | 1,00 | 0,99 | 0,98 | 0,97 | 0,96 | – |
| | 3 | 1,00 | 0,98 | 0,97 | 0,96 | 0,93 | – |

***Tabelle 8.35:*** *Umrechnungsfaktoren für Häufung einadriger Kabel oder Leitungen auf Wannen*

| Verlegeanordnung | Anzahl der Wannen | Anzahl der dreipoligen Stromkreise aus einadrigen Kabeln oder Leitungen | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| gelochte Kabelwannen übereinander; einadrige Kabel/Leitungen waagerecht nebeneinander, mit Berührung; Abstand der Wannen mindestens 300 mm; Abstand der Wanne von der Wand mindestens 20 mm | 1 | 0,98 | 0,91 | 0,87 |
| | 2 | 0,96 | 0,87 | 0,81 |
| | 3 | 0,95 | 0,85 | 0,78 |
| gelochte Kabelwannen senkrecht parallel mit mindestens 225 mm Abstand; einadrige Kabel/Leitungen waagerecht übereinander mit Berührung, in senkrechter ebener Anordnung | 1 | 0,96 | 0,86 | – |
| | 2 | 0,95 | 0,84 | – |
| gelochte Kabelwannen übereinander; drei einadrige Kabel/Leitungen in waagerechter Dreiecksanordnung mit Abstand; Abstand der Wannen mindestens 300 mm; Abstand der Wanne von der Wand mindestens 20 mm | 1 | 1,00 | 0,98 | 0,96 |
| | 2 | 0,97 | 0,93 | 0,89 |
| | 3 | 0,96 | 0,92 | 0,86 |
| gelochte Kabelwannen senkrecht parallel mit mindestens 225 mm Abstand; einadrige Kabel/Leitungen in senkrechter Dreiecksanordnung übereinander mit Abstand | 1 | 1,00 | 0,91 | 0,89 |

***Tabelle 8.36:*** *Umrechnungsfaktoren für Häufung einadriger Kabel oder Leitungen auf Pritschen*

| Verlegeanordnung | Anzahl der Pritschen | Anzahl der dreipoligen Stromkreise aus einadrigen Kabeln oder Leitungen | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Kabelpritschen übereinander; einadrige Kabel/Leitungen waagerecht nebeneinander, mit Berührung; Abstand der Pritschen mindestens 300 mm; Abstand der Pritschen von der Wand mindestens 20 mm | 1 | 1,00 | 0,97 | 0,96 |
| | 2 | 0,98 | 0,93 | 0,89 |
| | 3 | 0,97 | 0,90 | 0,86 |
| Kabelpritschen übereinander; drei einadrige Kabel/Leitungen in waagerechter Dreiecksanordnung mit Abstand; Abstand der Pritschen mindestens 300 mm; Abstand der Pritschen von der Wand mindestens 20 mm | 1 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

***Tabelle 8.37:*** *Umrechnungsfaktoren für vieladrige Kabel und Leitungen bis 10 mm² Querschnitt*

| Anzahl der belasteten Adern | Umrechnungsfaktor |
|---|---|
| 5 | 0,75 |
| 7 | 0,65 |
| 10 | 0,55 |
| 14 | 0,50 |
| 19 | 0,45 |
| 24 | 0,40 |
| 40 | 0,35 |
| 61 | 0,30 |

***Tabelle 8.38:*** *Umrechnungsfaktoren für aufgewickelte Leitungen*

| Anzahl der Lagen auf der Spule | Umrechnungsfaktor |
|---|---|
| 1 | 0,80 |
| 2 | 0,61 |
| 3 | 0,49 |
| 4 | 0,42 |
| 5 | 0,38 |

Für spiralförmige Aufwicklung gilt der Umrechnungsfaktor 0,80.

*Tabelle 8.39: Umrechnungsfaktoren für wärmebeständige Leitungen*

| zulässige Betriebstemperatur °C | Umgebungstemperatur in °C | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 50 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 | 135 | 150 | 175 |
| 80 | 1,00 | 0,82 | 0,41 | – | – | – | – | – | – |
| 90 | 1,00 | 0,87 | 0,61 | – | – | – | – | – | – |
| 110 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,82 | 0,41 | – | – | – | – |
| 135 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,87 | 0,61 | – | – | – |
| 180 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,41 |

**Tabelle 8.40** enthält eine Auswahl an Leitungen und Kabeln mit erhöhter Wärmebeständigkeit.

*Tabelle 8.40: Wärmebeständige Leitungen und Kabel*

| zulässige Betriebstemperatur °C | Leitungstyp |
|---|---|
| 90 | PVC-Verdrahtungsleitung H05V2<br>PVC-Verdrahtungsleitung in Zwillingsausführung NYFAZW<br>PVC-Aderleitung H07V2<br>halogenfreie, raucharme Verdrahtungsleitung H05Z<br>halogenfreie, raucharme Aderleitung H07Z<br>Sonder-Gummiaderleitung NSGAÖU, NSGAFÖU, NSGAFCMÖU<br>halogenfreie Sonder-Gummiaderleitung NSHXAÖ, NSHXAFÖ NSHXAFCMÖ<br>Installationskabel Nennspannung 0,6/1 kV Nl2XY, N2XY, N2X2Y<br>Kabel mit verbessertem Verhalten im Brandfall N2XH, N2XCH<br>Starkstromkabel mit verbessertem Verhalten im Brandfall NHXHX FE180, NHXCHX FE180, NHXH FE180, NHXCH FE180, NHXHX, NHXCHX<br>EPR-isolierte Schlauchleitung H05/07BQ-F, H05/07BB-F, H05/07BN4-F<br>Gummischlauchleitung NSSHÖU<br>Leitungstrosse NT...WÖU |
| 105 | mineralisolierte Leitung |
| 110 | Gummiverdrahtungsleitung H05G-U/K, H07G-U/R/K<br>EVA-Schlauchleitung H05GG-F, H05GGH2-F |
| 120 | Gummiaderleitung (EVA-Isolierung) N4GA |
| 135 | ETFE-Aderleitung N7YA, N7YAF |
| 180 | Silikon-Fassungsader N2GFA, N2GFAF<br>Silikonaderleitung ohne Beflechtung H05S-U/K<br>Silikonaderleitung mit Beflechtung H05SJ-K<br>Silikon-Schlauchleitung H05SS-F, H05SST-F, H05SSD3-K, H05SSD3 T-K<br>flexible Silikonleitung N2GMH2G |

*Tabelle 8.41: Strombelastbarkeit $I_r$ isolierter Leitungen nach VDE 0100-523:1981-06*

| Bemessungsquerschnitt Cu mm² | Strombelastbarkeit $I_r$ in A | | |
|---|---|---|---|
| | Gruppe 1 | Gruppe 2 | Gruppe 3 |
| 0,75 | – | 12 | 15 |
| 1,0 | – | 15 | 19 |
| 1,5 | 15 | 18 | 24 |
| 2,5 | 20 | 26 | 32 |
| 4 | 25 | 34 | 42 |
| 6 | 33 | 44 | 54 |
| 10 | 45 | 61 | 73 |
| 16 | 61 | 82 | 98 |
| 25 | 83 | 108 | 129 |
| 35 | 103 | 135 | 158 |
| 50 | 132 | 168 | 198 |
| 70 | 165 | 207 | 245 |
| 95 | 197 | 250 | 292 |
| 120 | – | 335 | 391 |
| 185 | – | 382 | 448 |

Für Leitungsanlagen, die vor dem 1. Februar 1988 errichtet wurden, gelten nach wie vor die Strombelastbarkeitswerte der inzwischen zurückgezogenen VDE 0100-523:1981-06 (**Tabelle 8.41**).

Die Werte der Tabelle 8.41 gelten für Leitungen und für nicht im Erdreich verlegte Kabel mit PVC- oder Gummiisolierung. Sie beziehen sich auf eine Umgebungstemperatur von 30 °C und auf die Betriebsart Dauerbelastung. Bezüglich der Verlegeart wird in dieser Tabelle unterschieden nach:

Gruppe 1: einadrige Leitungen in Rohr verlegt

Gruppe 2: Stegleitungen und mehradrige Leitungen (gummiisoliert, PVC-isoliert oder wärmebeständig), nicht für Haus- oder Handgeräte, direkte Verlegung auf oder an Flächen

Gruppe 3: einadrige Leitungen (gummiisoliert, PVC-isoliert oder wärmebeständig), frei in Luft verlegt

*Tabelle 8.42: Strombelastbarkeit $I_r$ von Vierleiterkabeln für Verlegung in Luft*

| Bemessungsquerschnitt mm² | Strombelastbarkeit $I_r$ in A | |
|---|---|---|
| | Cu-Leiter (NYY) | Al-Leiter (NAYY) |
| 10 | 59 | – |
| 16 | 79 | – |
| 25 | 106 | 82 |
| 35 | 129 | 100 |
| 50 | 157 | 119 |
| 70 | 199 | 152 |
| 95 | 246 | 186 |
| 120 | 285 | 216 |
| 150 | 326 | 246 |
| 185 | 374 | 285 |

Für die Strombelastbarkeit von Kabeln bei Verlegung in Erde gilt VDE 0276-1000 (Ersatz für zurückgezogene VDE 0298-2) mit den speziellen VDE-Bestimmungen über die Kabelbauarten, in denen die Strombelastbarkeit angegeben ist. Werte für das Verlegen in Erde enthält Tabelle 6.1 (S. 222), für das Verlegen in Luft **Tabelle 8.42**.

Die Strombelastbarkeit *parallel geschalteter Leitungen* ergibt sich durch Addition der Strombelastbarkeit der einzelnen Leitungen, vorausgesetzt die Leitungen sind widerstandsgleich. Ist dies nicht der Fall, so gilt für die Strombelastbarkeit der parallel geschalteten Leitungen:

$$I_z = I_{z1}\left(1+\frac{S_2}{S_1}+\frac{S_3}{S_1}+\ldots\right)$$

$I_{z1}$ Strombelastbarkeit von $S_1$,
$S_1$ größter Leiterquerschnitt,
$S_2, S_3, \ldots$ Querschnitte der anderen Leiter.

Werden Leitungen oder Kabel nur *kurzzeitig belastet*, so ist u. U. eine höhere Strombelastung als im Dauerbetrieb zulässig. Voraussetzung ist, dass die Belastungsdauer kleiner als der *Mindestzeitwert* der Leitung ist. Bei einem Leiterquerschnitt von 1,5 mm² Cu beträgt der Mindestzeitwert 30 s, bei 10 mm² Cu bereits 160 s. Die Belastungsdauer müsste wesentlich unter diesen Werten liegen, um eine höhere Strombelastung zu erlauben. In der Praxis wird man in der Regel auf die sichere Seite gehen und die Kabel und Leitungen für Dauerlast bemessen. Für die thermische Kurzschlussbelastbarkeit gilt das Rechenverfahren nach Abschnitt 8.5.

# 8.4 Schutz von Leitungen und Kabeln bei Überlast

VDE 0100-430

## 8.4.1 Bemessung der Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Überlast

Kabel und Leitungen, die durch die Stromaufnahme nachgeschalteter Betriebsmittel betriebsmäßig überlastet werden können, müssen durch *Überstromschutzeinrichtungen* gegen eine zu hohe Erwärmung geschützt werden. Die Schutzeinrichtungen müssen den Stromkreisen so zugeordnet werden, dass folgende Bedingungen erfüllt sind:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z\,, \tag{8.2}$$

$$I_2 \leq 1{,}45\, I_Z\,; \tag{8.3}$$

$I_B$ Betriebsstrom des Stromkreises,

$I_Z$ zulässige Dauerstrombelastbarkeit des Kabels oder der Leitung (s. Abschn. 8.3; nach VDE 0298-4 Index „Z" mit Kleinbuchstabe „z"),

$I_n$ Bemessungsstrom der Schutzeinrichtung (bei einstellbaren Schutzeinrichtungen ist der Bemessungsstrom $I_n$ der eingestellte Strom),

$I_2$ Strom, der eine wirksame Abschaltung in der für die Schutzeinrichtung festgelegten Zeit sicherstellt (auch Auslösestrom genannt), (s. Abschn. 7.4 und Tabellen 7.7 und 7.8). Dieser Stromwert muss vom Hersteller angegeben werden oder ist in den Produktnormen festgelegt.

Mit Inkrafttreten des neuen Teils VDE 0100-430 am 01.10.2010 sind formale Änderungen bei einem Teil der Formelzeichen vorgenommen worden. Beim Betriebsstrom $I_B$ hat sich der Index vom Kleinbuchstaben „b" in den Großbuchstaben „B", bei der zulässigen Dauerstrombelastbarkeit (bisher zulässige Strombelastbarkeit) $I_Z$ vom Kleinbuchstaben „z" in den Großbuchstaben „Z" geändert. Der Index beim Auslösestrom $I_2$ ist hier im Buch von Kleinbuchstabe „f" in Ziffer „2" geändert worden. Dieser Index war schon bei der bisherigen Ausgabe der VDE 0100-430 so angegeben, in den Produktnormen aber auch mit dem Index „f" dargestellt worden. Dazu wird in der neuen VDE 0100-430:2010-10 folgendes angemerkt: Der Strom $I_2$, der in der festgelegten Zeit das wirksame Ansprechen der Schutzeinrichtung sicherstellt, kann entsprechend der Produktnorm auch als $I_t$ oder $I_f$ bezeichnet sein. $I_t$ und $I_f$ sind ein Vielfaches von $I_n$; die richtige Verwendung von Werten und Indizes sollte beachtet werden. In der Anmerkung wird nicht erwähnt, dass in den Produktnormen über Sicherungen der Auslösestrom $I_2$ auch als *großer Prüfstrom* $I_f$ bezeichnet wird.

Nach den Bedingungen (8.2) und (8.3) führen Überlastströme bis zum 1,45-fachen der Strombelastbarkeit $I_Z$ der Leitungen nicht zu einer Auslösung. Als Folge kann es

zu einer Erwärmung der Leitung über deren zulässige Betriebstemperatur kommen, was wiederum die Lebensdauer der Leitung erheblich reduziert. Deshalb muss durch sorgfältige Planung garantiert werden, dass kleine Überlastungen von langer Dauer nicht regelmäßig auftreten werden. Gegebenenfalls sollte dann ein Kabel oder eine Leitung mit einem größeren Querschnitt gewählt werden.

Als Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Überlast eignen sich

- Leitungsschutzsicherungen nach Reihe VDE 0636 (s. Abschn. 7.4.2),
- Leitungsschutzschalter nach VDE 0641-11 u. -12 (s. Abschn. 7.4.3),
- Leistungsschalter nach VDE 0660-101 (s. Abschn. 7.4.4) und
- stromabhängig verzögerte Schutzeinrichtungen, wie Schütz mit Überlastauslöser, Schutzrelais.

Da die drei erstgenannten Schutzeinrichtungen auch den Schutz bei Kurzschluss (s. Abschn. 7.5) übernehmen können, werden sie bevorzugt auch für den Schutz der Leitungen bei Überlast verwendet.

***Tabelle 8.43:*** *Zuordnung von LS-Schaltern Typ B, C, G und Leistungsschaltern für Dauerbetrieb und für Umgebungstemperatur von 25 °C*
Verlegearten: A, B

| **Bemessungsquerschnitt Cu mm²** | **Verlegeart** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **A1** | | **A2** | | **B1** | | **B2** | |
| | **Anzahl der belasteten Adern** | | | | | | | |
| | **2** | **3** | **2** | **3** | **2** | **3** | **2** | **3** |
| | **Bemessungsstrom $I_n$ der Überstromschutzeinrichtung in A** | | | | | | | |
| 1,5 | 16 | 13 | 16 | 13 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 2,5 | 20 | 16 | 16 | 16 | 25 | 20 | 20 | 20 |
| 4 | 25 | 25 | 25 | 20 | 32 | 30 | 32 | 25 |
| 6 | 32[1)] | 32 | 32 | 25 | 40 | 35 | 40 | 35 |
| 10 | 40 | 40 | 40 | 40 | 50 | 50 | 50 | 40 |
| 16 | 63 | 50 | 50 | 50 | 80 | 63 | 63 | 63 |
| 25 | 80 | 63 | 80 | 63 | 100 | 80 | 80 | 80 |
| 35 | 100 | 80 | 80 | 80 | 125 | 100 | 100 | 100 |

[1)] $I_n$ = 35 A bei Leistungsschaltern
z. B. Aderleitungen H05V, H07V; PVC-Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt) NYM, NYMZ, MYMT; umhüllter Rohrdraht NHYRUZY; Dachständerleitung NYDY; halogenfreie Installationsleitung (auch Mantelleitung genannt) NHXMH; Installationsleitung (auch Mantelleitung genannt) mit speziellem Verhalten im Brandfall NHMH; Kabel NYY, NYCY

Leitungsschutzschalter des Typs B, C, G und K sowie Leistungsschalter bieten zudem den Vorteil, dass ihr Bemessungsstrom unmittelbar der Strombelastbarkeit der Leitung zugeordnet werden kann, da ihr großer Prüfstrom $I_2 \leq 1{,}45\ I_n$ beträgt, d. h., die nach Abschnitt 8.3 ermittelte Strombelastbarkeit ($I_Z = I_r \cdot \Pi f$) muss z. B. $\geq 16$ A sein, um die Leitung mit einem 16-A-Leistungsschalter oder einem LS-Schalter des Typs B, C, G, K gegen die Auswirkungen der Überlast schützen zu können.

Legt man die Verlegebedingungen der Tabellen 8.19 bis 8.21 bei einer Umgebungstemperatur von 25 °C zugrunde, dann erhält man die **Tabellen 8.43** und **8.44**.

Bei abweichenden Verlegebedingungen muss die Strombelastbarkeit $I_z$ entsprechend Abschnitt 8.3 berechnet und anschließend die Schutzeinrichtung zugeordnet werden.

Soll der Schutz bei Überlast durch Leitungsschutzeinrichtungen – sog. gL-Sicherungen – gewährleistet werden, dann ist durch Berechnen nachzuweisen, dass die Bedingungen (8.2) und (8.3) erfüllt sind.

***Tabelle 8.44:*** *Zuordnung von LS-Schaltern Typ B, C, G und Leistungsschaltern für Dauerbetrieb und für Umgebungstemperatur von 25 °C*
Verlegearten: C, E

| **Bemessungsquerschnitt Cu mm²** | **Verlegeart** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **C** | | **E** | |
| | **Anzahl der belasteten Adern** | | | |
| | **2** | **3** | **2** | **3** |
| | **Bemessungsstrom $I_n$ der Überstromschutzeinrichtung in A** | | | |
| 1,5 | 20 | 16 | 20 | 16 |
| 2,5 | 25 | 25 | 32 | 25 |
| 4 | 32[1)] | 32[1)2)] | 40 | 32[1)] |
| 6 | 40 | 40 | 50 | 40 |
| 10 | 63 | 63[2)] | 63 | 63 |
| 16 | 80 | 80 | 100 | 80 |
| 25 | 100 | 100 | 125 | 100 |
| 35 | 125 | 125 | 125 | 125 |

[1)] $I_n = 35$ A bei Leistungsschaltern

[2)] Bei Verlegung auf Holz: $I_n = 32$ A bzw. $I_n = 50$ A.
z. B. Aderleitungen H05V, H07V; PVC-Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt) NYM, NYMZ, MYMT; umhüllter Rohrdraht NHYRUZY; Dachständerleitung NYDY; halogenfreie Installationsleitung (auch Mantelleitung genannt) NHXMH; Installationsleitung (auch Mantelleitung genannt) mit speziellem Verhalten im Brandfall NHMH; Kabel NYY, NYCY

*Beispiel:* Ein zweipoliger Steckdosenstromkreis 16 A wird über Stegleitungen unter Putz, 3 × 1,5 mm$^2$ Cu, angeschlossen. Als Überstromschutzeinrichtung soll eine 16-A-gL-Sicherung verwendet werden. Der Schutz bei Überlast errechnet sich nach Gleichung (8.2):

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \, .$$

Der Betriebsstrom $I_B$ des 16-A-Steckdosenstromkreises ist 16 A, der Bemessungsstrom $I_n$ der Schutzeinrichtung ist ebenfalls 16 A, und die Strombelastbarkeit $I_Z$ einer Stegleitung 3 × 1,5 mm$^2$ Cu mit zwei belasteten Adern ist nach Tabelle 8.23, Gruppe C, 19,5 A. Die Bedingung (8.2) ist somit erfüllt, da

$$16 \text{ A} \leq 16 \text{ A} \leq 19{,}5 \text{ A} \, .$$

Kontrolle nach Gleichung (8.3):

$$I_2 \leq 1{,}45 \, I_Z \, .$$

Der Auslösestrom $I_2$ der 16-A-gL-Sicherung ist (nach Tabelle 7.7) 27,2 A. Bedingung (8.3) ist somit erfüllt, da 27,2 A ≤ 1,45 · 19,5 A = 28,3 A. Die gleiche Berechnung muss angestellt werden, wenn die früher üblichen LS-Schalter vom Typ L verwendet werden.

***Tabelle 8.45:*** *Zuordnung von gL-Sicherungen und LS-Schaltern vom Typ L für den Schutz bei Überlast*

| **Bemessungsquerschnitt Cu mm$^2$** | **Bemessungsstrom $I_n$ in A** | | |
|---|---|---|---|
| | **Gruppe 1** | **Gruppe 2** | **Gruppe 3** |
| 1,5 | 10 | 10 | 20 |
| 2,5 | 16 | 20 | 25 |
| 4 | 20 | 25 | 35 |
| 6 | 25 | 35 | 50 |
| 10 | 35 | 50 | 63 |
| 16 | 50 | 63 | 80 |
| 25 | 63 | 80 | 100 |
| 35 | 80 | 100 | 125 |
| 50 | 100 | 125 | 160 |
| 70 | 125 | 160 | 200 |
| 95 | 160 | 200 | 250 |
| 120 | 200 | 250 | 315 |
| 150 | – | 250 | 315 |
| 185 | – | 315 | 400 |

Gruppe 1: einadrige Leitungen, in Rohr verlegt
Gruppe 2: Mehraderleitungen, Stegleitungen
Gruppe 3: einadrige Leitungen, frei in Luft verlegt

Für die Zukunft ist geplant, die Auslösecharakteristik der gL-Sicherung dahingehend zu verändern, dass auch sie spätestens beim 1,45-fachen ihres Bemessungsstroms in 1...4 h auslöst. Dann könnte auch bei Verwendung von gL-Sicherungen die Bedingung (8.3) entfallen.

Für Altanlagen, die vor dem 1. Feb. 1990 errichtet wurden und die noch mit LS-Schaltern des Typs L bzw. gL-Sicherungen versehen sind, gilt bzgl. der Zuordnung weiterhin die **Tabelle 8.45**.

## 8.4.2 Anordnung der Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Überlast

Überlastschutzeinrichtungen müssen *grundsätzlich am Anfang jedes Stromkreises* und an allen Stellen eingebaut werden, an denen die *Strombelastbarkeit* der Leitungen *gemindert* wird. Dies ist der Fall, wenn sich der Leiterquerschnitt verringert oder wenn die Verlegeart oder die Leitungsart geändert wird, z. B. beim Übergang von Installationsleitung (auch Mantelleitung genannt) auf Rohrleitung.

Überlastschutzeinrichtungen können jedoch dann *an beliebiger Stelle* des Stromkreises angeordnet werden, wenn der Leitungsabschnitt vor der Schutzeinrichtung im Fall eines Kurzschlusses geschützt ist (s. Abschn. 8.5) und weder Abzweige noch Steckvorrichtungen enthält.

Ist in einem verjüngten Leitungsstück, z. B. hinter einer Abzweigung, der Schutz bei Kurzschluss nicht mehr sichergestellt, so darf die Schutzeinrichtung für den Schutz bei Überlast bis zu 3 m hinter der Abzweigung angeordnet werden, wenn der Leitungsabschnitt vor der Schutzeinrichtung kurzschluss- und erdschlusssicher sowie nicht unmittelbar auf brennbare Unterlage, z. B. Holz, verlegt ist (s. Abschn. 8.2.6).

Überlastschutzeinrichtungen *dürfen entfallen*,

- wenn die Leitung durch die Schutzeinrichtung vorgeschalteter Stromkreisabschnitte wirksam gegen die Auswirkungen bei Überlast geschützt ist,
- in Verteilungsnetzen, die als Freileitungen oder als im Erdreich verlegte Kabel ausgeführt sind, in denen eine Überlast keine Gefahr hervorruft,
- wenn eine Leitung einen Verteiler speist und die Summe der Bemessungsströme aller dort vorhandenen Sicherungen den Überlastschutz gewährleistet,

  *Beispiel:* Von einer vorgeschalteten 80-A-Sicherung führt eine NYM-Leitung von 10 $mm^2$ Cu zu einem Verteiler. Von diesem zweigen drei Stegleitungs-Stromkreise ab, die mit je 16 A gesichert sind. Der Querschnitt von 10 $mm^2$ wäre durch die 80-A-Sicherung nicht gegen Überlast geschützt. Den Überlastschutz gewährleisten jedoch die drei Sicherungen in dem Verteiler, die zusammen $3 \cdot 16\ A = 48\ A$ betragen. Der Kurzschlussschutz dieser Leitung muss jedoch nach Abschnitt 8.5 durch die 80-A-Sicherung gewährleistet sein.

- wenn nicht mit einer Überlastung der Anschlussleitung eines elektrischen Verbrauchsmittels gerechnet werden muss, der Kurzschlussschutz aber vorhanden ist,

  *Beispiele:*
  - Das Verbrauchsmittel hat einen eingebauten Überlastschutz, z. B. einen Motorschutzschalter mit thermischer Auslösung.
  - Es handelt sich um Elektrowärmegeräte, z. B. Heißwasserspeicher, Herde, Raumheizgeräte.
  - Die Verbrauchsmittel sind Motoren, deren Strom bei blockiertem Läufer die Strombelastbarkeit der Leitung nicht überschreitet.
- für Hilfsstromkreise (Steuerungs- und Regelungsstromkreise, Signalanlagen u. dgl.). Dagegen müssen sie gegen zu hohe Erwärmungen durch Kurzschlussströme nach Abschnitt 8.5 geschützt werden.

Die genannten Fälle, in denen auf einen Überlastschutz verzichtet werden darf, gelten nicht für Anlagen in feuergefährdeten (s. Abschn. 14.7) und explosionsgefährdeten (s. Abschn. 14.9.10) Räumen und Bereichen und in Räumen und Bereichen, für die abweichende Bedingungen gestellt werden, z. B. durch Auflagen einer Genehmigungsbehörde.

*Parallel geschaltete Leiter* dürfen durch eine gemeinsame Schutzeinrichtung gegen Überlast geschützt werden (Kurzschlussschutz s. Abschn. 8.5.2). Dies ist jedoch nur zulässig, wenn sie gleicher Art und gleich lang sind, keine Abzweige haben und nicht einzeln betrieben werden können, das bedeutet, es dürfen keine Einrichtungen zum Trennen und Schalten vorhanden sein. Wenn eine einzelne Schutzeinrichtung parallel geschaltete Leiter mit *gleicher Stromaufteilung* schützt, ist der Wert der zulässigen Dauerstrombelastbarkeit $I_Z$ (s. Formel (8.2)) die Summe der Strombelastbarkeit der einzelnen Leiter.

*Beispiel:* Zwei PVC-Installationsleitungen je 3 × 25 mm$^2$ seien parallel verlegt. Für die einzelne Leitung ist eine Schutzeinrichtung mit einem Bemessungsstrom von 80 A zulässig. Die Addition der Bemessungsströme beider Leitungen ergibt einen Bemessungsstrom für die gemeinsame Überstromschutzeinrichtung von 2 · 80 A = 160 A (s. auch Abschn. 8.3).

Wenn der Strom in parallel geschalteten Leitern *ungleichmäßig* ist, müssen der Betriebsstrom und die Anforderungen zum Schutz bei Überlast für jeden Leiter getrennt betrachtet werden. Nach VDE 0100-430 wird der Strom in den parallel geschalteten Leitern als ungleich betrachtet, wenn die Differenz zwischen den einzelnen Strömen > 10 % des Betriebsstroms für jeden einzelnen Leiter beträgt. Eine ausführliche Anleitung zur Behandlung des Schutzes parallel geschalteter Leiter bei Überstrom ist in VDE 0100-430:2010-10, Anhang A, zu finden.

### 8.4.3 Überstromschutzeinrichtungen in Beleuchtungs- und zweipoligen Steckdosenstromkreise

Die frühere Forderung, dass Beleuchtungsstromkreise in Hausinstallationen und in landwirtschaftlichen Betrieben nur bis 16 A gesichert werden dürfen, besteht nicht mehr. Der Überstromschutz solcher Stromkreise richtet sich nach der Strombelastbarkeit der Kabel und Leitungen dieser Stromkreise, aber auch nach der zulässigen Strombelastbarkeit des Installationsmaterials, also z. B. der Lampenfassungen, Klemmen, Steckdosen, Schalter und anderen Betriebsmittel. Der Überstromschutz muss auf den niedrigeren Wert aus der Belastbarkeit der Kabel und Leitungen und des Installationsmaterials bemessen werden. Unabhängig vom Leiterquerschnitt eines Steckdosenstromkreises darf eine zweipolige Steckdose, deren zulässige Belastbarkeit nur 16 A beträgt, auch nur mit 16 A gesichert werden.

### 8.4.4 Überstromschutzeinrichtungen in zwei- oder dreipoligen Steckdosenstromkreisen

Der Überstromschutz von zwei- und dreipoligen Steckdosenstromkreisen muss nicht nur auf die zulässige Belastung der Leitungen, sondern auch auf den Bemessungsstrom der angeschlossenen Steckdosen abgestimmt werden, d. h. auf den niedrigeren der beiden Werte. Die dreipolige 32-A-Drehstromsteckdose kann mit 35 A gesichert werden, sofern die Leiterquerschnitte ausreichend bemessen sind (mindestens 4 $mm^2$ bei NYM-Leitungen, verlegt auf einer Wand).

### 8.4.5 Schutz der Außenleiter und des Neutralleiters

Überstromschutzeinrichtungen sind in allen *Außenleitern* vorzusehen. Statt einer Überstromschutzeinrichtung kann auch eine Erfassung des Überstroms vorgenommen werden, die die Abschaltung des Leiters bewirkt, in dem der Überstrom auftritt. Es müssen nicht unbedingt alle aktiven Leiter abgeschaltet werden. Falls aber die Abschaltung eines einzelnen Außenleiters eine Gefahr hervorrufen kann, z. B. bei einem Drehstrommotor, müssen entsprechende Einrichtungen vorgesehen werden, die zur Abschaltung des gesamten Stromkreises – hier des Motorstromkreises – führen. Im *Neutralleiter* von TN- oder TT-Systemen sind sie nicht erforderlich, wenn der Neutralleiter mindestens den Querschnitt der Außenleiter hat oder durch die Schutzeinrichtung der Außenleiter gegen Kurzschluss geschützt wird und der Höchststrom des Neutralleiters bei normalem Betrieb beträchtlich geringer ist als die Strombelastbarkeit dieses Leiters. Eine vierpolige Überstromauslösung ist jedoch zulässig und manchmal zweckmäßig. Wenn der Querschnitt des Neutrallei-

ters jedoch geringer als der des Außenleiters ist, muss auch der Neutralleiterstrom erfasst werden. Diese Erfassung muss zur Abschaltung der Außenleiter führen. Der Neutralleiter muss nicht mitabgeschaltet werden. Ist in einem IT-System ein Neutralleiter erforderlich, dann muss auch im Neutralleiter der Überstrom erfasst werden, und es ist eine allpolige Abschaltung einschl. des Neutralleiters notwendig, es sei denn, der Neutralleiter ist durch eine vorgeschaltete Schutzeinrichtung gegen Kurzschluss geschützt (z. B. an der Einspeisung der Anlage) oder der Stromkreis ist durch eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) geschützt, deren Bemessungsdifferenzstrom höchstens das 0,20-fache (bisher: 0,15-fache) der Strombelastbarkeit des betreffenden Neutralleiters beträgt. Die Schutzeinrichtung muss alle aktiven Leiter des Stromkreises abschalten, auch den Neutralleiter.

Durch den immer häufigeren Einsatz von elektronischen Einrichtungen kann es zur *Überlastung des Neutralleiters* kommen. Solche elektronischen Einrichtungen sind vielfältiger Art, z. B. Stromrichter, elektronische Vorschaltgeräte, Dimmer, elektronische Netzteile von Geräten der Informationstechnik und Unterhaltungselektronik. Es genügt schon ein Netzteil mit Gleichrichter und Glättungskondensator, aber ohne vorgeschalteten Transformator, wie es heute häufig vorkommt. Diese elektronischen Einrichtungen enthalten nichtlineare Bauteile, die zu Abweichungen von der Sinusform, d. h. zu Oberschwingungen, führen. Trotz sinusförmiger Spannung kommt es zu nichtsinusförmigen Strömen. Die wesentliche Oberschwingung ist die *3. Harmonische*, die Ströme mit einer Frequenz von 150 Hz zur Folge hat. Diese 150-Hz-Ströme heben sich im Drehstromsystem – selbst bei gleicher Höhe der Ströme – nicht auf, wie es im Idealfall im Drehstromsystem bei 50 Hz, aber auch bei den Vielfachen der 3. Harmonischen der Fall ist, sondern sie addieren (!) sich im Neutralleiter. Dadurch haben die 150-Hz-Ströme im Neutralleiter sehr viel größere Werte als die Außenleiterströme, was zu einem Überschreiten der Strombelastbarkeit des Neutralleiters führen kann. Da ein Neutralleiter, der denselben Querschnitt hat wie die Außenleiter, nach der derzeit gültigen Vorschrift, wie oben beschrieben, im TN- und TT-System keine Überstromerfassung zu haben braucht, die zum Abschalten des gesamten Stromkreises führt, kann es zur Überhitzung und damit zum Brand kommen, was in der Praxis schon vorgekommen ist. Deshalb ist diese mögliche Überlastung des Neutralleiters durch Oberschwingungsströme unbedingt zu berücksichtigen, und zwar schon bei der Planung. Ist ein Drehstromsystem annähernd symmetrisch belastet und besitzt der Neutralleiter denselben Querschnitt und natürlich dasselbe Material wie die Außenleiter können nach VDE 0298-4:2003-08, Anhang B, mit dort angegebenen Reduktionsfaktoren für die dritte Harmonische einer Oberschwingung die verminderte Strombelastbarkeit oder umgekehrt der gegebenenfalls erforderliche höhere Querschnitt der Leiter ermittelt werden. Die angegebenen Reduktionsfaktoren für Oberschwingungs-

ströme können allerdings nur für vier- und fünfadrige Kabel oder Leitungen mit vier belasteten Adern angewendet werden wobei der Strom im vierten Leiter durch Oberschwingungsanteile entsteht. Da größere Leiterquerschnitte nicht wirtschaftlich und auch in der Praxis unpraktikabel wären und außerdem durch die Oberschwingungsströme die Übertragungskapazität für die Wirkleistung eingeschränkt ist, sind Maßnahmen zur Unterbindung der Oberschwingungsströme sinnvoll. Dies kann durch *Netzfilter* geschehen, die Oberschwingungen zum großen Teil unterdrücken, insbesondere die für die Überlastung des Neutralleiters verantwortliche 150-Hz-Schwingung (3. Harmonische), aber auch die 5. und 7. Harmonische, die die Außenleiter zusätzlich belasten [s. Schmolke, H.; Brandschutz in elektrischen Anlagen; Hüthig & Pflaum]).

## 8.5 Schutz von Leitungen und Kabeln bei Kurzschluss

VDE 0100-430

### 8.5.1 Bemessung der Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Kurzschluss

Der Schutz bei Kurzschluss besteht darin, den Leitern Schutzeinrichtungen zuzuordnen, die den im Fehlerfall zu erwartenden Kurzschlussstrom unterbrechen, bevor eine schädliche Erwärmung der Leiterisolierung, der Anschluss- und Verbindungsstellen sowie der Umgebung erfolgt.

Der Schutz bei Kurzschluss wird in den meisten Fällen durch Zuordnung einer *gemeinsamen Schutzeinrichtung für Überlast und Kurzschluss* bewirkt. Nach den geltenden VDE-Bestimmungen gewährleistet eine Schutzeinrichtung, die einen Leiterquerschnitt gegen zu hohe Erwärmung bei Überlast schützt, auch den Schutz bei Kurzschluss, vorausgesetzt, die gemeinsame Schutzeinrichtung hat ein Schaltvermögen, das mindestens dem vollkommenen Kurzschlussstrom an seiner Einbaustelle entspricht.

Überlegungen hinsichtlich des Kurzschlussschutzes sind also i. Allg. nicht erforderlich, wenn die Zuordnung den in Abschnitt 8.4 genannten Bedingungen entspricht. Als Schutzeinrichtungen können Schmelzsicherungen, Leitungsschutzschalter oder Leistungsschalter verwendet werden.

Die Schutzeinrichtung, deren Bemessungsstrom oder Einstellwert höher ist, als es der Zuordnung zum Schutz bei Überlast entspricht, muss bei Kurzschluss so schnell abschalten, dass die zulässige Grenztemperatur nicht überschritten wird.

*Tabelle 8.46: Grenztemperaturen üblicher Isolierungen*

| Isolierung | $\vartheta_e$ °C | $\vartheta_{L,zul}$ °C |
|---|---|---|
| Natur- u. synthetischer Gummi (NR bzw. NK, SR bzw. SK) | 200 | 60 |
| Ethylen-Propylen-Gummi (EPR) | 250 | 60 |
| Polyvinylchlorid (PVC)-Leitung u. -Kabel für feste Verlegung über 300 mm$^2$ | 140 | 70 |
| flexible PVC-Leitung bis 300 mm$^2$ | 150 | 70 |
| PVC-Leitung u. -Kabel für feste Verlegung bis 300 mm$^2$ | 160 | 70 |
| Chloroprengummi (CR) | 250 | 85 |
| wärmebeständiges PVC | 150 | 90 |
| vernetztes Polyethylen (VPE) | 250 | 90 |
| halogenfreie Polymermischung | 250 | 90 |
| Ethylen-Vinylacetat-Copolymer (EVA) | 250 | 110 |
| Ethylen-Tetrafluorethylen (ETFE) | 250 | 135 |
| Silikongummi (SIR) | 350 | 180 |

In **Tabelle 8.46** ist die Grenztemperatur im Kurzschlussfall bis zu 5 s Dauer (zulässige Kurzschlusstemperatur $\vartheta_e$) für verschiedene Isoliermaterialien angegeben (Auszug aus VDE 0298-4), wobei zur Orientierung die zulässige Betriebstemperatur am Leiter $\vartheta_{L,zul}$ mit angegeben ist.

Für verzinnte Leiter beträgt die Grenztemperatur 200 °C, für Weichlotverbindungen 160 °C.

Die Werte des *einpoligen Kurzschlussstroms* können durch Berechnung, durch Messungen, an einem Netzmodell oder durch Angaben der NBs ermittelt werden. Das Messen in der Anlage wird vielfach die genaueste Methode sein. Man verwendet dazu ein Schleifenwiderstandsmessgerät mit hoher Messgenauigkeit, das allerdings sehr teuer ist. Die üblichen Schutzmaßnahmenmessgeräte mit ±30 % Messunsicherheit reichen nicht aus. Der Kurzschlussstrom ergibt sich dann aus der Nennspannung des Außenleiters gegen Erde, geteilt durch den Schleifenwiderstand:

$$I = \frac{U_0}{R_{Sch}}; \tag{8.4}$$

Die zulässige Ausschaltzeit beträgt

$$t = \left(k \frac{S}{I}\right)^2; \tag{8.5}$$

$t$ zulässige Ausschaltzeit bei vollkommenem Kurzschluss in s,
$S$ Leiterquerschnitt in $mm^2$,
$I$ Kurzschlussstrom in A,
$k$ Materialbeiwert in $A \cdot \sqrt{s}/mm^2$, Werte aus **Tabelle 8.47**.

***Tabelle 8.47:*** *Materialbeiwert k isolierter Leiter in* $A \cdot \sqrt{s}/mm^2$

| **Werkstoff der Isolierung** | **Leitermaterial** | |
|---|---|---|
| | **Cu** | **Al** |
| R | 141 | 87 |
| PVC | 115 | 76 |
| VPE, EPR | 143 | 94 |
| IIK | 134 | 89 |

R Gummi, PVC Polyvinylchlorid
VPE vernetztes Polyethylen, EPR Ethylen-Propylen-Gummi,
IIK Butylgummi

Die Ausschaltzeit der zu wählenden Schutzeinrichtung darf $t$ nicht überschreiten und nicht länger als 5 s sein.

Anstelle von Formel (8.4) kann auch die folgende, vereinfachte Gleichung angewendet werden, bei der auf die Messung des Schleifenwiderstands verzichtet wird:

$$I = \frac{0{,}8 \cdot U_0}{2\,R}; \tag{8.6}$$

$I$ einpoliger Kurzschlussstrom,
$U_0$ Bemessungsspannung des Außenleiters gegen Erde,
$R$ Widerstand der einfachen Leiterlänge des zu schützenden Stromkreises.

$R$ kann aus $R = l\rho/S$ berechnet werden, wobei wegen der erwärmten Leitung als spezifischer Kupferwiderstand $\rho = 0{,}027\ \Omega \cdot mm^2/m$ einzusetzen ist.

Der Faktor 0,8 berücksichtigt die Einflüsse des vorgelagerten Netzes, da der Widerstand bzw. die Impedanz der Leiterschleife tatsächlich höher liegt bzw. der Kurzschlussstrom tatsächlich niedriger ist. So wird bei der Anwendung dieser Formel nicht der tatsächlich Widerstand bzw. die Impedanz der vollständigen Leiterschleife bzw. aller Komponenten, bestehend aus Leitungen, Verteilern, Stromquelle usw., berücksichtigt.

*Beispiel:* Wie groß sind der einpolige Kurzschlussstrom und die zulässige Ausschaltzeit bei einer 180 m langen NYM-Leitung von 4 × 10 mm² bei 230 V?

$$I = \frac{0{,}8 \cdot 230\ \text{V}}{2 \cdot 0{,}027 \dfrac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \dfrac{180\ \text{m}}{10\ \text{mm}^2}} = 189\ \text{A}\ .$$

Nun ist dieser Wert sehr niedrig. Bei einer vieradrigen Leitung entwickelt sich aber ein einpoliger Kurzschluss erfahrungsgemäß sofort in einen dreipoligen Kurzschluss. Man darf daher wie folgt rechnen:

$$I = \frac{0{,}8 \cdot U_0}{R}\ ;$$

Der vorherige Wert ist also zu verdoppeln: $I$ = 378 A. Daraus ergibt sich nach Gleichung (8.5)

$$t = \left(115 \cdot \frac{10}{378}\right)^2 = 9{,}25\ \text{s}\ .$$

Die Gesamtausschaltzeit darf nicht länger als 5 s sein.

Nunmehr ist **Bild 8.12** (nach Reihe VDE 0636) heranzuziehen. Es enthält den Bereich der Sicherungen für 2 A, 6 A, 16 A usw. (**Bild 8.13** für 4 A, 10 A, 20 A usw.). Man findet, von der linken Achse bei 5 s und von der unteren Achse bei 360 A ausgehend, den Sicherungsbereich von 80 A. Bis zu diesem oder einem niedrigeren Wert könnte die NYM-Leitung gegen Kurzschluss gesichert werden. Die Überstromschutzeinrichtung gegen Überlast darf nach Tabelle 8.43 maximal 63 A betragen.

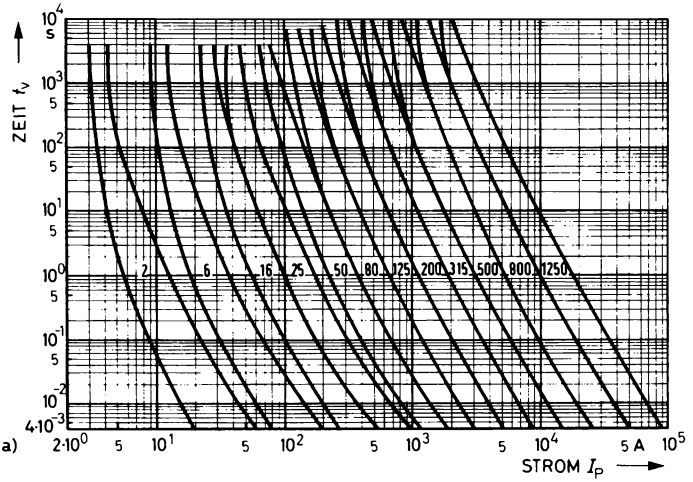



***Bild 8.12:*** *Zeit-Strom-Bereiche für Leitungsschutzsicherungen (Reihe VDE 0636)*

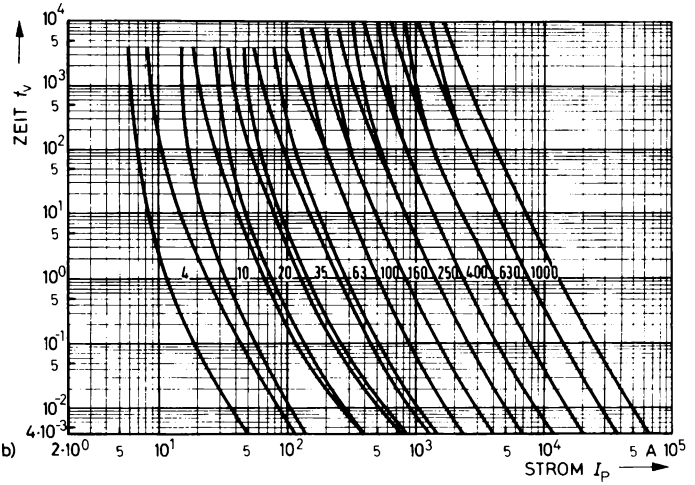



***Bild 8.13:*** *Zeit-Strom-Bereiche für Leitungsschutzsicherungen (Reihe VDE 0636)*

Für LS-Schalter sind die Nomogramme in VDE 0641, für Leistungsschalter die in VDE 0660 oder in beiden Fällen die Angaben der Hersteller zugrunde zu legen. Dynamische Kräfte sind ggf. zu beachten (s. Abschn. 7.3.2).

## 8.5.2 Anordnung der Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Kurzschluss

Die Schutzeinrichtungen müssen *am Leitungsanfang* eines jeden Stromkreises oder an Stellen eingebaut werden, an denen die *Kurzschlussstrombelastbarkeit* gemindert wird. Der Grund für solch eine Minderung ist in erster Linie *eine Verringerung* des *Leiterquerschnitts* oder aber z. B. eine *geänderte Leiterisolierung, Verlegeart.* Kurzschlussschutzeinrichtungen dürfen bis zu 3 m vom Leitungsanfang entfernt sein, wenn dieser Leitungsabschnitt vor der Schutzeinrichtung kurzschluss- und erdschlusssicher (s. Abschn. 8.2.6) sowie nicht in der Nähe brennbarer Baustoffe verlegt ist.

Kurzschlussschutzeinrichtungen dürfen in bestimmten Messstromkreisen, z. B. im Spannungspfad von Elektrizitätszählern, und auch für Leitungen, die elektrische Maschinen, Transformatoren, Gleichrichter und Akkumulatorenbatterien mit ihren Schaltanlagen und Steuerschränken verbinden, entfallen, wenn die Leitungen kurzschluss- und erdschlusssicher (s. Abschn. 8.2.6) sowie nicht in der Nähe brennbarer Stoffe verlegt sind. Mit Überlast braucht nicht gerechnet zu werden.

Am Anfang der Kabel und Leitungen einer vom Netzbetreiber versorgten elektrischen Anlage brauchen keine Kurzschlussschutzeinrichtungen vorgesehen werden. Voraussetzung ist auch, dass die Leitungen oder Kabel kurzschluss- und erdschlusssicher sowie nicht in der Nähe brennbarer Baustoffe verlegt sind. Weitere Bedingung ist, dass der Netzbetreiber Kurzschlussschutzeinrichtungen z. B. im Kabelverteilerschrank des Energieversorgungsnetzes vorsieht und einwilligt, dass diese Kurzschlussschutzeinrichtungen den Kurzschlussschutz für Kabel oder Leitungen zwischen der Einspeisung und den Hauptverteilern übernehmen. Hierbei wird vorausgesetzt, dass für die Verteilungs- und Endstromkreise im Hauptverteiler Kurzschlussschutzeinrichtungen vorgesehen sind. Für in Erde verlegte Kabel und Freileitungen brauchen keine Überstromschutzeinrichtungen vorgesehen werden. Für Hausanschlusseinrichtungen in Wohn- und ähnlichen Gebäuden bedeutet das, dass für den Teil der Hauptanschlussleitung oder des Hauptanschlusskabels (Leitung oder Kabel zwischen Hauseinführung und Hausanschlusskasten) bzw. für die Hauseinführungsleitung unter den genannten Bedingungen für die Verlegung keine Kurzschlussschutzeinrichtungen vorgesehen werden brauchen. Voraussetzung ist ebenfalls, dass der Netzbetreiber Kurzschlussschutzeinrichtungen in seinen Anlagen vorsieht und einwilligt, dass diese Kurzschlussschutzeinrichtungen den Kurzschlussschutz für die Hausanschlussleitung oder das Hausanschlusskabel und ggf. für die Hauptleitung (Leitung zwischen Hausanschlusskasten und Hauptverteiler) übernimmt.

*Parallel geschaltete Leiter* dürfen durch eine gemeinsame Schutzeinrichtung gegen Kurzschluss geschützt werden (Überlastschutz s. Abschn. 8.4.2). Dies ist jedoch nur zulässig, wenn das Auslöseverhalten der Kurzschlussschutzeinrichtung bei einem Fehler an der kritischsten Stelle in einem der parallel geschalteten Leiter ein wirksames Ansprechen sicherstellt. Dabei muss die Aufteilung der Kurzschlussströme betrachtet werden. Zu beachten ist, dass die Kurzschlussstelle von beiden Enden der parallel geschalteten Leiter gespeist werden kann. Falls die Möglichkeit besteht, dass die Auslösung einer einzelnen Schutzeinrichtung nicht wirksam wird, muss eine oder müssen mehrere Maßnahmen hinsichtlich der Reduzierung des Kurzschlussrisikos durch Auswahl und Verlegen der Kabel und Leitungen, Einsatz einer Kurzschlussschutzeinrichtung je Leiter sowie an der Versorgungs- und Lastseite ergriffen werden. Einzelheiten können VDE 0100-430:2010-10, Abschnitt 434.4 entnommen werden und eine ausführliche Anleitung zur Behandlung des Schutzes parallel geschalteter Leiter bei Kurzschluss ist in VDE 0100-430:2010-10, Anhang A, zu finden.

## 8.6 Entfallen von Schutzeinrichtungen bei Überlast und Kurzschluss

Überstromschutzeinrichtungen, also sowohl Überlast- und Kurzschlussschutzeinrichtungen, dürfen entfallen, wenn die Unterbrechung des Stromkreises eine Gefahr darstellen kann. Das trifft z. B. zu in Erregerstromkreisen von drehenden Maschinen, in Ankerstromkreisen von Wechselstrommaschinen, in Speisestromkreisen von Hub- und Fördermagneten, in Sekundärstromkreisen von Stromwandlern, in Speisestromkreisen für Feuerlöscheinrichtungen und in Stromkreisen zur Versorgung von Sicherheitseinrichtungen (Alarmanlagen für Diebstahlwarnung, Gasalarm usw.). Damit trotzdem ein Schutz gegeben ist, sollte eine Überlast-Meldeeinrichtung vorgesehen werden.

Eine Leitung braucht ebenfalls keinen Überlast- und Kurzschlussschutz, wenn sie aus *einer Stromquelle gespeist* wird, die keinen höheren Strom liefern kann, der die Strombelastbarkeit der Leiter überschreitet. Beispiele für diesen Fall sind bestimmte Klingeltransformatoren, bestimmte Schweißtransformatoren und bestimmte thermoelektrische Generatoren.

## 8.7 Spannungsfall

Weitere Angaben zu Spannungsfällen: s. Abschn. 6.2.5

Bei längeren Leitungen ist nachzurechnen, ob die nach den Belastungstabellen zunächst gewählten Leiterquerschnitte keinen zu großen Spannungsfall bedingen. Nach VDE 0100-520 soll bei Versorgung aus dem öffentlichen Energieversorgungsnetz der Spannungsfall zwischen dem Anfang der Verbraucheranlage (Schnittpunkt zwischen Verteilungsnetz und Verbraucheranlage) und dem zu versorgenden Verbrauchsmittel (Anschlusspunkt des Verbrauchsmittels) nicht größer als 5 % (Beleuchtung 3 %) der Nennspannung des Netzes sein. Bei Versorgung aus einem privaten Energieversorgungsnetz soll ein Wert von ≤ 8 % (Beleuchtung 6 %) eingehalten werden. Als *Verbraucheranlage* gilt die Gesamtheit aller elektrischen Verbrauchsmittel hinter dem Hausanschlusskasten oder, wo dieser nicht benötigt wird, hinter den Ausgangsklemmen des letzten Verteilers vor den Verbrauchsmitteln. Abweichende Werte sind für Motoren während des Anlaufs und für Verbrauchsmittel mit hohen Einschaltströmen zulässig, vorausgesetzt, die Spannungsschwankungen bewegen sich innerhalb der in den Betriebsmittelproduktnormen genannten Grenzen.

Für Wohngebäude gilt die in der DIN 18015-1 getroffene Festlegung. Danach soll der Spannungsfall in der elektrischen Anlage hinter der Messeinrichtung bis zum Anschlusspunkt der Verbrauchsmittel 3 % insgesamt nicht überschreiten.

In den Leitungen zwischen dem Ende des Hausanschlusses und dem Zähler darf nach der Niederspannungsanschlussverordnung (NAV) der Spannungsfall unter Zugrundelegen des Bemessungsstroms (bisher auch als Nennstrom bezeichnet) der vorgeschalteten Sicherung nicht mehr als 0,5 % betragen. Weitere Angaben zum Spannungsfall sind in den Abschnitten 6.2.5 und 9.3.1 enthalten. Für die Berechnung des Spannungsfalls in jedem Leitungsabschnitt ist der Bemessungsstrom der jeweils vorgeschalteten Überstromschutzeinrichtung zu Grunde zu legen. Für den prozentualen Leistungsverlust gelten die gleichen Werte.

Bezeichnet man mit

$P$ die zu übertragende Leistung in W,
$l$ die einfache Leitungslänge in m,
$\kappa$ die Leitfähigkeit (Kupfer $\kappa \approx 54$, Aluminium $\kappa \approx 30$) in Sm/mm$^2$,
$U$ die Betriebsspannung in V,
$I$ den Strom im Leiter in A,
$S$ den Leiterquerschnitt in mm$^2$,
$u$ den Spannungsverlust in % von $U$,
$p$ den Leistungsverlust in %,
$\cos\varphi$ den Leistungsfaktor beim Verbraucher,

dann ergibt sich für den prozentualen Spannungsfall bei Zweileiteranlagen (Beleuchtung)

$$u = \frac{200 \cdot P \cdot l}{U^2 \cdot S \cdot \kappa} = \frac{200 \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot l}{U \cdot S \cdot \kappa} \quad \text{in \%} \tag{8.7}$$

und bei Drehstromanlagen

$$u = \frac{100 \cdot P \cdot l}{U^2 \cdot S \cdot \kappa} = \frac{173 \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot l}{U \cdot S \cdot \kappa} \quad \text{in \%} \tag{8.8}$$

und für den prozentualen Leistungsverlust

$$p = \frac{u}{\cos^2\varphi} \quad \text{in \%}\,. \tag{8.9}$$

Der Leistungsverlust selbst errechnet sich aus dem messbaren Strom $I$ in der Leitung und dem Widerstand $R$ der einfachen Leitungslänge zu

$P_v = I^2 \cdot R \cdot 2$ bei Wechselstrom,

$P_v = I^2 \cdot R \cdot 3$ bei Drehstrom.

*Beispiel:* An einen Wohnhausverteiler soll ein Speicherheizgerät mit einer Leistung von 6000 W über eine 20 m lange Leitung NYM 5 × 1,5 mm² angeschlossen werden; Spannung 400 V[1].

Wie hoch ist der Spannungsfall an dieser Leitung?

$$u = \frac{100 \cdot P \cdot l}{U^2 \cdot S \cdot \kappa} = \frac{100 \cdot 6\,000 \cdot 20 \cdot 1{,}12}{400^2 \cdot 1{,}5 \cdot 54} = 1{,}0\ \%\ .$$

Den **Tabellen 8.48** und **8.49** können die maximalen Leitungslängen entnommen werden, bei denen der Spannungsfall unter 3 % bzw. unter 0,5 % bleibt.

***Tabelle 8.48:*** *Maximale Leitungslängen bei 3 % Spannungsfall, cos φ = 1*

| Leiterbemessungs-querschnitt Cu mm² | Bemessungs-strom der Sicherung A | maximale Leitungslänge in m | |
|---|---|---|---|
| | | 230-V-Wechselstromkreis | 400-V-Drehstromkreis |
| 1,5 | 16 | 16 | 32 |
| 2,5 | 20 | 22 | 44 |
| 4 | 25 | 28 | 56 |
| 6 | 35 | 30 | 60 |
| 10 | 50 | – | 70 |
| 16 | 63 | – | 90 |

***Tabelle 8.49:*** *Maximale Leitungslängen bei 0,5 % Spannungsfall (Hauptleitungen), cos φ = 1*

| Leiterbemessungs-querschnitt Cu mm² | Bemessungs-strom der Sicherung A | maximale Leitungslänge im 3 × 400-V-Drehstromkreis m |
|---|---|---|
| 10 | 50 | 12 |
| 16 | 63 | 15 |
| 25 | 80 | 18 |
| 35 | 100 | 20 |
| 50 | 125 | 23 |

1 Bei der Berechnung ist die Erhöhung der Leitertemperatur durch die Belastung zu berücksichtigen, die bei diesem Beispiel mit ca. 30 K angenommen wird, was zu einer Leitertemperatur von ca. 50 °C bei 20 °C Normaltemperatur und damit zu einer Widerstandserhöhung führt. Nach der Formel $R_t = R_{20}\,[1 + \alpha\,(\vartheta - 20\ °C)]$, $\alpha_{Cu} = 0{,}00393\ K^{-1}$ und $\vartheta = 50\ °C$ ergibt sich eine Erhöhung von ca. 12 %.

# 9 Verbraucheranlage und Verteilungsnetz

Die *Verbraucheranlage* ist die Gesamtheit aller elektrischen Betriebsmittel hinter dem Hausanschlusskasten. Wo der Hausanschlusskasten nicht benötigt wird, beginnt die Verbraucheranlage hinter den Ausgangsklemmen des letzten Verteilers vor den Verbrauchsmitteln. Der letzte Verteiler kann z. B. der Hauptverteiler des nicht öffentlichen Verteilungsnetzes, ein Zwischenverteiler, Unterverteiler, Schaltschrank, Steuerschrank, Schienenverteiler oder Schaltkasten sein.

Die sachgemäße Errichtung einer Verbraucheranlage setzt die sorgfältige Planung voraus. Nach Reihe DIN EN 60617 „Schaltungsunterlagen" ist ein – meist einpoliger – *Übersichtsschaltplan* zu zeichnen. Aus ihm ist die Reihenfolge und Art der Hauptschaltgeräte und die Anzahl der Hauptstromkreise zu ersehen. Im *Wirkschaltplan* werden alle Haupt- und Hilfsstromkreise eingetragen. Man erkennt die Anordnung der Gerätebauteile, die Leitungsverbindungen, die Lage der Klemmenanschlüsse und die Aderzahlen der Verbindungsleitungen. Im *Stromlaufplan* wird die Funktion einer Schaltung dargestellt. Die verzweigten Leitungsführungen werden in geordneter Form in einzelne sog. Strompfade aufgegliedert. Schaltzeichen und Kennzeichnung der Betriebsmittel nach Reihe DIN EN 60617 siehe Anhang A6 und A7.

## 9.1 Stromkreise

VDE 0100-200, -430 und -520

Unter einem *Stromkreis* ist die Gesamtheit der elektrischen Betriebsmittel einer Anlage zu verstehen, die von demselben Speisepunkt versorgt wird und durch dieselbe Überstromschutzeinrichtung geschützt wird. Der *Endstromkreis* ist ein Stromkreis, an den unmittelbar Verbrauchsmittel oder Steckdosen angeschlossen sind. Als solcher gilt z. B. auch eine Maschine mit Mehrmotorenantrieb, wenn sie nur e i n e Zuleitung hat.

Ein Stromkreis, der einen Verteiler oder einen Schaltschrank versorgt, wird dagegen als *Verteilungsstromkreis* bezeichnet. Des Weiteren wird unterteilt in *Hauptstromkreise*, die Betriebsmittel zum Erzeugen, Umformen, Verteilen, Schalten oder Umwandeln elektrischer Energie enthalten, und *Hilfsstromkreise* (s. Abschn. 9.6), die zum Übertragen von Befehlen, Erfassen oder Überwachen von Zuständen zur Beeinflussung von Hauptstromkreisen, z. B. Steuerung (Befehlsgabe, Verriegelung), Regelung, Meldung und Messung dienen. Abgeleitet von dem Begriff Hilfsstromkreise sind die Steuer-, Melde- und Messstromkreise.

Je nach Art des Anschlusses der Verbrauchsgeräte kann ein Stromkreis aus einem Außenleiter und einem Neutralleiter (Einphasen-Wechselstromkreis) oder aus drei Außenleitern mit oder ohne Neutralleiter (Drehstromkreis) bestehen.

In einem Elektroinstallationsrohr oder -kanal sind mehrere Stromkreise zulässig, wenn alle Leiter für die höchste vorkommende Nennspannung isoliert sind (s. unten) und die Rohre und Kanäle einen ausreichenden Querschnitt haben. Auch in einem Kabel oder einer Leitung dürfen mehrere Stromkreise enthalten sein, wenn alle Leiter für die höchste vorkommende Nennspannung isoliert sind (s. u.). Bei Aderleitungen ist die Bedingung eines ausreichenden Rohrquerschnitts in der Regel überhaupt nicht, im Fall eines Elektroinstallationskanals oft nicht erfüllt. Aderleitungen können in engen Rohren und engen Kanälen beim Einziehen und vor allem beim Nachziehen leicht beschädigt werden. Da sie nur basisisoliert sind, ist die Gefahr eines Isolationsfehlers besonders groß. Deswegen dürfen in einem Elektroinstallationsrohr oder in einem Zug eines mehrzügigen Kanals nur Aderleitungen eines Hauptstromkreises einschl. der zu dem Hauptstromkreis gehörenden Hilfsstromkreise (Steuerleitungen) verlegt werden. In elektrischen und abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten gilt diese Einschränkung nicht. Die ungeschnittenen Leiter mehrerer Stromkreise dürfen jedoch durch gemeinsame Durchgangskästen geführt werden.

Einzelne Leiter eines Hauptstromkreises dürfen aus Gründen der Übersichtlichkeit und der Sicherheit nicht auf verschiedene Rohre, Leitungen oder Kabel verteilt werden. Wenn also z. B. in einer fünfadrigen Leitung für einen Stromkreis nur 4 Aderleitungen gebraucht werden, darf die fünfte Aderleitung nicht für einen anderen Stromkreis verwendet werden. Dies gilt nicht für Steuer- und Signalleitungen (Hilfsstromkreise), wenn diese getrennt von den Hauptstromkreisen verlegt werden.

Einadrige Kabel und einadrige Leitungen, die Wechselstrom führen, dürfen wegen der Gefahr einer unzulässigen Erwärmung nicht einzeln in Umhüllungen aus ferromagnetischen Werkstoffen, wie Stahl, verlegt werden.

Elektrische Verbindungen zwischen Leitern sowie zwischen Leitern und Anschlussstellen an Betriebsmitteln müssen für eine dauerhafte Stromübertragung, eine ange-

messene mechanische Festigkeit und einen entsprechenden Schutz bemessen sein. Dies bedeutet, dass Leiter mehrerer Stromkreise in gemeinsamen Durchgangskästen und -dosen entweder ungeschnitten durchgeführt, auf Reihenklemmen geführt oder durch isolierende Zwischenwände voneinander getrennt werden müssen.

Die Zuordnung eines gemeinsamen Neutral- und PEN-Leiters zu mehreren Hauptstromkreisen ist nicht zulässig. Jedoch können aus einem Drehstromkreis mit einem Neutralleiter mehrere Einphasen-Wechselstromkreise aus je einem Außenleiter und dem Neutralleiter gebildet werden, wenn die Zugehörigkeit der Stromkreise durch ihre Anordnung erkennbar bleibt. Dieser Drehstromkreis muss durch einen Schalter freigeschaltet werden können, der alle nicht geerdeten Leiter gleichzeitig abschaltet. Als Schalter kommen dafür dreipolige Leistungsschalter, Leitungsschutzschalter (Automaten), Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) oder gewöhnliche Schalter mit klar erkennbarer „Aus"-Stellung in Frage, nicht jedoch Schütze.

Für mehrere Stromkreise darf ein gemeinsamer Schutzleiter verwendet werden. Sein Querschnitt muss entsprechend dem Querschnitt des stärksten Außenleiters gewählt werden. Er darf getrennt verlegt werden, soll jedoch im Zuge der zugehörigen Stromkreise geführt werden. Zu allen Auslässen ist ein Schutzleiter mitzuführen, damit man in der Wahl der Schutzmaßnahmen frei ist.

Stromkreise mit Spannungen bis AC 50 V bzw. DC 120 V (Spannungsbereich I, früher auch Band I genannt) und Stromkreise mit Spannungen von AC 50...600 V (Außenleiter gegen Erde) bzw. DC 120...900 V (Spannungsbereich II, früher auch Band II genannt) dürfen nur dann gemeinsam in derselben Leitung, demselben Kabel, demselben Rohr oder demselben Kanal verlegt werden, wenn e i n e der folgenden Maßnahmen angewendet wird:

- Jedes Kabel oder jede Leitung ist entsprechend der höchsten vorkommenden Spannung isoliert.
- Jeder Leiter einer mehradrigen Leitung oder eines mehradrigen Kabels ist für die höchste vorkommende Spannung isoliert (gilt auch für SELV- und PELV-Stromkreise).
- Die jeweiligen Leitungen und Kabel sind zwar nur entsprechend ihrer eigenen Bemessungsspannung isoliert, aber in getrennten Abschnitten eines geschlossenen oder zu öffnenden Elektroinstallationskanals verlegt.
- Die jeweiligen Leitungen und Kabel sind in einer Kabelwanne verlegt, bei der eine räumliche Trennung durch eine Zwischenwand gegeben ist.
- Die jeweiligen Leitungen und Kabel sind in getrennten Elektroinstallationsrohrsystemen, zu öffnenden Elektroinstallationskanalsystemen oder/und geschlossenen Elektroinstallationskanalsystemen verlegt.

Leiter von SELV- oder PELV-Stromkreisen (früher: Schutz durch Kleinspannung) müssen von Leitern anderer Stromkreise sicher getrennt sein, entweder durch räumlich getrennte Anordnung der Leiter oder dadurch, dass Leiter von SELV- und PELV-Stromkreisen mit einem Isolierstoffmantel zusätzlich zur Basisisolierung umhüllt sind, oder dadurch, dass Leiter von Stromkreisen verschiedener Spannung durch einen geerdeten Metallschirm oder eine geerdete metallene Umhüllung getrennt sind. Hierbei braucht die Basisisolierung eines jeden Leiters nur für die Spannung des Stromkreises bemessen sein, zu dem der Leiter gehört.

Mehradrige Kabel, Leitungen oder Leiterbündel dürfen Stromkreise verschiedener Spannungen enthalten, wenn die Leiter von SELV- und PELV-Stromkreisen einzeln oder gemeinsam mit einer Isolierung versehen sind, die für die höchste vorkommende Spannung bemessen ist.

## 9.2 Hausinstallationen

DIN 18015-1 bis -5
s. auch Abschn. 7.1.1, 7.2 und 8.2

Hausinstallationen sind Starkstromanlagen mit Bemessungsspannung bis 250 V gegen Erde für Wohnungen sowie andere Starkstromanlagen mit Bemessungsspannung bis 250 V gegen Erde, die in Umfang und Art der Ausführung den Starkstromanlagen für Wohnungen entsprechen. In diese Gruppe fallen somit auch gewerblich genutzte Anlagen, z. B. für Büroräume, Unterkunftsräume in Beherbergungsbetrieben und Kasernen, kleine Einzelhandelsgeschäfte, Schneider- und Uhrmacherwerkstätten.

### Wohngebäude

Planungsgrundlagen, Art und Umfang der Ausstattung sowie Leitungsführung und Anordnung der Betriebsmittel sind für Wohngebäude in DIN 18015-1 bis -3 festgehalten. Neu dazugekommen sind die zwei neuen Teile DIN 18015-4 (Untertitel: Gebäudesystemtechnik) im Mai 2014 und DIN 18015-5 (Untertitel: Luftdichte und wärmebrückenfreie Elektroinstallation) im Juli 2015. In der Regel sind diese Normen aufgrund der vertraglichen Vereinbarungen mit dem Bauherrn und dem NB für den Elektroinstallateur rechtsverbindlich, wenngleich sie nicht den Stellenwert von Sicherheitsbestimmungen wie die VDE-Bestimmungen haben.

Nach DIN 18015-1 wird u. a. gefordert, dass Kabel und Leitungen von Starkstromanlagen grundsätzlich in Putz, unter Putz, in Wänden, hinter Wandbekleidungen, in Rohren oder Elektroinstallationskanälen zu verlegen sind.

In nicht Wohnzwecken dienenden Räumen, z. B. Abstellkellern, und bei Nachinstallationen dürfen sie auch auf der Wandoberfläche verlegt werden.

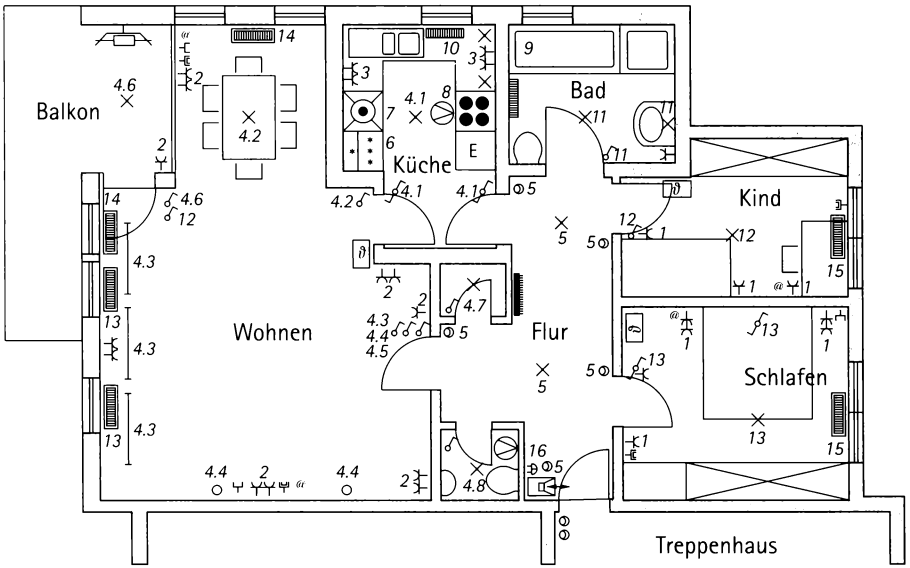



***Bild 9.1:*** *Elektroinstallationsplan für eine Wohnung*

Die Tabelle 7.1 (S. 262) enthält die erforderliche Anzahl von Stromkreisen für Steckdosen und Beleuchtung nach DIN 18015-2. Beispiele für eine Wohnungsinstallation sind den **Bildern 9.1** und **9.2** zu entnehmen.

Die erforderliche Anzahl der Steckdosen und Anschlüsse für Verbrauchsmittel sind in DIN 18015-2:2010-11, Tabelle 2, angegeben. Sofern dort nichts anderes angegeben ist, sind die Auslässe für Leuchten bestimmt (Beleuchtungsauslässe).

Hauptleitungen in Wohngebäuden: s. Abschnitt 6.2.5.

Als Regelschutzart gilt für Wohnräume IP2X und für Hobbyräume IP4X oder IP5X (Staubschutz); Bad s. Abschnitt 14.3 und feuchte Räume s. Abschnitt 14.1.

Um einerseits den Ausstattungsgrad der Elektroinstallation im Wohnungsbau festzulegen und andererseits dem Elektroinstallateur und Planer Gelegenheit zur öffentlichen Kennzeichnung seiner Arbeit zu geben, hat die die HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e. V. (frühere Bezeichnung „**H**auptberatungsstelle für **E**lektrizitäts-**A**nwendung") – mit Sitz in Berlin Ausstattungswerte – auch *Stern-Elektroinstallation* genannt – unter der Bezeichnung RAL-RG 678 beim RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V. in St. Augustin registrieren lassen. Getragen wird die HEA-Fachgemeinschaft von den Dachverbänden und Spitzenorganen (s. Anhang A3) BDEW, ZVEI, ZVEH und ZVSHK.

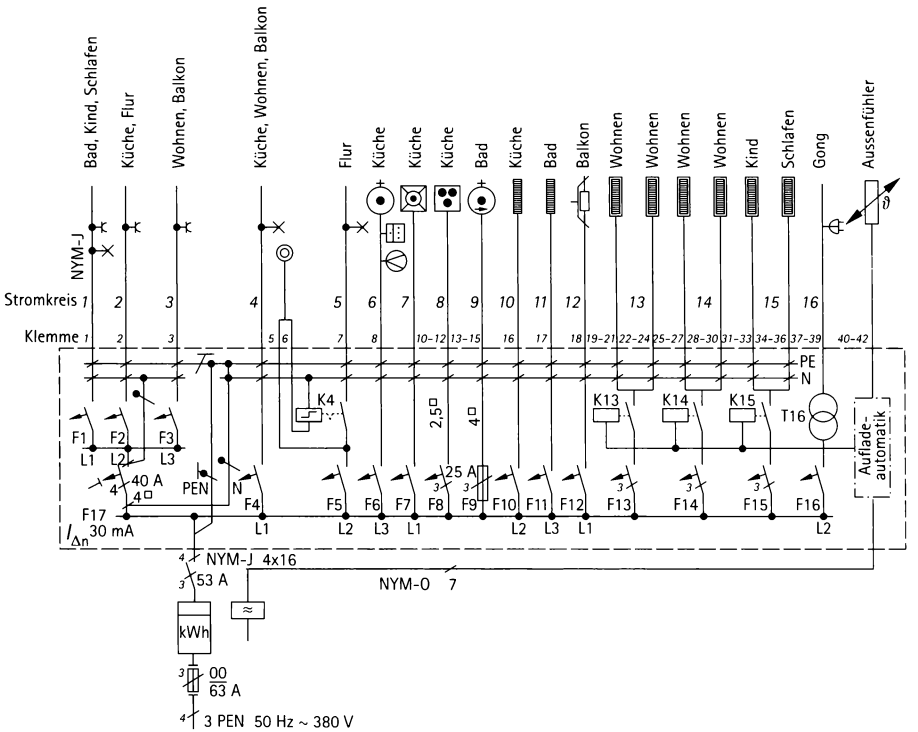



***Bild 9.2:*** *Übersichtsschaltplan für eine Wohnung*
TN-System mit Überstromschutzeinrichtung und Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD); alle Leitungen Cu; nicht bezeichnete Leitungen 1,5 mm$^2$; alle nicht bezeichneten Schutzeinrichtungen $I_n$ = 16 A

Die Gebrauchstauglichkeit der elektrischen Anlage wird dabei durch ihren *Ausstattungswert* – gekennzeichnet durch Sterne – bestimmt. Die von der HEA und dem ZVEI gegründete „Initiative ELEKTRO+"; empfiehlt die HEA-Ausstattungswerte als Planungshilfe zu nutzen. Es gilt:

★ = Ausstattungswert 1 (Mindestausstattung),
★★ = Ausstattungswert 2 (Standardausstattung),
★★★ = Ausstattungswert 3 (Komfortausstattung).

Die den Ausstattungswerten entsprechende Anzahl der Stromkreise und Verbrauchsstellen können einer Broschüre entnommen werden (HEA-Ausstattungswerte „Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – RAL RG 678" (aktueller Stand: Nov.

2010), herausgegeben von RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V.). Der Ausstattungswert mit einem Stern (★) ist an DIN 18015-2 „Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Teil 2: Art und Umfang der Mindestausstattung" angelehnt. Die über den Ausstattungswert mit zwei Sternen (★★) hinausgehenden Forderungen können auch durch Leerdosen erfüllt werden. In der neuen RAL-RG 678 werden jetzt Energieeffizienzmaßnahmen durch eine geeignete Elektroinstallation umgesetzt und die Gebäudesystemtechnik berücksichtigt. Deswegen wurden die drei bisherigen Ausstattungswerte um drei zusätzliche Werte erweitert (1*plus*/Kennzeichnung: ★*plus*; 2*plus*/★★*plus*; 3*plus*/★★★*plus*), die die Gebäudesystemtechnik nach DIN 18015-4 in Abstufungen berücksichtigt.

Für Beleuchtung und zweipolige Steckdosen sind gemeinsame oder getrennte Stromkreise möglich, wobei das erste System wirtschaftlicher, das zweite sicherer ist. An einem Steckdosenstromkreis sollen nicht mehr als 16 einpolige Einfachsteckdosen bis 16 A angeschlossen werden. Es ist günstig, die Steckdosen, die für den Anschluss von Steh- und Tischleuchten dienen, von der Tür aus zu schalten.

Beleuchtungs- und Steckdosenstromkreise in Haushaltungen sind für die Verwendung von 16-A-LS-Schaltern auszulegen. Nach den TAB müssen diese über ein Schaltvermögen von 6 kA verfügen und der Energiebegrenzungsklasse 3 entsprechen (s. Abschn. 7.4.3).

Eine Installationserleichterung ergibt sich in vielen Fällen durch das Verwenden von *elektromagnetischen Schützen für Hausinstallationen* (VDE 0637-3) und *Fernschaltern* (**Bild 9.3**). Fernschalter sind Schaltgeräte nach VDE 0632-2-2, also Schalter mit elektromagnetischer Fernbedienung (bi- und monostabile Fernschalter, Vorrangfernschalter), die auch als Stromstoßschalter, Fortschalter, Schrittschalter, Impulsschalter oder Stromstoßrelais bezeichnet werden. Sie haben zwei oder mehr Schaltstellungen, die durch Impulse gewechselt werden und dann in der erreichten Stellung verbleiben. Serien-, Wechsel- oder Kreuzschaltungen entfallen. An allen Schaltstellen finden sich nur einfache Taster. Bevorzugte Bemessungssteuerspannungen reichen von AC 6 V bis 48 V und AC 110 V bis 240 V sowie DC 6 V bis 48 V und 110 V bis 220 V.

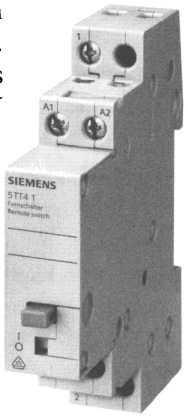



***Bild 9.3:*** *Installations-Fernschalter AC 230 V, 16 A, mit 1 Schließer; oft auch Stromstoßschalter genannt (Werkbild: Siemens)*

Es sind einige Störmöglichkeiten zu beachten. Wenn z. B. Leuchttaster mit Glimm- oder Glühlampen verwendet werden, wird der offene Kontakt des Tasters dadurch überbrückt. Dieser Parallelwiderstand kann so niedrig werden, dass der Anker des Fernschalters nicht mehr abfällt. Dieser Widerstand kann noch zusätzlich durch die Leitungskapazität verringert werden. Bei der Stegleitung NYIF $2 \times 1{,}5\ mm^2$ beträgt sie etwa 0,3 µF/km.

# 9.3 Großbauten

## 9.3.1 Allgemeine Installation

Großbauten stellen erhöhte Anforderungen an die Stromversorgung und -verteilung (Industrieanlagen s. Abschn. 9.5). In Zusammenarbeit mit den Architekten muss der Elektroplaner deshalb frühzeitig den Raumbedarf für die elektrischen Betriebsräume festlegen.

Für Transformatoren und Schaltanlagen mit Bemessungsspannungen über 1 kV sowie für Stromversorgungsaggregate mit Batterien sind in der Regel jeweils eigene Räume mit allseits feuerbeständigen Wänden und Decken erforderlich. Die baulichen Anforderungen an diese Räume sind in der Landesverordnung über den Bau von Betriebsräumen für elektrische Anlagen (EltBauV) enthalten (s. Abschn. 1.2.8).

Grundlage der Projektierung bilden Anschlusswerte aller elektrischen Verbrauchsmittel. Es ist deshalb wichtig festzustellen, welche Anlagen gleichzeitig eingeschaltet sind (*Gleichzeitigkeitsfaktor*); die Tages- und Jahreszeiten spielen dabei eine große Rolle. Die installierte Transformatorleistung muss den ungünstigsten Fall, d. h. den höchsten gleichzeitig auftretenden Energiebedarf, berücksichtigen. Als Richtwerte für Verwaltungsgebäude können die Gleichzeitigkeitsfaktoren nach **Tabelle 9.1** angesetzt werden.

***Tabelle 9.1:*** *Gleichzeitigkeitsfaktoren für Verwaltungsgebäude*

| Raum/Anlage | Gleichzeitigkeitsfaktor | Anteil am Gesamtleistungsbedarf % |
|---|---|---|
| Beleuchtung | 0,9 | 30 |
| Küche | 0,5 | 5 |
| Lüftung/Heizung/Klima | 1,0 | 44 |
| Aufzüge | 0,7 | 5 |
| EDV | 1,0 | 10 |
| Sonstiges | 1,0 | 6 |

Für die Grobplanung wird die spezifische Flächenlast in $W/m^2$ unter Berücksichtigung eines angenommenen Leistungsfaktors ($\cos \varphi$) als Grundlage zur Ermittlung der Anschlusswerte genommen. Aufgrund der teilweise doch sehr unterschiedlichen Anforderungen an die Energiebereitstellung sind keine allgemein gültigen spezifischen Leistungswerte anwendbar. Hier spielen Größe, Art und Ausstattung des Gebäudes, die Bauweise, der Ausstattungsgrad, der Energiebedarf (Fernwärmebezug, Klimatisierung, Eigenerzeugung) und die Infrastruktur des Gebäudes eine maßgebende Rolle. Insbesondere die Klimatisierung geht in den Leistungsbedarf entscheidend ein. Für bestimmte Bereiche können als Richtwerte angenommen werden:

- Leistungsbedarf für die Beleuchtung in Verwaltungsgebäuden: 15 $W/m^2$,
- Gesamtleistungsbedarf in Hotels:
- 3,5 kW je unklimatisiertes Zimmer,
- 4,5 kW je klimatisiertes Zimmer.

Entsprechend dem Leistungsbedarf werden die *Transformatoren* und deren Standorte ausgewählt. Bevorzugt werden die Transformatoren im Erdgeschoss und 1. Kellergeschoss untergebracht. In höheren Gebäuden ist es vielfach günstiger, einige Transformatoren in der Nähe der Verbraucherschwerpunkte, in den obersten Stockwerken, aufzustellen.

Für das Erdgeschoss und das 1. Kellergeschoss eignen sich Öltransformatoren; in den anderen Geschossen müssen aus Gründen des Brand- und Grundwasserschutzes Silikon- oder Gießharztransformatoren eingesetzt werden (s. auch Abschn. 6.1).

Die Installation beginnt mit den *Hauptleitungen* von dem den Transformatoren zugeordneten Niederspannungshauptverteiler zu den zentralen Kernen, in denen die Verteiler untergebracht sind. In Gebäuden mit mehreren Stockwerken sollten diese direkt übereinander liegen, sodass sie über einen senkrechten Hauptleitungsschacht versorgt werden können. Hauptverteiler und größere Unterverteiler sollten in separaten Räumen untergebracht werden.

Die waagerechte Kabelführung erfolgt auf Kabelrosten oder in Betonschächten im Kellerboden. Die *Kabelroste* oder *Leitungswannen* werden aus etwa 2 m langen Stücken aus verzinktem Blech in der Werkstatt montagefertig vorgerichtet und dann in die vorher im Mauerwerk angebrachten Tragbügel eingesetzt. Die Stöße werden durch Laschen oder Schrauben miteinander verbunden. Die Wannen finden unter der Decke, an den Seitenwänden oder entlang von Trägern und Unterzügen Platz. Die Tragbügel für die Wannen müssen dabei so angeordnet werden, dass sie das seitliche Einlegen der Kabel (NYY) und Leitungen (NYM) in die Wannen nicht behindern. Die Leitungen brauchen darüber hinaus nicht zusätzlich, etwa durch

Schellen, befestigt zu werden. Auswechseln oder Nachinstallieren von Leitungen ist mühelos und ohne Betriebsunterbrechung möglich.

Abzweigdosen oder -kästen werden entweder neben der Wanne auf der Wand oder auf Bügeln innerhalb der Wanne angebracht.

Im senkrechten Hauptleitungsschacht können die Kabel und Leitungen an dazu vorgesehenen Ankerschienen oder Trägereisen mit Kabelschellen befestigt werden. Anstelle der Kabel können auch Schienenverteiler installiert werden, die besonders bei Strömen ≥ 1 000 A bevorzugt werden sollten, um die Parallelschaltung von mehr als drei Kabeln zu vermeiden. Auch Einleiterkabel, die gegenüber Vierleiterkabeln höher belastbar sind und einfachere und zeitsparende Montage ermöglichen, finden Anwendung.

Der *Spannungsfall* zwischen der Übergabestelle des NB und den Messeinrichtungen darf bei einem Leistungsbedarf ≥ 100 kVA die Werte nach **Tabelle 9.2** nicht überschreiten.

***Tabelle 9.2:*** *Maximaler Spannungsfall nach den TAB*

| **Leistungsbedarf kVA** | **Spannungsfall %** |
|---|---|
| 100...250 | 1,00 |
| 250...400 | 1,25 |
| > 400 | 1,50 |

Anstelle des einfachen Strangs einer Hauptleitung kann eine Doppel-Hauptleitung verwendet werden, die im höchsten Punkt zu einem *Ring* zusammengeschlossen ist. Zum einen dient eine als Ring ausgeführte Hauptleitung der guten Lastverteilung, zum andern kann, wenn in der Mitte eine zusätzliche Absicherung vorgesehen wird, bei Störungen ein Teilstück herausgeschaltet und so ein Schwachlastbetrieb aufrechterhalten werden.

Für den Hauptleitungsschacht sind in den Geschossdecken ausreichend große Aussparungen einzuplanen, und zwar für Starkstromleitungen, Fernmeldeleitungen und Ersatzstromversorgungsleitungen getrennt, um gegenseitige Beeinflussungen auszuschließen. Nach abgeschlossener Montage müssen die Aussparungen ordnungsgemäß verschlossen werden (s. Kap. 12).

Von den *Stockwerksverteilern* im Hauptleitungsschacht führt man die Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt) gleichfalls in Wannen zu den *Knotenpunktverteilern*. Von diesen aus werden die Leuchten- und Schalterleitungen, aber auch Fernsprech-, Signal- und Steuerleitungen von 3 bis 5 Fensterachsen weggeführt.

LS-Schalter und ggf. Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) sind dort montiert. Umfangreiche, leicht zugängliche Klemmenleisten für jedes System müssen es gestatten, ohne Nachinstallation oder Betriebsstörung jederzeit eine neue Raumeinteilung durch Versetzen der Zwischenwände vornehmen zu können. Die Knotenpunktverteilungen lassen sich zweckmäßig über der Zwischendecke unterbringen. Durch herausnehmbare Plattenfelder oder aufklappbare Leuchten werden sie über eine Leiter zugänglich.

In Büros und sonstigen Arbeitsräumen ist zum Anschluss elektrischer Reinigungsgeräte unterhalb des Lichtschalters neben der Tür eine Einfachsteckdose vorzusehen, die an den Lichtstromkreis angeschlossen werden kann. Darüber hinaus ist in Büroräumen i. Allg. je Arbeitsplatz eine Doppelsteckdose einzubauen. Auf den Fluren sind zum Anschluss elektrischer Reinigungsgeräte Steckdosen anzubringen, die gesonderten Stromkreisen zugeordnet werden sollten.

Die geschilderte Installation in Großbauten setzt eine gewissenhafte Arbeitsvorbereitung voraus. Der gesamte Ablauf ist bis in jede Einzelheit vorzuplanen. Ausführliche Verdrahtungspläne erleichtern den Einsatz von Hilfsmonteuren.

Die Klemmenbezeichnungen der Geräte müssen mit den Schaltplänen übereinstimmen. Alle komplizierten Schaltungs- und Verdrahtungsarbeiten müssen in der Werkstatt vorgenommen werden. Montagematerial und Werkzeuge sind rechtzeitig bereitzustellen. Eine solche gewissenhafte Vorbereitung bedeutet bei einer guten Montagekolonne einen Zeitgewinn von etwa 10 % der gesamten Installationszeit gegenüber der schlechter planenden Konkurrenz.

### 9.3.2 Blindleistungskompensation

s. auch Abschn. 11.5.5

Großverbraucher werden meist an Ort und Stelle einzeln kompensiert. Für die Leuchtstofflampen kommen neben der üblichen Einzelkompensation die Gruppen- und die Zentralkompensation in Frage. Die *Zentralkompensation* sollte mit einer selbsttätigen Kondensatorregelanlage ausgerüstet sein, die die Kondensatoren entsprechend dem jeweiligen Blindstrombedarf zu- oder abschaltet.

Die *Gruppenkompensation* ist dann zweckmäßig, wenn größere Leuchtengruppen gleichzeitig geschaltet werden, z. B. in großen Konferenzsälen, Hörsälen oder ähnlichen Räumen.

Eine rasche Ermittlung der benötigten Kondensatorleistung ermöglicht die **Tabelle 9.3**.

Um die Gesamtkondensatorleistung $P_c$ in kvar zu erhalten, ist die Wirkleistung $P_w$ in kW mit dem Faktor $f$ (Einheit kvar/kW) zu multiplizieren.

*Tabelle 9.3: Faktor f in kvar/kW zur Ermittlung der Kondensatorleistung*

| vorhandener $\cos\varphi_1$ | $f$ für einen gewünschten $\cos\varphi_2$ = | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **0,80** | **0,85** | **0,90** | **0,95** | **1,00** |
| 0,5 | 0,98 | 1,11 | 1,25 | 1,40 | 1,73 |
| 0,55 | 0,77 | 0,90 | 1,03 | 1,19 | 1,52 |
| 0,6 | 0,58 | 0,71 | 0,85 | 1,00 | 1,33 |
| 0,65 | 0,42 | 0,55 | 0,69 | 0,84 | 1,17 |
| 0,7 | 0,27 | 0,40 | 0,54 | 0,69 | 1,02 |
| 0,75 | 0,13 | 0,26 | 0,40 | 0,55 | 0,88 |
| 0,8 | – | 0,13 | 0,27 | 0,42 | 0,75 |

*Beispiel:*
Vorhandene Wirkleistung $P_w = 180$ kW,
vorhandener Leistungsfaktor $\cos\varphi_1 = 0{,}55$,
gewünschter Leistungsfaktor $\cos\varphi_2 = 0{,}90$.

$$P_c = P_w \cdot f = 180\ \text{kW} \cdot 1{,}03\ \text{kvar/kW} = 185\ \text{kvar}\ .$$

Ist eine zentrale, regelnde Blindleistungskompensation vorgesehen, so soll sie erst dann endgültig dimensioniert und eingebaut werden, wenn Betriebserfahrungen vorliegen. Die Anlagen sind ggf. dem Sammelschienenabschnitt der Ersatzstromversorgung zuzuordnen, sodass die Kompensation auch bei Betrieb der Notstromanlage wirksam ist. Bei Aufnahme des Ersatzstrombetriebs und bei Netzwiederkehr soll die Kompensationsanlage jeweils von der Nullstellung hochregeln. Die Kondensatorstufen sind mit der Generatorleistung abzustimmen.

Bei Aufzugs- und sonstigen Hebezeugmotoren sowie bei Bremsmotoren und Motoren mit Bremslüftern dürfen Kondensatoren nicht unmittelbar parallel zu den Motoren geschaltet, sondern nur so angeschlossen werden, dass keine Selbsterregung auftritt.

### 9.3.3 Störungsmeldezentrale

In großen Verwaltungsbauten, Warenhäusern usw. empfiehlt sich die Einrichtung einer Störungsmeldezentrale. Alle Unterverteiler der Heizungs-, Klima-, Lüftungs-, Sprinkler-, Rauchabzugs- und Beleuchtungsanlagen sollten für jeden Antrieb einzelne Störmelde-Elemente haben. Die Einzelmeldungen werden in jedem Schrank zu einer Sammelmeldung zusammengefasst und der Zentrale zugeleitet. Man kennt

damit dort den Stand der Aufzüge, den Betriebszustand der Rolltreppen und der Stromversorgungsanlagen. Transformatoren können zu- oder abgeschaltet werden, Leistungs-Höchstwertanzeiger, Leistungsschreiber und Rückmelde-Stellungsanzeiger für die Leistungsschalter lassen den jeweiligen Betriebszustand erkennen.

# 9.4 Fertigbau

## 9.4.1 Planungsgrundsätze

Beim Fertigbau werden Gebäude aus vorfabrizierten, großformatigen Bauteilen meist in größeren Serien hergestellt. Man kann zwei Systeme unterscheiden: Für große mehrgeschossige Bauten verwendet man wandgroße Schwerbetonplatten, raumgroße Gießteile oder Wände und Decken, die an Ort und Stelle gegossen werden (Ortbetonwände). Für Einfamilienhäuser bevorzugt man dagegen leichte Baustoffe, wie Holz, gepresste Holzspanplatten und Schaumbeton.

Fast alle vorgefertigten Wände, Decken oder Wandteile haben saubere, glatte Oberflächen, sodass sie nicht mehr verputzt zu werden brauchen. Es ist daher nicht mehr möglich, Schlitze einzustemmen oder Stegleitungen im Putz einzubringen. Alle Leitungskanäle, Abzweig- und Gerätedosen, Zähler- und Verteilertafelnischen müssen deshalb vorher geplant und in den Fertigteilen bereits untergebracht sein.

Neben dem Elektroinstallateur müssen auch die Errichter der Wasserleitung und der Blitzschutzanlage sowie der Informationsanlagenelektroniker ihre Systeme vorplanen. Lange zuvor ist deshalb ein gegenseitiges Abstimmen zusammen mit dem Bauherrn, dem VNB und dem Hersteller der Fertigteile notwendig. Ein Elektroinstallateur ohne gründliche eigene Erfahrung sollte sich dazu an ein größeres Beratungsbüro anlehnen. Fehler in der Planung sind nicht wieder gutzumachen und kommen teuer zu stehen.

## 9.4.2 Installationsmaterial

### 9.4.2.1 Betonbauweise

In Betonplatten müssen die Hohlräume für die Leitungen vorgesehen werden. Wie dies geschehen kann, hängt z. B. davon ab, ob die Platten senkrecht oder waagerecht gefertigt werden und ob die Baukonstruktion eine Verbindung der Leitungen über die Ecken zulässt oder ob nur eine Verbindung über den Fußboden oder die Deckenplatte möglich ist.

Installationsrohre müssen für schwere mechanische Beanspruchung geeignet sein, wenn der Beton während der Bearbeitung einem Rüttel- oder Stampfprozess

unterzogen wird. Es eignen sich dann nur Isolierrohre mit der Kennzeichnung ASCF oder AS bzw. mit der entsprechenden neuen Klassifizierung nach VDE 0605 (s. Tabelle 8.17, S. 430), z. B. Klassifizierungscode 3333.

Installationsdosen müssen die Kennzeichnung ▽ tragen. Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt), wie NYM, dürfen in Beton – nicht aber in Rüttel- oder Stampfbeton – verlegt werden.

Oft bereitet die waagerechte Leitungsführung Schwierigkeiten. Hierfür wurde eine PVC-Fußbodenleiste (Fußleisten-Elektroinstallationskanalsystem nach Reihe VDE 0604) mit mehreren Kanälen entwickelt (**Bild 9.4**), in die Fernmeldeleitungen, H07 V-U-, H07 V-R (NYA)- oder NYM-Leitungen eingelegt werden können (s. Abschn. 8.2.11). Eine spätere Nachinstallation lässt sich auf diese Weise ermöglichen.

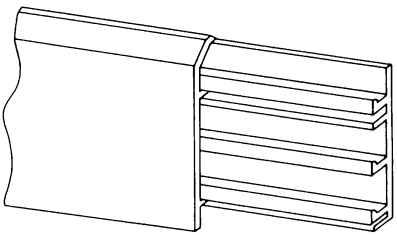


***Bild 9.4:*** *Dreikanalige Fußbodenleiste*

Zum Einsatz bei der Betonfertigung wurden besondere Geräteabzweigdosen entwickelt. Durch Nägel, Schrauben, Rohre oder besondere Bolzen wird die Dose auch während des Betonierens unverrückbar festgehalten.

Bei der Montage der Betonplatten-Fertighäuser werden zunächst an den Plattenstößen die flexiblen Isolierstoffrohre eingelegt. Diese verbleiben beim Ausbetonieren der Fugen innerhalb des Fugenbetons. Damit sind durchgehende Verbindungen zu den einzelnen Verbrauchsstellen hergestellt. Die Leitungskanäle enden also in den dafür vorgesehenen Steckdosen- oder Schalteraussparungen und durchkreuzen auf ihrem Weg die erforderlichen Verteilerdosen. Abschließend erfolgt nochmals eine Kontrolle auf Gängigkeit der Rohre, sodass jetzt das gesamte Leerrohrnetz für die Verdrahtung frei ist.

Solche Anlagen, die von Anfang an bis zur letzten Steck- und Abzweigdose vorgeplant sein müssen, sind von jedem Elektroinstallateur anhand von Zeichnungen einfach zu verdrahten. Leitungen können überdies jederzeit instand gesetzt oder ausgewechselt werden. In beschränktem Umfang kann man sogar erweitern, z. B. durch den Übergang von einer Wechselstrom- auf eine Drehstrominstallation, etwa bei Durchlauferhitzern oder Elektroherden.

### 9.4.2.2 Leichtbauweise

VDE 0100-420, -520

Die Leichtbauweise, bei der z. B. Hohlwände aus Rahmenkonstruktionen mit Span-, Gipskarton- oder Holzplatten, Blechen o. Ä. abgedeckt sind, wird vorwiegend in Einfamilienhäusern angewendet.

Wenn die Wände aus schmalen Platten bestehen, ist die senkrechte Leitungsführung mit Installationsleitung (auch Mantelleitung genannt) NYM vorzuziehen. Stegleitungen dürfen nicht verlegt werden.

Die waagerechten Verbindungen erfolgen im Dachboden, bei mehrgeschossigen Bauten in den Decken. Bei schwer zugänglichen Zwischenböden müssen ggf. die waagerechten Leitungen bis zum Verteiler oder bis an zugängliche zentrale Klemmenkästen geführt werden. Man kann waagerechte Leitungen auch in Fußbodenleisten verlegen.

Die Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt) werden erforderlichenfalls mit Isolierstoff-Nagelschellen befestigt. Bei einigen Herstellungsverfahren sind Kunststoffrohre oder röhrenförmige Aussparungen vorgesehen, in die die Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt) erst auf der Baustelle eingezogen werden. Installationsrohre tragen die Kennzeichnung ACF nach der am 01.12.1995 zurückgezogenen Bestimmung VDE 0605 oder müssen die entsprechende Kennzeichnung nach der neueren Klassifikation in VDE 0605-1 führen. Elektroinstallationskanalsysteme müssen VDE 0604-1 (Allgemeine Anforderungen), VDE 0604-2-1 (E-Kanalsysteme für Wand und Decke) und VDE 0604-2-2 (E-Kanalsysteme für die Montage unterboden, bodenbündig oder aufboden) entsprechen.

Besondere Geräteabzweigdosen aus schwer entflammbarem Material mit schwer entflammbarem Deckel werden in den Wänden durch Spezialhalterungen aus Kunststoff, nicht aber durch Nageln befestigt.

*Hohlwanddosen* und Hohlwandkleinverteiler müssen nach den VDE-Bestimmungen mit dem Symbol ⩛ gekennzeichnet sein. Hohlwand-Gerätedosen und -Geräteverbindungsdosen müssen Schraubbefestigungsvorrichtungen mit eingedrehten Schrauben zur Befestigung von Geräten, z. B. Schalter, Steckdosen, haben.

Ist das Befestigen der Leitungen und Kabel innerhalb der Hohlwände nicht möglich, so muss an der Hohlwanddose eine Zugentlastung vorgenommen werden.

Es muss sichergestellt sein, dass elektrische Betriebsmittel keine *Entzündung* von brennbaren Gebäudeteilen verursachen, z. B. durch Isolationsfehler. Dies wird in TN- und TT-Systemen durch den Einsatz von Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom ≤ 300 mA erreicht. Bei Deckenheizungen mit Flächenheizelementen muss der Bemessungsdifferenzstrom ≤ 30 mA

betragen. In IT-Systemen sind Isolationsüberwachungseinrichtungen mit akustischer und optischer Meldung einzusetzen. Damit der Schutz gegen Brände aufgrund von Isolationsfehlern noch erhöht wird, sollten Kabel und Leitungen mit konzentrischen Leitern verwendet werden, die mit dem Schutzleiter verbunden sind.

## 9.5 Industrieanlagen

Ein Industriebetrieb wird wie ein Ortsnetz geplant. Man ermittelt die Flächenbelastungen in $W/m^2$ und teilt danach die Verbrauchergruppen ein.

Die erste Gruppe weist eine zeitlich und räumlich annähernd gleichmäßige Belastung von 50...100 $W/m^2$ bei $\cos\varphi \approx 0{,}6$ auf. Hierzu zählen z. B. Betriebe der Feinmechanik, Reparaturwerkstätten, Spinnereien und Webereien. Sie können von einem *Strahlennetz* versorgt werden. Dies bedeutet, dass bei der Unterbrechung einer Leitung alle hinter der Störung liegenden Verbraucher ausfallen. Die Transformatorenstation liegt möglichst nahe am Lastschwerpunkt, also am Rand oder innerhalb der Fabrikhallen (**Bild 9.5**).

Die zweite Gruppe umfasst Betriebe der Metallverarbeitung und der chemischen Industrie. Hier ist die Belastung weder räumlich noch zeitlich gleichmäßig verteilt.

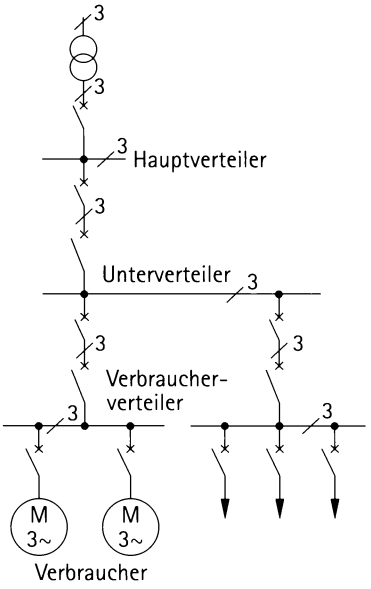



***Bild 9.5:*** *Aufbau eines Strahlennetzes*

Es gibt Werkstätten mit vielen kleinen Leistungen, wie mechanische Werkstätten oder der Werkzeugbau. Dagegen findet man z. B. im Presswerk oder der Stanzerei große und größte Motoren, noch dazu mit stoßartiger Belastung als dritter Gruppe. In **Tabelle 9.4** werden Mittelwerte angegeben.

***Tabelle 9.4:*** *Mittelwerte von Flächenbelastungen in Industriebetrieben*

| **Betrieb** | **Flächenbelastung** $W/m^2$ | **Leistungsfaktor** $\cos\varphi$ |
|---|---|---|
| Reparaturwerkstätten feinmechanische Fertigung | 50...100 | 0,6 |
| Werkzeugbau | 50...100 | 0,6 |
| Stanzerei und Presswerk | 150...300 | 0,4 |
| Mechanische Werkstätten | 200...400 | 0,6 |
| Elektroschweißerei | 150...500 | 0,7 |
| Härterei, Hüttenwerke | 200...500 | 0,9 |
| Galvanotechnik | 600...800 | – |

Für die zweite und dritte Verbrauchergruppe ist das *Maschennetz* mit Maschenweiten von 20...30 m von Vorteil. Alle Kabel eines Speisepunkts beteiligen sich an der Spannungshaltung. Die Leiterquerschnitte liegen zwischen 70 $mm^2$ und 185 $mm^2$ Cu. Einige Transformatoren speisen an verschiedenen Knotenpunkten ein. Beim Auftreten eines Fehlers trennen strom-zeit-abhängige Schutzeinrichtungen schadhafte Netzteile ohne Beeinträchtigung des Gesamtnetzes heraus. Im Gegensatz zum Strahlennetz braucht man keine Reservetransformatoren. Zur Blindleistungskompensation siehe Abschnitt 9.3.2.

Bei Neuanlagen werden die Spannungen nach **Tabelle 9.5** bevorzugt.

***Tabelle 9.5:*** *Bevorzugte Spannungen*

| **Betriebsmittel** | **Spannung** **V** |
|---|---|
| Signalisierungsanlagen, SELV | 24 oder 42 |
| Beleuchtung, Steuerstromkreise, Motoren < 1 kW | 230 |
| Motoren 1...250 kW | 400 |
| Motoren 250...600 kW | 660 |
| Motoren > 600 kW | 10000 |

Die Industrienetze werden in der Regel als Kunststoffkabelnetze ausgeführt. Oft legt man die Kabel unter der Kabelkanaldecke oder an den Wänden auf *Kabelroste* auf, sog. Kabelschnellverleger sind in gleicher Weise beliebt. In rauen Betrieben, z. B. Hüttenwerken, hat sich die offene Stahlrohrmontage auch bei Installationsleitungen (auch Mantelleitungen genannt) gut bewährt. Das Rohr dient außerdem als Schutz und Träger. Schwitzwasserbildung ist nicht möglich.

Die *Schaltanlagen* sind vielfach stahlblechgekapselt mit ausziehbaren Schaltgeräten, wodurch man bis zu 50 % an Raum spart.

Um beim Aufstellen der Arbeitsmaschinen beweglich zu sein, sind für deren Anschluss *Schienenverteiler* empfehlenswert, die längs der Maschinenreihen geführt sind. Mit einer Linie kann man Maschinen, die bis zu 3 m nach jeder Seite entfernt sind, erfassen.

In Werkhallen u. dgl. werden zweckmäßig *Lichtbänder* mit Verdrahtung für Drehstromanschluss eingesetzt, die über Schütze geschaltet werden. Bei kleinen und mittleren Fertigungsstätten, in denen z. B. eine Arbeitsplatzbeleuchtung mit örtlicher Ein- und Ausschaltung gewünscht wird, können die Leuchten direkt am Schienenverteiler befestigt und an Abgangskästen mit eingebauten Zugschaltern angeschlossen werden.

VDE 0100 macht in seinen Bestimmungen einen Unterschied zwischen Verteilernetz und Verbraucheranlage. Diese Abgrenzung ist in einigen Fällen von großer Bedeutung, z. B. für den Spannungsfall, für die Bemessung des Isolationswiderstands und für den Schutzpotenzialausgleich.

## 9.6 Hilfsstromkreise

VDE 0100-557

*Hilfsstromkreise* nach VDE 0100-557 (früher: -725) sind Stromkreise für zusätzliche Funktionen, wie zum Übertragen von Befehlen, Erfassen oder Überwachen von Zuständen zur Beeinflussung von Hauptstromkreisen, z. B. zum Steuern (Befehlsgabe, Verriegelung), Regeln, Melden und Messen. Sie gehören zu den Starkstromanlagen. Sie können mit den Hauptstromkreisen galvanisch oder über Transformatoren mit getrennten Wicklungen verbunden (gebräuchliche Bezeichnung: *Steuertransformatoren*) (VDE 0570-2-2) (**Bild 9.6**) oder auch von ihnen unabhängig sein. Bei Anwenden von Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV ist eine sichere Trennung der Wicklungen vorhanden, z. B. durch einen Sicherheitstransformator (VDE 0570-2-6) (s. Abschn. 5.9), bei Anwenden von FELV (s. Abschn. 5.6.5) genügt ein Transformator nach VDE 0570-2-1 mit einfacher Trennung.

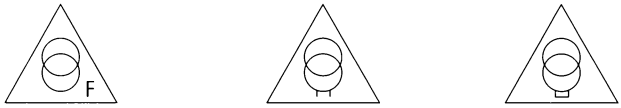



***Bild 9.6:*** *Bildzeichen für Transformatoren mit getrennten Wicklungen; beispielsweise Steuertransformatoren*

Die Anforderungen für Hilfsstromkreise nach VDE 0100-557 gelten nur für elektrische Anlagen nach VDE 0100 und nicht für Hilfsstromkreise besonderer Anlagen und Einrichtungen, die von Produkt- oder Systemnormen abgedeckt werden, wie für die elektrische Ausrüstung von Maschinen – hierfür gilt Reihe VDE 0113 (s. Abschn. 11.6) –, für Anlagen und Betriebsmittel der Informationsübertragung und -verarbeitung (Reihe VDE 0800), für elektrische Ausrüstung von Feuerungsanlagen (VDE 0116-1), für Hilfseinrichtungen und Steuerungssysteme in Starkstromanlagen mit Nennwechselspannung über 1 kV (VDE 0101), für Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall (Reihe VDE 0833), für elektroakustische Notfallwarnsysteme (VDE 0828-1), für Rufanlagen in Krankenhäusern, Pflegeheimen und ähnlichen Einrichtungen (VDE 0834-1), für Bahnanwendungen (Reihe VDE 0115), für Errichtungen elektrischer Einrichtungen im Bergbau (Reihe VDE 0118) und Steinbrüchen (VDE 0168).

Die Höhe der *Steuerspannung* sollte die richtige Arbeitsweise des Steuerstromkreises sicherstellen. Bei 50 Hz ist 230 V, bei 60 Hz 277 V zu bevorzugen. Bei Steuerungen für Maschinen darf die Bemessungsspannung AC 277 V oder DC 220 V nicht übersteigen, wenn kein Transformator mit getrennter Wicklung (Steuertransformator) verwendet wird. Höhere Spannungen sind gefährlich, und Kleinspannungen bedingen höhere Spulenströme und damit großen Spannungsfall. Auch ist die Gefahr von Fehlschaltungen bei nicht ganz sauberen Kontaktstellen oder geringen Kontaktdrücken bei Kleinspannung wesentlich größer als bei 230 V. Betriebsmittel, die üblicherweise während des Betriebs dauernd in der Hand gehalten oder umfasst werden, sollten nur mit Spannungen bis maximal 230 V betrieben werden.

Hilfsstromkreise dürfen mit den Hauptstromkreisen entweder direkt verbunden sein, von den Hauptstromkreisen über Transformatoren mit getrennten Wicklungen gespeist werden oder von den Hauptstromkreisen vollständig unabhängig sein. In TN- und TT-Systemen muss bei direkter Verbindung des Hilfsstromkreises mit dem Hauptstromkreis die Spannung zwischen einem Außenleiter und dem Neutralleiter abgenommen werden. Solche Hilfsstromkreise dürfen nicht zusätzlich geerdet werden. Bei Steuerungen für Maschinen nach VDE 0113-1 müssen zur Versorgung der Steuerstromkreise stets Transformatoren mit getrennter Wicklung verwendet

werden (s. Abschn. 11.6). Nur für Maschinen mit einem einzigen Motorstarter und/oder höchstens zwei Steuergeräten (z. B. Verriegelungsgerät, Start-/Stopp-Bedienstation (gebräuchliche Bezeichnung auch: Ein-Aus-Tasterkombination)) brauchen keine Transformatoren für Steuerstromkreise eingesetzt zu werden. Transformatoren zur Versorgung von Hilfsstromkreisen sollten zwischen Außenleitern angeschlossen werden. Bei mehreren Transformatoren ist auf der Sekundärseite auf Phasengleichheit zu achten.

Die *Größe des Transformators* ist nach der Lieferliste der Schützhersteller zu ermitteln, indem man zur Summe der Halteleistungen aller gleichzeitig eingeschalteten Schütze, Leuchtmelder und sonstigen Stromverbraucher die Einschaltleistung des größten Schützes addiert und das Ergebnis mit 1,2 multipliziert. Diese Summenleistung muss kleiner oder gleich der zulässigen Dauerleistung des Steuertransformators sein. Dieser ist nach den Angaben des Herstellers primär und in der Regel auch sekundär gegen Überstrom zu sichern.

Damit z. B. in ausgedehnten Anlagen und in Anlagen, bei denen Isolationsfehler (z. B. durch Feuchte oder Temperatur) leicht auftreten können, Isolationsmessungen leicht vorgenommen werden können, muss bei geerdeten Hilfsstromkreisen, die über Transformatoren oder über eigene Stromquellen gespeist werden, die Verbindung zur Betriebserde leicht zugänglich und auftrennbar sein, damit der Isolationswiderstand aller Leitungen und Einrichtungen gemessen werden kann. Die Verbindung zur Erde sollte in der Nähe des Transformators oder der Spannungsquelle vorgenommen werden.

Die Schützspulen im Steuerstromkreis müssen unmittelbar am Neutralleiter liegen. So ergibt sich die höchste Betriebssicherheit, insbesondere auch bei Erdschlüssen an Befehlsgeräten oder im Steuerstromkreis, die sonst ungewollte Einschaltungen veranlassen könnten. Alle Befehlsgeräte sind dagegen zwischen Außenleiter und Spule zu schalten.

Hilfsstromkreise, die über Steuertransformatoren versorgt werden, können *ungeerdet* oder *geerdet* betrieben werden. Hilfsstromkreise, die über einen Transformator versorgt werden, dürfen nur an e i n e r Stelle geerdet werden. Eine der beiden Steuerstromleitungen ist also wie ein Neutralleiter zu behandeln, d. h., es ist stets derselbe Leiter an die Spulen, Leuchtmelder, elektromagnetischen Absperrorgane – also an die elektrischen Wirkglieder – anzuschließen und der andere an die Befehlsgeräte (s. Bild 9.7). Durch das bereits erwähnte Einfügen einer Verbindungsleitung zum Betriebserder möglichst in der Nähe der Spannungsquelle, z. B. Steuertransformator, kann der Leiter zu den Wirkgliedern auch nachträglich geerdet werden. Die hierfür bestimmte Verbindung muss aus dem Schaltplan deutlich hervorgehen. Lediglich bei Stromkreisen, bei denen eine einpolige Erdung aus Betriebsgründen notwendig ist, z. B. bei Stromkreisen für Magnetkupplungen oder

auch bei Steuerungsabschnitten mit elektronischen Bauelementen, muss sie vom Hersteller durchgeführt werden.

Wenn zwischen Hilfsstromkreis und Hauptstromkreis kein Transformator geschaltet ist, also eine direkte Verbindung zum Hauptstromkreis besteht und der Hilfsstromkreis zwischen zwei ungeerdeten Außenleitern angeschlossen wird, müssen alle Schaltglieder zweipolig ausgeführt sein.

An Hilfsstromkreise, durch die *Risiken für Personen*, Nutztiere und Anlagen vermieden werden sollen, sind erhöhte Anforderungen zu stellen. Durch einen einzelnen Leiterbruch, Körper-, Erd- oder Kurzschluss darf keine Funktion unwirksam werden (sog. Querschlusssicherheit), die eine Anlage in einem sicheren Zustand hält oder in einen sicheren Zustand überführt. Geeignete Maßnahmen gegen Fehlfunktionen durch einen Leiterbruch oder Körper-, Erd- oder Kurzschluss sind z. B. Anwenden des Ruhestromprinzips (Schaltglieder sind Öffner), Anwenden positiver Logik mit Strom ziehenden Eingängen und Strom liefernden Ausgängen oder Anwenden von Überwachungsschaltungen, wenn der sichere Zustand der Aus-Zustand ist.

Im ungeerdeten Steuerkreis kann durch einen Erdschluss an den Befehlsgeräten und den von diesen zu den Schützspulen führenden Leitungen kein ungewollter Schaltvorgang ausgelöst werden. Dies tritt jedoch ein, wenn ein einpoliger Erdschluss nicht sofort erkannt und beseitigt wird und dazu ein zweiter Erdschluss auftritt. Dieser Nachteil wird beim geerdeten Steuerkreis vermieden. Allerdings besteht hier wiederum eine Gefährdung bei Eingriffen in die Steuerung unter Spannung, die bei der Fehlersuche in umfangreichen Steuerungen oft nicht zu vermeiden sind.

Bei ungeerdet betriebenen Steuer- oder Meldestromkreisen muss eine *Isolationsüberwachungseinrichtung* vorhanden sein, da durch Körper- oder Erdschlüsse Gefährdungen eintreten können. Der zulässige Isolationsmindestwert ist von den eingesetzten Betriebsmitteln abhängig und sollte 100 Ω/V nicht unterschreiten. Auch bei Anwenden von Schutz durch Kleinspannung mittels PELV (früher: Funktionskleinspannung mit sicherer Trennung) muss eine Isolationsüberwachungseinrichtung vorgesehen werden, um den Isolationszustand zu überwachen. In geerdeten Hilfsstromkreisen wird der erste Körper- oder Erdschluss innerhalb von 5 s abgeschaltet; es kann auch sein, dass in kürzerer Zeit abgeschaltet werden muss. Um auch bei Anwenden von Schutz durch Kleinspannung mittels PELV eine Abschaltung zu gewährleisten, müssen alle Körper an den Leiter angeschlossen werden, mit dem der Hilfsstromkreis geerdet ist. Das kann auch der Schutzleiter des Primärnetzes sein.

Wenn durch doppelten Körper- oder Erdschluss Gefährdungen auftreten können, müssen alle inaktiven Metallteile (Metallgehäuse) in ungeerdeten Stromkreisen mit der Isolationsüberwachungseinrichtung verbunden und in geerdeten Stromkreisen geerdet werden. Doppelte Körper- oder Erdschlüsse können z. B. Grenzlagenschal-

ter, Aus- oder Ein-Befehlsgeber überbrücken, was wiederum Ausschaltfunktionen unwirksam machen oder sogar unkontrollierte Ein-Kommandos hervorrufen kann.

Damit auch ein sicheres Abschalten bei Risiken für Personen gewährleistet ist, muss eine zusätzliche Funktion so direkt wie möglich auf die Schaltgeräte der Hauptstromkreise oder auf die dem Hauptstromkreis vorgeordneten Schaltgeräte wirken. Das gilt auch, wenn nur ein Hilfsstromkreis vorhanden ist. Die zusätzliche Funktion muss durch sog. *zwangsläufig betätigte Schaltglieder* gewährleistet sein. Eine mögliche direkte Wirkung ist auch eine Kontaktvervielfachung durch parallel geschaltete Hilfsschütze. Gleichwertige Sicherheit kann z. B. durch Redundanz und 1-von-2-Auswahl erreicht werden.

Für die Kabel und Leitungen von Hilfsstromkreisen gelten andere *Mindestquerschnitte* als für Hauptstromkreise. Leitungen innerhalb von Gehäusen müssen mindestens einen Querschnitt von Cu 0,2 $mm^2$ haben; außerhalb von Gehäusen gilt ein Mindestquerschnitt von Cu 0,2 $mm^2$ bei abgeschirmten zwei- und mehradrigen, 0,5 $mm^2$ bei nicht abgeschirmten zweiadrigen und 1,0 $mm^2$ bei einadrigen Leitungen. Leitungen von Hilfsstromkreisen für die Datenübertragungen brauchen nur einen Mindestquerschnitt von Cu 0,08 $mm^2$ haben. Die Anschlussklemmen an den Betriebsmitteln müssen jedoch für derart geringe Querschnitte geeignet sein, sonst ist der Querschnitt zu erhöhen. Der Mindestquerschnitt des Schutzleiters sollte immer Cu 0,5 $mm^2$ betragen. Bei kleineren Querschnitten ist besonders auf die Schleifenimpedanz zu achten, um die Anforderungen des Schutzes bei Kurzschluss oder ggf. des Schutzes durch Abschalten als Schutz gegen elektrischen Schlag zu erfüllen.

Mehrere Hilfsstromkreise dürfen eine *gemeinsame Rückleitung* erhalten, deren Querschnitt und deren Kurzschlussschutzeinrichtungen für die Summe der Ströme bemessen werden muss. Werden mehrere Hilfsstromkreise an verschiedene Außenleiter, z. B. L1, L2, angeschlossen, so sollten sie *getrennte Rückleitungen* haben.

Leitungen in Hilfsstromkreisen brauchen nur gegen *zu hohe Erwärmung* geschützt zu werden, die durch vollkommenen Kurzschluss auftreten kann. Auf diese Forderung wird nur verzichtet, wenn durch das Wirken der Überstromschutzeinrichtung Gefahren im Betrieb hervorgerufen werden können. In diesem Fall müssen die Leitungen kurzschluss- und erdschlusssicher verlegt werden. In einem geerdeten Leiter darf die Kurzschlussschutzeinrichtung entfallen.

Der Kurzschlussschutz auf der Sekundärseite des Trenntransformators kann entfallen, wenn er durch Überstromschutzeinrichtungen auf der Primärseite des Steuertransformators gleichwertig sichergestellt ist. Die Impedanz von Steuertransformatoren, die die Höhe des Kurzschlussstroms wesentlich beeinflussen kann, die Impedanz von Steuerleitungen sowie der Einschaltstrom (Rush-Effekt) sind zu berücksichtigen.

Schaltglieder von Betriebsmitteln (Öffner, Schließer, Wechsler von Relais, Befehlsgebern, Messgeräten, Hilfsschaltern von Leistungsschaltgeräten) sind nach Angaben des Herstellers durch Schutzeinrichtungen gegen Schäden durch Kurzschlussströme zu schützen. Das gilt auch für kontaktlose nicht kurzschlussfeste elektronische Betriebsmittel ohne Strombegrenzung.

Steckbare und *lösbare Verbindungen* in Hilfsstromkreisen müssen unverwechselbar und voneinander verschieden sein.

Auch in Hilfsstromkreisen ist als Schutz gegen elektrischen Schlag der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) und der Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) zu gewährleisten. Bei Spannungen bis AC 50 V empfiehlt sich FELV (früher: Funktionskleinspannung ohne sichere Trennung) nach Abschnitt 5.6.5, bei höheren Spannungen eine der anderen Schutzmaßnahmen nach Abschnitt 5.6 (Automatische Abschaltung der Stromversorgung im TN-, TT- oder IT-Netz).

Bei der Planung von Schützen mit Befehlsschaltern ist die *Entfernung zwischen Schalter und Schütz* wichtig. Der zum Anziehen des Ankers erforderliche Strom bestimmt den Spannungsfall, der 5 % nicht überschreiten soll. Kennt man überdies den $\cos \varphi$ des Schützes, dann kann nach Abschnitt 8.7 die größtmögliche Entfernung zwischen Schütz und Schalter errechnet oder der notwendige Querschnitt ermittelt werden. Bei wechselstrombetriebenen Steuerkabeln und -leitungen fließt aufgrund der Leitungskapazität zwischen den Adern ein kapazitiver Strom. Liegt der Befehlsgeber eines Hilfsstromkreises nahe der Einspeisung, so hat die Leitungskapazität keinen störenden Einfluss auf die Betätigung eines Schützes. Meist liegt jedoch das Schütz in der Nähe der Einspeisung und der Befehlsgeber getrennt davon, z. B. in der Steuertafel (**Bild 9.7**).

Nach dem Öffnen des Befehlsgebers fließt in diesem Fall ein kapazitiver Strom, der zur Gefahr wird, wenn er den sog. *Rückfallwert* des Stroms des Schützes überschreitet. Die Höhe des Stroms ist abhängig von der Länge der Leitung, der Betätigungsspannung, der Anzahl der auf unterschiedlichen Potenzialen liegenden Adern und der Leitungskapazität, die bei Steuerungskabeln zwischen zwei Adern mit etwa 0,3 µF/km angenommen werden kann. Die *kritische Leitungslänge*, das ist der Wert, bei dessen Überschreitung das Schütz auch bei geöffnetem Befehlsgeber eingeschaltet bleibt, ist **Bild 9.8** zu entnehmen. Bei längeren Kabeln kann man die geschilderten Gefahren durch Parallelschaltung von ohmschen oder kapazitiven Zusatzverbrauchern, durch Kurzschließen der Schützspulen beim Aus-Befehl oder durch Verwendung größerer Schütze vermeiden.

*Befehlsgeräte* (Taster, Schalter) müssen so angeordnet sein, dass sie einerseits nicht unbeabsichtigt betätigt werden können, andererseits aber vom Bedienenden leicht erreichbar sind. Wenn Befehlsgeräte über Steckvorrichtungen angeschlossen werden, muss eine ungewollte Befehlsgabe durch Verwechseln von Steckvorrichtungen

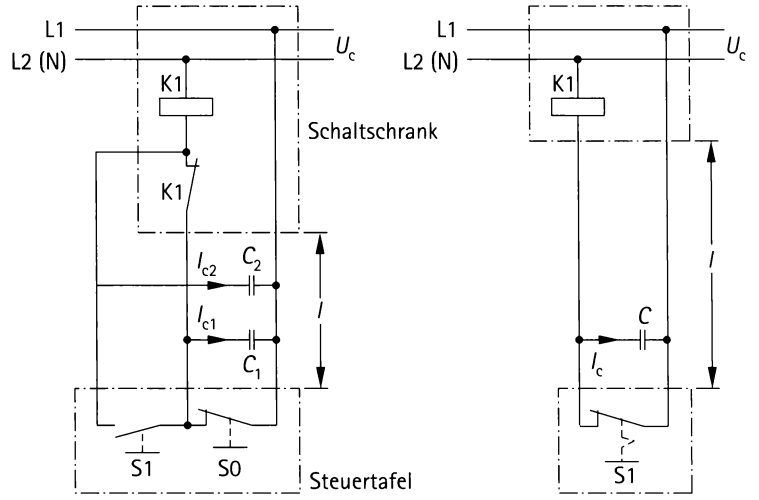



***Bild 9.7:*** *Getrennte Anordnung von Schütz und Befehlsgeber*
*l* einfache Länge der Steuerleitung

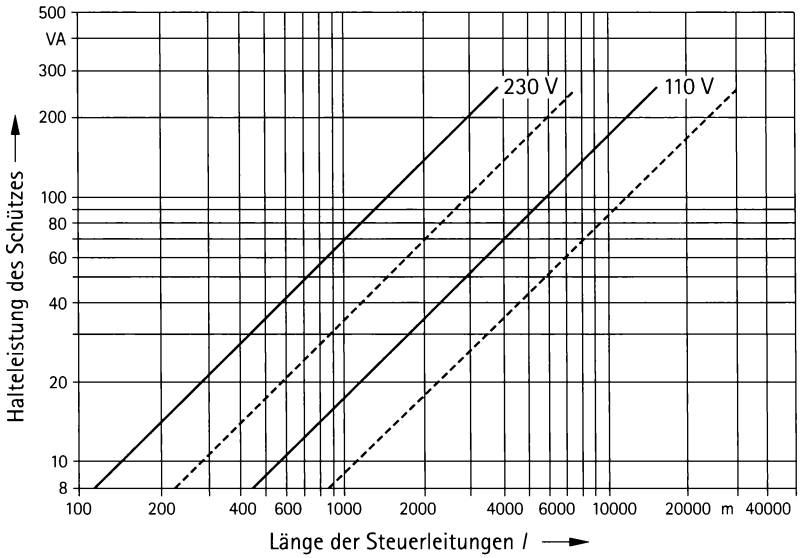



***Bild 9.8:*** *Kritische Leitungslänge*

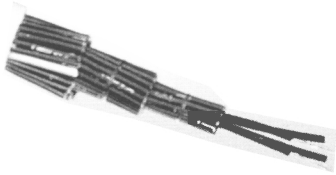


***Bild 9.9:*** *Vieladrige Steuerleitung mit Zahlenkennzeichnung (Werkbild: Alcatel)*

verhindert sein. In Fällen, in denen die Steckvorrichtung nur gelegentlich, z. B. zum Zwecke der Wartung, getrennt wird, genügt eine Kennzeichnung. Netzsteckvorrichtungen (s. Abschn. 11.2) dürfen für Befehlsgeräte nicht verwendet werden.

Die *Kennzeichnung von Leitern* für Hilfsstromkreise geschieht z. B. durch Leiterenden-Manschetten mit aufgedruckten Buchstaben, Ziffern oder Kombinationen aus diesen (**Bild 9.9**). Nach VDE 0113-1 (s. Abschn. 11.6) dürfen bei farblicher Kennzeichnung die Farben schwarz, braun, rot, orange, gelb, grün, blau, violett, grau, weiß, rosa, türkis und deren Kombinationen – außer grün-gelb – benutzt werden. Aus Sicherheitsgründen sollten die Einzelfarben grün und gelb wegen der Verwechslungsgefahr nicht verwendet werden.

Der Schutzleiter muss in seinem ganzen Verlauf grün-gelb gekennzeichnet sein. Ein farblich gekennzeichneter Neutralleiter muss blau (bisher: hellblau) sein. Wenn Verwechslungsgefahr besteht, darf blau für keinen anderen Leiter verwendet werden. Man kann aber auch Wechselspannungs-Steuerstromkreise rot, solche für Gleichspannung blau und Verriegelungsstromkreise orange kennzeichnen, wie dies in VDE 0113-1 empfohlen wird. Man muss den g e s a m t e n Steuerstromkreis mit der entsprechenden Farbe kennzeichnen, auch die etwa geerdeten Leiter, die an alle Spulenenden angeschlossen sind. Dies gilt sowohl bei Speisung des Steuerstromkreises durch einen Steuertransformator als auch beim unmittelbaren Anschluss zwischen Außenleiter und Neutralleiter des Netzes.

Stromkreise für Meldung oder Messung sollten einfarbig, z. B. schwarz, verdrahtet werden. Anders liegen die Verhältnisse, wenn außerhalb des Steuerschrankes mit mehradrigen Leitungen oder Kabeln verdrahtet wird. Hier gibt es z. B. an den Anschluss-Reihenklemmen einen Bruch in der Farbkennzeichnung, d. h., es sieht im Steuerschrank anders aus als in den nach außen abgehenden Kabeln oder Leitungen.

In allen Fällen sind die Leiter und Klemmen durch nichtmetallene, gegen Kohlenwasserstoff beständige Ringmanschetten, Hülsen oder Klebebänder deutlich zu kennzeichnen. Betriebsanleitungen und Schaltpläne sind anzufertigen.

# 9.7 Gebäudesystemtechnik [4]

VDE 0800-173-4 u. -6; VDE 0800-174-2; Reihe VDE 0829; Reihe VDE 0849; VDE-AR-E 2757-1 u. -4; VDE 0632-400; DIN 18015-4

## 9.7.1 Grundlage und Normung

Zum Schalten, Steuern, Regeln, Messen, Melden und Überwachen der immer umfangreicher werdenden betriebstechnischen Anlagen in Gebäuden werden physikalische Träger wie elektrische Leitungen, Infrarot, Funkfrequenz benutzt. Man spricht hier davon, dass diese Träger die Topologie bilden und zwar BUS-, Baum-, Schleifen- oder Stern-Topologien, worüber die Information übertragen wird. Am gebräuchlichsten davon sind Zweidrahtleitungen mit verdrillten Aderpaaren, abgekürzt TP (vom Englischen twisted pair), sog. BUS-Leitungen. BUS (engl.: **B**inary **U**nit **S**ystem) bedeutet die Technik zur Kommunikation zwischen zwei oder mehreren Einrichtungen mit Schnittstellen für die Datenübertragung. Dieses ganze System fasst man unter dem Begriff Elektrische Systemtechnik für Heim und Gebäude (ESHG) (Begriff nach der Reihe VDE 0829) oder auch Gebäudesystemtechnik (Begriff nach DIN 18014-4, s. u.) zusammen. Eine der Hauptfunktionen der ESHG ist es, Geräte zu steuern, die mit 230/400 V versorgt werden. Die Verdrahtung für ESHG muss mit dem Stromverteilungsnetz verträglich sein und den Regeln für elektrische Installation folgen. Die über den z. B. BUS gegebenen Informationen können von den angeschlossenen Geräten, die mit einer zusätzlichen Steuerelektronik ausgerüstet sind, verarbeitet werden (**Bild 9.10**). Statt vieler Leitungen zum Schalten, Steuern, Regeln, Melden oder Überwachen wird bei einem solchen System nur noch eine Leitung, die *BUS-Leitung*, benötigt. Die Vorteile sind mehr Flexibilität bei Neuinstallation und Änderung von Installationen, eine weniger komplizierte Leitungsführung infolge der Trennung in Informationsleitung (z. B. BUS)

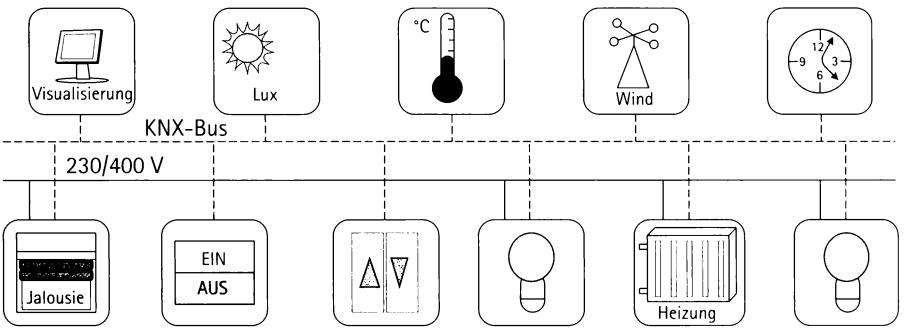



***Bild 9.10:*** *Installationsbussystem in der Elektroinstallation (nach [4]*

und Energieversorgungsleitung und nicht zuletzt weniger Leitungsmaterial, was z. B. in großen Verwaltungsgebäuden, Warenhäusern und großen Versammlungsstätten zur Verminderung der Brandlast führt.

Die grundlegenden Normen für ESHG mit dem Obertitel „Elektrische Systemtechnik für Heim und Gebäude (ESHG)" sind:

- VDE 0829-2-1 (Aufbau der Norm) und
- VDE 0829-9-1 (Installationsanforderungen – Verkabelung von Zweidrahtleitungen ESHG Klasse 1), sowie

mit dem Obertitel „Allgemeine Anforderungen an die Elektrische Systemtechnik für Heim und Gebäude (ESHG) und an Systeme der Gebäudeautomation (GA)":

- VDE 0849-1 (Allgemeine Anforderungen),
- VDE 0849-3 (Anforderungen an die elektrische Sicherheit) und
- VDE 0849-6-1 (ESHG-Installationen / Installation und Planung).

Wichtig zu beachten sind gegebenenfalls auch:

- VDE 0800-173-4 (Informationstechnik – Anwendungsneutrale Kommunikationskabelanlagen – Wohnungen) und
- VDE 0800-173-6 (Informationstechnik – Anwendungsneutrale Kommunikationskabelanlagen – Verteilte Gebäudedienste), sowie
- VDE 0800-174-2 (Informationstechnik – Installation von Kommunikationsverkabelung – Installationsplanung und Installationspraktiken in Gebäuden).
- In der Normenreihe DIN 18015 „Elektrische Anlage in Wohngebäuden" ist der Teil 4 „Gebäudesystemtechnik" zu beachten. Dieser Normenteil DIN 18015-4 (aktuelle Ausgabe: Mai 2014) gilt in erster Linie für Wohn- und Bürogebäude und für Gebäude ähnlicher Nutzung, die mit Gebäudesystemtechnik ausgestattet oder dafür vorbereitet werden. Unter Gebäude mit ähnlicher Nutzung sind solche z. B. Gebäude mit Arztpraxen oder Kleingewerbebetrieben zu verstehen. Die Norm beschreibt, welche Festlegungen zwischen Bauherr und Planer der elektrischen Anlagen getroffen werden müssen, und legt Mindestanforderungen an die Installation der BUS-Technik fest. Die Norm behandelt Grundsätzliches zu Installation, Betriebsfunktionen und Funktionsbereiche, Anzeige- und Bedieneinrichtungen sowie Schnittstellen.

Weitere Informationen können entnommen werden aus:

- VDE 0632-400 (Schalter für Haushalt und ähnliche ortsfeste elektrische Installationen – Ergänzungsnorm – Schalter und ähnliches Installationsmaterial zur Verwendung in elektronischer Systemtechnik für Heim und Gebäude (ESHG)),
- VDE-AR-E 2757-1 (Technikunterstütztes Leben – Ambient Assisted Living (AAL) – Begriffe) und
- VDE-AR-E 2757-4 (Service Wohnen zu Hause – Qualitätskriterien für Anbieter, Dienstleistungen und Produkte für technikunterstütztes Leben (AAL)).

## 9.7.2 Aufbau einer ESHG

Das BUS-Netz kann in Linien-, Stern- oder Baumstruktur erstellt werden. Die Informationen werden von den sendenden Teilnehmern, z. B. einem Lichtsensor, direkt an die Empfänger, z. B. Leuchten oder Jalousieantriebe, gegeben. An jeder beliebigen Stelle des BUS-Netzes können die BUS-Systemkomponenten parallel angeschlossen werden. Eine Zentrale versorgt und überwacht den BUS. Sie organisiert und kontrolliert den Datenverkehr. Die Funktionen sind frei programmierbar.

Der Leistungsteil ist vom Steuerteil sicher galvanisch getrennt. Für die Energieversorgung der Betriebsmittel gelten somit die üblichen Anforderungen von VDE 0100.

Komponenten des BUS-Systems sind:

- BUS-Stromversorgungsgerät (Spannungsversorgung) mit gemeinsamer oder getrennter Drossel,
- BUS-Leitung,
- BUS-Klemmen,
- Datenschienen,
- Datenschienenverbinder,
- Datenschienenabdeckungen,
- Installationsdosen,
- Installationsverteiler.

Aus Gründen der Verwechslungsgefahr dürfen als *TPs* nicht die in der Starkstromtechnik eingesetzten Leitungen verwendet werden. Als BUS-Leitungen eignen sich 2-adrige abgeschirmte Fernmeldeleitungen mit verdrillten Adern, z. B. I-Y(St)Y. Das ist ein Installationskabel für Fernmeldeanlagen mit PVC-Isolierung, statischem Schirm, Beilaufdraht und PVC-Mantel nach Reihe VDE 0815. Die Schirmung ist wegen einer einwandfreien Funktion wichtig. Der Leiterdurchmesser muss min-

destens 0,8 mm betragen (z. B. 2 × 2 × 0,8). Das Kabel ist für feste Verlegung in trockenen und feuchten Betriebsstätten geeignet. Es darf auf oder unter Putz und in Rohren sowie im Freien in oder unter Putz verlegt werden. Es kann auch eine nach einer EIBA-Richtlinie auf der Basis Reihe VDE 0815 zugelassene Leitung mit der Bezeichnung YCYM 2 × 2 × 0,8 eingesetzt werden. Diese ebenfalls geschirmte Leitung darf in trockenen, feuchten und nassen Räumen auf, in und unter Putz und in Rohren verlegt werden. Darüber hinaus darf sie auch im Freien verlegt werden, wenn sie vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt wird. Die BUS-Leitung wird zusammen mit den Leitungen der elektrischen Energieversorgung verlegt.

Die Schirme der BUS-Leitungen werden nicht geerdet und dürfen nicht in den Potenzialausgleich einbezogen werden. Im Leitungszug dürfen die Schirme auch nicht durchverbunden werden und dürfen auch keine Berührung mit Erdpotenzial haben. Wenn die BUS-Leitung zwischen zwei Gebäuden verläuft und in die Blitzschutzanlage einbezogen wird, sollte sie statt der dann erforderlichen durchgehenden Verbindung des Schirmes und des Anschlusses an Erde besser in einem Metallkanal oder einem Metallrohr verlegt werden. Der Kanal bzw. das Rohr ist dann beidseitig in den Potenzialausgleich einzubeziehen. Der Querschnitt des Metallkanals bzw. des Rohrs muss mindestens 50 $mm^2$ betragen.

### 9.7.3 Sichere Trennung

Die *BUS-Spannung* beträgt DC 24 V. Als Schutz gegen elektrischen Schlag ist für das BUS-Netz Schutz durch Kleinspannung mittels SELV (frühere Bezeichnung: Sicherheitskleinspannung) oder mittels PELV (frühere Bezeichnung: Schutzkleinspannung) anzuwenden. Da die BUS-Leitung zusammen mit den Starkstromleitungen verlegt wird, muss eine sichere Trennung zwischen den SELV- oder PELV-Stromkreisen und den Starkstromleitungen gewährleistet sein (s. Abschn. 9.1, letzter Absatz).

Da ESHG-Trägerleitungen (z. B. TPs) und Starkstromleitungen wegen der Vermeidung von Schleifen so dicht wie möglich zusammen verlegt werden sollen, müssen natürlich auch Leitungen und Kabel verwendet werden, für die dies zulässig ist. Bei Leitungen vom Typ I-Y(St)Y handelt es sich um Installationskabel für Fernmeldeanlagen und der Informationstechnik nach Reihe VDE 0815, die grundsätzlich in einem Abstand zu Starkstromleitungen verlegt werden müssen. Für die Installation der ESHG, Netze der Informationstechnik (IT-Netze) und das Niederspannungsnetz (230/400 V), die in enger Nachbarschaft installiert werden dürfen und deshalb die elektrische Sicherheit sichergestellt werden muss, ist folgendes zu beachten:

Zwischen den Leitern von *ESHG-Kabeln/-Leitungen und IT-Leitungen* muss mindestens Basisisolierung für eine Nennisolationsspannung von 100 V vorgesehen

werden. Zwischen den Leitern von *ESHG-Kabeln/-Leitungen und Starkstromleitungen* (max. 230/400 V) muss eine sichere Trennung gegeben sein. Kabel und Leitungen dürfen ohne Abstand zwischen ESHG-Kabel und -Leitungen und den Starkstromleitungen installiert werden, wenn das ESHG-Kabel oder die ESHG-Leitung einer Hochspannungsprüfung (Stehstoßspannung) zwischen dem Leiter und der Außenfläche des Kabels oder der Leitung mit einer Prüfspannung von 2,5 kV/50 Hz von 5 min. Dauer unter bestimmten Bedingungen standgehalten hat. Die verlegten ESHG-Kabel/-Leitungen und Starkstromleitungen dürfen sich auch berühren.

In *Installationsdosen* dürfen BUS- und Starkstromaderleitungen gemeinsam sein, wenn in der Dose eine sichere Trennung gewährleistet ist, z. B. durch eine Trennwand oder einen Trennsteg. Dosen ohne festen Trennsteg dürfen für BUS- und Starkstromleitungen nur gemeinsam verwendet werden, wenn feste Klemmen in der Dose verwendet werden und zwischen Aderleitungen – wie oben beschrieben – ein Abstand von mindestens 4 mm gegeben ist.

In Unterputzkombinationen dürfen BUS- und Starkstrombetriebsmittel gemeinsam sein, wenn nach Entfernen der gemeinsamen Abdeckung der Starkstromteil gegen direktes Berühren, z. B. durch eine separate Abdeckung, geschützt ist. Beim gemeinsamen Unterbringen von BUS- und Starkstrombetriebsmitteln muss die sichere Trennung durch die konstruktive Ausführung sichergestellt sein. Hierbei sind die Hinweise des Herstellers zu beachten. Der Einsatz eines BUS-Betriebsmittels in einer Unterputzkombination muss vom Hersteller zugelassen sein.

ESHG-Geräte (*BUS-Geräte*) gibt es für Unterputzmontage, als Reiheneinbaugeräte und als Aufputz- und Einbaugeräte. Reiheneinbaugeräte werden auf einer Hutprofilschiene nach DIN befestigt. Auch die Stromversorgungsgeräte werden als Reiheneinbaugeräte auf der DIN-Hutschiene montiert. Ein Stromversorgungsgerät und eine getrennte Drossel müssen immer nebeneinander angebracht werden. Diese Geräte und die Schalt- und Steuergeräte werden dabei über die Datenverbindungsschiene, die in eine Hutschiene eingelegt bzw. eingeklebt ist, miteinander verbunden (**Bild 9.11**). Abschnitte der Datenschiene, die nicht von Geräten abgedeckt werden, müssen mit den Datenschienenabdeckungen geschützt werden, damit auch eine sichere Trennung gegeben ist. Die Reiheneinbaugeräte des BUS-Systems werden in üblichen Verteilern zusammen mit herkömmlichen Schutzeinrichtungen untergebracht. Durch die BUS-Klemmen und die Datenschienenverbinder für den BUS-Anschluss ist die Montage leicht durchzuführen, und es ist eine hohe Kontaktzuverlässigkeit gegeben. Die BUS-Klemme, die die BUS-Geräte mit der BUS-Leitung verbindet, hat den Vorteil, dass ein Durchschleifen der BUS-Leitung möglich ist und beim Wechsel der Geräte der BUS nicht unterbrochen wird. Installationsdosen für Schaltereinbau müssen für Schraubbefestigung geeignet sein. BUS-Geräte und

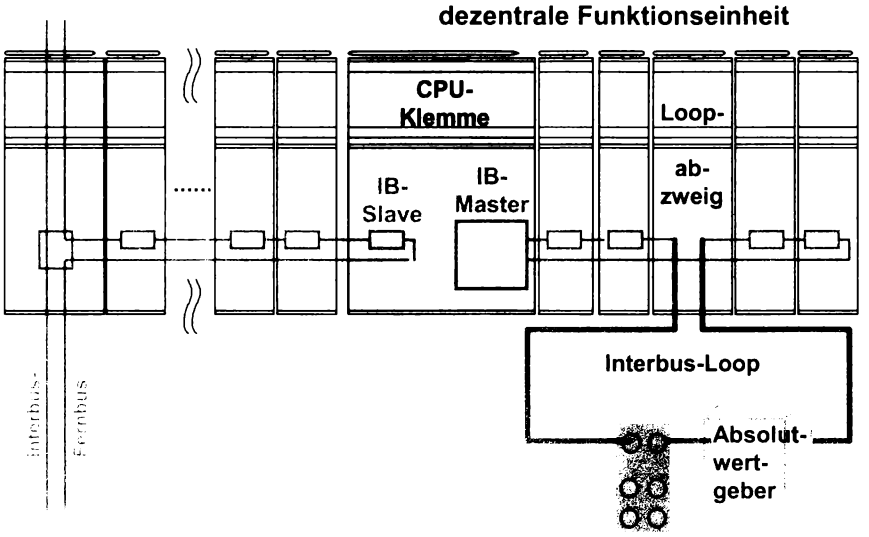



***Bild 9.11:*** *Mikrocontrollersystem für die Hutschienenmontage am Beispiel Interbus (Werkbild: Phoenix Contact)*

Geräte der Energieversorgung werden in handelsüblichen Verteilern gemeinsam installiert. Die Geräte des BUS-Netzes und die 230-V-Geräte des Starkstromteils sind sicher zu trennen, ggf. müssen eine zusätzliche Abdeckung oder Trennwände verwendet werden.

Wenn in dem Stromversorgungsgerät des BUS-Netzes kein Überstromschutz vorgesehen ist, muss ein Leitungsschutzschalter oder eine Sicherung vorgesehen werden, die der Strombelastbarkeit der Leitung des BUS-Netzes angepasst ist.

# 10 Schutz gegen elektromagnetische Störungen

VDE 0100-100, -444, -510

## 10.1 EMV-Gesetz

Das Gesetz *über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln* (EMVG) vom 26.02.2008, zuletzt geändert durch Artikel 461 der Verordnung vom 31. Aug. 2015 (Zehnte Zuständigkeitsanpassungsverordnung) (BGBl. I S. 1474), das der Umsetzung der EU-Richtlinie 2004/108/EG vom 15.12.2004 (vorher: 89/336/EWG) über die elektromagnetische Verträglichkeit dient, gilt für alle „Betriebsmittel", die elektromagnetische Störungen verursachen können oder deren Betrieb durch elektromagnetische Störungen beeinträchtigt werden kann. Betriebsmittel im Sinne des EMVGs sind *Geräte* und *ortsfeste Anlagen*. Bisher stand im Titel des EMVGs statt „Betriebsmittel" der Begriff „Geräte". Gemeint war dasselbe, nur dass nun der Begriff Gerät treffender ist; bisher fielen unter den Begriff Geräte auch die Anlagen, die nun abgegrenzt von Geräten sind. Das Gesetz regelt das Inverkehrbringen, Weitergeben, Inbetriebnehmen und Betreiben sowie den Umbau und das Anpassen solcher Betriebsmittel. *Elektromagnetische Störung* (EMI, s. Abschn. 10.3) ist jede elektromagnetische Erscheinung, die die Funktion eines Betriebsmittels (Gerät oder Anlage) beeinträchtigen könnte. Unter *elektromagnetischer Verträglichkeit* im Sinne des EMVGs versteht man die Fähigkeit eines Geräts, in der „elektromagnetischen Umwelt zufrieden stellend zu arbeiten, ohne elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für andere in dieser Umgebung vorhandene Betriebsmittel unannehmbar wären". Zu Geräten gehören u. a. neben informationstechnischen Geräten (Ton- und Fernsehrundfunkempfänger, mobile Funkgeräte, elektronische Unterrichtsgeräte) und Haushaltsgeräten auch Industrieausrüstungen, Leuchten und Leuchtstofflampen. *Ortsfeste Anlagen* im Sinne des EMVGs sind eine – wie es im Gesetz heißt – besondere Verbindung von Geräten unterschiedlicher Art oder weiteren Einrichtungen mit dem Zweck, auf Dauer an einem bestimmten Ort betrie-

ben zu werden. Da mit Betriebsmittel sowohl elektrische Geräte als auch Anlagen gemeint sind und der Anwendungsbereich des Gesetzes auch das Betreiben umfasst, muss auch der Planer und Errichter elektrischer Anlagen dieses Gesetz beachten.

Geräte und Anlagen müssen nach dem EMVG so entworfen, geplant und gefertigt werden, dass die von ihnen verursachte EMIs so niedrig sind, dass der bestimmungsgemäße Betrieb von Funk- und Telekommunikationsgeräten, aber auch von anderen Betriebsmitteln, nicht unmöglich gemacht wird. Umgebaute oder angepasste Geräte gelten als neue Geräte. Für diese gelten dann auch die genannten Anforderungen. Die elektrischen Anlagen (nach EMVG: ortsfeste Anlagen) müssen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik installiert werden. Diese sind natürlich die VDE-Bestimmungen und DIN-Normen, die zu dokumentieren sind. Für die ortsfesten Anlagen ist der Betreiber verantwortlich. Er hat die Dokumentation der Anlage – solange sie in Betrieb ist – für Kontrollen der Bundesnetzagentur (Marktaufsicht nach dem EMVG) zur Einsicht bereitzuhalten. Die Dokumentation muss dem aktuellen technischen Zustand der Anlage entsprechen.

## 10.2 EG-Konformitätserklärung und CE-Kennzeichnung

Der Errichter elektrische Anlagen darf nur Geräte einsetzen, für die vom Hersteller technische Unterlagen erstellt worden sind und eine EG-Konformitätserklärung vom Hersteller oder von dessen in der EU ansässigem Bevollmächtigten abgegeben worden ist. Zusätzlich müssen Geräte mit der CE-Kennzeichnung versehen werden. Ortsfeste Anlagen benötigen solch eine Konformitätserklärung und CE-Kennzeichnung nicht.

Die EG-Konformitätserklärung muss mindestens einen Verweis auf die EU-Richtlinie 2004/108/EG, die Identifizierung des Geräts, Namen und die Anschrift des Herstellers oder gegebenenfalls des Bevollmächtigten, Fundstellen der Gerätespezifikationen, Datum der Erklärung sowie Namen und Unterschrift des Herstellers oder Bevollmächtigten enthalten. Die CE-Kennzeichnung besteht aus den Buchstaben „CE“ CE (s. Abschn. 1.2.5.2). Das Kennzeichen, das mindestens 5 mm hoch sein muss, muss direkt auf dem Gerät oder auf dem Typenschild angebracht sein. Wenn das Anbringen auf dem Gerät nicht möglich ist, kann es auch auf der Verpackung oder auf den Begleitunterlagen dargestellt sein (s. Abschn. 1.2.5.2).

Sollte ein Gerät in eine Anlage eingebaut werden, das im Handel nicht erhältlich ist, braucht für das Gerät weder eine Konformitätserklärung vorliegen noch braucht das Gerät eine CE-Kennzeichnung besitzen. Dem Gerät sind aber Unterlagen beizufügen, aus denen sich ergibt, für welche ortsfeste Anlage das Gerät bestimmt

ist, unter welchen Voraussetzungen diese ortsfeste Anlage elektromagnetische Verträglichkeit besitzt und welche Vorkehrungen beim Einbau in diese ortsfeste Anlage zu treffen sind, damit keine schädlichen elektromagnetischen Störungen von dem Gerät ausgehen.

## 10.3 Allgemeine Maßnahmen gegen elektromagnetische Störungen

Eine elektrische Installation oder Anlage kann sowohl *Störquelle* als auch gestörtes Teil (*Störsenke*) sein. In der Praxis wird die Starkstromanlage als Störquelle überwiegen, weil elektronische und informationstechnische Einrichtungen aufgrund ihrer niedrigen Signal- und Spannungspegel empfindlicher gegen elektromagnetische Beeinflussungen sind. Nach VDE 0100-510 brauchen elektrische Betriebsmittel, die keine elektronischen Bauteile und Komponenten mit automatischen Schaltfunktionen enthalten, hinsichtlich ihrer Störaussendung nicht betrachtet zu werden, stellen dann also keine *Störquelle* dar, sofern für ihre direkte elektromagnetische Umgebung keine besonderen Anforderungen festgelegt sind.

Da aber der Anteil mikroprozessorgesteuerter starkstromtechnischer Geräte und Anlagen immer mehr zunimmt, werden auch vermeintlich unempfindliche starkstromtechnische Geräte zunehmend störungsempfindlicher. Beispiele sind Haushaltsgeräte, Leuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten, der elektronische Installationsbus, halbleitergesteuerte elektrische Antriebe und Steuerungen. Ebenfalls nach VDE 0100-510 können zwar elektrische Betriebsmittel, die keine elektronischen Bauteile enthalten, als nicht empfindlich gegenüber einer elektromagnetischen Beeinflussung angesehen werden, stellen also keine *Störsenke* dar. Sind solche Betriebsmittel jedoch mit anderen Betriebsmitteln verbunden, die elektronische Bauteile enthalten, sollte deren Störfestigkeit aber berücksichtigt werden.

Typische *Störquellen* der Starkstromtechnik sind Überspannungen und vorübergehend auftretende (transiente) Schaltspannungen aufgrund von Schalten von Strömen beliebiger Höhe, Stromänderungen, Ströme aufgrund von Fehlern (Kurzschlussströme) u. dgl. Deswegen sollen elektrische Betriebsmittel, die gegen elektromagnetische Störungen empfindlich sind, nicht in der Nähe von Quellen starker elektromagnetischer Felder angeordnet werden. Solche Quellen sind z. B. Schaltgeräte für induktive Lasten, elektrische Maschinen, Leuchtstofflampen, Schweißmaschinen, Gleichrichter, Schaltnetzteile, Frequenzumrichter (z. B. Wechselrichter), Regeleinrichtungen, Kompensationsanlagen, Aufzüge, Transformatoren, Schaltanlagen, Leistungsverteiler mit Stromschienen. Sozusagen ständige Störquellen sind aber auch betriebliche Ströme in der normalen Gebäudeinstallation aufgrund einer

zwar zulässigen, aber aus Sicht der elektromagnetischen Verträglichkeit falschen Anwendung der Netzform. Ein Beispiel ist das TN-C-System, bei dem die Schutzleiter- und die Neutralleiterfunktion in einem Leiter, dem PEN-Leiter, vereinigt sind.

Nach VDE 0100-100 müssen alle elektrischen Betriebsmittel den Anforderungen für eine geeignete elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) und den Anforderungen der einschlägigen EMV-VDE-Bestimmungen und -Normen entsprechen. Darüber hinaus muss der Planer und Errichter der elektrischen Anlagen Maßnahmen ergreifen, um die Wirkung induzierter Überspannungen und elektromagnetischer Störungen (EMI[1]) zu verringern. Maßnahmen sind insbesondere den VDE 0100-443 (Schutz bei Überspannungen infolge atmosphärischer Einflüsse oder von Schaltvorgängen) und -444 (Schutz bei Störspannungen und elektromagnetischen Störgrößen) zu entnehmen. Der Teil 444 der VDE 0100 (neu erschienen Okt. 2010, bisheriger Titel: Schutz gegen elektromagnetische Störungen (EMI) in Anlagen von Gebäuden) befasst sich direkt mit der elektromagnetischen Verträglichkeit und gibt Empfehlungen, wie elektromagnetische Störungen (EMI) vermieden oder vermindert werden können.

Mit Inkrafttreten der neuen VDE 0100-444:2010-10 sind wichtige Änderungen erfolgt. Zum einen ist sie praktisch vom Status eines „Technischen Berichts" der CENELEC bzw. IEC in den einer Norm (Übernahme des Europäischen Harmonisierungsdokuments) geändert worden und zum anderen werden die Anforderungen an neu zu errichtende Gebäude und an bestehende Gebäude deutlich herausgestellt. Nicht mehr verwendet wird der Begriff *Koppelschleife*, sondern durchgängig nur noch der Begriff *Induktionsschleife*. In der bisherigen Ausgabe wurden beide Begriffe gleichbedeutend verwendet.

Bei der Planung und Errichtung elektrischer Anlagen ist eine Reihe von Maßnahmen zu beachten. Dazu müssen unbedingt vor der Errichtung zwischen Anwender (Betreiber, Bauherr), Planer und Errichter der elektrotechnischen und informationstechnischen Anlagen eingehende Gespräche hinsichtlich Ziel, Zweck, Nutzen und wirtschaftlicher Vertretbarkeit der Maßnahmen geführt und Festlegungen getroffen werden. Im Hinblick auf die Verlegung ausgedehnter metallener Gebäudeteile und Rohrleitungen sollten dazu auch die Planer und Errichter der nicht elektrotechnischen Gewerke hinzugezogen werden. Unter Umständen sind Forderungen der Sachversicherer in die Überlegungen einzubeziehen und der fachliche Rat spezieller Fachleute der EMV einzuholen. Eine wahllose Anwendung der im Folgenden genannten Maßnahmen sollte schon aus wirtschaftlichen Gründen vermieden werden. Gerade deshalb sind Entscheidungen in der Konzeptions- und Planungsphase von größter Wichtigkeit; Nachrüsten und nachträgliches Ändern

1 EMI ist die Abkürzung des englischen Ausdrucks **e**lectro**m**agnetic **i**nfluences (elektromagnetische Einflüsse).

sind immer aufwändiger. Maßnahmen, die elektromagnetische Störungen mindern, sind im Einzelnen:

- Anordnen von Störquellen außerhalb von Bereichen, in denen empfindliche Betriebsmittel angeordnet sind;
- Anordnen von empfindlichen Betriebsmitteln außerhalb des Beeinflussungsbereichs von z. B. Laststationen, Transformatorstationen, Stromschienen, Betriebsmitteln großer Leistung;
- Einbau von Filtern und/oder von Überspannungsschutzeinrichtungen in Stromkreisen, die EMI-empfindliche Betriebsmittel der Energie- und Informationstechnik versorgen;
- Auswahl von Schutzeinrichtungen mit hinsichtlich Zeitverzögerung geeigneter Charakteristik, um unerwünschtes Auslösen bei kurzzeitig auftretenden (transienten) Überspannungen zu vermeiden;
- Potenzialausgleich für metallene Umhüllungen und Schirmungen;
- ausreichende räumliche Trennung (Abstand, Schirmung) von Energieleitungen und Leitungen der Informationstechnik;
- rechtwinkliges Kreuzen (soweit praktikabel) von Energieleitungen (-kabeln) und Leitungen (Kabeln) der Informationstechnik;
- ausreichende räumliche Trennung (Abstand, Schirmung) der Energieleitungen und Leitungen der Informationstechnik von Ableitungen der Blitzschutzanlage oder Verwenden einer Schirmung (Mindestabstand muss durch Planer/Errichter des Blitzschutzsystems bestimmt werden (s. Kap. 17);
- Verwenden geschirmter Leitungen der Informationstechnik; hierbei sollte darauf geachtet werden, Fehlerströme durch den geerdeten Schirm oder den geerdeten Leiter der Leitungen (Kabel) der Informationstechnik zu begrenzen, z. B. durch zusätzliche Leiter (Parallelerdungsleiter zur Verstärkung des Schirms);
- Verwenden von symmetrischen Mehraderkabeln und -leitungen (z. B. geschirmten Kabeln und Leitungen mit getrennten Schutzleitern) für die elektrischen Verbindungen zwischen Umrichtern und Motoren bei frequenzgesteuerten Antrieben;
- Verwenden von Leitungen und Kabeln der Informationstechnik mit verdrillten Aderpaaren;
- Verwenden von Leitungen und Kabeln der Informationstechnik entsprechend den EMV-Anforderungen der Hersteller (z. B. Betriebsanleitungen);
- Vermeiden von Induktionsschleifen durch gemeinsame Kabel- und Leitungswege und -trassen der Stromversorgungs-, Signal- und Datenübertragungsstromkreise;

- Verwenden von Kabeln und Leitungen mit konzentrischen Leitern, um das Induzieren von Strömen in den Schutzleiter zu reduzieren;
- Verlegen von Kabeln und Leitungsanlagen mit einadrigen Kabeln und Leitungen in metallenen Umhüllungen, die in den Potenzialausgleich einzubeziehen sind;
- Potenzialausgleichsverbindungen sollten eine möglichst niedrige Impedanz haben (möglichst so kurze Verbindungen wie möglich; Querschnittsform der Verbindungsleitungen mit – auf die Leiterlänge bezogen – niedriger induktiver Reaktanz und Impedanz pro Meter);
- bei TN-Systemen Anwenden des TN-S-Systems (s. Abschn. 10.4);
- Einführen von Kabeln und metallenen Rohrleitungen (z. B. für Gas, Wasser oder Heizung) an derselben Stelle und auf möglichst engem Raum ins Gebäude (s. Abschn. 10.4);
- Einsatz von metallfreien Übertragungsleitungen der Informationstechnik (Glasfaserleitungen) zum Vermeiden von Potenzialunterschieden bei verschiedenen Potenzialausgleichsbereichen getrennter Potenzialausgleichssysteme, z. B. auseinander liegender Gebäude.

## 10.4 EMV in TN-Systemen

Von den üblicherweise genutzten Netzsystemen (TN, TT, IT) ist das am weitesten verbreitete TN-System hinsichtlich der EMV auch das problematischste, wenn nur ein PEN-Leiter verlegt wird. Bei TN-Systemen sollte deshalb unbedingt bei Leiterquerschnitten $\geq 10\ mm^2$ Cu das *TN-S-System* (getrennter Neutral- und Schutzleiter) anstelle des TN-C-Systems angewendet werden – möglichst vom Hauptverteiler oder sogar von der Speisequelle (Transformator) an.

*TN-C-Systeme* haben den Nachteil, dass geerdete Leiterbahnen wegen des gemeinsamen Schutz- und Neutralleiters nicht nur im Fehlerfall, sondern auch betriebsmäßig Strom führen, der unkontrollierte Wege nehmen kann. Deswegen besteht vor allem aus Gründen der EMV für Krankenhäuser und bestimmte medizinisch genutzte Räume außerhalb von Krankenhäusern (zu EMI s. auch Abschn. 14.10.9) nach VDE 0100-710 (früher: VDE 0107) der Zwang, vom Hauptverteiler des Gebäudes an keinen PEN-Leiter zu verwenden, sondern schon ab hier in Schutz- und Neutralleiter aufzutrennen, d. h. das TN-S-System anzuwenden. Dies gilt in medizinisch genutzten Gebäuden *bei Vorhandensein* einer zentralen Stromversorgung (Stromquellen für Sicherheitszwecke und Transformatorenstation) ab dem den Transformatoren und Stromquellen folgenden Hauptverteiler und in Gebäuden mit medizinisch genutzten Bereichen der Gruppe 2 *ohne* zentrale Stromversorgung (z. B. ambulante medizinische Bereiche) ab dem Hauptverteiler des Gebäudes.

Ebenso ist das TN-S-System ab dem Hauptverteiler in Gebäuden ohne zentrale Stromversorgung mit medizinisch genutzten Bereichen der Gruppe 0 und 1 anzuwenden, wenn als Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen (Schutz bei indirektem Berühren oder Fehlerschutz) Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung angewendet wird.

Um die elektromagnetischen Beeinflussungen infolge der Verschleppung von Neutralleiterströmen auf informationstechnische Leitungen und Einrichtungen zu minimieren, gilt:

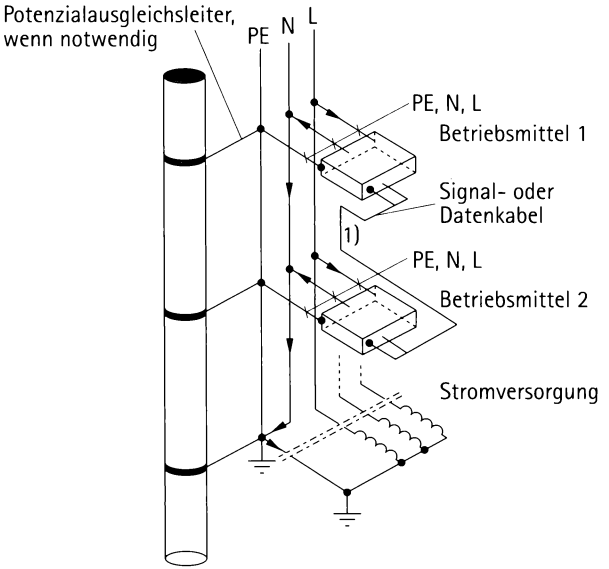
TN-C-Systeme

- sind nicht zulässig in *neu zu errichtenden* Gebäuden,
- sollten nicht beibehalten werden in *bestehenden* Gebäuden,

wenn in den Gebäuden – wie es in VDE 0100-444 heißt – eine wesentliche Anzahl von informationstechnischen Betriebsmitteln enthalten ist oder voraussichtlich enthalten sein wird.

TN-S-Systeme

- sind in *neu zu errichtenden* Gebäuden *von der Einspeisung* an vorgeschrieben. Nach VDE 0100-444:2010-10 wird das TN-S-System bedingungslos gefordert, d. h., es wird nicht die Einschränkung gemacht, dass das Gebäude eine wesentliche Anzahl von informationstechnischen Betriebsmitteln enthält oder voraussichtlich enthalten wird. Diese Einschränkung muss aber gemacht werden, weil sonst zum einen die Forderung ohne Bedingungen der oben gemachten Aussage zum TN-C widerspräche und zum anderen die Forderung ohne Bedingungen über die Anforderung der VDE 0100-410 zusammen mit VDE 0100-540 hinausginge, wonach ab einem Querschnitt 10 $mm^2$ Cu in fest installierten elektrischen Anlagen ein PEN-Leiter, d. h. das TN-C-System erlaubt ist. Das zuständige Normengremium der DKE befasst sich zu dieser Problematik der aktuellen VDE 0100-444 und wird eine Aussage dazu machen. Unabhängig davon, ist die Anwendung des TN-S-Systems ohne bestimmte Voraussetzung im gesamten Gebäuden zu empfehlen;
- sollten in *bestehenden* Gebäuden, die eine wesentliche Anzahl von informationstechnischen Betriebsmitteln enthalten oder voraussichtlich enthalten werden, errichtet werden
  - *ab dem Anfang der Installationsanlage* (z. B. Hauptverteiler) des Gebäudes, wenn die Gebäude aus einem öffentlichen Niederspannungsnetz versorgt werden (**Bild 10.1**), oder
  - wenn in den Gebäuden die vollständige Niederspannungsanlage einschließlich des Transformators nur durch den Anlagennutzer betrieben wird.




1) Induktionsschleife, die durch Signal- oder Datenleitungen gebildet wird

***Bild 10.1:*** *Neutralleiterströme in einem TN-S-System bei Versorgung aus der öffentlichen Stromversorgung (Quelle: VDE 0100-444)*

In vielen Gebäuden wird das TN-System gemischt als *TN-C-S-System* angewendet. Hier können als Schutz gegen Störungen zwei Möglichkeiten erwogen werden:

- das Vermeiden von „TN-C-Abschnitten" im TN-C-S-System des Verteilersystems und der Endstromkreise, was nach VDE 0100-540 sowieso nicht erlaubt ist, und
- das Vermeiden von Induktionsschleifen (bisher auch Koppelschleifen genannt) zwischen verschiedenen „TN-S-Abschnitten" im TN-C-S-System eines Gebäudes.

Die Induktionsschleifen (bisher auch Koppelschleifen genannt) können wie folgt zustande kommen: Ein vom TN-C-Abschnitt abgehender Stromkreis mit getrenntem Neutral- und Schutzleiter (TN-S-System) speist ein Betriebsmittel und ist z. B. über einen Schutzpotenzialausgleichsleiter mit einem fremden leitfähigen Teil (z. B. Rohrleitung) verbunden. Ein zweiter vom TN-C-Abschnitt abgehender Stromkreis speist ein anderes Betriebsmittel, das ebenfalls über einen Schutzpotenzialausgleichsleiter mit demselben fremden leitfähigen Teil (z. B. derselben

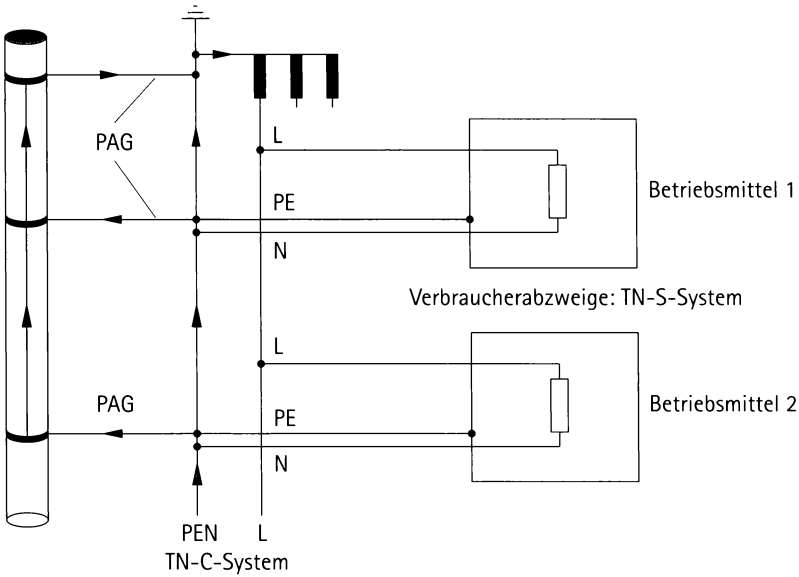



***Bild 10.2:*** *TN-C-S-System in einem Gebäude: Vermeiden von Induktionsschleifen der Kabel und Leitungsanlagen zwischen verschiedenen „TN-S-Abschnitten"*

Rohrleitung) verbunden ist. Durch die Schleife Neutralleiter des Betriebsmittels 1 → PEN-Leiter des TN-C-Abschnitts → gemeinsamer Potenzialausgleich → PEN-Leiter des TN-C-Abschnitts → Neutralleiter des Betriebsmittels 2 kann es zu vagabundierenden (abzweigenden) Neutralleiterströmen kommen, die Beeinflussungen hervorrufen, entweder durch die direkte, galvanische Verbindung der geerdeten PEN- und Schutzpotenzialausgleichsleiter und Schirme von Leitungen der Informationstechnik oder durch Induktion von den Leitern des TN-Systems auf die Leitungen der Informationstechnik (Signal- und/oder Datenleitungen) aufgrund der beschriebenen Schleifenbildung (**Bild 10.2**).

## 10.5 EMV-Maßnahmen bei in Gebäude eingeführten Versorgungseinrichtungen

Weitere Maßnahmen, störende Beeinflussungen von informationstechnischen Einrichtungen zu vermeiden oder zu vermindern, sind:

- In jedem Gebäudeabschnitt oder Stockwerk eines Gebäudes, in dem informationstechnische Anlagen vorgesehen sind, wird ein *Potenzialausgleich* ausgeführt, in den vom jeweiligen Gebäudeabschnitt oder Stockwerk Schutzleiter, metallene Rohrsysteme (Wasser, Gas, Heizung, Klimaanlage) und Metallteile der Gebäudekonstruktion – soweit möglich – einbezogen werden.
- Kabel und metallene Rohrleitungen (Wasser, Gas, Heizung, Klimaanlage) werden an derselben Stelle und auf möglichst engem Raum in das Gebäude eingeführt. Metallene Kabel- und Leitungsmäntel, Kabel- und Leitungsschirme, metallene Rohrleitungen werden untereinander verbunden und an den *Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene* (*Hauptpotenzialausgleich*) des Gebäudes angeschlossen (**Bild 10.3**).

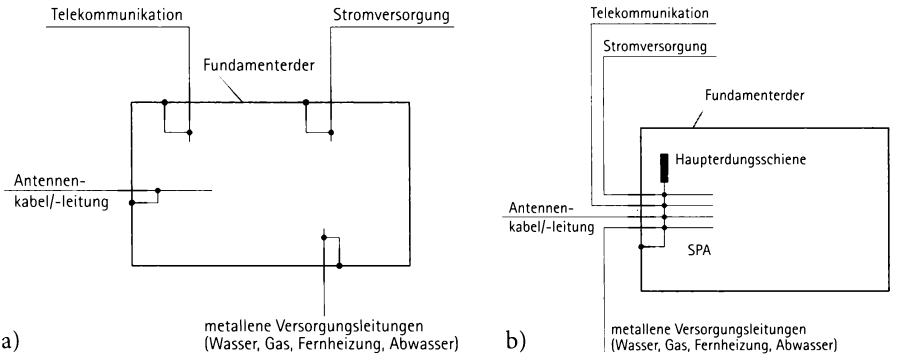



***Bild 10.3:*** *Einführen von Kabeln und Leitungen sowie metallenen Rohrleitungen in ein Gebäude*
a) unzweckmäßiges Einführen bewehrter Kabel und Leitungen sowie metallener Rohrleitungen in ein Gebäude an verschiedenen Stellen
b) gemeinsames Einführen bewehrter Kabel und Leitungen sowie metallener Rohrleitungen in ein Gebäude
SPA: Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene (früher: Hauptpotenzialausgleich)

## 10.6 EMV-Maßnahmen in bestehenden Gebäuden

In bestehenden Gebäuden nur mit dem PEN-Leiter (TN-C-System) oder in Gebäuden, in denen die beschriebenen Vorkehrungen gegen elektromagnetische Störungen in den elektrischen Anlagen unzureichend sind, oder in bestehenden Gebäuden, in die erst nachträglich wichtige Anlagen der Informationstechnik eingebaut worden sind, können folgende Maßnahmen zur Vermeidung oder Verminderung elektromagnetischer Störungen vorgenommen werden:

- Verwenden von *faseroptischen Systemen* (Glasfasertechnik) für Verbindungen von Einrichtungen der Informationstechnik;
- Verwenden von elektrischen *Betriebsmitteln mit doppelter oder verstärkter Isolierung (Betriebsmittel der Schutzklasse II)*;
- geschirmte und/oder verdrillte Leiterpaare von Signalleitungen;
- Verwenden örtlicher *Transformatoren mit getrennten Wicklungen* für die Versorgung von Betriebsmitteln der Informationstechnik, wobei der Sekundärstromkreis vorzugsweise als TN-S-System ausgeführt sein soll. Als Schutz gegen elektrischen Schlag kann das *IT-System* (s. Abschn. 5.6.4) oder die *Schutztrennung* mit nur einem Verbrauchsmittel (s. Abschn. 5.8) angewendet werden;
- Verlegen von Kabeln und Leitungen derart, dass die eingeschlossene Fläche, die aus der gemeinsamen Schleife von Kabeln und Leitungen der elektrischen Energieversorgung und der Informationstechnik gebildet wird, so klein wie möglich gehalten wird;
- gemeinsame Leitungswege mit geeigneter Trennung oder Abtrennungen und Vermeiden von Leiterschleifen;
- Verwenden eines geerdeten Leiters parallel zur Leitung oder zum Kabel;
- örtlich horizontales Verbindungssystem der Potenzialausgleichsanlage in Gebäuden mit mehreren Stockwerken.

# 11 Elektrische Betriebs- und Verbrauchsmittel

## 11.1 Allgemeines

*Elektrische Betriebsmittel* ist der Oberbegriff für alle Gegenstände, die Bestandteil einer elektrischen Anlage sind, und zwar vom Stromerzeuger bis zum Stromverbrauchsgerät. Dagegen sind *elektrische Verbrauchsmittel* diejenigen elektrischen Betriebsmittel, mit denen elektrische Energie in andere Energieformen (Licht, Wärme, mechanische Energie usw.) umgewandelt wird.

Betriebsmittel, die während des Betriebs bewegt werden oder die leicht von einem Platz zu einem anderen gebracht werden können, während sie an den Versorgungsstromkreis angeschlossen sind, nennt man *ortsveränderliche Betriebsmittel* bzw. *ortsveränderliche elektrische Betriebsmittel.* Wird das Betriebsmittel während des üblichen Gebrauchs in der Hand gehalten, nennt man es auch *Handgerät* oder *elektrisches Handgerät.*

Elektrische Betriebs- und Verbrauchsmittel müssen den für sie geltenden VDE-Bestimmungen entsprechen. Es ist darauf zu achten, dass jedes Gerät Ursprungs- und Typzeichen trägt, soweit erforderlich mit den Bemessungsgrößen (z. B. Bemessungsspannung, -strom, -leistung, -frequenz) gekennzeichnet ist und dass die *CE-Kennzeichnung* vorhanden ist. Diese Kennzeichnung, bestehend aus dem *CE-Zeichen*, muss auf dem elektrischen Betriebsmittel, – sollte dies nicht möglich sein – auf der Verpackung. der Gebrauchsanleitung oder dem Garantieschein sichtbar und leserlich zu finden sein. Die CE-Kennzeichnung sagt aus, dass die Kennzeichnung den Bestimmungen der EG-Richtlinie und dem Konformitätsbewertungsverfahren nach der Richtlinie entspricht (s. Abschn. 1.2.5.2). Eine andere Kennzeichnung als die CE-Kennzeichnung darf angebracht werden, wenn sie die Sichtbarkeit und Lesbarkeit der CE-Kennzeichnung nicht beeinträchtigt. Kennzeichnungen, durch die man hinsichtlich der Bedeutung und des Schriftbilds der CE-Kennzeichnung irregeführt werden kann, sind nicht erlaubt.

Falls ein Gerät eine entsprechende Sicherheitsprüfung durch eine *Prüfstelle* („GS-Prüfstelle", z. B. VDE, TÜV, BG) hat, kann auch das *GS-Zeichen* („geprüfte Sicherheit") angebracht werden, aber nur, wenn eine aufgrund einer Baumusterprüfung ausgestellte Bescheinigung vorliegt und über das Verwenden des GS-Zeichens mit der Prüfstelle ein entsprechender Vertrag besteht. Das GS-Zeichen oder auch andere Zeichen dürfen aber nicht im direkten Zusammenhang mit dem CE-Zeichen verwendet werden. Wichtig ist: Die CE-Kennzeichnung muss vorhanden sein, und sie wird vom Hersteller vorgenommen. Dagegen beruht die Vergabe des GS-Zeichens auf einer freiwilligen Vereinbarung zwischen dem Hersteller und einer Prüfstelle, die die Herstellung überwacht.

Die Betriebsmittel müssen entsprechend der Kurzschlussbeanspruchung an der Einbaustelle ausgewählt werden. Durch Wahl einer geeigneten Bauart muss verhindert werden, dass Umgebungstemperatur, Feuchtigkeit, Staub, Gase, Dämpfe und mechanische Beanspruchung am Verwendungsort auf die Betriebsmittel schädigend einwirken können. Die Betriebsmittel sind so aufzustellen, dass das Einführen der erforderlichen Anschlussleitungen und das Anschließen fachgerecht vorgenommen werden können. Um die gewählte Schutzart, z. B. IP54, zu erhalten, sind die Leitungseinführungen abzudichten und nicht benötigte Öffnungen zu verschließen.

Betriebsmittel, die bedient oder gewartet werden müssen, sind an leicht zugänglichen Stellen anzuordnen.

Soweit Verbrauchsmittel nicht ein- oder angebaute Schalter enthalten oder über Steckvorrichtungen angeschlossen werden, die zum Schalten unter Last geeignet oder verriegelt sind, müssen in der ortsfesten Installation *Schalter* angeordnet werden. Auch Leitungsschutzschalter und Motorstarter sowie Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) sind dafür geeignet. Der Schalter muss jedoch einem bestimmten Verbrauchsmittel zugeordnet sein, darf also z. B. nicht mehreren, voneinander unabhängigen Geräten gleichzeitig dienen. Bei motorisch betriebenen Geräten müssen die Schalter und zum Schalten dienenden Steckvorrichtungen vom Stand des Bedienenden aus leicht erreichbar sein.

Innerhalb von Hausinstallationen dürfen nur solche elektrischen Betriebsmittel verwendet werden, die im Fall eines Körperschlusses keinen *unzulässigen Gleichstromanteil im Fehlerstrom* verursachen. Zulässig ist ein reiner Fehlergleichstrom von 6 mA oder ein derart pulsierender Fehlerstrom, der während einer Periode der Netzfrequenz null oder nahezu null wird. Außerhalb von Hausinstallationen dürfen auch solche elektrischen Betriebsmittel verwendet werden, die im Fall eines Körperschlusses einen unzulässigen Gleichstromanteil im Fehlerstrom enthalten, soweit sie fest an das Netz angeschlossen sind und nicht durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) geschützt werden. Betriebsmittel, die im Fall eines Körper-

schlusses einen unzulässigen Gleichstromanteil im Fehlerstrom verursachen, sind durch den Hersteller sichtbar und dauerhaft zu kennzeichnen.

Im Handbereich zugängliche Teile elektrischer Betriebsmittel dürfen, sofern in speziellen Normen, z. B. für Elektroherde, nicht anders lautende Werte festgelegt sind, keine Oberflächentemperaturen erreichen, die Verbrennungen verursachen können. Als *Grenztemperaturen* gelten

- für Teile, die beim Betrieb in der Hand gehalten werden, 55 °C, wenn sie aus Metall sind, sonst 65 °C,
- für Teile, die berührt werden müssen, 70 °C, wenn sie aus Metall sind, sonst 80 °C,
- für Teile, die bei normalem Betrieb nicht berührt werden, 80 °C, wenn sie aus Metall sind, sonst 90 °C. Solche Betriebsmittel müssen gegen zufälliges Berühren gesichert sein, auch wenn sie die genannten Temperaturen nur kurzzeitig überschreiten können.

## 11.2 Schalter und Steckvorrichtungen

VDE 0100-537 und -550

### 11.2.1 Schalter

Handbetätigte Schalter für Installationen im Haushalt oder für ähnliche ortsfeste Installationen werden nach VDE 0632 gebaut. Dazu gehören alle Arten von Schaltern für die Elektroinstallation, Taster, elektronische Schalter, Fernschalter und Zeitschalter. Es gibt 1-, 2- und 3-polige Schalter mit Ein-Aus-Stellung, die in der Regel als Aus-Schalter verwendet werden. Weiter gibt es 3-polige Schalter mit geschaltetem Neutralleiter, 1- und 2-polige Wechselschalter, 1-polige Serienschalter, Gruppenschalter und Kreuzschalter. Schalter werden als Dreh-, Kipp-, Wippen-, Druck- und Zugschalter in Aufputz-, Unterputz- und Imputzausführung, für Schalttafeln und Türrahmen gebaut. Sie werden mit Schraubanschlussklemmen, mit schraubenlosen Anschlussklemmen nur für starre sowie für starre und flexible Leiter geliefert. Trenner, Sicherungen und Trennlaschen dürfen nicht für betriebsmäßiges Schalten verwendet werden.

Neben den bekannten Symbolen für Bemessungsstrom (A), Bemessungsspannung (V), IP-Schutzart und Schutzleiterzeichen (⏚) haben Symbole auf Schaltern folgende Bedeutung:

AX Leuchtstofflampen-Bemessungsstrom in A,

~ Wechselstrom (das Symbol „AC" wird nach der neuen Norm nicht mehr verwendet),

N Neutralleiter,

L Außenleiter,

○ „Aus"-Stellung, (nur für Schalter mit normaler Kontaktöffnung)

| „Ein"-Stellung,

m Ausführung mit Mini-Kontaktöffnung,

μ Ausführung mit Mikrokontakt,

zusätzliche Aufschriften für elektronische Schalter sind die Scheinleistung (VA), die Wirkleistung (W) und die Frequenz (Hz) sowie außerdem die Symbole:

 nur für Glühlampenbelastung (ohmsche Belastung),

 für Leuchtstofflampen,

 Anschluss für gesteuerte Last,

 Motorbelastung.

Zusätzliche Symbole bei elektronischen Schaltern können für elektronische und Eisenkern-Transformatoren für Kleinspannungs-Glühlampen (z. B. Halogenlampen) vorhanden sein (Trafo-Symbol mit Glühlampensymbol). Außerdem kann der Bemessungswert und Typ von Sicherungen als Symbol angegeben sein. Weiter besondere Symbole müssen in den Einbauanleitungen erklärt werden.

*Beispiel* für die Bezeichnung von Strom, Spannung und Stromart:

10X/250~ oder $\frac{10X}{250\sim}$: 10 A Leuchtstofflampen-Bemessungsstrom (X), AC 250 V.

An *Schraubklemmen* dürfen nur eindrähtige Leiter angeschlossen werden. Fein- oder mehrdrähtige Leiter brauchen Leiterendhülsen, Anschlussstifte o. dgl. Sollen, z. B. zum Durchschleifen, an eine Schraubklemme bis 16 A zwei Leiter angeschlossen werden, so müssen Verbindungsklemmen gewählt werden. *Schraubenlose Klemmen* sind nur für Installationsschalter bis 16 A sowie für Lichtdrücker und nur für den Anschluss von Leitungen mit 1,5 $mm^2$ und 2,5 $mm^2$ Querschnitt zulässig.

Schalter, die zum Freischalten verwendet werden, müssen alle Außenleiter gleichzeitig schalten und ein ausreichendes Schaltvermögen haben (s. auch Abschn. 7.5).

*Einpolige Schalter* in fest verlegten Leitungen müssen im nicht geerdeten Leiter angeordnet sein. Es bestehen aber keine Bedenken, Taster für die Betätigungsspulen von Zeitautomaten, z. B. solche für Hausbeleuchtungsanlagen, auch in den

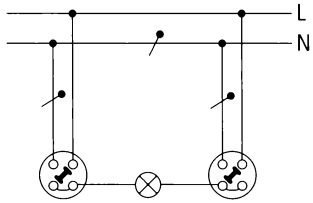



***Bild 11.1:*** *Gefährliche Sparschaltung*

Neutralleiter zu legen. Hier gilt der Schalter im Zeitautomaten als der Schalter im Sinne dieser Bestimmungen. Bei Wechselschaltung dürfen die beiden Leiter des Stromkreises nicht an einpolige Wechselschalter angeschlossen werden (**Bild 11.1**); sog. Sparschaltungen sind also unzulässig.

Bei *Farbkennzeichnung* von Druckknöpfen sind für die Start- oder Ein-Druckknöpfe (Bedienteile) vorzugsweise die Farben schwarz, weiß oder grau anzuwenden. Bei Stop-/Aus-Bedienteilen sind weiß, grau und schwarz bevorzugte Farben. Schwarz sollte an erster Stelle genommen werden; rot ist auch erlaubt. Für Gefahrensituationen (Not-Stop-/Aus-Schalter ist nur die Farbe rot erlaubt. Der Einschaltzustand kann durch einen weißen Leuchtmelder, der Ausschaltzustand nur durch die Farbe grün (sicherer Zustand) angezeigt werden (VDE 0199).

Ein | (Strich) auf oder neben einem Druckknopf bedeutet „Einschalten", ein ○ (Kreis) dagegen „Ausschalten". Die Zeichen können durch Wörter ersetzt oder ergänzt werden, z. B. „Auf", „Ab". Bei *Leuchttastern* ist der Leuchtmelder im Taster unmittelbar eingebaut. Dabei ist die Farbe des Ein-Knopfes weiß oder klar, grün ist auch erlaubt, und rot ist verboten. Der Aus-Knopf (Gefahrenknopf) muss ein besonderer, rot gekennzeichneter Drucktaster sein; ein Leuchttaster ist für ihn nicht zulässig. Farben der Leuchtmelder s. Abschn. 7.12.

Wenn mehrere Drucktaster vorhanden sind, ist der Aus-Knopf immer unten bzw. links anzuordnen. Bei einem Wendebetrieb mit drei Drucktastern kann der Aus-Taster auch in der Mitte angeordnet sein.

VDE 0632-2-1 enthält die Bestimmungen für elektronische Schalter bis AC 250 V und einen Bemessungsstrom bis 16 A. *Elektronische Schalter* ist der Oberbegriff für Schalt- und Steuergeräte. Hierbei gehören elektronische Schalter zur Helligkeitssteuerung von Leuchten (*Dimmer*) und Schalter zur Drehzahlsteuerung von Motoren (*Drehzahlsteller*) zu den elektronischen Steuergeräten. Sie dienen als Installationsschalter zum direkten oder indirekten Ändern der Leistungsaufnahme von Lampen (Dimmer) oder von Motoren und damit der Drehzahl. Die Schalter dienen zur Verwendung als Installationsschalter zum direkten oder indirekten Schalten von Lampenstromkreisen, jedoch nicht zum Freischalten von Stromkreisen.

## 11.2.2 Steckvorrichtungen

VDE 0100-550

Für den Anschluss elektrischer Betriebsmittel dürfen nur Steckvorrichtungen nach Reihe VDE 0620 (allgemeine Wechselstromsteckvorrichtungen) oder Reihe VDE 0623 (industrielle Anwendungen) verwendet werden. Steckdosen nach VDE 0620-1 gibt es mit oder ohne Schutzkontakt. Je nach Schutzmaßnahme gegen elektrischen Schlag müssen *Schutzkontaktsteckdosen* verwendet werden. Die Befestigungsmittel von Steckdoseneinsätzen für Unterputzinstallation müssen so ausgeführt sein, dass die Steckvorrichtung beim Ziehen des Steckers nicht aus ihrer Verankerung gerissen werden kann. Eine Schraubenbefestigung ist daher einer solchen mit Krallen vorzuziehen. Beim Einbau von Schalter- und Steckdoseneinsätzen muss darauf geachtet werden, dass die Aderisolierung der Anschlussleitungen durch die Befestigungsmittel nicht beschädigt wird.

*Drehstromsteckdosen* müssen so angeschlossen werden, dass sich ein Rechtsdrehfeld ergibt, wenn man die Steckbuchsen von vorn im Uhrzeigersinn bzw. von links nach rechts betrachtet. Auch die Verlängerungsleitungen müssen entsprechend gebaut sein.

Stecker und Steckdosen sind im Leitungszug so unterzubringen, dass die Steckerstifte in nicht gestecktem Zustand nicht unter Spannung stehen (**Bild 11.2**).

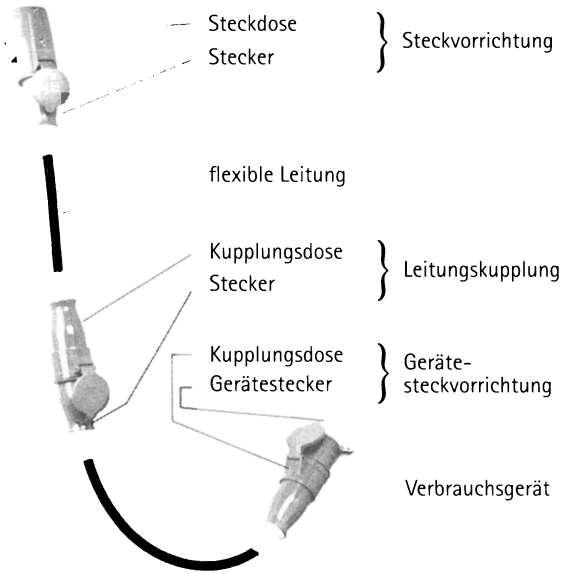



***Bild 11.2:*** *Steckverbindungen, Anordnungen und Begriffe (Werkbild: Mennekes)*

Sind Starkstromsteckdosen mit Anschlussdosen für Fernmeldeeinrichtungen kombiniert, so sind getrennt abnehmbare Abdeckungen erforderlich. Eine gemeinsame Abdeckung ist nur zulässig, wenn nach Entfernen der Abdeckung mindestens der Starkstromteil gegen direktes Berühren geschützt bleibt.

### 11.2.3 Steckvorrichtungssysteme

Reihe VDE 0620, Reihe VDE 0623, Reihe VDE 0625

Für den Netzanschluss elektrischer Betriebsmittel dürfen allgemein nur Steckvorrichtungen verwendet werden, die in der Übersichtsnorm DIN 49400 aufgeführt sind. Einige dieser Steckvorrichtungen werden im Folgenden erklärt.

Der 2-polige *Europa-Flach-* oder *-Rundstecker* 2,5 A nach CEE-Publikation 7 und DIN 49464 kann in allen europäischen Ländern verwendet werden (**Bild 11.3**). Durch schräg stehende teilisolierte Stifte wird ein ausreichender Kontakt auch bei unterschiedlichen Steckdosen gewährleistet. Er wird mit den Leitungen H03VH-H (inzwischen aus der Normung gestrichen), H03VV-F und H05VV-F geliefert.

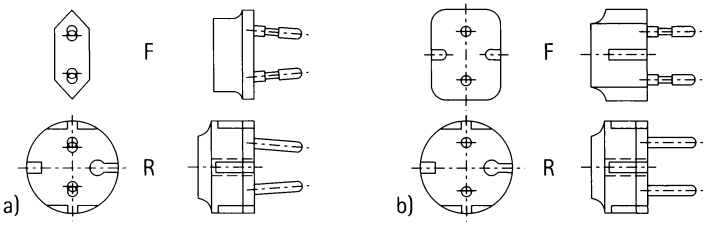



***Bild 11.3:*** *Flachstecker (F) und Rundstecker (R) nach DIN 49464 und DIN 49406-1*
a) für AC 250 V, 2,5 A; b) für AC 250 V, 16 A bzw. DC 250 V, 10 A

Für Geräte der Schutzklasse II mit Bemessungsströmen > 2,5 A gibt es nach DIN 49406 ebenfalls 2-polige Flach- und Rundstecker mit einem Bemessungsstrom von 10 A bzw. AC 16 A (**Bild 11.3**). Den gleichen Bemessungsstrom haben die 2-poligen Schutzkontaktstecker nach DIN 49441 mit seitlich angeordneten Schutzkontakten.

In Hausinstallationen müssen 2-polige Steckdosen bis 16 A, 250 V, (abgedeckt, mit Schutzkontakt) Reihe DIN 49440 entsprechen. Für Stecker und Kupplungsdosen nach Reihen DIN 49440/41 gibt es die Bauart für *erschwerte Bedingungen*, z. B. für Baustellen und sonstige raue Betriebe. Sie sind mit dem Bildzeichen ⛉ gekennzeichnet. Diese Steckvorrichtungen sind spritzwassergeschützt ⚠ und für den Anschluss von schweren Schlauchleitungen mit Polychloroprenmantel oder Mantel aus gleichwertigem synthetischen Gummi (Elastomer) H07RN-F, mindes-

tens 3 × 1 mm², und Gummischlauchleitungen NSSHÖU, mindestens 3 × 1,5 mm² geeignet (Reihe VDE 0620). Stecker und Kupplungen werden auch für 3 × 2,5 mm² mit angeformtem Dichtungskragen sowie mit Verschlussdeckel angeboten. Die Kupplung ist damit auch im ungesteckten Zustand spritzwassergeschützt.

Als *Drehstromsteckvorrichtungen* dürfen nur solche für industrielle Anwendungen nach VDE 0623-1, -2, -3 und -4 verwendet werden, es sei denn, es handelt sich um Hausinstallationen (s. Bild 11.12). Diese Steckvorrichtungen (**Bild 11.4**) nach Reihe VDE 0623 (DIN EN 60309), für die vorher die inzwischen ungültigen Normen DIN 49462 Teile 1 bis 3, DIN 49463 Teile 1 und 2 und DIN 49465 Teile 1 bis 4 gegolten haben, wurden – und werden in Praktikerkreisen auch noch – nach der damals geltenden CEE-Publikation 22, die für die Herstellung der damals neuen Kragensteckvorrichtungen maßgebend war, als *CEE-Steckvorrichtungen* bezeichnet. Steckvorrichtungen nach den alten Normen durften noch bis 1998 hergestellt und dürfen natürlich noch weiterverwendet werden.

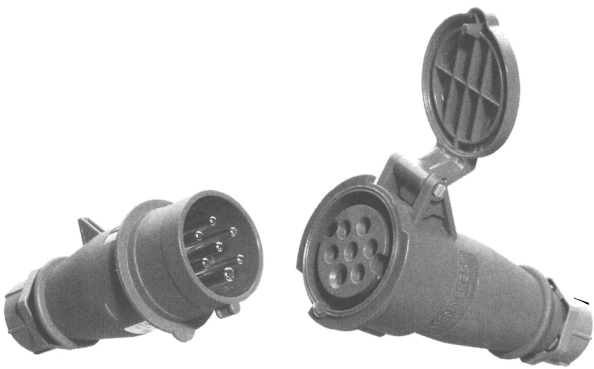


***Bild 11.4:*** *7-polige Steckvorrichtung für vielfältige Anforderungen in Industrie, Landwirtschaft und Gewerbe (Werkbild: Mennekes)*

*Industrielle Steckvorrichtungen* nach Reihe VDE 0623 gibt es als 2-, 3-, 4- und 5-polige Ausführungen mit Schutzkontakt für 16 A, 32 A, 63 A, 125 A und 250 A Bemessungsstrom und Nennbetriebsspannungen von 20 V bis 690 V. Alle haben Gehäuse und Einsätze aus hochwertigem, schlagfestem Isolierstoff. Sie gibt es in folgenden Ausführungen:

- in Feuchtigkeits-Schutzart IPX0 (ohne besonderen Schutz) für 16 A und 32 A Bemessungsstrom, für alle Nennbetriebsspannungen mit Haltebügel oder Klappdeckel (Steckdosen und Kupplungen) bzw. Haltenase oder Haltenut (Stecker und Gerätestecker);

- in Feuchtigkeits-Schutzart IPX4 (spritzwassergeschützt) für 16 A und 32 A Bemessungsstrom, für alle Nennbetriebsspannungen mit Klappdeckel (Steckdosen und Kupplungen) bzw. Haltenase oder Haltenut (Stecker und Gerätestecker);
- in Feuchtigkeits-Schutzart IPX7 (wasserdicht) für 16 A und 32 A Bemessungsstrom, für alle Nennbetriebsspannungen mit Haltebügel oder Bajonettsystem (Steckdosen und Kupplungen) bzw. Haltenase oder Haltenut und Bajonettring (Stecker und Gerätestecker);
- in Feuchtigkeits-Schutzart IPX4 (spritzwassergeschützt) für 63 A Bemessungsstrom, für Nennbetriebsspannungen > 50 V mit Klappdeckel und Bajonettsystem (Steckdosen und Kupplungen) bzw. Haltenase oder Haltenut (Stecker und Gerätestecker);
- in Feuchtigkeits-Schutzart IPX7 (wasserdicht) für 63 A und 125 A Bemessungsstrom, für Nennbetriebsspannungen > 50 V mit Bajonettsystem (Steckdosen und Kupplungen) bzw. Bajonettring (Stecker und Gerätestecker). Falls Steckdosen 125 A am Gehäuse befestigt sind oder mit diesem eine bauliche Einheit bilden, kann der gesamte Aufbau auch IPX4 (spritzwassergeschützt) sein.

Die in VDE 0100-410 gestellte Forderung, dass ein Stecker nicht in eine Dose für eine höhere Spannung eingeführt werden darf, wird durch bestimmte Stellungen des Einsatzes im Gehäuse erreicht. Diese Stellungen sind je nach Spannung bzw. Frequenz verschieden; sie werden mit *Uhrzeigerstellungen* verglichen. Die Festlegung der Stellungen erfolgt durch die Zuordnung der Schutzkontaktbuchse des Doseneinsatzes zur Nut im Dosenkragen. Dabei wird die Dose von der Steckseite betrachtet und so gehalten, dass die Nut auf 6 Uhr zeigt (**Bild 11.5**). Der Neutralleiter ist mit N bezeichnet; für den Schutzleiter dient neben dem Symbol auch die Kennzeichnung PE.

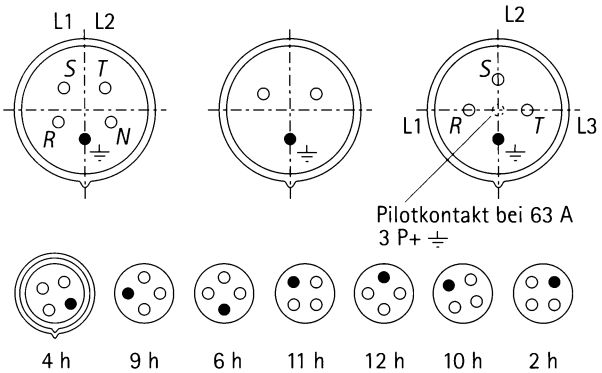



***Bild 11.5:*** *Industrielle Steckvorrichtung*

Durch die Lage der (schwarz gezeichneten) Schutzkontaktbuchse ist dann die Nennspannung der Dose bestimmt (**Tabellen 11.1** bis **11.3**).

Die Lage des Einsatzes im Gehäuse kann nicht geändert werden. Stift und Buchse des Schutzkontakts haben einen größeren Durchmesser als die der Außenleiterkontakte.

Unverriegelte Steckvorrichtungen müssen ausreichende Schaltleistungen aufweisen, d. h. sich in festgelegter Art und Häufigkeit stecken und ziehen lassen, ohne Schäden aufzuweisen.

***Tabelle 11.1:*** *Industrielle Steckvorrichtung 3-polig (2 P + PE bzw. 1 P + N + PE)*

| **Frequenz Hz** | **Nennbetriebsspannung V** | **Schutzkontaktbuchse** |
|---|---|---|
| 50 und 60 | 100 bis 130 | 4 h |
| | 200 bis 250 | 6 h |
| 60 | 277 | 5 h |
| 50 und 60 | 380 bis 415 | 9 h |
| | 480 bis 500 | 7 h |
| | alle Spannungen hinter Trenntrafo | 12 h |
| 100 bis 300 | über 50 | nicht genormt |
| über 300 bis 500 DC | über 50 | 2 h |
| | über 50 bis 250 | 3 h |
| | über 250 | 8 h |

***Tabelle 11.2:*** *Industrielle Steckvorrichtung 4-polig (3 P + PE)*

| **Frequenz Hz** | **Nennbetriebsspannung V** | **Schutzkontaktbuchse** |
|---|---|---|
| 50 und 60 | 100 bis 130 | 4 h |
| | 200 bis 250 | 9 h |
| | 380 bis 415 | 6 h |
| | 480 bis 500 | 7 h |
| | 600 bis 690 | 5 h |
| | 380/440[1)] | 3 h |
| 100 bis 300 | über 50 | 10 h |
| über 300 bis 500 | über 50 | 2 h |
| 60 | 440 bis 460 | 11 h |

[1)] nur für Kühlcontainer

*Tabelle 11.3: Industrielle Steckvorrichtung 5-polig (3 P + N + PE)*

| Frequenz Hz | Nennbetriebsspannung V | Schutzkontaktbuchse |
|---|---|---|
| 50 und 60 | 57/100 bis 75/130 | 4 h |
| | 120/208 bis 144/250 | 9 h |
| | 200/346 bis 240/415 | 6 h |
| | 277/480 bis 288/500 | 7 h |
| | 347/600 bis 400/690 | 5 h |
| 60 | 250/400 bis 265/460 | 11 h |
| 50 und 60 | 220/380 | 3 h |
| | 250/440[1)] | |
| 100 bis 300 | über 50 | nicht genormt |
| über 300 bis 500 | über 50 | 2 h |

[1)] nur für Kühlcontainer

Steckdosen und Kupplungen müssen eine *Verriegelung* haben, wenn sie keine ausreichende Schaltleistung besitzen und den im bestimmungsgemäßen Gebrauch vorkommenden mechanischen, elektrischen und thermischen Beanspruchungen ohne außergewöhnlichen Verschleiß oder andere schädliche Auswirkungen nicht standhalten. Die Verriegelung kann sowohl mechanisch als auch elektrisch sein. Die Verriegelungen müssen mit den Schaltgeräten (z. B. Schütz) so zusammenwirken, dass der Stecker weder aus der Steckdose oder der Kupplung herausgezogen werden kann, während die Kontakte unter Spannung stehen, noch eingeführt werden kann, während das Schaltgerät eingeschaltet ist. Für die elektrische Verriegelung dient ein *Pilotkontakt*, der aktiv sein darf, egal ob Steckkontakt mit dem Pilotkontakt des Steckers oder Gerätesteckers besteht oder nicht. Der Pilotkontakt schließt beim Steckvorgang nach den übrigen Kontakten, beim Ziehen des Steckers öffnet er zuerst.

Die **Bilder 11.6** und **11.7** zeigen häufig vorzufindende mechanische Verriegelungseinrichtungen. In einem Fall wird durch das Drehen des Steckers nach dem Einführen geschaltet, im anderen Fall muss nach dem Stecken eingeschaltet werden, der Stecker ist dann verriegelt.

Bei z. B. Verlängerungsleitungen nützt eine mechanische Verriegelung nichts. Hier müsste man sich dann des erwähnten Pilotkontakts zur elektrischen Verriegelung bedienen. Sie erfordert bei Hauptleitungen von 10 $mm^2$ bzw. 16 $mm^2$ einen besonderen Pilotleiter von 2,5 $mm^2$ und ein Hilfsrelais zum Betätigen eines Hauptstromschützes. Der Hilfsstromkreis darf nicht mit Spannungen > 24 V betrieben werden.

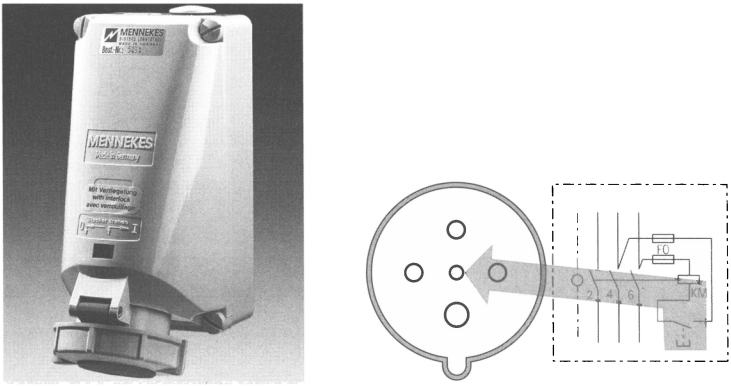



***Bild 11.6:*** *Sicherheitssteckdose mit Pilotkontaktschalter (PKS) (Werkbild: Mennekes) a) keine anstehende Spannung ohne Stecker, auch nicht an den Pilotkontakten b) Schaltbild für die elektrische PKS-Verriegelung*




***Bild 11.7:*** *Nach dem Stecken und Einschalten ist der Stecker mechanisch verriegelt. Der Schalter ist nach dem Ausschalten und Ziehen des Steckers gegen Einschalten verriegelt (Werkbild: Mennekes)*

Eine dritte Möglichkeit, wenn das Lastschaltvermögen nicht ausreicht, wäre ein besonderer Schalter im Hauptstromkreis in unmittelbarer Nähe der Steckdose.

Industrielle Steckvorrichtungen für *SELV* (Schutzkleinspannung) bis 50 V ohne Schutzkontakt beschreiben **Bild 11.8** und **Tabelle 11.4**. Steckvorrichtungen mit einem Bemessungsstrom von 32 A dürfen mit einer Überstromschutzeinrichtung von 35 A gesichert werden, wobei auf ausreichende Leiterquerschnitte, mindestens 4 $mm^2$ Cu bei NYM-Leitungen, zu achten ist.

Nach VDE 0100-708 wird u. a. für Campingplätze die Installation von Steckdosen und Steckern der Anschlussleitung die Steckvorrichtung nach VDE 0623-2, 2-polig mit Schutzkontakt, spritzwassergeschützt, 16 A, vorgeschrieben (**Bild 11.9**).

***Tabelle 11.4:*** *Industrielle Steckvorrichtung für SELV und PELV*

| **Nennbetriebsspannung V** | **Frequenz Hz** | **„Uhrzeigerstellung" der Hilfsnase bzw. -nut** |
|---|---|---|
| 20 bis 25 | 50 und 60 | keine Hilfsnase oder -nut |
| 40 bis 50 | 50 und 60 | 12 h |
| | 100 bis 200 | 4 h |
| 20 bis 25 und 40 bis 50 | 300 | 2 h |
| | 400 | 3 h |
| | über 400 bis 500 | 11 h |
| 50 | DC | 10 h |

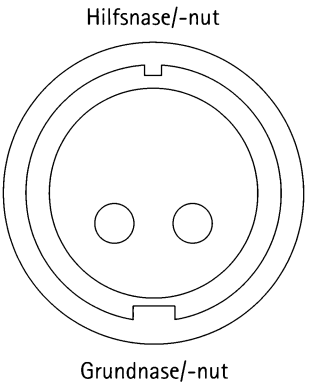



***Bild 11.8:*** *Schematisierte Darstellung der Steckvorrichtung für SELV*

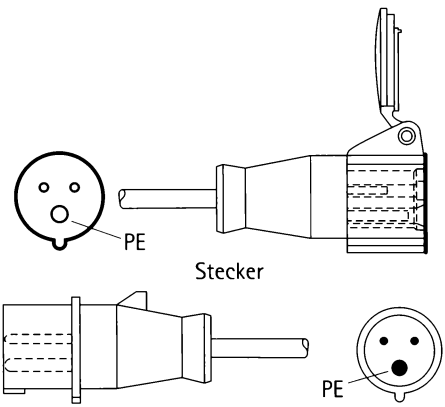



***Bild 11.9:*** *Industriesteckvorrichtung (nach Reihe VDE 0623), 2-polig mit Schutzkontakt; spritzwassergeschützt*

Steckvorrichtungen für industrielle Anwendung können zur Kennzeichnung der Spannungen und Frequenzen, für die sie bestimmt sind, eine *Farbkennzeichnung* aufweisen:

| | | | |
|---|---|---|---|
| violett | für 20...25 V, | blau | für 200...250 V, |
| weiß | für 40...50 V, | rot | für 380...480 V, |
| gelb | für 100...130 V, | schwarz | für 500...690 V, |
| grün | für Frequenzen > 60...500 Hz. | | |

Zur Umkehr der Drehrichtung gibt es *Umschaltstecker* mit dem VDE-Prüfzeichen. Zwei Polstifte sind auf einem drehbaren Isolierteil, das durch eine Drucksperre blockiert wird, angeordnet. Wenn die Drehrichtung des Motors geändert werden soll, braucht man nur die Drucksperre zurückzudrücken und das Isolierteil zu drehen (**Bild 11.10**).

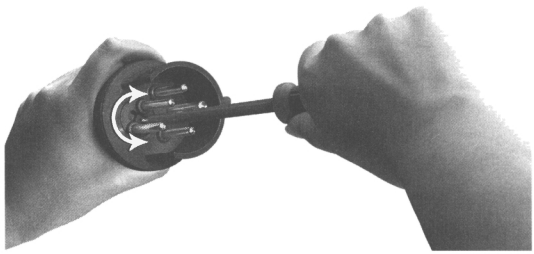


***Bild 11.10:*** *Umschaltstecker (Phasenwender) (Werkbild: Mennekes)*

Soweit an Verladeplätzen, an Abfüllstellen, in der Landwirtschaft, auf Baustellen sowie an sonstigen Stromabnahmestellen zum Anschluss nicht arealgebundener Verbrauchsmittel der Anschluss beliebiger Drehstromverbrauchsmittel bis 32 A, 400 V ermöglicht werden soll, sind hierfür 5-polige Steckvorrichtungen nach Reihe VDE 0623 zu verwenden. Drehstrom-Verlängerungsleitungen für solche Einsatzstellen müssen 5-adrig und an beiden Enden mit 5-poligen Steckvorrichtungen ausgeführt sein. Unsymmetrische Verbrauchsmittel mit Neutralleiterbelastung dürfen nur über 5-polige Stecker angeschlossen werden.

Für Geräte mit Drehstromanschluss zwischen 16 A und 25 A Bemessungsstrom in Hausinstallationen und in Geschäftshäusern, Hotels, Großküchen, Laboratorien, Schneidereien, Nähsälen und ähnlichen Anlagen können die industriellen Steckvorrichtungen oder die runden 3-poligen Steckvorrichtungen mit Neutralleiter- und Schutzleiterkontakt nach DIN 49445/48 für 16 A und 25 A (**Bild 11.11**), die auch das VDE-Prüfzeichen tragen, eingesetzt werden.

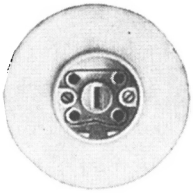


***Bild 11.11:*** *3-polige Steckvorrichtung mit Neutral- und Schutzleiter, 25 A*

*Fußbodensteckdosen* werden in Hausinstallationen, z. B. in Verwaltungsgebäuden, bodeneben angebracht. Sie müssen VDE 0620-1 entsprechen. Vorrichtungen, die dem Schutz der austretenden Leitungen dienen, dürfen über den Boden hinausragen. Die Anschlüsse für Fernmeldeanlagen, die mit Fußbodensteckdosen in einem Gehäuse untergebracht sind, müssen sich von den Starkstromanschlüssen unterscheiden, z. B. durch getrennte Anordnung oder durch Stege, verschiedene Ausführungsformen, Farbgebung; eine Beschriftung genügt nicht.

Fußbodensteckdosen für trocken gepflegte Räume müssen in abgedeckter Ausführung nach Reihe DIN 49440, für nass gepflegte Räume in wasserdichter Ausführung (DIN 49442/43) angebracht werden.

An einen Stecker darf nur eine ortsveränderliche Leitung angeschlossen werden. Dies gilt nicht für Spezialstecker, z. B. in der Industrie, die für den Anschluss mehrerer beweglicher Leitungen gebaut sind. Verlängerungsleitungen sind möglichst zu vermeiden. Besser ist es, statt dessen 2- bis 5-polige Steckdosen in ausreichender Anzahl zu installieren.

Gerätesteckvorrichtungen (**Bild 11.12**) nach VDE 0625-1 bis 16 A, die wiederanschließbar sind, müssen mit Schraubklemmen ausgestattet sein. Diese können nur einen Leiter von 0,75 $mm^2$, 1 $mm^2$ oder 1,5 $mm^2$ aufnehmen, der auch feindrähtig ohne besonderes Herrichten der Leiterenden sein kann. Nicht wiederanschließbare Gerätesteckvorrichtungen bilden mit der Leitung eine bauliche Einheit.

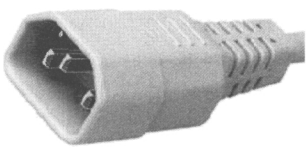
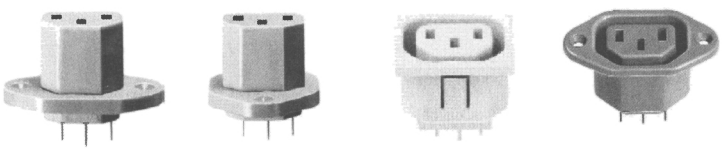


***Bild 11.12:*** *Gerätesteckvorrichtungen*
*a) Gerätestecker;*
a) *b) unterschiedliche Gerätesteckdosen*



b)

### 11.2.4 Steckverbinder

VDE 0606-200, siehe auch 8.2.3

Steckverbinder dienen dem Verbinden von Installationssystemen, z. B. in Fertighäusern, Möbeln oder Installationshohlräumen, wie Doppelböden oder abgehängten Decken. Sie werden zwei- und mehrpolig mit Schutzkontakt angeboten und bestehen aus einem netzseitigen- und einem verbraucherseitigen Teil. Beim Stecken müssen diese Teile zwangsweise eingerastet werden. Nur wenn die Verrastung ohne Werkzeug lösbar ist, dürfen Steckverbinder auch unter Strombelastung betätigt werden. Die Schutzkontaktverbindung muss durch Voreilung der Kontakte vor den übrigen Verbindungen hergestellt sein.

Lösbare Anschlüsse an den Verbindern dürfen nur mit Schraubklemmen oder schraubenlosen Klemmen versehen sein. Die Klemmen sind zum Anschluss von ein- und feindrähtigen Leitern von 1...2,5 $mm^2$ geeignet.

Nicht lösbare Leiteranschlüsse sind z. B. gelötet, geschweißt oder gekrimpt. Steckverbinder werden bis AC 380 V und 16 A hergestellt, Normaltemperatur bis 25 °C, maximal kurzzeitig bis 35 °C. Es können NYM- oder H05VV-F-Leitungen angeschlossen werden.

### 11.2.5 Durchschleifen von Leitungen

Die normale Klemme bzw. Klemmstelle in Schaltern und Steckdosen dient nur zum Anschluss eines Leiters, nicht aber als Ersatz einer Abzweigklemme. Wenn nun in solch einer einfachen Klemme der Leiter nicht geschnitten, sondern durchgeschleift wird, so wird die Klemme in keiner Weise mechanisch mehr belastet als beim Einführen eines einzigen Leitungsendes. Die Ader muss nur so reichlich Platz bekommen, dass man sie später ohne Aufschneiden des Leiters wieder aus der Klemme herausholen kann, z. B. beim Erneuern eines schadhaften Schalters. Es ist daher auch ohne Weiteres möglich, in einer Kombination von Schaltern und Steckdosen so durchzuschleifen, dass die Ader über eine Klemme des Schalters beispielsweise zu einer Klemme einer Steckdose ungetrennt geführt ist. Es ist aber zu beachten, dass in einem Schalter nicht beide Außenleiter enthalten sein dürfen (z. B. bei Spar-Wechselschaltungen). Wenn man später einmal gezwungen ist, die Leitung zu unterbrechen, muss eine entsprechende Geräteabzweigdose gesetzt werden, die außer dem Raum für den Schalter oder für die Steckdose einen eigenen Klemmenraum mit entsprechenden Klemmen enthält.

Will man in Schaltern oder Steckdosen mehr als eine Ader anklemmen, dann müssen die Schalter bzw. Steckdosen als *Verbindungsklemmen* nach VDE 0620-1 ausgebildete Klemmen oder gleichwertige Anschlussmittel enthalten. Bei Bestellung

der Geräte ist anzugeben, wie viele Adern mit welchem Querschnitt man in der Klemme unterzubringen wünscht. In Industriesteckdosen nach Reihe VDE 0623, 16...200 A, darf jeweils nur ein Leiter an einer Klemme angeschlossen werden. Das Durchschleifen von Steckdose zu Steckdose ist also hier nicht zulässig.

### 11.2.6 Leitungsroller

Leitungsroller (umgangssprachlich *Kabeltrommel* genannt) dienen dem Auf- und Abrollen einer fest angeschlossenen Leitung mit Stecker und enthalten eine oder mehrere Steckdosen aller Ausführungen. Leitungsroller müssen VDE 0620-300 (für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke) bzw. VDE 0623-100 (für industrielle Anwendungen) entsprechen. Neben den üblichen ortsveränderlichen und handbetriebenen Leitungsrollern gibt es ortsfeste und automatische, feder- oder motorbetriebene Ausführungen. Man unterscheidet Leitungsroller mit normalem und erhöhtem Berührungsschutz, ohne besonderen Schutz gegen schädliches Eindringen von Wasser sowie spritzwassergeschützte (IPX4) und strahlwassergeschützte (IPX5) Ausführungen. Leitungsroller müssen mit Thermo- oder Überstromauslösern ausgerüstet sein, die eine sog. Freiauslösung haben und sich nicht selbsttätig rücksetzen. Diese Auslöser schützen direkt (Thermoauslöser) bzw. indirekt (Überstromauslöser) gegen schädliche Übertemperaturen und schalten selbsttätig ab. Die Abschaltwerte können vom Benutzer nicht eingestellt werden. Das Rücksetzen der Auslöser des Thermo- und/oder Überstromauslösers muss eindeutig in einer Anweisung beschrieben sein. Es kann auch zusätzlich eine Temperaturüberwachung vorhanden sein. Solch eine Temperaturüberwachung besteht aus einem absichtlich schwachen nichtrücksetzbaren Teil, das den Strom unter Überlast- oder abnormen Bedingungen unterbricht, damit der Leitungsroller nicht durch Übertemperatur geschädigt wird oder sogar zur einer Brandgefahr führen kann. Die Temperaturüberwachung darf sich nicht selbstständig zurücksetzen und muss so gebaut sein, dass sie nicht ersetzt werden kann.

Zu den Leitungsrollern „für den Hausgebrauch" zählen auch Leitungsroller im Handelsgewerbe, für leichte Industrieanwendungen und ähnliche Zwecke, entweder in Innenräumen oder im Freien. Sie dürfen nur eine, nicht abnehmbare flexible Leitung haben. Die Bemessungsspannung liegt bei 50...250 V für Wechselstrom und bei 50...440 V für Wechsel- und Drehstrom, die Bemessungsströme liegen bei Werten bis 16 A. Leitungsroller für industrielle Anwendungen nach VDE 0623-100 werden mit Bemessungsspannungen bis 690 V und mit Bemessungsströmen von 16 A, 32 A und 63 A geliefert.

Leitungsroller für den *Hausgebrauch* müssen folgende Aufschriften tragen, wobei die Angaben in Klammern die vorgeschriebenen Symbole sind:

- Bemessungsspannung in V (V),
- Symbol für die Stromart (~ für Wechselstrom),
- Name, Handelsname oder Kennzeichen des Herstellers oder des verantwortlichen Händlers,
- Typbezeichnung, die eine Artikelnummer sein kann,
- Symbol für Schutzgrad gegen schädliches Eindringen von Wasser, wenn er höher als IP20 ist (s. Kap. 3),
- höchste Belastung, die an die Steckdosen angeschlossen werden darf, in Watt (W) für vollständig aufgewickelte und vollständig abgewickelte Leitung, ergänzt durch die Spannung in Volt (V), z. B.

  „1 500 W 230 V flexible Leitung vollständig aufgewickelt, 3 000 W 230 V flexible Leitung vollständig abgewickelt".

Leitungsroller für *industrielle Anwendung* müssen folgende Aufschriften tragen (Angaben in Klammern die vorgeschriebenen Symbole):

- Betriebs-Bemessungsspannung(en) oder -bereich(e) in Volt (V),
- Symbol für die Stromart (~ für Wechselstrom; ⎓ für Gleichstrom),
- Name, Handelsname oder Identifikationszeichen des Herstellers oder des verantwortlichen Händlers,
- Typkennzeichen, das eine Artikelnummer sein kann,
- Symbol für Schutzgrad (s. Kap. 3),
- Höchstlast, die an den Leitungsroller bei vollständig aufgewickeltem Leitungsroller sowie bei vollständig ausgerolltem Leitungsroller angeschlossen werden darf:

  *Beispiel 1:* „1 000 W, 400 V, Leitung vollständig aufgewickelt"; *Beispiel 2:* „3 500 W, 400 V Leitung vollständig abgewickelt".

Zusätzlich kann die Aufschrift des Bemessungsstroms in A vorhanden sein. Weitere Symbole sind: N für Neutralleiter, Schutzleitersymbol (⏚),  symbolisch für vollständig aufgewickelten Leitungsroller,  symbolisch für vollständig abgewickelten Leitungsroller. Für den Benutzer ist es wichtig, auf den IP-Schutzgrad zu achten. In jedem Fall kann ein Leitungsroller z. B. in IP20 bei trockenem Wetter auch im Freien verwendet werden.

Leitungsroller können aus Isolierstoff oder Metall bestehen. Berührbare Metallteile, die im Fehlerfall Spannung annehmen können, müssen an den Schutzleiter angeschlossen werden, falls sie von aktiven Teilen nur durch die Basisisolierung getrennt sind.

Bei Leitungsrollern mit austauschbarer Leitung muss beim *Anschließen einer neuen Leitung* auf die Symbole N (Neutralleiter) und auf das Schutzleitersymbol sowie auf die Angaben des Leiterquerschnitts, des Leitungstyps und der Länge der flexiblen Leitung geachtet werden, die an der entsprechenden Stelle sichtbar angebracht sein müssen. Roller dürfen nur mit flexiblen Leitungen ausgestattet sein, die nicht leichter sind als eine Schlauchleitung *für mittlere Beanspruchung* mit EPR-Isolierhülle und EPR-Mantel (H05RR-F) oder – bei Leitungsrollern für den Hausgebrauch – eine PVC-Schlauchleitung für leichte Beanspruchung (H03VV-F, H03VVH2-F). Leitungsroller für industrielle Anwendungen können zusätzlich mit flexibler Schlauchleitung für mittlere Beanspruchung H05RN-F oder flexibler Schlauchleitung für schwere Beanspruchung H07RN-F ausgerüstet sein. Die kleinsten Leitungsquerschnitte hängen von den Bemessungsdaten des Steckers oder der Schutzeinrichtung im Leitungsroller ab. Die Querschnitte dürfen bis 6 A nicht $< 0{,}75\ \text{mm}^2$, bei 10 A nicht $< 1{,}0\ \text{mm}^2$ und bei 16 A nicht $< 1{,}5\ \text{mm}^2$ sein. Die Leitungen müssen so viele Leiter haben, wie es Pole im Stecker und in den Steckdosen gibt. Schutzleiterkontakte werden als Pol angesehen, d. h., an einen Schukostecker muss z. B. eine 3-adrige Leitung (einschl. und mit Schutzleiter) angeschlossen werden, auch wenn der Leitungsroller in Schutzklasse II ausgeführt ist. Die maximale Leitungslängen dürfen nicht überschritten werden:

bei Leitungsrollern für den Hausgebrauch:

30 m bei 0,75 $\text{mm}^2$ Leiterquerschnitt,
40 m bei 1,0 $\text{mm}^2$ Leiterquerschnitt,
60 m bei 1,5 $\text{mm}^2$ Leiterquerschnitt,
100 m bei 2,5 $\text{mm}^2$ Leiterquerschnitt;

bei Leitungsrollern für industrielle Anwendung:

80 m bei 2,5 $\text{mm}^2$ Leiterquerschnitt ($I_n = 16$ A),
100 m bei 6,0 $\text{mm}^2$ Leiterquerschnitt ($I_n = 32$ A),
100 m bei 16,0 $\text{mm}^2$ Leiterquerschnitt ($I_n = 63$ A).

Die Temperatur darf bei Gummileitungen 60 °C und bei PVC-Leitungen 70 °C nicht überschreiten.

Leitungsroller mit eingebauter Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) sollten bevorzugt werden. Die Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) muss bei einem Leitungsroller für den Hausgebrauch einen Bemessungsdifferenzstrom $\leq 30$ mA haben.

# 11.3 Beleuchtungsanlagen

## 11.3.1 Leuchten und Lampen

Leuchten im Sinne der elektrotechnischen Produktnormen sind elektrische Verbrauchsmittel oder Geräte, durch die das von einer oder mehreren Lampen erzeugte Licht verteilt, gefiltert oder umgewandelt wird. Die Lampe gehört nicht zur Leuchte. Die Leuchte umfasst alle Teile, die zur Befestigung und zum Schutz der Lampen erforderlich sind, und auch das erforderliche Zubehör der Lampen einschließlich der Vorrichtungen zum Anschluss an das Netz.

Arten von verbreiteten Lampen:

- *Glühlampen*, deren Bedeutung aus energiepolitischen Gründen zurückgeht,
- mit Kleinspannung betriebene *Halogen-Glühlampen*, umgangssprachlich auch „Niedervolt-Halogenlampen" genannt,
- mit Niederspannung bis 230 V betriebene *Halogen-Glühlampen*, umgangssprachlich auch „Hochvolt-Halogenlampen" genannt,
- *Leuchtstofflampen* sind Entladungslampen, die insbesondere im gewerblich-industriellen Bereich sehr verbreitet sind und noch den größten Teil des Lichtbedarfs abdecken und zum Betrieb *Vorschaltgeräte* benötigen (s. u.),
- *Kompakt-Leuchtstofflampen* sind Leuchtstofflampen in kleiner Bauform mit niedrigerer Leistung bis 23 W, eingebautem elektronischem Vorschaltgerät und Sockeln mit Edison-Gewinden (umgangssprachlich auch als Energiesparlampen bezeichnet); Kompakt-Leuchtstofflampen mit Stecksockeln und getrenntem Vorschaltgerät haben höhere Leistungen bis 55 W,
- *Halogen-Metalldampflampen* benötigen ein spezielles Vorschaltgerät und werden wegen ihrer guten Farbwiedergabe für die Beleuchtung von Verkaufsräumen und Schaufenstern eingesetzt, oder mit hoher Lichtausbeute für die Beleuchtung von Industriebereichen und für Außenbeleuchtung,
- *Natriumdampf-Hochdrucklampen* benötigen ein spezielles Vorschaltgerät und werden wegen der sehr hohen Lichtausbeute als Außenbeleuchtung und in hohen Hallen (z. B. Stahlindustrie), mit glühlampenähnlicher Lichtfarbe im gewerblichen Bereich als anspruchsvolle Straßenbeleuchtung und Anstrahlbeleuchtung eingesetzt,
- *Niederdrucklampen* benötigen ein spezielles Vorschaltgerät und erzeugen ein monochromatisch gelbes Licht, bei dem Farben praktisch nicht erkannt werden können (als Innenraumbeleuchtung daher nicht zulässig); Einsatzgebiete sind z. B. Beleuchtung von Schleusen, Hafenanlagen und der Objektschutz, wegen gelber Lichtfarbe, z. B. auch an Fußgängerüberwegen,

- *LEDs* (Light Emitting Diodes) (lumineszenzemittierende Dioden): nach VDE 0715-5 ein Halbeleiterbauteil mit p-n-Übergang, das bei Anregung durch einen elektrischen Strom optische Strahlung emittiert. Das *LED-Modul* ist die eigentliche Lichtquelle, das eine LED oder mehrere LEDs sowie zusätzlich optische, mechanische, elektrische und elektronische Bauteile enthält. Das Betriebsgerät, das dem Betrieb bzw. der Spannungsversorgung des Moduls dient, gehört nicht zum Modul. LED-Module gewinnen immer mehr an Bedeutung.

**Betriebsgeräte**

Zum Betrieb von Leuchtstofflampen und anderer Entladungslampen sind *Betriebsgeräte* erforderlich. Betriebsgeräte dienen dem Betrieb von Lampen. Betriebsgerät ist ein Oberbegriff. Dazu zählen z. B. *Vorschaltgeräte*, Transformatoren und *Konverter*, aber keine Geräte zum Schalten von Lampen oder zur Steuerung der Helligkeit wie z. B. Dimmer und Tageslichtsensoren. Betriebsgeräte gibt es als *verlustarme Vorschaltgeräte* (VVG) (höherwertige Elektrobleche, größere Kupferquerschnitte), *konventionelle* (magnetische) *Vorschaltgeräte* (KVG) und *elektronische Vorschaltgeräte* (EVG). Die Abkürzungen EVG, VVG, KVG sind Praktikerjargons und keine Normabkürzungen. Mit EVGs starten Lampen sofort, erzeugen keine stroboskopischen Effekte (Flimmern) und können auch, z. B. in Notbeleuchtungsanlagen, an Gleichspannung betrieben werden.

## 11.3.2 Errichten von Beleuchtungsanlagen

VDE 0100-559; Sicherheitsbeleuchtung s. Abschn. 12.2

### 11.3.2.1 Allgemeine Anforderungen

Leuchten sind so anzubringen, dass kein *Wärmestau* entsteht und dass sie nicht mit entzündlichen Stoffen, wie Gardinen, Lagergütern, Dekorationsstoffen, in Berührung kommen, wobei die zulässige Gebrauchslage, das Brandverhalten des Materials der Montagefläche und der thermisch beeinflussten Flächen zu berücksichtigen sind. Brände durch Beleuchtungsstarter sind nicht selten.

Als *Befestigungsmittel* – früher als *Aufhängevorrichtung* bezeichnet – dürfen z. B. Haken oder Schrauben verwendet werden, oder andere Komponenten, die geeignet sind, Leuchten zu tragen, wie Dosen, Gehäuse oder tragende Betriebsmittel zum Anschluss einer Leuchte. Ein Befestigungsmittel für Hängeleuchten muss eine Masse von mindestens 5 kg tragen können. Bei mehr als 5 kg die Masse der Leuchte muss der Errichter sicherstellen, dass die Befestigungsmittel das Gewicht der Hängeleuchte tragen können. Bisher bestand die Forderung, das 5-fache Gewicht der daran befestigten Leuchte, mindestens aber 10 kg tragen zu können. In jedem Fall muss sich beim Anbringen der Befestigungsmittel an die Herstellerangaben gehal-

ten werden. Das Gewicht der Leuchten und ihrer vorhandenen Zubehörteile darf nicht größer als die Tragfähigkeit der am Errichtungsort vorhandenen tragenden Konstruktion, z. B. der Decke oder einer *abgehängten Decke*, sein. An abgehängten Decken (Unterdecken) dürfen Leuchten nur befestigt werden, wenn die abgehängte Decke und deren Aufhängung ausdrücklich dafür geeignet sind.

Leitungen für Beleuchtungsanlagen müssen entweder in einer Installationsdose nach

- der älteren, nationalen, noch gültigen Bestimmung VDE 0606-1:2000-10 (Installationsdosen zur Aufnahme von Geräten und/oder Verbindungsklemmen) oder
- der internationalen Reihe VDE 0606 (Dosen und Gehäuse für Installationsgeräte für Haushalt und ähnliche ortsfeste elektrische Installationen) oder
- VDE 0606-21 (Besondere Anforderungen für Dosen und Gehäuse mit Aufhängemitteln)

enden. In Deutschland noch nicht verbreitet wie in anderen europäischen Ländern, können Leitungen für Leuchten nach VDE 0620-400-1 u. -2 auch in speziellen Steckdosen zum Anschluss einer Leuchte (DCL[1]) enden, die in einer Installationsdose installiert sind. Dies bedingt natürlich, dass auch die Leuchtenanschlussleitung mit einem entsprechenden Stecker ausgerüstet ist.

An Unterdecken dürfen Leuchten nur befestigt werden, wenn die abgehängte Decke und deren Aufhängung ausdrücklich dafür geeignet sind.

Die Leuchten sind in den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) einzubeziehen, auch wenn sie außerhalb des Handbereichs angeordnet sind. Die Zuleitungen dürfen durch Bewegen der Leuchte nicht beschädigt werden können. Bei Pendelleuchten ist also z. B. ein Isolierring anzuordnen, und die Zuleitungen dürfen nicht um den Deckenhaken gewickelt werden.

Als *Leitungen in Leuchten* sind u. a. wärmebeständige Silikonaderleitungen und wärmebeständige PVC-Aderleitungen zugelassen. Als flexible Anschlussleitungen für Leuchten sind wegen der möglichen Temperaturerhöhungen folgende Leitungstypen zu verwenden:

- für gewöhnliche Leuchten der Schutzklasse I Leitungen mit EPR-Isolierhülle und Textilgeflecht H03RT-H und der Schutzklasse II Schlauchleitungen mit Isolierhülle und Mantel aus EPR H05RR-F oder für beide Schutzklassen Schlauchleitungen mit thermoplastischer PVC-Isolierung für leichte Beanspruchung H03VVH2-F oder H03VV-F,

1 *engl.*: **D**evices for the **C**onnection of **L**uminaires

- für andere als gewöhnliche Leuchten Schlauchleitungen für mittlere Beanspruchung mit vernetzter Elastomer-Isolierung H05RN-F und
- für ortsveränderliche Leuchten für rauen Betrieb flexible Schlauchleitungen für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung H07RN-F.

Die Leitungen in und an der Leuchte müssen übersichtlich und so geführt werden, dass ein Beschädigen der Leitungen oder ihrer Isolierung vermieden wird. Dies gilt insbesondere auch für die heute vielfach verwendeten kunstgewerblichen Leuchten in „Bauernstuben" u. dgl. Als Leitung zum Aufhängen von Leuchten empfiehlt sich die wärmebeständige Schlauchleitung mit thermoplastischer PVC-Isolierung für leichte Beanspruchung (90 °C) H03V2V2-F.

*Ortsfeste Leuchten* müssen mit Anschlussklemmen (Leuchtenanschlussklemmen, umgangssprachlich auch Lüsterklemmen genannt), mit Stecker zum Anschluss einer Leuchte nach VDE 0606-200 (Installationssteckverbinder für dauernde Verbindung in festen Installationen) oder mit anderem geeigneten und passenden Verbindungsmaterial oder auch unmittelbar an die Zuleitung angeschlossen werden. Bei Unterputzinstallation müssen für Wandleuchten die Zuleitungen in Wanddosen mit Abzweig- oder Leuchtenanschlussklemmen enden. Werden an die Anschlussstellen für Wandleuchten im Handbereich keine Leuchten oder keine anderen Verbrauchsmittel angeschlossen, muss darauf geachtet werden, dass der Basisschutz als Schutz gegen direktes Berühren aktiver Teile sichergestellt ist. Bei Im- oder Unterputzinstallation kann der Schutz mit einer Wandauslassdose, bei Aufputzinstallation mit einer Verbindungsdose erreicht werden.

Die Zuführungsleitung zu Lichtbändern darf nur über eine Geräteklemme, nicht über eine Leuchtenklemme angeschlossen werden (s. Abschn. 11.2.4).

Feste Anschlussleitungen müssen einen Leiterquerschnitt $\geq 0{,}75\ \text{mm}^2$ haben. Wenn die Leuchten Steckdosen enthalten, muss der Leiterquerschnitt $\geq 1{,}5\ \text{mm}^2$ sein.

*Ortsveränderliche Leuchten* dürfen durch Steckvorrichtungen oder fest, aber zugentlastet, z. B. über eine Geräteanschlussdose, angeschlossen werden. Die Leitungen dürfen durch Bewegen der Leuchte nicht beschädigt werden können.

*Handleuchten* zum Betrieb mit Versorgungsspannungen bis 250 V sind ortsveränderliche Leuchten mit einem Handgriff und flexibler Anschlussleitung. Zu den Handleuchten gehören auch solche Leuchten, die durch Flügelschrauben, Klammern oder Magnete an einer Befestigungsfläche angebracht werden können, sowie Leuchten zum Ausleuchten von Fässern. Die Lampe muss durch ein Schutzgitter, eine durchscheinende Abdeckung o. Ä. gegen zufällige Beschädigung geschützt sein. Handleuchten dürfen nur in Schutzklasse II (früher: schutzisoliert) und Schutzklasse III (SELV) ausgeführt sein; das Gehäuse und der Griff dürfen nur aus Isolierstoff

bestehen. Außen auf den Leuchten müssen die Bildzeichen für Schutzklasse II oder III, für die Bemessungsspannung bei Schutzklasse III und für die IP-Schutzgrade für den Schutz gegen Eindringen von Staub und Wasser angebracht sein. Handleuchten gibt es mit nicht auswechselbarer und mit auswechselbarer Anschlussleitung. Als Leitungsbauarten kommen infrage:

- für gewöhnliche Handleuchten flexible Schlauchleitungen für mittlere Beanspruchung mit vernetzter Elastomer-Isolierung H05RR-F und Schlauchleitungen mit thermoplastischer PVC-Isolierung für mittlere Beanspruchung H05VV-F und H05VVH2-F,
- für Handleuchten mit Tropfwasser- (IPX1), Regenwasser- (IPX3), Spritzwasser- (IPX4), Strahlwasser- (IPX5) und Staubschutz (IP5X) sowie für wasserdichte (IPX7), druckwasserdichte (IPX8) und staubdichte (IPX6) Handleuchten Gummischlauchleitungen H05RN-F.

Der Leiterquerschnitt muss $\geq 0{,}75\ mm^2$ für gewöhnliche Handleuchten und $\geq 1\ mm^2$ für andere Handleuchten sein.

Handleuchten *in oder an Kesseln*, Behältern, Rohrleitungen, Stahlgerüsten u. Ä. aus leitfähigen Stoffen dürfen nach VDE 0100-706 nur mit Schutz durch Kleinspannung SELV (bisher genannt: Schutzkleinspannung) betrieben werden. Sicherheitstransformatoren oder Trenntransformatoren müssen außerhalb des Kessels bzw. Fasses aufgestellt werden. Als bewegliche Leitungen sollten mindestens Leitungen der Bauart H07RN-F (flexible Schlauchleitung für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung) verwendet werden. Stecker und Kupplungsdosen müssen ein Isolierstoffgehäuse haben. Schalter dürfen in Verlängerungsleitungen nicht eingebaut werden. Montagegruben in Garagen oder Kraftfahrzeug-Instandsetzungswerkstätten gelten nicht als enge Räume im Sinne dieser Bestimmungen. Diese Bestimmungen gelten auch nicht für die Fertigungsstätten der Herstellerbetriebe, wenn durch andere Maßnahmen für die Sicherheit beim Bau der Kessel usw. gesorgt wird.

Leuchten, die auf *brennbaren Baustoffen* oder *Gebäudeteilen* angebracht werden, müssen sog. *F-* bzw. *M-Leuchten* sein und das Bildzeichen  bzw.  tragen. Brennbare Baustoffe sind schwer oder normal entflammbare Baustoffe (Klasse B1, B2 nach Reihe DIN 4102, s. Abschn. 13.1).

Für Leuchten, auf denen sich brennbarer Staub ansammeln kann, ohne dass Explosionsgefahr aufgrund eines Luft-Staub-Gemischs besteht, muss die Oberflächentemperatur begrenzt werden. Solche *Leuchten mit begrenzter Oberflächentemperatur* kommen zum Einsatz in Räumen und Betriebsstätten, in denen z. B. Textilien verarbeitet oder gelagert werden, und wo sich brennbarer Staub (z. B. Farbpulver, Holzstaub, Getreidestaub, Mehl) und/oder Fasern in gefährlichen Mengen ansam-

meln kann. Die Notwendigkeit der Oberflächentemperaturbegrenzung besteht für alle Art von Leuchten, nicht nur mit für solche mit Entladungslampen, obwohl bei diesen wegen der Vorschaltgeräte eine größere Gefahr besteht, dass bestimmte Temperaturgrenzen überschritten werden. Die Leuchten mit begrenzter Oberflächentemperatur müssen nach VDE 0711-2-24 (DIN EN 60598-2-24) gebaut sein. Sie sind mindestens in Schutzart IP54 ausgeführt. Statt in dieser Schutzart ausgeführt, können sie auch nach unten offen und mit einem nach unten gerichteten Metallschirm ausgerüstet sein, dessen Unterkante sich in einer Höhe unterhalb des tiefsten Teiles der Lampe befinden muss. Es darf zu keiner Ansammlung von Staub oder anderen Teilchen auf der Lampe kommen, es sei denn, es handelt sich um eine röhrenförmige Leuchtstofflampe. Kleine Schlitze im Gehäuse, an denen die Teile der Leuchte zusammengefügt sind, sind zulässig. Die Leuchten nach der genannten VDE 0711-2-24 müssen neben anderen Symbolen mit dem Bildzeichen ⓓ versehen sein („*D-Leuchte*"). Dieses neue Zeichen hat das Zeichen ⓕⓕ („*FF-Leuchte*") ersetzt. Das FF-Zeichen ist natürlich weiter gültig und kann auch noch auf Leuchten erscheinen, da die Herstellernorm VDE 0710-5 noch bis August 2005 angewendet werden durfte bzw. Leuchten nach dieser Produktbestimmung bis zu diesem Zeitpunkt hergestellt werden durften. Nach der alten VDE-Bestimmung 0100-559:2009-06 durften diese Leuchten noch bis zum 11.04.2012 – wie es hieß – errichtet werden. Diese Aussage bezog sich auf die Errichtung neuer elektrischer Anlagen und bedeutet nicht, dass eine Leuchte mit FF-Zeichen nicht auch jetzt noch durch eine andere Leuchte mit FF-Zeichen ersetzt werden darf.

Bei Staubanfall sind nur die mit dem Symbol ⓕⓕ oder ⓓ gekennzeichneten Leuchten geeignet, wenn sie nach der vom Hersteller vorgegebenen Einbauanweisung eingebaut sind. Es gibt jedoch Unterschiede zwischen beiden: Für die mit ⓓ gekennzeichnete Leuchte ist nach der Norm k e i n e vollständige Abdeckung der Lampe erforderlich, wenn die Leuchte über eine Abschirmung verfügt, die eine Ablagerung brennbarer Stäube auf der Lampe im Bereich der Fassung verhindert. Diese Abschirmung kann die Form eines Reflektors haben. Bei Staubanfall erfüllt die mit ⓓ gekennzeichnete Leuchte die Anforderungen hinsichtlich der Feuergefahr von Staub und/oder Fasern nur, wenn Leuchtstofflampen durch eine *zusätzliche* Abdeckung mit dem Schutzgrad IP5X umschlossen werden, z. B. mit einer Leuchtenwanne oder Schutzscheibe, wodurch auch ein höherer mechanischer Schutz gewährleistet wird. Leuchten nach der früheren VdS-Publikation 2499 mit begrenzter Oberflächentemperatur hatten diese Anforderungen erfüllt.

Leuchten zum Einbau in Möbel sind in den Verkaufsunterlagen als solche zu kennzeichnen; eine Montageanweisung ist beizufügen. Der Anschlussraum für den Netzanschluss muss so groß sein, dass 8 cm der anzuschließenden Leitungen untergebracht werden können.

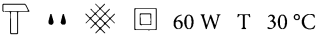
*Möbelleuchten* für Glühlampen müssen mit dem Zeichen M2 gekennzeichnet sein. Möbelleuchten für Entladungslampen müssen das Zeichen M1 tragen, wenn das Brandverhalten der Einrichtungsgegenstände, in und an die sie montiert werden, nicht bekannt ist. Dadurch wird sichergestellt, dass die Temperatur im normalen Betrieb an der Befestigungsfläche 95 °C und im Fehlerfall des Vorschaltgeräts 115 °C nicht übersteigt. Die F-Kennzeichnung (s. Abschn. 11.3.2.3) kann entfallen, weil Möbelleuchten die an die F-Kennzeichnung gestellten Bedingungen ebenfalls einhalten.

Auf normal oder schwer entflammbaren und nicht brennbaren Werkstoffen dürfen auch Leuchtstofflampenleuchten mit den Zeichen M2 montiert werden.

Leuchten sind mit zahlreichen Aufschriften (Kennzeichnungen, Symbolen) versehen. **Tabelle 11.5** enthält sie zusammenfassend. Das als *unabhängig* bezeichnete Betriebsmittel oder Gerät (z. B. Vorschaltgerät) ist ein Gerät für Lampen, das aus einem Teil oder mehreren Teilen bestehen kann und so gebaut ist, dass es außerhalb der Leuchte separat montiert werden kann. Es kann auch aus einem Einbaugerät bestehen, das in ein Gehäuse eingebaut ist.

Leuchten, die für Umgebungstemperaturen $t_a > 25$ °C bestimmt sind, sind durch den Höchstwert der Bemessungs-Umgebungstemperatur gekennzeichnet (s. Tabelle 11.5).

*Beispiel:* Auf einer Handleuchte befinden sich folgende Symbole:




Sie bedeuten: Handleuchte für rauen Betrieb in wasserdichter und staubgeschützter Ausführung, Gerät der Schutzklasse II (schutzisoliert), Bestückung mit Lampe von höchstens 60 W, für eine Umgebungstemperatur von maximal 30 °C geeignet.

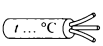
Als *raue Betriebe* gelten Betriebe der Schwerindustrie, Grobwerkstätten, Baubetriebe, Betriebe der Industrie Steine und Erden, Landwirtschaft oder Arbeiten im Freien.

Nach VDE 0711-1:2015-10 dürfen Leuchten der Schutzklasse I für den festen Anschluss bis 7 A Betriebsstrom (nach VDE 0711-1 auch Versorgungsstrom genannt) einen *Schutzleiterstrom* von ≤ 3,5 mA je Leuchte, bei einem Betriebsstrom (Versorgungsstrom) über 7 A bis 20 A einen Schutzleiterstrom ≤ 0,5 mA/A und bei einem Betriebsstrom (Versorgungsstrom) über 20 A einen Schutzleiterstrom ≤ 10 mA haben. Das ist zu beachten, wenn z. B. einer Leuchtengruppe eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA vorgeschaltet wird. Zur Vermeidung von Betriebsstörungen ist es daher zweckmäßig, die Leuchtengruppen klein zu halten und mehrere Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) vorzusehen.

*Tabelle 11.5: Symbole auf Leuchten (Auswahl) nach VDE 0100-559 u. div. VDE-Produktbestimmungen verschiedener Geltungszeiträume*

| Symbol | Bedeutung |
|---|---|
| $t_a$ ... °C | höchste Bemessungs-Umgebungstemperatur von Leuchten |
|  | Warnhinweis gegen die Verwendung von „cool-beam"-Lampen |
|  | kleinster Abstand zur angestrahlten Fläche in m (Kennzeichnung von Strahlerleuchten) |
|  | Leuchte, geeignet für direkte Montage auf normal entflammbaren Befestigungsflächen |
|  | Leuchte, nicht geeignet für direkte Montage auf normal entflammbaren Oberflächen (nur für nicht entflammbare Oberfläche geeignet) |
|  | Leuchte, geeignet für direkte Montage auf nicht entflammbare Oberflächen, wo Wärmedämmmaterial die Leuchte abdecken kann (Reihe VDE 0711). Leuchten dürfen unmittelbar auf nicht brennbaren, schwer oder normal entflammbaren Baustoffen nach Reihe DIN 4102 bzw. auf brennbaren Baustoffen mit einer Entzündungstemperatur ≥ 200 °C angebracht werden, selbst wenn Wärmedämmstoffe die Leuchte (Gehäuse) berühren. |
|  | Leuchten mit Entladungslampe, die für die Installation in und an Einrichtungsgegenständen, z. B. Möbeln, nach VDE 0710-14 geeignet sind. Bei Einhalten einer der vom Hersteller angegebenen Montagearten (z. B. waagerecht, senkrecht, an der Decke, an der Wand, in der Ecke, am Pendel) dürfen diese Leuchten an Einrichtungsgegenständen aus Werkstoffen angebracht werden, deren Brandverhalten nicht brennbaren, schwer oder normal entflammbaren Baustoffen nach Reihe DIN 4102 entspricht, selbst wenn diese Werkstoffe beschichtet, lackiert oder furniert sind. |
|  | Leuchten mit begrenzter Oberflächentemperatur für die Installation in und an Einrichtungsgegenständen, z. B. Möbeln, nach VDE 0710-14. Bei Einhalten einer der vom Hersteller angegebenen Montagearten (z. B. waagerecht, senkrecht, an der Decke, an der Wand, in der Ecke) dürfen diese Leuchten an Einrichtungsgegenständen aus Werkstoffen angebracht werden, selbst wenn deren Brandverhalten nicht bekannt ist und diese Werkstoffe beschichtet, lackiert oder furniert sind. |
|  | Leuchte mit begrenzter Oberflächentemperatur nach VDE 0711-2-24:1999-07 |
|  | Leuchte mit begrenzter Oberflächentemperatur nach VDE 0710-5:1983-02 (zurückgezogen 1999-07) |
|  | unabhängiges Vorschaltgerät |
|  | unabhängiges Vorschaltgerät für direkte Montage auf normal entflammbaren Oberflächen (VDE 0712-30) |
|  | thermisch geschütztes Lampenbetriebsgerät/Geschützter Transformator (Klasse P) (VDE 0712-30) |
|  | Jede zersprungene Schutzabdeckung ist zu ersetzen (rechteckig oder rund). |

*Tabelle 11.5: (Fortsetzung)*

| Symbol | Bedeutung |
|---|---|
|  | Leuchten, die nur für sog. „self-shielded"-Halogenglühlampen ausgelegt sind. „self-shielded"-Lampe: Halogenglühlampe oder Halogen-Metalldampflampe, für die an der Leuchte keine Schutzabdeckung zum Schutz gegen UV-Strahlung oder Lampenzersplitterung erforderlich ist. |
|  | kennzeichnet Kondensatoren, die bei Ausfall weder sich selbst noch die Umgebung entzünden; wird für spätestens nach Dez. 1998 gefertigte Kondensatoren nicht mehr verwendet.* |
|  | kennzeichnet Kondensatoren, die bei Ausfall weder sich selbst noch die Umgebung entzünden und auch nicht aufplatzen und benachbarte Teile mechanisch beschädigen; wurde für spätestens nach Dez. 1998 gefertigte Kondensatoren nicht mehr verwendet.* |
| IP20 | abgedeckt |
| IPX1  | tropfwassergeschützt |
| IPX3  | regengeschützt |
| IPX4  | spritzwassergeschützt |
| IPX5  | strahlwassergeschützt |
| IPX6 (kein Bildzeichen) | Schutz gegen starkes Strahlwasser |
| IPX7  | wasserdicht (eintauchbar) |
| IPX8  ... m | druckwasserdicht (untertauchbar), mit Angabe der maximalen Untertauchtiefe |
| IP3X | geschützt gegen feste Fremdkörper > 2,5 mm |
| IP4X | geschützt gegen feste Fremdkörper > 1 mm |
| IP5X  | staubgeschützt |
| IP6X  | staubdicht |
|  | Verwendung von wärmefesten Netzanschlussleitungen, Verbindungsleitungen oder äußeren Leitungen |
|  | Leuchte für raue Betriebe, in denen eine höhere mechanische Beanspruchung von Leuchten zu erwarten ist |
|  | Leuchte zum Betrieb mit Natriumdampf-Hochdrucklampen, die ein außerhalb (der Lampe) angebrachtes Zündgerät erfordern |
|  | Leuchte zum Betrieb mit Natriumdampf-Hochdrucklampen mit eingebautem Zündgerät |

* siehe Abschnitt 11.3.2.3

### 11.3.2.2 Leuchten für Glühlampen und Kompakt-Leuchtstofflampen

Die aktiven Teile der Lampenfassungen und des Lampensockels dürfen bei voll in die Fassung eingeschraubter Lampe nicht berührbar sein. Bei Fassungen E 10, E 14 und E 27 darf der Lampensockel nicht berührbar sein, wenn er während des Einschraubens mit aktiven Teilen Kontakt erhält.

Lichtquellen mit starker Wärmestrahlung, z. B. Scheinwerfer oder Halogenleuchten, sind so anzubringen, dass sich leicht entzündliche Stoffe ihnen nicht brandgefährlich nähern können. Bei Strahlerleuchten kann ein bestimmter Abstand zur angestrahlten Fläche erforderlich sein. Dieser muss auf der Leuchte durch das Symbol angegeben sein (s. Tabelle 11.5).

*Lichterketten* müssen in Schutzklasse II (schutzisoliert) oder Schutzklasse III (SELV) ausgeführt sein. Wenn fabrikmäßig hergestellte Lichterketten – auch Weihnachtsbaumketten – im Freien verwendet werden sollen, muss neben dem Symbol für die Schutzklasse II das entsprechende Schutzartzeichen IPX3 auf den verwendeten Fassungen angegeben sein. Lampenfassungen für Lichterkettenleitungen (früher auch *Illuminationsfassungen* genannt) – sog. Lampenfassungen für Durchdringungsanschlusstechnik – dürfen nur verwendet werden, wenn Leitungen und Lampenhalter zueinander passen und die Lampenfassungen nicht mehr entfernbar sind, sobald sie an der Leitung befestigt sind. Solche Lichterkettenleitungen (früher auch Illuminationsleitungen genannt) dürfen somit nur als fabrikfertige Einheiten verwendet werden. Leitungen der Bauart H03RN-F mit speziellen Lampenfassungen dürfen für Lichterketten in Innenräumen und im Freien verwendet werden. Die Einsatzbedingen sind den Herstellerangaben zu entnehmen. Einadrige zweischichtig isolierte Lichterkettenleitungen der Bauart H03VH7-H mit in Reihe geschalteten E5-Lampenfassungen mit einer Leistung von ≤ 100 W dürfen nur in Innenräumen, aber nicht in feuchten Räumen verwendet werden.

### 11.3.2.3 Leuchten für Leuchtstofflampen

Alle Gasentladungslampen brauchen ein Strom begrenzendes Bauelement (ohmscher Widerstand, Kondensator oder Drossel). Am weitesten verbreitet sind *Drosseln* (**Bild 11.13**). Um die Lampe im Fall eines Erdschlusses innerhalb der Leuchte vor der Zerstörung zu bewahren, muss die Drossel unbedingt in den Außenleiter gelegt werden.

Die *Duoschaltung* (**Bild 11.14**) sollte bevorzugt werden, weil Oberschwingungsgehalt und Flimmererscheinungen besonders gering sind. Sie ist eine Anordnung zweier gemeinsam einzubauender Lampen mit einem besonderen Vorschaltgerät, das für die eine Lampe eine induktive, für die andere eine kapazitive Strombegrenzung enthält.

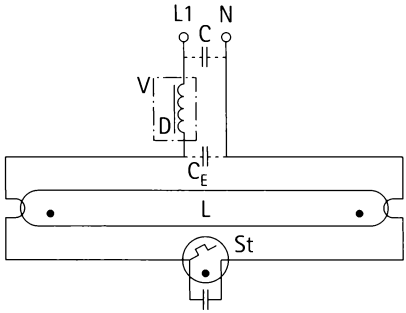



***Bild 11.13:*** *Schaltung einer Leuchtstofflampe mit Drossel als Vorschaltgerät*
L Lampe; St Starter; V Vorschaltgerät; D Drosselspule; C Kompensationskondensator (soweit erforderlich); $C_E$ Entstörkondensator (entfällt bei Verwendung eines Starters)

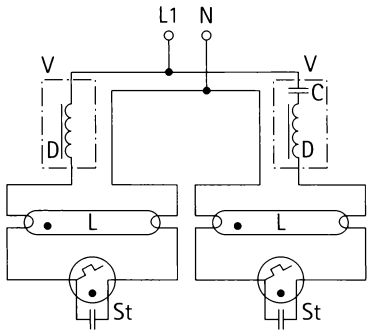



***Bild 11.14:*** *Duoschaltung von Leuchtstofflampen*
L Lampe; St Starter; V Vorschaltgerät; D Drossel; C Kondensator

Im kapazitiven Zweig muss der Reihenkondensator im Außenleiter angeordnet werden, damit am Vorschaltgerät keine unzulässig hohen Spannungen auftreten. Aus dem gleichen Grund müssen bei Leuchten mit kapazitiver oder Duoschaltung, wenn sie über Steckvorrichtungen an das Netz angeschlossen werden, polunverwechselbare Steckvorrichtungen verwendet werden, oder die Vorschaltgeräte müssen für eine höhere Reihenspannung bemessen sein.

Der Betrieb von Entladungslampen mit den üblichen Vorschaltgeräten hat einen Leistungsfaktor $\cos\varphi \approx 0{,}4 \ldots 0{,}6$ zur Folge. Mit *Kompensationskondensatoren*, die parallel zum Netz geschaltet werden, wird der Leistungsfaktor auf $\cos\varphi \approx 0{,}95$ verbessert.

Nach den TAB ist die Kompensation des induktiven Blindstroms von Leuchten grundsätzlich erforderlich. Ausgenommen sind Entladungslampen mit einer Ge-

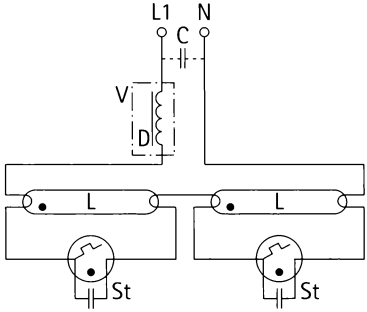



***Bild 11.15:*** *Tandemschaltung für Lampen mit niedriger Brennspannung*
Erläuterungen s. Bild 11.13

samtleistung von 250 W je Außenleiter. Werden z. B. zwei 110-V-Leuchtstofflampen am 230-V-Netz mit einem Vorschaltgerät in Reihe betrieben, so nennt man das *Tandemschaltung* (**Bild 11.15**).

Bei Leuchtstofflampen mit kapazitiver Schaltung und Verwendung entsprechender Kondensatoren in Reihenschaltung tritt Überkompensation ein. In Duoschaltung (je eine induktiv und eine kapazitiv betriebene Lampe) ergibt sich dann ebenfalls ein Leistungsfaktor $\cos \varphi \approx 0{,}95$.

Die Duoschaltung oder eine Schaltung von Einzellampen in Gruppen, die je zur Hälfte mit gleichmäßig auf den Außenleiter aufgeteilten kapazitiven und induktiven Vorschaltgeräten betrieben werden, ist immer dann vorzusehen, wenn in Netzen Tonfrequenz-Rundsteueranlagen bestehen oder geplant sind. In solchen Netzen dürfen nur mit ausdrücklicher Zustimmung des NB netzparallele Kondensatoren angewandt werden.

Kondensatoren für einzelne Entladungslampen der früher gültigen VDE 0560-6 durften noch bis Dez. 1998 gefertigt werden. Sie müssen mit dem Zeichen (FP) (feuer- und platzsicher) oder mit dem Zeichen (F) (flammsicher) sowie mit der Aufschrift 560-6 gekennzeichnet sein. Kondensatoren mit dem Zeichen (FP) dürfen, falls sie ausfallen, weder sich selbst noch die Umgebung entzünden und auch nicht aufplatzen und benachbarte Teile mechanisch beschädigen. Kondensatoren mit dem Zeichen (F) können, falls sie ausfallen, weder sich selbst noch die Umgebung entzünden. Nach VDE 0560-61 werden bei den Kondensatoren die Typen A und B unterschieden. *Typ A* ist ein selbstheilender Parallelkondensator, der keine Abschaltvorrichtung enthalten muss. *Typ B* ist ein selbstheilender Kondensator, der zur Reihenschaltung im Lampenstromkreis verwendet wird, oder ein selbstheilender Parallelkondensator, der eine Abschaltvorrichtung enthält. Kondensatoren des Typs B sind den flamm- und platzsicheren Kondensatoren (FP) sicherheitstechnisch

als gleichwertig zu betrachten, wenn sie in einem Metallbecher eingeschlossen sind. Zur Vermeidung von Schreckwirkungen beim Berühren abgeschalteter Anlagen können die Kondensatoren mit *Entladewiderständen* ausgerüstet werden. Entladewiderstände, die mit Kondensatoren baulich vereinigt sind (meist in die Kondensator-Anschlussklemmen eingebaut), begrenzen die Spannung am Kondensator 1 min nach dem Abschalten auf 50 V. Gültig ist nun VDE 0560-61 u. -62. Folgende Zeichen können angebracht sein:

Entladewiderstand: 

Stromsicherung: 

Selbstheilung: , falls nicht selbstheilender Kondensator ausschließlich für Reihenschaltung bestimmt: 

Kompensationskondensatoren mit einer Gesamtkapazität > 0,5 µF dürfen nur in Verbindung mit Entladewiderständen verwendet werden.

Die Größe der Kondensatoren bei 230 V und Einzelkompensation kann **Tabelle 11.6** entnommen werden.

***Tabelle 11.6:*** *Blindlastkondensatoren für Leuchtstofflampen*

| Lampenleistung W | Kondensatorkapazität in µF | |
|---|---|---|
| | für Parallelschaltung | für kapazitive Schaltung |
| 18...36 | ≈ 4,5 | ≈ 3,3 |
| 58 | ≈ 7,0 | ≈ 5,3 |

Damit die Leuchtstofflampe stabil brennt, muss die Versorgungsspannung etwa doppelt so groß wie die Lampenbrennspannung sein.

Lampen mit besonders niedriger Brennspannung können in 230-V-Netzen in Reihenschaltung an einer Drossel betrieben werden (Bild 11.15). Das ist z. B. bei Lampen für 4 W, 6 W, 8 W, 15 W und 20 W der Fall. Dabei lässt sich für die Reihenschaltung von zwei 4-W-Lampen das Vorschaltgerät für 6 W, für zwei 15-W-Lampen dasjenige für 30 W und für zwei 20-W-Lampen dasjenige für 40 W verwenden. Für die Reihenschaltung von zwei 6-W- bzw. zwei 8-W-Lampen sind besondere Vorschaltgeräte im Handel.

Leuchtstofflampen können auch an Gleichspannung betrieben werden, wobei sich jedoch ihre Lichtausbeute ganz wesentlich verringert. Die Lampen müssen von Zeit zu Zeit umgepolt werden.

*Elektronische Betriebsgeräte* (VDE 0712-33) für Leuchtstofflampen eignen sich nur für die dünnen 26-mm-Lampen (**Tabelle 11.7**). Sie haben gegenüber den mit Drossel und Starter betriebenen Lampen folgende Vorteile:

- Die Lampen zünden innerhalb von 0,5 s flackerfrei und geräuschlos, weil sie mit Hochfrequenz betrieben werden.
- Es gibt kein Elektrodenflimmern und keinen stroboskopischen Effekt.
- Eine Sicherheitsabschaltung bei defekter Lampe oder Übertemperatur ist möglich.
- Die Geräte sind für Wechsel- und Gleichspannung (Batteriebetrieb) geeignet.
- Der Leistungsfaktor beträgt $\cos\varphi \approx 0{,}95$ kapazitiv, die Leuchten müssen also nicht mehr kompensiert werden.
- Die Leistungsaufnahme der Lampen vermindert sich bei nahezu gleichem Lichtstrom um bis zu 30 %.
- Der Leistungsverbrauch des elektronischen Vorschaltgeräts ist geringer als der der Drossel (für die 1 500-mm-Lampe etwa 5 W statt 13 W).
- Die elektromagnetischen Störungen sind geringer als die der Drossel.

***Tabelle 11.7:*** *Leistungsaufnahme in W von 26-mm-Standard-Stablampen*

| **Betrieb** | **Lampenlänge** | | |
|---|---|---|---|
| | **590 mm** | **1 200 mm** | **1 500 mm** |
| mit Drossel und Starter | 18 | 36 | 58 |
| mit elektronischem Vorschaltgerät | 16 | 32 | 50 |

Werden Lichtbänder auf alle drei Außenleiter aufgeteilt (nur ein N-Leiter), um den *stroboskopischen Effekt* (störende Flimmererscheinungen und Bewegungstäuschungen) zu vermeiden, so muss jeder Drehstromkreis durch einen allpoligen Schalter geschaltet werden.

Um bei Kurzschluss an einem Außenleiter den Ausfall des gesamten Drehstromkreises zu vermeiden, sollte ein allpoliger Schalter einem allpolig schaltenden LS-Schalter vorgezogen werden. Dies erhöht die Versorgungssicherheit der Beleuchtungsanlage. Die zum Drehstromkreis gehörenden Leitungen müssen in einem Rohr, in einer mehradrigen Leitung oder in denselben Hohlräumen von Lichtbändern oder Vouten verlegt sein, wobei der Neutralleiter gemeinsam sein kann.

Für die *Durchgangsverdrahtung von Lichtbändern* dürfen für Leuchten nach Reihe VDE 0711 ohne Temperaturkennzeichnung nur dann nicht wärmebeständige Leitungen verwendet werden, wenn nichts anderes in der Montageanweisung des Leuchtenherstellers angegeben ist. Mit *Temperaturkennzeichnung* müssen für Leuchten nach Reihe VDE 0711 Leitungen entsprechend den angegebenen Temperaturen verwendet werden. Die Temperaturkennzeichnung, die mit dem Symbol aus Tabelle 11.5, viertletzte Zeile, angegeben wird, gibt die maximal zulässige Temperatur für

die betroffenen Leitungs- bzw. Leiterwerkstoffe an. Die zulässigen Temperaturen für die Isolierung von Leitungen für Leuchten und von festen Installationsleitungen als Zuleitung für Leuchten reichen von

- 90 °C für gewöhnliches PVC und für Isolierung von festen Installationsleitungen ohne Schutzschlauch,
- 105 °C für wärmebeständiges PVC,
- 120 °C für Isolierung von festen Installationsleitungen mit Schutzschlauch (mit Leuchte mitgeliefert),
- 140 °C für Ethylen-Vinyl-Acetat (EVA),
- 170 °C für Silikon-Kautschuk (nur Druckbeanspruchung),
- 200 °C für Silikon-Kautschuk (ohne mechanische Beanspruchung) und für silikonimprägnierte Glasseide bis
- 250 °C für Polytetrafluorethylen (PTFE).

Sollten keine Informationen vom Hersteller vorliegen, müssen wärmebeständige Leitungen und/oder isolierte Leiter (z. B. wärmebeständige Silikonaderleitungen H05SJ-K, H05S-U/-K (ohne Beflechtung), wärmebeständige einadrige silikonisolierte- und ummantelte Leitungen H05SS-K) oder gleichwertige Bauarten verwendet werden. Zu hohe Temperaturen können sowohl auf die Kompaktbauweise der Vorschaltgeräte als auch auf andere Wärmeerzeuger in den Deckenhohlräumen, z. B. Klimaanlagen mit Deckenheizungen, zurückzuführen sein.

Für die Durchgangsverdrahtung dürfen nur solche Hohlräume in den Leuchten benutzt werden, die dafür vorgesehen sind und in denen das Verlegen der Leitungen ohne Verletzung der Isolierung möglich ist. In diesen Räumen dürfen die Leitungen mehrerer Lampenstromkreise gemeinsam verlegt werden. Die Klemmen (Anschlussklemmen nach Reihe VDE 0606 und nach VDE 0711-1) müssen an der Leuchte befestigt und gegen zufälliges Berühren geschützt sein.

Werden Lichtbänder pendelnd aufgehängt und sind sie nach der Decke offen, dann ist für einen zusätzlichen Berührungsschutz der im Lichtband enthaltenen Leitungen zu sorgen, wenn sie im Handbereich angeordnet sind.

Auch vorschriftsgemäße Vorschaltgeräte können im Fehlerfall zur *Brandgefahr* werden. Drosseln mit Windungsschluss erhitzen sich übermäßig, ohne dass die Sicherung anspricht. Kondensatoren mit brennbarer Füllung können explosionsartig zerstört werden und leicht entzündliche Stoffe, auch am Fußboden, entzünden. Leuchten auf normal entflammbaren Baustoffen (z. B. Holz oder Spanplatten) können diese im Fehlerfall entzünden.

Zur Kennzeichnung der Leuchten siehe Abschnitt 11.3.2.1.

Leuchten für Entladungslampen ohne das Zeichen ▽F dürfen auf Gebäudeteilen aus schwer oder normal entflammbaren Baustoffen nach DIN 4102-1 nur dann angebracht werden, wenn ein Abstand ≥ 35 mm zwischen Leuchte und Befestigungsfläche eingehalten wird. Wenn Leuchten gegenüber ihrer Befestigungsfläche nicht geschlossen sind, müssen sie auf ihrer ganzen Länge und Breite mit mindestens 1 mm dickem Blech abgedeckt werden.

Betriebsgeräte als nicht selbstständiges Zubehör von Leuchten im Sinne der Reihe VDE 0710 bzw. Reihe VDE 0711 dürfen nicht auf brennbarer Unterlage angebracht werden. Es sind ein Mindestabstand von 35 mm zur Befestigungsfläche und ausreichende Abstände zu anderen thermisch beeinflussten Flächen einzuhalten. Werden diese Betriebsgeräte in Gehäuse eingebaut, so ist für die Abfuhr der Wärme zu sorgen.

Betriebsgeräte, die nicht zugehöriger Bestandteil der Leuchte sind (unabhängiges Betriebsgerät, Einbaubetriebsgerät), müssen u. a. das Zeichen Ⓐ für ein unabhängiges Betriebsgerät tragen. Betriebsgeräte mit Schutzeinrichtung gegen Überhitzung müssen nach Art des Schutzes mit dem Bildzeichen ▽P (Klasse P) oder ▽... versehen sein. Statt der Punkte wird die maximale Gehäuse-Bemessungstemperatur in °C angegeben.

Betriebsgeräte mit Temperaturangaben bis 130 °C erfüllen die Bedingungen für ▽F-Leuchten. Die Schutzeinrichtung soll das Betriebsgerät von der Versorgung trennen, bevor die Gehäusegrenztemperatur überschritten wird. Die Betriebsgeräte der Klasse P entsprechen den Bestimmungen der USA.

Für Entladungslampen-Leuchten sollten Glimmstarter nach VDE 0712-101 oder elektronische Starter nach VDE 0712-31 verwendet werden, um Brandgefahren bei Nichtzündung vorzubeugen.

#### 11.3.2.4 Installationskanalleuchten

Langfeldleuchten (Leuchtstofflampen) werden oft zu *Lichtbändern* oder Lichtsträngen, die eine ganze Werkhalle durchziehen, aneinander gesetzt, wozu sich auch Schienenverteiler (s. Abschn. 7.9) eignen. Für große Räume und Bürohaus-Neubauten, auch mit versetzbaren Zwischenwänden, sind Einbauleuchten besonders geeignet, wenn sie in einem *Installationskanal* zusammengefasst werden. Der Kanal dient der Aufnahme aller Leitungen, die sonst in die Decke eingeputzt oder über die Lattung verlegt werden müssten (**Bild 11.16**). Er wird über die ganze Rohbaulänge verlegt und nimmt die Leuchteneinsätze erst nach Vollendung des Baus auf. Diese können in dem Kanal je nach Bedarf und beliebig verschiebbar als durchgehendes Lichtband oder als unterbrochene Leuchtenreihe angeordnet werden. Zwischen den Leuchten wird der Kanal mit weiß lackierten Abdeckblechen überdeckt.

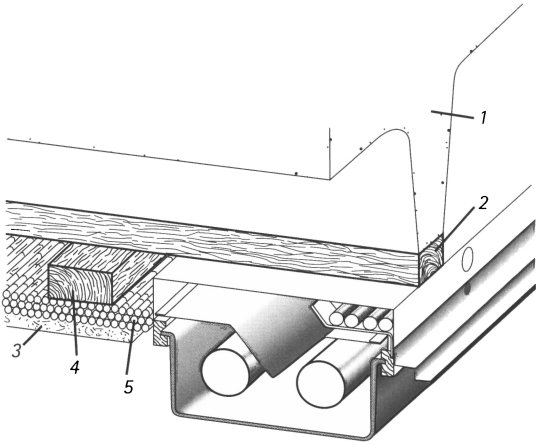



***Bild 11.16:*** *Einbauskizze für Installationskanalleuchten*
*1* Betonrippe; *2* Planplatte; *3* Gips; *4* Konterlatte; *5* Rohrmatte

Werden andere Stromkreisaufteilungen notwendig, z. B. beim Versetzen der Wände, so kann die Leuchtenanordnung ohne Neumontage, lediglich durch Umklemmen im Kanal oder Verschieben der Einsätze und Abdeckbleche geändert werden.

In dem Kanal können auch nach zusätzlicher Betriebsisolierung Fernmeldeleitungen verlegt werden, solche der Deutschen Telekom jedoch nur in geerdeten Metallrohren.

Die Leuchten dürfen aus akustischen Gründen nicht mehr als 20 % der Deckenfläche beanspruchen. Sie sollen, um die Luftführung nicht nachteilig zu beeinflussen, eben mit der Decke abschließen.

Es sind nur Leuchten zu verwenden, die vom Hersteller für den Einbau in Lichtbänder vorgesehen sind. In der Nähe der Vorschaltgeräte werden Temperaturen bis 120 °C erreicht. Daher sind für die innere Verdrahtung wärmebeständige Leitungen zu verwenden, z. B. H05SJ-K. Die Verwendung isolierter Verbindungsklemmen nach Reihe VDE 0606 wird empfohlen.

Bei der Montage von z. B. Rasterleuchten ist es oft schwer, die einzelnen leitfähigen Leuchtenteile einwandfrei an den Schutzleiter anzuschließen. Die Montageanweisungen sind sorgfältig zu beachten.

### 11.3.2.5 Luft führende Leuchten für Zwangsbelüftung

Elektrische Leuchten übertragen Wärme auf ihre Umgebung (**Tabelle 11.8**).

*Tabelle 11.8: Energieaufteilung bei Lampen*

| Energieart | Glühlampe 100 W | | Leuchtstofflampe 36 W | |
|---|---|---|---|---|
| | % | W | % | W |
| sichtbare Strahlung | 10 | 10 | 19 | 7 |
| Wärme insgesamt | 90 | 90 | 81 | 29 |
| davon | | | | |
| • Wärmestrahlung | 72 | 72 | 31 | 11 |
| • Wärmeleitung und Konvektion | 18 | 18 | 36 | 13 |
| • Vorschaltgerät | – | – | 14 | 5 |

*Einbau-Deckenleuchten* geben 40...55 % der in der Leuchte installierten Leistung nach unten in den Raum ab. Durch Lüftungs- oder Klimaanlagen muss eine Mindestmenge an Frischluft zugeführt werden, die als Abluft das Gebäude verlässt. Diese Luft kann nun durch oder um die Leuchten geleitet werden. Besteht im ganzen Gebäude ein Wärmeüberschuss, so wird die Abluft ins Freie geblasen. Andernfalls kann ein Teil der angewärmten Abluft der Zuluft beigemischt oder über einen Wärmeübertrager an ein Wassersystem übertragen werden.

In Großraumbüros sind Leistungen der Beleuchtungsanlage von vielen 100 kW und Betriebszeiten von 2 500 h jährlich keine Seltenheit. Es werden somit beachtliche Wärmemengen frei, die bei rechtzeitiger Planung abgeführt und nutzbringend verwertet werden können.

Dazu werden sog. *Luft führende Leuchten* eingesetzt. Das sind Leuchten für röhrenförmige Leuchtstofflampen mit Lüftungsanschlüssen oder spezielle Leuchten zum Einbau in zwangsbelüftete Decken. Die Luft kann entweder durch den Lampenraum oder durch besondere Wege geführt werden. Diese Leuchten nach VDE 0711-219 sind speziell für die Verwendung im Zusammenhang mit einem Klimatisierungssystem bestimmt.

Luft führende Einbauleuchten sind in der Regel als F-Leuchten ausgeführt (▽). Sie dürfen nur eingesetzt werden, wenn der Hersteller darauf hinweist, entweder durch Kennzeichnung auf der Leuchte oder durch Hinweis in einer Montageanweisung. Zusätzlich müssen der Hinweis „Zum Anschluss an Lüftungskanäle" und/oder „Zur Verwendung in belüfteten Decken" enthalten sein. Auch Zubehörteile müssen die Aufschrift „Zum Anschluss an Lüftungskanäle" tragen. Der Hersteller muss geeignete flexible Anschlussleitungen mitliefern.

Wenn die Leuchten nicht mit dem F-Zeichen versehen sind, müssen sie so montiert werden, dass keine äußere Oberfläche der Leuchte – soweit die Oberflächen innerhalb des Deckenabschnitts liegen – einen Abstand < 25 mm zu normal entflammbaren Werkstoffen hat. Dies muss der Hersteller der Leuchte entweder auf einem

an der Leuchte befestigten Schild durch ein Warnzeichen angeben, oder es muss in einer beigefügten Montageanweisung ein entsprechender Hinweis enthalten sein.

### 11.3.2.6 Schienenverteiler für Beleuchtungsanlagen

s. auch Abschn. 7.10; VDE 0660-600-6

Schienenverteiler für Beleuchtungsanlagen sind besonders dort geeignet, wo große Leistungen über lange Strecken zu versorgen sind. Als Einsatzbereiche finden sich Fabrikations- und Lagerhallen, Geschäftshäuser und Großraumbüros. Der Vorteil der Schienenverteiler ist, dass sich bei Änderung der Beleuchtungsverhältnisse die Leuchten ohne neue Verkabelung einfach umhängen lassen.

Der Aufbau eines Schienenverteilers ist aus **Bild 11.17** zu ersehen. Die üblichen Belastungswerte der Stromschienen betragen 25 A und 40 A. Das entspricht bei drehstrommäßiger Aufteilung einer Lampenleistung von etwa 16 kW bzw. 25 kW. Die Schienenverteiler werden an das Netz über Einspeisekästen angeschlossen. Die Schienenstränge werden aus Stücken von beispielsweise 1,6 m oder 3,2 m Länge in einem Arbeitsgang elektrisch und mechanisch zusammengesetzt. Für Richtungsänderungen und Verzweigungen stehen L-, T- und Kreuzkästen zur Verfügung. Über Abgangsstellen in regelmäßigen Abständen wird die elektrische Energie verteilt. Für den Abgriff werden steckbare Kontaktsysteme verwendet.

Die Stromschienen für Beleuchtungsanlagen werden im Drehstrom-Fünfleitersystem angeboten.

Die Leuchten werden vornehmlich direkt am System befestigt. Schnappbefestigungen gestatten ein rasches und einfaches Umsetzen, auch unter Spannung.

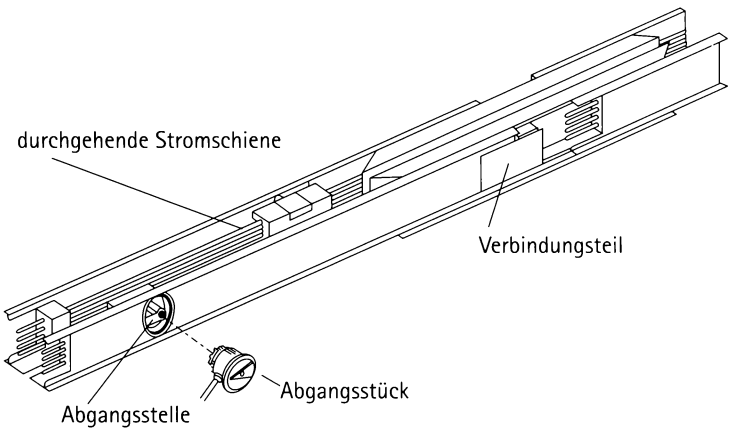



***Bild 11.17:*** *Schienenverteiler*

An die Schienenverteiler werden Leuchtbänder, einzelne Langfeldleuchten, aber auch Punktleuchten oder Strahler angebaut.

Schienenverteiler werden bevorzugt in den Schutzarten IP40 und IP43 angeboten. Sie dürfen nicht mit Stromschienensystemen nach VDE 0711-300 verwechselt werden, die im Abschnitt 11.3.2.7 beschrieben sind.

### 11.3.2.7 Stromschienensysteme für Leuchten

VDE 0711-300

Stromschienen sind ein- oder mehrphasige elektrische Leitungssysteme in Metall- oder Kunststoff-Profilkanälen. Die Strom führenden Rund- oder Flachkupferleiter sowie der Schutzleiter sind in Isolierstoff eingelegt. Mit Verbindungssteckern werden die Schienen zusammengefügt. Durch Stromabnehmer können Leuchten an beliebiger Stelle ohne Werkzeug angeschlossen werden. Das System wird in erster Linie mit Strahlern zur Effektbeleuchtung in Geschäftshäusern, Wohnungen usw. verwendet.

Auf den Stromschienen und Zubehörteilen müssen außer den üblichen Aufschriften für normale Leuchten folgende Aufschriften vorhanden sein: auf den Stromschienen der Bemessungsstrom in A und – falls zutreffend – das Bildzeichen für Schutzklasse III (SELV).

*Adapter* – das sind Einzelteile zur elektrischen und mechanischen Verbindung einer Leuchte an der Stromschiene – brauchen nur mit ihrem Bemessungsstrom, ihrer Bemessungsspannung, dem Namen des Herstellers oder der Handelsmarke und der Typbezeichnung gekennzeichnet zu sein, ggf. auch mit dem Schutzklasse-III-Bildzeichen. Adapter und Anschlussstücke für Leuchten, die in Leuchten eingebaut sind, brauchen keine zusätzliche Aufschriften zu haben. Wenn im Adapter eine Sicherung enthalten ist, müssen der Bemessungsstrom und der Sicherungstyp angegeben sein. Unter Umständen kann ein Warnhinweis auf dem Stromschienensystem oder in Herstellerunterlagen vorhanden sein, der besagt, dass der Benutzer darauf achten muss, dass keine mechanischen und thermischen Überbeanspruchungen durch die Leuchten auftreten, die an dem Stromschienensystem angebracht sind. Hinweise, die die Sicherheit betreffen, müssen in deutscher Sprache abgefasst sein. Es können noch weitere Warnhinweise angegeben sein, die vor allem die SELV-Versorgung (Schutz durch Kleinspannung mittels SELV, früher Schutzkleinspannung genannt), die Sicherheitstransformatoren, Adapter anderer Hersteller u. Ä. betreffen.

Die Systeme sind nicht für Räume bestimmt, in denen besondere Bedingungen herrschen, z. B. für feuchte oder explosionsgefährdete Betriebsstätten.

Genormte Systeme dürfen nur in Schutzklasse I (mit PE-Anschluss) oder Schutzklasse III (SELV) gebaut sein. Unteilbare Leuchten-Adapter-Anordnungen können

in Schutzklasse II (doppelte oder verstärkte Isolierung, früher Schutzisolierung genannt) gebaut sein. Getrennte Adapter dürfen allerdings nicht in Schutzklasse II ausgeführt sein, können aber zusammen mit Leuchten der Schutzklasse II verwendet werden. Stromschienensysteme in Schutzklasse I haben einen maximalen Bemessungsstrom von 16 A, in Schutzklasse III einen solchen in von maximal 25 A.

*Flexible Anschlussleitungen* müssen mindestens sein:

- Schlauchleitungen mit thermoplastischer PVC-Isolierung für leichte Beanspruchung H03VVH2-F (rund) und H03VV-F (flach) für Schutzklasse-I-Leuchten,
- Schlauchleitungen für mittlere Beanspruchung mit vernetzter Elastomer-Isolierung H05RR-F oder Schlauchleitungen mit thermoplastischer PVC-Isolierung für leichte Beanspruchung H03VVH2-F (rund) und H03VV-F (flach) für Schutzklasse-III-Leuchten.

Aus Gründen der mechanischen Festigkeit muss der Leiterquerschnitt $\geq 0{,}75\ mm^2$ sein. Einzelne Stromschienenlängen, die nicht durch zusätzliche Stromschienenlängen verlängert werden können, dürfen auch mit *festen Anschlussleitungen* angeschlossen werden. Der Leiterquerschnitt muss hier $\geq 1{,}0\ mm^2$ betragen.

Der *Isolationswiderstand* ist mit Gleichspannung von etwa 500 V zu messen. Der Widerstand muss mindestens 100 MΩ, geteilt durch die Länge der zu prüfenden Stromschiene in m, betragen. Er ist zwischen aktiven Teilen verschiedener Polarität sowie zwischen aktiven Teilen und Teilen, die mit dem Schutzleiter in Verbindung stehen, zu messen.

#### 11.3.2.8 Kleinspannungsbeleuchtungsanlagen

VDE 0100-715, VDE 0711-2-23

Ihres brillanten Lichts wegen werden *Kleinspannungs-Halogenleuchten* – auch *Niedervolt-Beleuchtungsanlagen* genannt – gerne eingesetzt, besonders dort, wo akzentuiertes Licht gewünscht wird. Derartige Anlagen haben vielfach vom Künstlerischen und somit von der Attraktivität her einen sehr hohen Stellenwert. Prinzipielle Befestigungsarten sind in **Bild 11.18** dargestellt.

Für das Errichten von Kleinspannungsbeleuchtungsanlagen gilt VDE 0100-715. Zusätzlich ist gegebenenfalls die einschlägige GDV-Publikation 2005 zu berücksichtigen. Als Produktbestimmung gilt VDE 0711-2-23 „Kleinspannungs-Beleuchtungssystem für Glühlampen". Für die Kleinspannungsbeleuchtungsstromkreise ist als Schutz gegen elektrischen Schlag nur Schutz durch Kleinspannung mittels SELV (frühere Bezeichnung: Sicherheitskleinspannung) zulässig. Wenn blanke Leiter verwendet werden, darf die Spannung entsprechend maximal AC 25 V oder DC 60 V betragen.

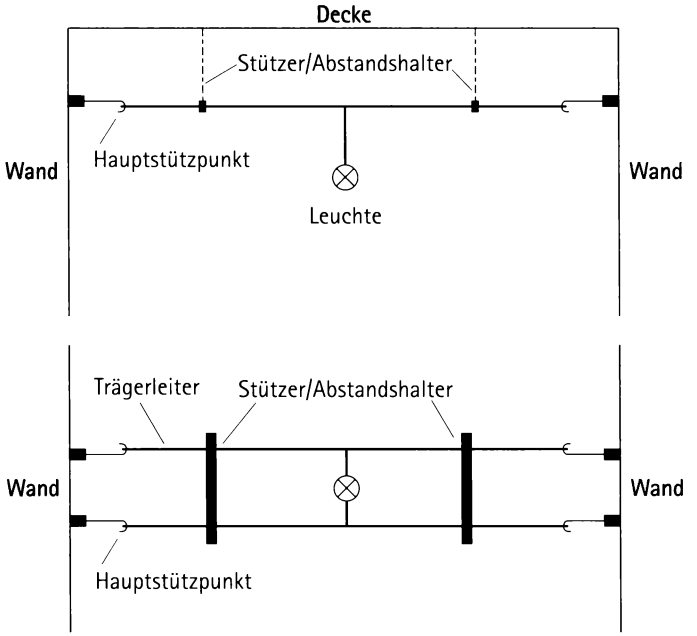



***Bild 11.18:*** *Prinzipielle Befestigungsart und Teile einer Kleinspannungs-Beleuchtungsanlage*

### Stromquellen

Kleinspannungs-Leuchtenstromkreise sind aus *SELV-Stromquellen* zu versorgen. Kleinspannungs-Beleuchtungssysteme nach VDE 0711-2-23 dürfen nur eine Bemessungsausgangsspannung von 24 V (Effektivwert, Scheitelwert max. 34 V) haben. Als SELV-Stromquellen eignen sich bedingt oder unbedingt kurzschlussfeste (s. Bildzeichen Abschn. 5.9) *Sicherheitstransformatoren* nach VDE 0570-2-6. Früher konnten auch Sicherheitstransformatoren nach der nicht mehr geltenden VDE 0551 mit dem Kennzeichen ▽M▽M für begrenzte Oberflächentemperatur eingesetzt werden. Transformatoren dürfen auf der Sekundärseite nur parallel geschaltet werden, wenn sie auch auf der Primärseite parallel geschaltet sind und gleiche elektrische Eigenschaften besitzen. Vorteile bieten auch sog. Konverter für Glühlampen nach VDE 0712-25 und -32. *Konverter* sind Geräte, die zwischen die Spannungsversorgung und die Halogenglühlampen oder andere Glühlampen geschaltet werden und die Lampen i. Allg. mit hochfrequenter Spannung versorgen. Bei dem Einsatz von Konvertern in Kleinspannungsbeleuchtungsanlagen müssen Konverter mit sicherer Trennung nach VDE 0712-32:2012-11, Anhang I bzw. VDE 0712-30:2013-11, Anhang I eingesetzt werden („Besondere zusätzliche

Anforderungen für unabhängige gleich- oder wechselstromversorgte elektronische Konverter mit Schutzkleinspannung (SELV) für Glühlampen"). Für LEDs kann ein Konverter mit sicherer Trennung nach VDE 0712-43:2015-05, Anhang I bzw. VDE 0712-30:2013-10, Anhang L verwendet werden. Konverter dürfen nicht parallel geschaltet werden. Sie sollten das Zeichen tragen. Konverter, die nicht in Leuchten oder andere Gehäuse eingebaut werden, müssen zusätzlich das Zeichen ○ für unabhängige Vorschaltgeräte tragen. Transformatoren und Konverter, aber auch Schutzeinrichtungen, müssen zuverlässig befestigt werden. Die Stromversorgung von Kleinspannungs-Stromkreisen für Beleuchtungsanlagen soll i. Allg. aus nur einer Stromquelle erfolgen. Bei längeren Leitungen ist zur Vermeidung eines zu großen Spannungsfalls die Einspeisung im mittleren Bereich der Leitung zu empfehlen. Sind mehrere parallel geschaltete Transformatoren vonnöten, so müssen diese fest über eine Geräteanschlussdose und auf der Primärseite eine gemeinsame Einrichtung zum Trennen angeschlossen werden, um Rückspannungen sicher zu vermeiden.

SELV-Stromquellen und andere Betriebsmittel, die oberhalb von Zwischendecken oder vergleichbaren Plätzen montiert sind, müssen dauerhaft angeschlossen sein.

**Schutzeinrichtungen**

Bei Bemessungsspannungen bis AC 25 V oder DC 60 V darf bei normalen, trockenen Umgebungsbedingungen auf einen Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) verzichtet werden. Deshalb werden für Kleinspannungsbeleuchtungsanlagen vielfach blanke frei hängende Leitungen verwendet. Dies ist aber aus Gründen des Brandschutzes bedenklich, wenn die Leitungen nicht durch Schutzgeräte überwacht werden, die die Stromkreise bei betriebsmäßiger Überlastung oder bei Kurzschluss abschalten.

Der Sekundärstromkreis muss gegen *Überstrom* entweder durch eine Schutzeinrichtung auf der Primärseite oder durch Schutzeinrichtungen in jedem Sekundärstromkreis geschützt werden. Beim Schutz auf der Primärseite ist der Einschaltstrom des Transformators (Magnetisierungsstrom des Transformators/Rush-Effekt) zu berücksichtigen. Die Schutzeinrichtung darf nur bis zu einer Transformatorleistung von 50 VA keine selbsttätig zurückstellende Temperaturbegrenzung enthalten. Der Überstromschutz als besondere Schutzeinrichtung gegen Brandgefahr ist aber auch gegeben, wenn

- der Leistungsbedarf der Lampen ständig überwacht wird und
- im Fall eines Kurzschlusses oder sonstigen Fehlers, der eine Leistungsanhebung > 60 W bewirkt, die Stromversorgung innerhalb von 0,3 s automatisch abgeschaltet wird und

- im Fall eines Fehlers, der eine Leistungsanhebung > 60 W bewirkt, während des Betriebs mit verminderter Leistung automatisch abgeschaltet wird, wobei die Leistungsminderung z. B. durch einen Regelungsfehler oder Lampenfehler hervorgerufen werden kann, und
- im Fall eines Fehlers, der eine Leistungsanhebung > 60 W bewirkt, beim Einschalten automatisch abgeschaltet wird und
- die spezielle Schutzeinrichtung bei Ausfall keine Gefahr darstellt (sog. Fehlersicherheit).

Diese speziellen, im Handel erhältlichen Schutzeinrichtungen überwachen die Stromkreise auf eine vorgewählte Lampenleistung hin. Wird diese Leistung durch weitere Verbraucher oder durch Fehler überschritten, z. B. die oben geforderten 60 W, so schaltet die Schutzeinrichtung ab.

Wenn Hin- und Rückleiter nicht isoliert, also blanke frei hängende Leiter, blanke Profilleiter oder blanke Stromschienen sind, muss

- der vorher beschriebene Überstromschutz unter den genannten Bedingungen eingesetzt werden oder
- ein Kleinspannungsbeleuchtungssystem für Glühlampen nach VDE 0711-2-23 eingesetzt werden (s. unten).

Ohne die beschriebenen wahlweisen Maßnahmen muss zumindest ein Pol der Versorgungsleitung isoliert werden.

Auch bei der Installation von Kleinspannungsanlagen ist darauf zu achten, dass auf brennbaren Oberflächen nur Leuchten mit dem F-Zeichen, im Fall von feuergefährdeten Betriebsstätten nur Leuchten mit begrenzter Oberflächentemperatur (Zeichen $\overline{\text{D}}$, früher: $\overline{\text{F}}\,\overline{\text{F}}$) eingesetzt werden dürfen. In jedem Fall sind die Angaben des Herstellers der Kleinspannungsbeleuchtungseinrichtung einzuhalten.

**Leitungen**

Verlegt werden dürfen isolierte Leiter in Elektroinstallationsrohren oder -kanälen, Leitungen für feste Verlegung (Kabel und Mantelleitungen), flexible Leitungen und Stromschienensysteme für Leuchten nach VDE 0711-300. Der Mindestquerschnitt von Leitern, die an der Sekundärseite von Transformatoren/Konvertern angeschlossen sind, müssen entsprechend dem Laststrom ausgewählt werden. Bei frei hängenden Leitungen und isolierten Leitern muss der Mindestquerschnitt aus Gründen der mechanischen Festigkeit 4 $mm^2$ Cu betragen. Bisher mussten sonstige Leiter einen Mindestquerschnitt von 1,5 $mm^2$ Cu haben. Bei einer maximalen Länge der Leiter von 3 m war bisher ein Querschnitt von 1 $mm^2$ erlaubt.

Bei Leitungen in Gemischtbauweise, bestehend aus einem Außengeflecht aus verzinntem Kupfer mit einem inneren Kern aus einem Werkstoff hoher Zugbelastbarkeit, muss der Leiterquerschnitt ebenfalls mindestens 4 $mm^2$ Cu betragen. Der Spannungsfall zwischen Transformator und der in größter Entfernung installierten Leuchte darf 5 % der Nennspannung der Kleinspannungsanlage nicht überschreiten. Konstruktionsteile von Vitrinen, Regalen u. dgl. dürfen nicht als aktive Leiter benutzt oder mitbenutzt werden. Blanke Leiter bis zu einer Bemessungsspannung von AC 25 V oder DC 60 V sind zulässig, wenn

- die Einrichtungen der Kleinspannungsbeleuchtungsanlage so hergestellt oder errichtet oder entsprechend gekapselt sind, dass die Gefahr eines Kurzschlusses auf ein Minimum reduziert ist, und
- die Leiter einen Querschnitt von mindestens 4 $mm^2$ haben und
- die Leistung der Stromversorgungsgeräte max. 200 VA beträgt, wobei eine Wirkleistung von 60 W nicht überschritten werden darf, und
- die Leiter nicht mit brennbaren Materialien in Berührung kommen.

Allerdings muss bei frei hängenden blanken Leitern eine Anschlussstelle isoliert sein, wenn nicht durch bestimmte Maßnahmen ein Kurzschluss ausgeschlossen wird. Die Anschlussleitung von der Stromquelle bis zur frei hängenden Leitung muss jedoch in jedem Fall isoliert verlegt sein. In feuergefährdeten Betriebsstätten (s. Abschn. 14.7) sind blanke, aktive Leiter nicht zugelassen, was nicht nur für Kleinspannungsbeleuchtungsanlagen gilt. Die Trägerleiter – sog. hängende Systeme – für Leuchten und der Profilleiter müssen die 5-fache Masse der angeschlossenen Leuchten, mindestens jedoch 5 kg tragen können. Das gesamte hängende System muss zugänglich sein. Leiteranschlüsse und Leiterverbindungen müssen durch Schraubklemmen oder schraubenlose Verbindungen erfolgen. Es dürfen nur nach VDE 0613-2-1 und -2 genormte Schraubklemmen und schraubenlose Klemmstellen verwendet werden. Die Leitungen müssen durch geeignete isolierende Vorrichtungen an den Wänden und Decken befestigt werden. Schneidklemmen und Anschlussseile mit Kontergewichten, die über frei hängende Leitungen gelegt werden, sind nicht erlaubt. Die blanken Leiter müssen außerdem so angeordnet werden, dass sie mit anderen leitfähigen Teilen nicht in Berührung kommen können. Natürlich dürfen Leiter nicht für fremde Zwecke verwendet werden, insbesondere nicht zum Aufhängen von Gegenständen wie Bezeichnungstafeln, Kleiderbügeln, Preistafeln.

Schutzeinrichtungen müssen leicht zugänglich sein. Werden sie oberhalb von Zwischendecken angebracht, so müssen sie an gut sichtbarer Stelle angebracht und dauerhaft angeschlossen werden und die Zwischendecken müssen leicht abnehmbar sein. Zusätzlich muss ein Hinweis vorhanden sein, der angibt, dass Schutzeinrichtungen vorhanden sind und wie sie angeordnet sind. Wenn die Identifizierung einer

Schutzeinrichtung eines Stromkreises nicht klar ersichtlich ist, muss durch ein Schild oder einen – z. B. aufgeklebten – Schaltplan in der Nähe der Schutzeinrichtung der Stromkreis und sein Zweck erkennbar sein.

Als Stromschienensysteme dürfen nur solche nach VDE 0711-300 verwendet werden, die aus einem SELV-System mit einer Bemessungsspannung bis 25 V ohne Schutzleiteranschlussstelle (Schutzklasse III) und einem Bemessungsstrom bis 25 A je Leiter bestehen. Stromschienensysteme dürfen nur auf Wänden und Decken oder abgehängt von Decken in normalen Innenräumen montiert werden.

**Schutz gegen zu hohe Oberflächentemperatur**

Im Handbereich zugängliche Leuchten und andere Teile der Beleuchtungsanlage dürfen keine Oberflächentemperaturen erreichen, die Verbrennungen bei Personen verursachen können (max. 80...90 °C); andernfalls sind die Teile gegen zufälliges Berühren zu schützen.

**Kleinspannungs-Beleuchtungssystem nach Bauvorschrift**

Neben der üblichen Installation, die darin besteht, dass die Kleinspannungs-Beleuchtungsanlage einzeln aus verschiedenen Komponenten zusammengebaut wird, kann in normalen Innenräumen auch ein komplettes Kleinspannungs-Beleuchtungssystem für Glühlampen nach VDE 0711-2-23 eingesetzt werden. Die vom Hersteller des Systems mitzuliefernde ausführliche Montageanweisung ist zu beachten. Das Beleuchtungssystem besteht aus der Stromquelle (Transformator oder Konverter), Trägerleitern und Leuchten sowie allen Verbindungs- und Befestigungselementen. Der Strom im Ausgangsstromkreis darf 25 A nicht überschreiten. Trägerleiter können elektrisch leitfähige Spanndrähte oder Profile sein, die zwischen den Hauptstützpunkten frei gespannt sind (s. Bild 11.18). Sie tragen die Leuchten und müssen das 5-fache der Masse der an ihnen angebrachten kompletten Leuchten tragen können. Dasselbe gilt auch für die Verbinder. Falls notwendig, müssen noch zusätzliche Stützpunkte verwendet werden. Der maximal zulässige Abstand zwischen den Hauptstützpunkten und den anderen Stützern ist der Montageanweisung des Herstellers zu entnehmen. Es dürfen nur so viel Leuchten für ein System verwendet werden, wie der Hersteller angibt. Verbindungen zwischen Leuchten und Trägerleiter dürfen in diesem Fall des nach Bauvorschrift gelieferten kompletten Beleuchtungssystems durch eine ggf. vorhandene Isolierung mittels durchdringender Steck- oder Schneidkontakte hergestellt werden. Stecker, die zum Anschluss zwischen Stromquelle und Trägerleiter verwendet werden, dürfen nicht mit den üblichen 230-V-Steckern verwechselbar sein. Trägerleiter verschiedener Kleinspannungs-Beleuchtungssysteme müssen so montiert werden, dass sie untereinander nicht in Kontakt kommen können.

### 11.3.2.9 Leuchtröhrenanlagen über 1 000 V

VDE 0128-1 u. -2

Leuchtröhren über 1 000 V werden zur Beleuchtung, Lichtwerbung oder Dekoration im Außen- und Innenbereich verwendet. Leuchtröhrengeräte oder -anlagen können ortsfest oder ortsveränderlich von einer Niederspannungs- bzw. Kleinspannungsstromquelle unter Zwischenschaltung eines Transformators, Wechselrichters oder Umrichters versorgt werden. Sie werden in Reihenschaltung mit *Hochspannungs-Streufeldtransformatoren* betrieben. Die Leerlaufspannung der Transformatoren muss der Summe der benötigten Zündspannungen aller angeschlossenen Röhren entsprechen. Die Bemessungs-Ausgangsspannung darf 10 kV, die Spannung gegen Erde 5 kV nicht überschreiten. Die Transformatoren müssen VDE 0713-6 entsprechen.

Neben den speziellen Transformatoren für Leuchtröhren werden auch *Wechselrichter* und *Umrichter* (nach Produktnorm: *Konverter*) eingesetzt. Eine gültige Norm für diesen speziellen Einsatz gibt es noch nicht. Umrichter (Konverter) müssen jedoch VDE 0712-40 entsprechen. Deshalb muss sich der Errichter der Leuchtröhrenanlage vergewissern, ob folgende Größen für die beabsichtigte Anwendung geeignet sind:

- Versorgungsspannung oder Versorgungsspannungsbereich,
- Eingangsstrom oder Eingangsleistung,
- Eingangs- und Ausgangsfrequenzen,
- Bemessungs-Ausgangsleerlaufleistung und deren Grenzabweichungen (max. 5 kV Effektivwert oder 0,5 · Scheitelwert, abhängig davon, welcher Wert größer ist),
- Bemessungs-Ausgangsstrom und Strombereich,
- Erdungsanschlüsse im Ausgangsbereich (ein Punkt der Ausgangswicklung muss mit Erde verbunden werden können).

Die Wechsel- und Umrichter (Konverter) müssen entsprechend den Anweisungen des Herstellers errichtet werden. Insbesondere sind die vom Hersteller anzugebende Länge und die Art der Leitung zwischen einem Wechsel- oder Umrichter und einer Leuchtröhre zu beachten. Als *Zubehör* gelten alle zum Betrieb einer Anlage erforderlichen Einrichtungen, wie Vorschaltgeräte (Drosseln, Kondensatoren, Widerstände), Wechsel- und Umrichter, Leitungen, Schalter, Leuchtröhren.

Ein *Leuchtröhrengerät* im Sinne der Reihe VDE 0713 ist eine anschlussfertig gelieferte Einrichtung, bei der Vorschaltgerät, Leuchtröhrenanschlüsse und alle unter Hochspannung stehenden Verbindungen in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht sind. Die in den folgenden Absätzen gestellten Anforderungen gelten nicht für diese nach Reihe VDE 0713 gebauten Geräte. Sie gelten nur für

Leuchtröhrenanlagen (VDE 0128-1), die am Verwendungsort installationsmäßig aus Leuchtröhren, Vorschaltgeräten, Leitungen und anderen Einzelteilen zusammengebaut bzw. -geschaltet werden.

In Gehäusen von Anlagen im Außenbereich müssen geeignete Öffnungen vorgesehen werden, damit das Wasser abfließen kann. Die Öffnungen müssen ausreichend groß sein, damit sie nicht mit Schmutz oder Schlamm verstopft werden.

Für die *Stromversorgung* der Leuchtröhrengeräte und -anlagen ist die VDE 0100 mit ihren Teilen anzuwenden, da es sich um Bereiche unter 1 000 V handelt. Grundsätzlich müssen Leuchtröhrenanlagen und -geräte den Anforderungen der EG-EMV-Richtlinie bzw. des EMV-Gesetzes entsprechen. Dazu sind die entsprechenden Normen zu beachten (VDE 0875-15-1 über Grenzwerte für Funkstörungen von elektrischen Beleuchtungseinrichtungen, VDE 0875-15-2 über spezielle EMV-Anforderungen an Beleuchtungseinrichtungen und VDE 0838-2 über Grenzwerte für Oberschwingungsströme). Die Geräte müssen das CE-Zeichen tragen, mit dem der Hersteller die Einhaltung der entsprechenden Normen bestätigt. Bei Anlagen ist darauf zu achten, dass Komponenten mit CE-Zeichen eingesetzt werden.

**Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) und Umhüllungen**

Alle Hochspannungs-Leuchtröhrenanschlüsse müssen durch *Isoliermuffen* geschützt werden. Diese müssen entweder aus Glas mit einer Wanddicke ≥ 1 mm, Silikongummi oder einem Werkstoff mit gleichen Eigenschaften hinsichtlich Isolation, UV-, Ozon- und Wärmebeständigkeit wie der Silikongummi bestehen. Der Silikongummi muss eine hohe Reißfestigkeit mit einer Shore-A-Härte von etwa 50 haben.

Leuchtröhrenanschlüsse innerhalb des Handbereichs müssen zusätzlich durch ein *Gehäuse* oder eine andere Schutzvorrichtung geschützt werden. Das Gehäuse oder die Schutzvorrichtung muss mindestens in IP2X ausgeführt sein. Dabei muss die Schutzart IP2X selbst bei zerbrochener Röhre erhalten bleiben. Das bedeutet, dass es nicht möglich sein darf, einen Prüffinger in das zerbrochene Ende einer Röhre zu stecken und die spannungsführende Elektrode zu berühren. Metallene Schutzeinrichtungen müssen geerdet werden (s. unten). Bei nichtmetallenen Materialien muss der Hersteller des Materials bestätigen, dass dieses in der Nähe der Röhrenelektroden eingesetzt werden darf und für die gesamte zu erwartende Lebensdauer der Leuchtröhrenanlage geeignet ist. Hierbei sind alle Umgebungsbedingungen für den Außenbereich zu beachten (UV-Strahlung, Ozon, Nässe). Das Innere der Schutzumhüllung darf nur mit Werkzeug zugänglich sein. Ein vollständig geschlossenes Buchstaben- oder Zeichengehäuse oder ein Leuchtröhrengerät braucht keinen zusätzlichen Schutz. Wenn der Stromkreis mit einer sog. *Leerlauf-Schutzeinrichtung* nach VDE 0128-2 ausgerüstet ist, braucht der Schutz bei zerbrochener Röhre nicht mehr gegeben zu sein.

Außerhalb des Handbereichs müssen Hochspannungs-Leuchtröhrenanschlüsse ebenfalls durch das oben beschriebene Gehäuse oder eine andere Schutzvorrichtung geschützt sein. Allerdings braucht bei zerbrochener Röhre der Schutz gegen direktes Berühren nicht mehr gegeben zu sein. Wenn die Leuchtröhrenanlage mit einer Leerlauf-Schutzeinrichtung ausgerüstet ist, reicht diese als Schutz; ein Gehäuse oder eine andere Schutzeinrichtung ist dann nicht erforderlich.

Zugangsstellen zu Leuchtröhrenanlagen und Leuchtröhrengeräten oder Gehäuse von Hochspannungstransformatoren, Wechselrichtern oder Umrichtern müssen das *Warnzeichen* D-W008 „Warnung vor gefährlicher elektrischer Spannung" (schwarzer Blitzpfeil im Dreieck auf gelbem Untergrund) nach DIN 4844-2 mit dem rechteckigen Zusatzzeichen D-S002 nach derselben Norm mit der Aufschrift „Hochspannung Lebensgefahr" tragen. Das dreieckige Warnzeichen muss eine Seitenlänge von mindestens 50 mm haben. Das Warnzeichen W012 nach DIN EN ISO 7010 und nach ASR A1.3 lautet „Warnung vor elektrischer Spannung" und entspricht der Bedeutung von D-W008 nach DIN 4844-2. Bei größeren Anlagen sind mehrere solcher Warnschilder anzubringen, damit von jeder Seite der Anlage auf die Gefahr hingewiesen wird. Wegen des Betriebs mit Spannungen über 1 kV muss auf die Einhaltung bestimmter *Kriech-* und *Luftstrecken* geachtet werden, die von den Umgebungsbedingungen (Innen- oder Außenbereich) und von der Betriebsfrequenz der Hochspannung abhängig sind und Tabellen 1 bis 4 der VDE 0128-1:2003-06 zu entnehmen sind. Gegenüber der VDE 0128:1998-09 sind die Kriech- und Luftstrecken reduziert worden, weil die Praxis gezeigt hat, dass sie zu groß dimensioniert waren. Anstelle von vorher angegebenen Formeln werden nun Werte angegeben.

**Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren)**

Für den Eingangskreis gilt VDE 0100-410 (s. Kap. 5). Zum Schutz bei indirektem Berühren auf der Ausgangsseite (Hochspannungskreis) ist ein Potenzialausgleich durchzuführen, in den alle Metallteile und die Erde einbezogen werden müssen. Dazu sind die zur Anlage gehörenden Körper, die leitfähigen Konstruktionsteile (nicht jedoch Kabelschellen und Leuchtröhrenhalter) und die metallenen Tragegerüste gut leitend miteinander und mit dem Erdungspunkt des Transformators durch einen *Schutzleiter* zu verbinden, wenn nicht die Metallteile auf andere Weise geerdet sind. Alle Teile müssen dazu mit einer Schutzleiterklemme versehen sein. Wegen einer zuverlässigeren Verbindung sollten für die Schutzleiteranschlüsse an metallenen Teilen Fächerscheiben nach DIN 6798 (zurückgezogen, ohne Nachfolgenorm) verwendet werden. Als Schutzleiter können dienen:

- getrennte grün-gelbe Leitung $\geq 4\ mm^2$ Cu ohne mechanischen Schutz oder $\geq 2{,}5\ mm^2$ Cu mit mechanischem Schutz oder

- ein- oder feindrähtige Leiter ≥ 1,5 mm$^2$ Cu als Teil einer Leuchtröhren-Mantelleitung und geschützt durch deren Außenmantel oder
- die Metallgeflechtabschirmung einer Hochspannungsleitung, wobei der Gesamtquerschnitt aller Einzeldrähte ≥ 1,5 mm$^2$ Cu sein muss. Dabei ist zu beachten, dass die Anschlüsse am Schirm durch Entflechten des Metallgeflechts und Verdrillen der Einzeldrähte hergestellt werden müssen, sodass ein genügend langer Leiter zur Verfügung steht, der an eine Schutzleiterklemme angeschlossen werden kann. Anschlüsse mittels einer um das Geflecht gelegten Metallschelle sind hier nicht zulässig. Weiter ist zu beachten, dass die elektrische Leitfähigkeit von Verbindungen zwischen Metallteilen nicht durch nicht leitende Schichten, wie Lack oder Kleber, gemindert wird; ggf. sind solche einzelnen Metallteile durch separate Leitungen zu verbinden.

**Erdschluss- und Leerlaufschutz**

Durch Transformatoren, Wechselrichter oder Umrichter gespeiste Hochspannungsstromkreise müssen durch eine *Erdschluss-Schutzeinrichtung* und durch eine *Leerlauf-Schutzeinrichtung* geschützt werden (**Bild 11.19**). Die Erdschluss- und Leerlauf-Schutzeinrichtungen dienen dazu, den Ausgang eines Transformators, Umrichters oder Wechselrichters oder mehrerer Transformatoren, Umrichter und Wechselrichter spannungsfrei zu machen, sobald im Ausgangs-Hochspannungsstromkreis ein Erdschluss bzw. eine Unterbrechung (Leerlauf) auftritt. Die Schutzeinrichtungen können jeweils aus zwei Teilen bestehen – einem Signalgeber und einem Schutzschalter – oder in einer Einheit kombiniert sein. Der *Signalgeber* dient dazu, die eigentlichen Fehler im Hochspannungsstromkreis zu erkennen. Bei einem Erdschluss oder bei einer Unterbrechung im Ausgangs-Hochspannungsstromkreis (Leerlauf) oder bei beiden Fehlern zusammen gibt der Geber ein Signal, das zum Auslösen des *Schutzschalters* im Einspeisekreis – also zum Ausschalten der Stromversorgung auf der Eingangsseite – oder der Unterbrechungseinrichtung im Hochspannungskreis – also zur sekundärseitigen Abschaltung – führt. Bei einpoliger Abschaltung der Stromversorgung muss der Außenleiter abgeschaltet werden. Eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) ist für eine Erdschlussüberwachung in der Regel nicht geeignet. Die Signalgeber und Schutzschalter dürfen in einem Gerät enthalten sein. Die Schutzeinrichtungen dürfen auch mehrere Leuchtröhrenstromkreise schützen.

Vom Errichter der Leuchtröhrenanlage sind die vom Hersteller bescheinigten Leistungsmerkmale der Schutzeinrichtungen zu beachten. Solche Leistungsmerkmale sind Eignung von Komponenten, wie Schutzeinrichtungen, Signalgeber für die jeweiligen Umgebungsbedingungen. Dies können z. B. Minimal- und Maximalwerte der Außentemperatur (–25 °C bis +65 °C), Temperaturen in Gehäusen, Bemes-

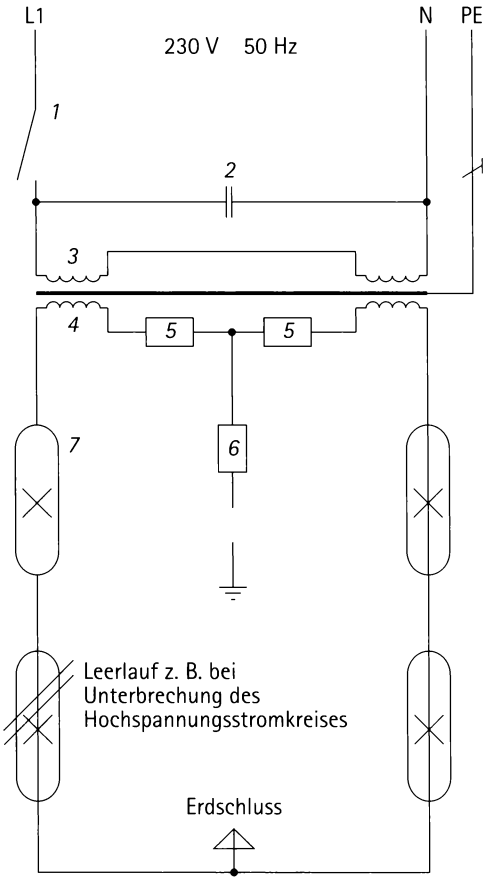



***Bild 11.19:*** *Prinzipschaltbild einer Leuchtröhrenanlage mit Erdschluss- und Leerlauf-Schutzeinrichtung*
*1* Schalter vom Erdschluss- und Leerlaufschutzschalter; *2* Blindstromkondensator; *3* Transformator-Eingangsseite; *4* Transformator-Ausgangsseite; *5* Signalgeber für den Leerlaufschutzschalter, spricht an bei Unterbrechung des Hochspannungsstromkreises; *6* Signalgeber für den Erdschlussschutzschalter, spricht an bei einem Erdschlussstrom; *7* Leuchtröhren

sungsströme, Abschaltzeiten, Spannungsgrenzen sein. Detaillierte Anforderungen und Leistungsmerkmale sind in VDE 0128-2, genannt.

Jeder Signalgeber wird an seine eigene Schutzeinrichtung angeschlossen. Die Schutzeinrichtung darf innerhalb oder außerhalb des Transformator-, Umrichter- oder Wechselrichtergehäuses liegen. Die Signalgeber von mehreren Transformatoren,

Umrichtern oder Wechselrichtern können auch an nur eine Schutzeinrichtung angeschlossen werden, die zwischen der jeweiligen Eingangsseite und der Stromversorgung angeordnet ist. Der Hersteller muss angeben, wie viele Signalgeber maximal an eine Schutzeinrichtung angeschlossen werden dürfen.

Die Abschaltung der Stromversorgung im Fehlerfall durch die Schutzeinrichtungen darf nur über mechanische Kontakte geschehen und nicht über Halbleiterschalter, wie Thyristoren oder Triacs. Wenn allerdings Umrichter oder Wechselrichter die galvanische Trennung zwischen Eingangs- und Ausgangskreis sicherstellen, dürfen auch elektronische Schalter eingesetzt werden.

Wenn die Schutzeinrichtung infolge eines Erdschlusses oder Leerlaufs im Hochfrequenzteil ausgelöst hat, muss sie so lange im ausgelösten Zustand bleiben, bis die Stromversorgung ebenfalls abgeschaltet hat. Wenn dann die Stromversorgung wieder eingeschaltet wird, muss die Schutzeinrichtung automatisch in ihre Ausgangsstellung zurückkehren. Falls während des Wiedereinschaltens der Erdschluss oder der Leerlauf weiter besteht, muss die Schutzeinrichtung wie oben beschrieben wieder auslösen. Dies soll sicherstellen, dass die Stromversorgung erst wieder zugeschaltet wird, wenn die Ursache der Fehlauslösungen beseitigt ist. Fehlauslösungen können durch Regen oder Kondenswasser oder auch durch vorübergehende große Verzögerungen beim Zünden der Leuchtröhren auftreten.

Zum Erzielen besonderer Lichteffekte, die den Eindruck einer Bewegung oder andere Trickeffekte hervorrufen sollen, werden sog. *Blinkgeräte* eingesetzt, die den Leuchtröhrenstromkreis oder mehrere Leuchtröhrenstromkreise ständig automatisch ein- und ausschalten. Wenn in einer Leuchtröhrenanlage oder einem Leuchtröhrengerät ein Blinkgerät vorhanden ist, müssen alle Schutzschalter und Rückstelleinrichtungen auf der Eingangsseite des Blinkgeräts angeordnet sein, weil sonst im Fall eines Fehlers der Schutzschalter ständig auslösen und wieder einschalten würde. Falls sich das Schutzgerät oder die Schutzgeräte zum sekundärseitigen Abschalten auf der Ausgangsseite in dem Gehäuse der Transformatoren, Wechsel- oder Umrichter befinden, muss ein zusätzlicher Schutzschalter auf der Stromversorgungsseite des Blinkgeräts vorhanden sein. Der Schutzschalter muss vom eingebauten Signalgeber angesteuert werden können.

**Leitungen, Leitungsverlegung**

Leitungen für Leuchtröhrengeräte und Leuchtröhrenanlagen müssen für die zu erwartenden Umgebungsbedingungen geeignet sein. Bisher waren in Deutschland die Leitungsarten NYL, NYLY und NYLRZY zugelassen; weitere Bauarten sind hinzugekommen. Die Leitungsbauarten, die als Leuchtröhrenleitungen verlegt werden dürfen, werden nach VDE 0128-1 mit den Großbuchstaben A bis K abgekürzt (**Tabelle 11.9**). Innerhalb von Schutzumhüllungen dürfen alle Leitungen verlegt werden.

Als *Schutzumhüllungen* gelten Gehäuse für Leuchtröhren, geschlossene Buchstaben oder Zeichen, Installationskanäle, Stahlrohre und flexible Stahlpanzerrohre. Bis auf die Bauart K sind alle angegebenen Leitungen für Dauerbetrieb bei Spannungen bis 5 kV gegen Erde geeignet, Leitung K dagegen nur für Dauerbetrieb bis 2,5 kV gegen Erde. Die Leitungsisolierung darf geerdete Metallteile berühren. Wenn eine mechanische Beschädigung nicht auszuschließen ist, müssen die Leitungen in Kanälen verlegt oder auf andere Weise geschützt werden. Die Kanäle müssen aus Metall oder schwer entflammbarem, selbstverlöschendem Material nach VDE 0711-1 Abschnitt 13.3 (Beständigkeit gegen Feuer und Entzündung) bestehen. Metallene Kanäle müssen geerdet werden. Wegen der Gefahr der Beschädigung des Bleimantels darf die Leitungsbauart A bis auf kurze Strecken, z. B. durch Wände und Fußböden, nicht in Rohren oder anderen engen Umhüllungen verlegt werden. Solche kurzen metallenen Rohrstücke müssen auch geerdet werden.

***Tabelle 11.9:*** *Leuchtröhrenleitungen*

| Bauart | Eigenschaften, Verlegung |
|---|---|
| A | eindrähtige, einadrige, bis 85 °C beständige, gummiisolierte Leitung mit Bleischirm ohne Mantel. Verlegen: überall zugelassen |
| B | feindrähtige, einadrige bis 150 °C beständige, mit Silikongummi isolierte Leitung. Verlegen: nur innerhalb von Schutzumhüllungen; nicht zugelassen in und unter Putz |
| C | feindrähtige, einadrige, bis 150 °C beständige, mit Silikongummi isolierte Leitung mit einem Mantel entweder aus PVC oder einem polymeren Kunststoff mit geringer Entwicklung von Rauch und giftigen Gasen im Brandfall. Verlegen: überall zugelassen außer in und unter Putz |
| D | feindrähtige, einadrige bis 150 °C beständige, mit Silikongummi isolierte Leitung mit einer Drahtumflechtung und einem Mantel aus PVC oder einem polymeren Kunststoff mit geringer Entwicklung von Rauch und giftigen Gasen im Brandfall. Verlegen: überall zugelassen |
| E | feindrähtige, einadrige PVC-isolierte Leitung mit einem Mantel aus Zinkband und einem mehrdrähtigen Schutzleiter; PVC-Außenmantel. Verlegen: überall zugelassen |
| F | feindrähtige, einadrige PVC-isolierte Leitung mit einem mehrdrähtigen Schutzleiter; PVC-Außenmantel. Verlegen: überall zugelassen außer in und unter Putz |
| G | feindrähtige, einadrige PVC-isolierte Leitung. Verlegen: nur innerhalb von Schutzumhüllungen; nicht zugelassen in und unter Putz |
| H | feindrähtige, einadrige PE-isolierte Leitung mit PVC-Außenmantel; Wanddicke (Nennwert) der PE-Isolierung 3 mm. Verlegen: überall zugelassen außer in und unter Putz |
| K | feindrähtige, einadrige PE-isolierte Leitung mit PVC-Außenmantel; Wanddicke (Nennwert) der PE-Isolierung 1,5 mm; nur für Dauerbetrieb bei Spannungen bis 2,5 kV gegen Erde. Verlegen: überall zugelassen außer in und unter Putz |

Leuchtröhrenleitungen müssen ohne Verbindungen durchgehend sein, jedoch dürfen vorübergehende Verbindungen hergestellt werden, z. B. wenn wegen einer Reparatur eine Leuchtröhre ausgebaut wird. Zwischen der Ausgangsseite eines Umrichters oder Wechselrichters und der Leuchtröhre darf nur die vom Hersteller dieser Geräte vorgeschriebene Leitungsart verwendet werden. Diese Leitung muss für den Betrieb mit Hochfrequenz und mit der Ausgangsspannung des Um- oder Wechselrichters geeignet sein. Wenn an den Transformatoren, Um- oder Wechselrichtern nur eine Hochspannungsklemme vorhanden ist, muss die Leitung zwischen Leuchtröhre und Erde oder die Rückleitung zum Transformator, Um- oder Wechselrichter den Leitungsbauarten A bis K entsprechen.

*Leitungshalterungen* müssen aus Metall oder feuchtigkeitsabweisendem, selbstverlöschendem Material sein, das dem Abschnitt 13.3 der VDE 0711-1 (Beständigkeit gegen Feuer und Entzündung) entspricht. Die Abstände nach VDE 0128-1:2003-06 zwischen den Leitungshalterungen sind **Tabelle 11.10** zu entnehmen.

***Tabelle 11.10:*** *Abstände zwischen Leitungshalterungen von Leuchtröhrenleitungen*

| Leitungsart | Winkel zwischen waagerechter und schräg verlegter Leitung | Abstand der Leitungshalterungen mm |
|---|---|---|
| feindrähtiger Leiter | ≤ 45° | 500 |
| | > 45° | 800 |
| eindrähtiger Leiter | ≤ 45° | 800 |
| | > 45° | 1 250 |

Der erste Leitungshalter darf nicht weiter als 150 mm von der Elektrode entfernt sein. Bei Leitungen mit Metallschirm darf der Biegeradius den 8-fachen Leitungsdurchmesser nicht unterschreiten. Leitungen dürfen in die Gehäuse nur durch Kabelverschraubungen oder sog. Kabeltüllen geführt werden. Im Freien müssen die Durchführungskomponenten mindestens die Schutzart IPX4 (Spritzwasserschutz) haben.

Leuchtröhrenleitungen müssen *so kurz wie möglich* sein; besonders gilt das für Leitungen mit geerdeter metallener Abschirmung. Die Gründe dafür sind kurzzeitige hohe Spannungsspitzen aufgrund der Eigenkapazität zwischen Leiter und metallener Abschirmung. Diese Spannungsspitzen können Funkstörungen und Flimmern bei bestimmten Gasen hervorrufen, was wiederum zur Lebensdauerverkürzung führt. Deshalb gibt es nach VDE 0128-1 empfohlene maximale Längen abgeschirmter Leitungen für die Gase Neon (Ne) (auch Neon-Argon-Gemisch) und Quecksilber (Hg) (**Tabelle 11.11**). Diese empfohlenen Längen bieten jedoch keine Garantie für den einwandfreien Betrieb bei allen Betriebsströmen und Rohrdurchmessern und sind deshalb als Hinweise zu sehen.

*Tabelle 11.11: Empfohlene Grenzwerte für einfache Leitungslängen in m*

| Spannung gegen Erde | 1 kV | | 2 kV | | 3 kV | | 4 kV | | 5 kV |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gasart | Hg | Ne | Hg | Ne | Hg | Ne | Hg | Ne | Hg |
| Leitungsbauart B, C, F, G, H, K | 40 | 20 | 30 | 15 | 20 | 10 | 15 | 7 | 10 |
| Leitungsbauart A, D, E | 24 | 12 | 16 | 8 | 12 | 6 | 9 | 4 | 6 |

### Hochspannungsanschlüsse

Die Elektrodenanschlüsse der Leuchtröhren müssen mit Klemmen ausgeführt sein, die vor Rost und anderer Korrosion geschützt sind. Statt Klemmen können auch andere geeignete Befestigungselemente verwendet werden. Die durch das Entfernen des Kunststoffmantels frei liegende Leiterisolierung und der frei liegende Metallschirm sind vor Zerstörung durch Witterungseinflüsse zu schützen, z. B. durch eine Isoliermuffe oder Isolierkappe, die über die Leitung, den Leitungsanschluss und die Elektrode gestülpt werden.

### Leuchtröhrenhalter

Die Röhren werden durch besondere Halter befestigt. Die Leuchtröhrenhalter können aus Metall oder aus Isolierstoff sein. Metallhalter müssen auf einem Isolator montiert werden. Die Leuchtröhrenhalter müssen gegen Erde so isoliert sein, dass sie für die Ausgangs-Leerlaufspannung des Transformators, Um- oder Wechselrichters geeignet sind. Zwischen der Glasrohrwand der Leuchtröhre oder einer am Rohr anliegenden Metallklemme und geerdeten Metallteilen müssen eine *Kriechstrecke* von mindestens $D = U$ ($D$ in mm) und eine *Luftstrecke* $C = 0{,}75\ U$ ($C$ in mm) gegeben sein. $U$ ist die Ausgangs-Leerlaufspannung des speisenden Transformators, Um- oder Wechselrichters in kV. Aus Gründen der Umgebungsbedingungen (Ozon, UV-Strahlung) und des Brandschutzes sollten die Halter aus Glas, glasierter Keramik oder Polycarbonat sein. Es empfiehlt sich, verstellbare Leuchtröhrenhalter einzusetzen, um Fertigungstoleranzen der Leuchtröhren ausgleichen zu können.

### Prüfungen/Instandhaltung

Vom Errichter der Leuchtröhrenanlage oder des Leuchtröhrengeräts ist vor deren Inbetriebnahme festzustellen, ob die Anlage in allen Teilen den Bestimmungen der VDE 0128-1 entspricht. Für kleine ortsveränderliche Geräte genügt eine Herstellerbescheinigung über die Normenkonformität. Die Prüfung besteht aus einer Besichtigung, einer Erprobung und Messungen. Insbesondere müssen die Bauart der Leitungen, die Leitungsverlegung, die Anschlüsse auf der Hochspannungsseite, die Luft- und Kriechstrecken, die Erdungsverbindungen und die mechanischen Bauelemente überprüft werden.

Die Erdschluss- und die Leerlauf-Schutzeinrichtung müssen hinsichtlich Funktion und richtiger Montage erprobt werden. Hierbei ist nach den Anweisungen des Herstellers vorzugehen. Die Leistungsmerkmale der Geräte müssen vom Hersteller bescheinigt sein und brauchen nicht erprobt zu werden.

Zum Feststellen, ob der Betriebsstrom innerhalb der vom Hersteller des Transformators, Umrichters oder Wechselrichters angegebenen Toleranz liegt, ist in jedem Stromkreis der Röhrenstrom zu messen, aber nur, wenn die Leuchtröhren nicht mit einem Konstantstrom-Transformator, -Umrichter oder -Wechselrichter betrieben werden. Die Messung sollte am Herstellungsort durchgeführt werden, wo die Anlage komplettiert wird, z. B. in der Werkstatt, da hier bequemer zusammengeschaltet und einreguliert werden kann. Zu hohe Ströme senken die Lebensdauer, zu geringe beeinträchtigen die Leuchtkraft.

Der Normengeber schreibt vor, dass der Errichter der Leuchtröhrenanlage den Eigentümer oder Betreiber der Anlage auf die Notwendigkeit einer regelmäßigen Instandhaltung und Sicherheitskontrolle hinzuweisen hat. Dieser für eine Norm etwas ungewöhnliche Hinweis ist offensichtlich deshalb erforderlich, weil die Anlagen bisher ungenügend gewartet wurden, was aus Sicht der elektrischen Sicherheit nicht akzeptabel wäre. Da in einer Norm auch keine zeitlichen Abstände einer regelmäßigen Instandhaltung und Sicherheitskontrollen vorgegeben werden können, kann der Errichter auch nur maximale Abstände empfehlen. Allerdings können solch empfohlene Zyklen für Sicherheitskontrollen für eine erforderliche Gefährdungsbeurteilung nach der Betriebssicherheitsverordnung und gegebenenfalls auch von Sachversicherern zur Risikobeurteilung, aber auch für den Abschluss von Wartungs- und Instandsetzungsverträgen als Grundlage herangezogen werden. Bei den Sicherheitskontrollen sollten die vorher beschriebenen Prüfungen durchgeführt werden.

Da noch sehr alte Leuchtröhrenanlagen in Betrieb sein können, sei erwähnt, dass Leuchtröhrenanlagen mit Reliefkörpern, die ganz oder teilweise aus brennbaren Materialien, z. B. aus Acrylglas, bestehen und deren Erdschlussstrom > 25 mA ist, zur Vermeidung von Bränden bis zum 31. Mai 1982 mit Erdschlussschaltern nachgerüstet werden mussten.

**Aufschriften/Dokumentation**

An gut sichtbarer Stelle direkt an der Leuchtröhrenanlage, am Leuchtröhrengerät oder in deren Nähe sind dauerhaft und gut lesbar auf einem Schild oder Etikett der Name und die Anschrift des Herstellers oder des Errichters der Anlage und das Jahr der Montage anzugeben. Dem Betreiber der Anlage ist vom Errichter ein vereinfachter Schaltplan, ein Datenblatt oder ähnliche Unterlage auszuhändigen,

um die Instandhaltung zu erleichtern. Aus den Unterlagen muss ersichtlich sein, welche Transformatoren, Umrichter oder Wechselrichter mit welchen Leuchtröhren betrieben werden. Die Unterlagen sind nach jeder Änderung zu berichtigen. Jede wesentliche Änderung sollte auch auf einem Datenschild vermerkt werden.

### 11.3.2.10 Ausstellungsstände von Leuchten in Verkaufsräumen

VDE 0100-559

Ausstellungsstände (bisher als Vorführstände bezeichnet) für Leuchten sind dauerhafte Stände in Verkaufsräumen oder in Teilen von Verkaufsräumen, die zur Ausstellung von Leuchten dienen. Nicht zu den Ausstellungsständen für Leuchten gehören Messestände, bei denen die Leuchten für die Dauer der Messe fest angeschlossen bleiben, vorübergehend aufgestellte Ausstellungstafeln mit fest angeschlossenen Leuchten und Ausstellungstafeln mit einem Leuchtensortiment, das wie ein steckerfertiges Gerät angeschlossen wird.

Bis zum Inkrafttreten des neuen Teils 559 vom Juni 2006 (zurückgezogen: 2009-06) waren für den Anschluss von Ausstellungsständen für hängende Leuchten oder Wandleuchten nur Steckdosen nach DIN 49440 (s. Abschn. 11.2.3), Stromschienensysteme oder Strombahnen (s. Abschn. 11.3.2.7) zulässig. Bei Wandleuchten waren ein Anschluss über Klemmen nur zulässig, wenn diese erst nach zwangsläufiger Freischaltung zugänglich waren. Nun ist die Auswahl an Verbindungselementen sehr viel größer. Es können Anschlussklemmen nach VDE 0613-1 (Schraubklemmstellen, schraubenlose Klemmstellen, Durchdringklemmstellen, Drehklemmstellen, Verbindungsmaterial mit Verbindungsdosen), Stecker eines Betriebsmittels zum Anschluss einer Leuchte (DCL) (s. Abschn. 11.3.2.1), zum Anschluss geeignete Installationssteckverbinder (VDE 0606-200) aber auch anderes geeignetes und passendes Verbindungsmaterial zum Anschluss verwendet werden. Schutz gegen elektrischen Schlag ist durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV oder durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) zu gewährleisten, wobei $I_{\Delta n} \leq 30$ mA sein muss.

### 11.3.2.11 Beleuchtungsanlagen im Freien

VDE 0100-714

VDE 0100-714 gilt für feste Beleuchtungsanlagen im Freien. Darunter fallen Beleuchtungsanlagen für Straßen, Parks, Gärten, Plätze mit öffentlichem Zugang, Sportplätze, die Beleuchtung von Denkmälern mit Flutlicht, aber auch Beleuchtungsanlagen anderer Einrichtungen mit integrierter Beleuchtung, z. B. Telefonzellen, Autobuswartehäuschen, Hinweistafeln, Stadtpläne und Verkehrszeichen. Die Anforderungen gelten aber nicht für zeitweilige Girlandenbeleuchtung.

Ausgenommen vom Geltungsbereich sind auch Straßenverkehrssignalanlagen und außen an einem Gebäude angebrachte Leuchten, die direkt vom inneren elektrischen Leitungssystem dieses Gebäudes versorgt werden. Für Beleuchtungsanlagen von Schwimmbädern und Springbrunnen gibt es spezielle VDE-Bestimmungen (s. Abschn. 14.4). So genannte öffentliche Beleuchtungsanlagen, die Teil des öffentlichen Verteilungsnetzes sind, fallen ebenfalls nicht unter diese neue VDE-Bestimmung. Wenn allerdings zwischen Verteilungsnetz und Leuchte Überstromschutzeinrichtungen angeordnet sind, beginnt ab diesen Schutzeinrichtungen – in Energieflussrichtung gesehen – die Verbraucheranlage. Dann gelten die Anforderungen des Teils 714 für den Endstromkreis ab der Überstromschutzeinrichtung.

Beleuchtungsanlagen im Freien umfassen die Leuchten selbst, die Kabel- und Leitungsanlagen sowie das Zubehör außerhalb von Gebäuden. Der *Speisepunkt* ist der Übergabepunkt der elektrischen Energie vom Stromversorger oder von dem Punkt des Stromkreises, von dem die Beleuchtungsanlage im Freien ausschließlich versorgt wird.

Gehäuse von Beleuchtungsanlagen, in denen sich zugängliche aktive Teile befinden, dürfen nur mit einem Schlüssel oder Werkzeug zu öffnen sein, es sei denn, sie sind in einem Raum angeordnet, zu dem nur Elektrofachkräfte oder elektrotechnisch unterwiesene Personen Zutritt haben. Türen für den Zugang zu elektrischen Betriebsmitteln, die weniger als 2,5 m über der Standfläche angebracht sind, dürfen ebenfalls nur mit einem Schlüssel oder Werkzeug zu öffnen sein. Auch der Zugang zur Abdeckung der Lichtquelle darf nur mit einem Werkzeug zugänglich sein, wenn sich die Leuchte in einer Höhe von weniger als 2,8 m über der Standfläche befindet.

Bei der Schutzmaßnahme *Automatische Abschaltung der Stromversorgung* darf der Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) durch Überstromschutzeinrichtungen oder Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) erfolgen. Der Einsatz nur einer Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) am Speisepunkt der Außenbeleuchtungsanlage ist jedoch nicht empfehlenswert, da Fehlerstromschutzeinrichtungen hinsichtlich der Verfügbarkeit niedriger einzustufen sind als Überstromschutzeinrichtungen und weil bei einem Ansprechen dieser einen Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) die Beleuchtungsanlage längere Zeit nicht zur Verfügung stehen kann. Steht in einem TT-System ein Erder von entsprechend niedrigem Widerstand zur Verfügung, so kann auch Schutz durch Überstromschutzeinrichtungen angewendet werden. In Einrichtungen mit integrierter Beleuchtung (Telefonzellen, Hinweistafeln usw.), mit denen Personen üblicherweise in Berührung kommen, sollte immer eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA eingesetzt werden, da hier der Personenschutz höher zu bewerten ist als die Verfügbarkeit der Beleuchtungsanlage. Außerdem bieten solche Fehlerstromschutzeinrichtungen den zusätzlichen Schutz nach VDE 0100-410.

Bei Anwendung von Schutz durch Kleinspannung SELV oder PELV sind blanke aktive Teile nicht zulässig.

Bei Anwenden der Schutzmaßnahme doppelte oder verstärkte Isolierung (bisherige Bezeichnung: Schutz durch Verwendung von Betriebsmitteln der Schutzklasse II oder durch gleichwertige Isolierung) oder Verwenden von Betriebsmitteln der Schutzklasse II darf ein Schutzleiter nicht angeschlossen werden, und die leitfähigen Teile des Lichtmasts dürfen nicht – wie es in der VDE-Bestimmung heißt – absichtlich mit der Erdungsanlage verbunden werden. Lichtmaste, die Bestandteil des Betriebsmittels „Außenleuchte der Schutzklasse II" sind, dürfen somit nicht an Schutzleiter angeschlossen werden. Lichtmaste, die nicht Bestandteil eines Betriebsmittels der Schutzklasse II sind, dürfen dagegen mit dem Schutzleiter verbunden werden, müssen aber nicht.

In der Nähe befindliche Metallteile (z. B. Zäune, Gitter), die nicht Teil der Beleuchtungsanlage im Freien sind, brauchen nicht in einen Potenzialausgleich einbezogen zu werden, d. h., die Metallteile brauchen z. B. nicht mit der Erdungsklemme der Leuchte verbunden zu werden.

Gerade bei Beleuchtungsanlagen im Freien sind die *äußeren Einflüsse* zu beachten. Bei der Planung und dem Betrieb sollten Umgebungstemperaturen von –40 °C bis +40 °C und eine relative Feuchte zwischen 5 % und 100 % unterstellt werden. Auch spezielle äußere Einflüsse, wie korrosive Stoffe oder mechanischer Schock, sind zu beachten; in jedem Fall sind die örtlichen Verhältnisse zu berücksichtigen. Hinsichtlich des *IP-Schutzes* gegen Wasser ist mindestens Sprühwasser zu unterstellen (IPX3). Elektrische Betriebsmittel der Beleuchtungsanlagen müssen mindestens der Schutzart IP33 (s. Kap. 3) entsprechen, ggf. muss – durch den Betrieb oder durch bestimmte Methoden der Reinigung bedingt – eine höhere Schutzart vorgesehen werden (z. B. Spritzwasserschutz IPX4). Für Leuchten selber kann auch die Schutzart IP23 ausreichend sein, wenn die Gefahr der Verschmutzung vernachlässigbar ist, z. B. in Wohn- und ländlichen Gebieten, und wenn die Leuchten höher als 2,5 m über der Standfläche angebracht sind. Leuchten müssen den Bauvorschriften der Reihe VDE 0711 entsprechen. Speziell für Leuchten für Straßen- und Wegebeleuchtung gilt die VDE 0711-2-3 (DIN EN 60598-2-3). Elektroinstallationsrohre, Markierungsband oder Kabelabdeckungen für Versorgungskabel und -leitungen müssen in geeigneter Weise farblich markiert oder gekennzeichnet sein, und die Teile müssen von anderen Versorgungssystemen getrennt sein. Im sichtbaren Bereich ist die Forderung nach Markierung erfüllt, wenn eine eindeutige Zuordnung gegeben ist.

## 11.4 Elektrowärmegeräte

Reihe VDE 0700, TAB

Nach den TAB ist für Elektrowärmegeräte mit einer Nennleistung > 4,6 kW, z. B. Elektroherde, Durchlauferhitzer oder Warmwasserspeicher, vom Planer oder Errichter ein *Drehstromanschluss* vorzusehen, ebenso für Geräte zur Heizung oder Klimatisierung mit einer Nennleistung > 4,6 kW. Antriebsmotoren in Geräten zur Heizung und Klimatisierung dürfen keine störenden Spannungsänderungen im Netz verursachen (s. Abschn. 11.5.4). Wärmepumpen müssen mit einer Einrichtung versehen werden, die die Anzahl der Einschaltungen pro Stunde begrenzt. Der NB kann den Betrieb von Geräten zur Heizung oder Klimatisierung von der Installation einer Steuerungs- bzw. Regelungseinrichtung abhängig machen. Diese ermöglicht einerseits eine Anpassung der Leistungsinanspruchnahme an die Belastungsverhältnisse im Verteilungsnetz und andererseits den direkten Eingriff durch eine zentrale Steuereinrichtung des NB. Bei Wärmespeicheranlagen muss der Planer oder der Errichter gemäß den Vorgaben des NB eine Aufladesteuerung nach DIN 44574 (ersetzt durch DIN EN 50350) vorsehen. Der Errichter muss für die Steuerung von Geräten zur Heizung oder Klimatisierung durch eine zentrale Steuereinrichtung des NB ein plombierbares Schütz nach dessen Angaben anbringen. Geräte zur Heizung oder Klimatisierung müssen fest angeschlossen werden. Der Betrieb der Heizungs- oder Klimatisierungsgeräte kann zeitlich eingeschränkt werden.

Als *Anschlussleitungen* müssen mindestens Schlauchleitungen für mittlere Beanspruchung mit vernetzter Elastomer-Isolierung, z. B. H05RR-F, oder Schlauchleitungen mit thermoplastischer PVC-Isolierung für leichte Beanspruchung (alte Bezeichnung: leichte Kunststoffschlauchleitung), z. B. H03VV-F, verwendet werden. Kunststoffleitungen dürfen jedoch nicht für Geräte verwendet werden, bei denen sie im bestimmungsgemäßen Gebrauch heiße Geräteteile berühren könnten.

Die nach VDE 0700 und 0720 zulässigen *Ableitströme* sind **Tabelle 11.12** zu entnehmen.

***Tabelle 11.12:*** *Maximale Ableitströme von Elektrowärmegeräten*

| **Gerät** | **Ableitstrom** | |
|---|---|---|
| Haushaltsherde | 1 mA/kW | max. 10 mA |
| Großküchenherde ohne Anschlussleitung und Stecker | 1 mA/kW | |
| Grillgeräte | 0,75 mA/kW | max. 5 mA |
| Warmwasserspeicher, -boiler | 0,75 mA/kW | max. 5 mA |
| Geräte zur Flüssigkeitserhitzung | 0,75 mA/kW | |
| Geräte der Schutzklasse II | | 0,25 mA |
| Geräte der Schutzklasse III (Kinderspielzeug) | | 0,5 mA |

## 11.4.1 Elektroherde

*Vollherde* sind über eine Geräteanschlussdose (**Bild 11.20**) oder über Steckvorrichtungen und eine bewegliche Anschlussleitung von mindestens $5 \times 1{,}5\ mm^2$ Cu bei einem Bemessungsstrombereich > 10 A und ≤ 16 A sowie $5 \times 2{,}5\ mm^2$ bei einem Bemessungsstrombereich > 16 A und ≤ 25 A anzuschließen, auch wenn sie zunächst mit Wechselstrom betrieben werden. Im letzteren Fall dürfen LS-Schalter nicht parallel geschaltet werden. Als Anschlussleitung ist eine flexible Leitung für normale Beanspruchung zu wählen (siehe Tabelle 8.7). Die Herdanschlussstelle ist etwa 50 cm über der Oberfläche des fertigen Fußbodens vorzusehen. Bei konventionellen Herden wird neuerdings der herkömmliche Strahlungsheizkörper mit einer Halogenlampen-Beheizung, die das Ankochen beschleunigt, kombiniert. Bei Back- und Bratöfen setzt sich die umschaltbare Beheizungsart durch: eine Kombination von konventioneller, statischer Beheizung mit Ober-, Unterhitze und Heißluftbeheizung.

Im *Mikrowellenherd* wird das Gut dielektrisch erwärmt. Die hohen Frequenzen von $f = 2\,450$ MHz werden in einem Mikrowellensender (Magnetron) erzeugt. Dessen Anodenwechselspannung beträgt 4...6 kV, die Ausgangsleistung 0,5...2 kW. Das kompakte Gerät ist einbau- und unterbaufähig.

Der *Induktionsherd* hat eine elektrisch nicht leitende Glaskeramikplatte. Der 3 mm dicke Boden des Stahlemail-Kochtopfs wird induktiv erhitzt. Die Wärmequelle versiegt beim Abschalten sofort, oder die Wärmeleistung vermindert sich auf Wunsch verzögerungsfrei; es gibt keinen Nachschub durch Speicherung. Steht kein ferromagnetischer Topf auf der Kochstelle oder ist die Kochstelle nicht zu zwei Drittel belegt, so findet keine Wärmeübertragung statt. Leere Töpfe werden von einem Sensor unter dem Kochfeld erkannt.

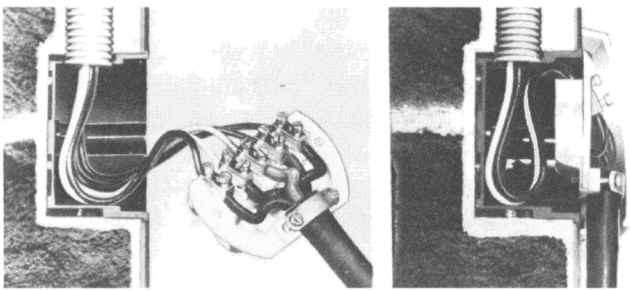


***Bild 11.20:*** *Geräteanschlussdose*

## 11.4.2 Wassererwämer

VDE 0700-21

*Heißwasserspeicher* (**Tabelle 11.13**) haben einen Behälter, der von einer guten Wärmedämmung umgeben ist. *Boiler* sind nicht wärmegedämmte Behälter. Bei den *Durchlauferhitzern* wird das Wasser erst beim Entnehmen im Durchlauf erwärmt. Wegen des erforderlichen hohen Anschlusswerts (4...33 kW) können sie jedoch nur begrenzt verwendet werden. Die Anschlussmöglichkeit sollte durch den zuständigen NB unbedingt vorher geklärt werden.

***Tabelle 11.13:*** *Normtypen von Heißwasserbereitern*

| Gerät | Heizleistung kW | Verwendung |
|---|---|---|
| Speicher 5 l mit Wählregler | 2 | Waschbecken, Spüle bis 30 cm × 30 cm |
| Speicher 8 l oder 10 l mit Wählregler | 2 | Küchenspüle, Waschbecken oder beides |
| Durchlauferhitzer | 4 | Waschbecken |
| Speicher 15 l mit Wählregler | 4 | Duschbad, große Küchenspüle oder beides |
| Speicher 30 l mit Wählregler und Wählbegrenzer | 0,4/4 | Duschbad, große Küchenspüle oder beides |
| Durchlauferhitzer | 12 | Duschbad |
| Boiler 80 l mit Wählbegrenzer | 4 od. 6 | Wannenbad oder Duschbad |
| Speicher 80 l mit Wählregler und Wählbegrenzer | 1,0/4,0 od. 1,0/6,0 | Wannenbad, Versorgung mehrerer Zapfstellen |
| Durchlauferhitzer | 18 | Wannenbad |

Neue *Durchlauferhitzer* der Leistungsstufen 18 kW, 21 kW und 24 kW werden elektronisch gesteuert. Damit wird erreicht, dass die eingestellte Temperatur schneller erreicht und genau eingehalten wird. Bessere Wärmedämmungen halten bei den neuen Bauarten den Bereitschaftsstromverbrauch niedriger, womit Energie gespart wird.

Die Auslaufmengen erwärmten Badewassers liegen bei 8...15 l/min. Reicht dies nicht aus, so bieten sich Durchlaufspeicher mit einem Speicherinhalt von 80...120 l an, die aufgrund ihrer hohen Anschlussleistung von 21 kW den Speicherinhalt in etwa 15 min auf 60 °C aufheizen.

Ein mit Drehstrom betriebener 18-kW-Durchlauferhitzer erfordert bei 400 V bereits einen Strom von ca. 26,0 A, einer von 24 kW von 34,6 A und einer von 33 kW sogar von 47,6 A. Hinter Hausanschlusssicherungen von 63 A können drei Durchlauferhitzer von 18 kW oder zwei von 24 kW gleichzeitig betrieben werden.

Damit die Hauptleitungen nicht zu stark bemessen werden müssen, sollte man hier Spannungsfälle bis zu 1 %, statt wie üblich von 0,5 %, zulassen.

Bei der Versorgung mehrerer Zapfstellen ist das Gerät stets dort anzuordnen, wo das heiße Wasser am häufigsten entnommen wird (*zentrale Versorgung*).

*Druck-Speicher* und *Druck-Boiler* müssen zusätzlich zum betriebsmäßig wirkenden Temperaturregler oder -begrenzer einen Sicherheits-Temperaturbegrenzer haben, der nach dem Ansprechen nur mit Werkzeug wieder eingelegt werden kann. *Druck-Durchlauferhitzer* müssen zwei voneinander unabhängige, selbsttätig arbeitende Schaltvorrichtungen haben, die unzulässige Temperatursteigerungen im Gerät verhindern.

Durchlauferhitzer, die keine Temperaturregler oder Temperaturbegrenzer haben, müssen so eingerichtet sein, dass Stromdurchgang nur bei Durchfluss von Wasser möglich ist.

Ein *Temperaturregler* ist eine Vorrichtung, durch die die Temperatur eines Geräts oder von Teilen desselben, z. B. durch selbsttätiges Öffnen und Schließen des Stromkreises, in bestimmten Grenzen gehalten wird. Ein *Temperaturbegrenzer* schaltet das Gerät beim Überschreiten der zulässigen Temperatur ab. Er kann nur von Hand wieder zurückgestellt werden.

Bei Heißwassergeräten ist stets mit einem betriebsmäßigen Ableitstrom zu rechnen. Dieser kann bei älteren Geräten so hoch sein, dass Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit kleinen Bemessungsfehlerströmen auslösen.

### 11.4.3 Raumheizung

Reihe VDE 0700-30

Bei jedem Erwärmungsvorgang muss Wärme erzeugt und abgegeben werden. Dazu ist ein Wärmegefälle erforderlich, d. h., die Temperatur (in °C) der Heizquelle muss höher sein als die des Verbrauchers, damit die jeweils erforderliche Wärmemenge (in Joule, J) diesem auch zugeführt wird. Je größer der Temperaturunterschied zwischen Wärmeerzeuger und Verbraucher ist, desto schneller geschieht dies.

Die Gesamtplanung nach Leistung, Geräteauswahl und -anordnung muss mit größter Sorgfalt und Sachkenntnis durchgeführt werden (s. Reihe DIN 4701). Es lohnt sich immer, bei größeren Planungen einen Spezialisten für Heizungsfragen hinzuzuziehen. Sehr überschlägig kann man mit den Werten in **Tabelle 11.14** rechnen.

Je größer der Raum ist, desto geringer ist die erforderliche *spezifische Heizleistung*.

Man unterscheidet Direktheizgeräte, Zentralheizgeräte und Speicherheizgeräte sowie Decken- bzw. Fußbodenheizung. Zum Anwendungsbereich der VDE 0700-30 „Besondere Anforderungen für Raumheizgeräte" fallen z. B. Konvektionsheizgeräte,

*Tabelle 11.14: Spezifische Heizleistung in Wohnbauten*

| Raumart | spezifische Heizleistung W/m² | Raumart | spezifische Heizleistung W/m² |
|---|---|---|---|
| Schlafräume | 20...40 | Wohnräume | 60...70 |
| Küchen | 30...40 | Bäder | 100...120 |
| Büros | 50...70 | Saunen | 250...400 |

Heizlüfter, Heizgeräte zur Verwendung in Gewächshäusern, flüssigkeitsgefüllte Radiatoren, Heizgeräte für Wand- bzw. Deckenmontage (zusätzlich: VDE 0700-96), Strahlungsheizgeräte, röhrenförmige Heizgeräte, Geräte mit Wärmelampen zur Deckenmontage, Saunaheizgeräte (zusätzlich: VDE 0700-53, s. Abschn. 14.20).

Die *Fußboden-Speicherheizung* (VDE 0700-30, -96) ist eine Heizung, bei der eine aufgrund einer definierten Aufladedauer zeitlich begrenzt verfügbare elektrische Energie in Wärme umgewandelt und mit einer gewollten zeitlichen Verzögerung überwiegend über die Oberfläche des Fußbodens an den zu beheizenden Raum abgegeben wird. Die *Fußboden- oder Decken-Flächenheizung* ist eine Direktheizung, die aus elektrischer Energie Wärme erzeugt und diese mit einer möglichst geringen zeitlichen Verzögerung an den zu beheizenden Raum abgibt. Die *Fußboden-Ergänzungsheizung* ist eine in die Fußbodenkonstruktion einbezogene Direktheizung, z. B. in den an die Außenwände angrenzenden Randzonen, um die Wärmeabgabe einer Fußboden-Speicherheizung zu ergänzen.

Der gleichzeitige Betrieb von Durchlauferhitzern mit Heizungsanlagen ist ggf. durch schaltungstechnische Vorkehrungen (Lastabwurfrelais) zu verhindern.

### 11.4.3.1 Direktheizgeräte

Einige NBs stellen Energie für elektrische Direktheizung bereitstellungspreisfrei über 24 Stunden am Tag zur Verfügung. Damit bietet sich die Möglichkeit, Räume mithilfe einer *Niedrigtemperatur-Strahlungsheizung* auf ideale Weise zu beheizen. Dieses Heizungssystem ist in den skandinavischen Ländern seit über 40 Jahren als unsichtbare Fußboden-, Wand- oder Deckenheizung weit verbreitet.

Die eigentliche Heizung besteht aus einer Metallfolie, die in Kunststofffolien eingebettet ist. Die Dicke des Elements beträgt nur etwa 0,2 mm. Die Heizleistung liegt zwischen 100 W/m² und 200 W/m². Die Heizfolie ist in mehreren Standardbreiten und verschiedenen Längen lieferbar, sodass für jede Raumgröße geeignete anschlussfertige Folien erhältlich sind. Für die Montage der Heizelemente eignet sich eine parallele Lattung, die z. B. direkt auf der Rohdecke angebracht werden kann. Zwischen die Latten sind dann Wärmedämmplatten einzulegen. Die Heizfolie kann nun mithilfe ihrer Haftstreifen an der Lattung befestigt werden. Anschließend

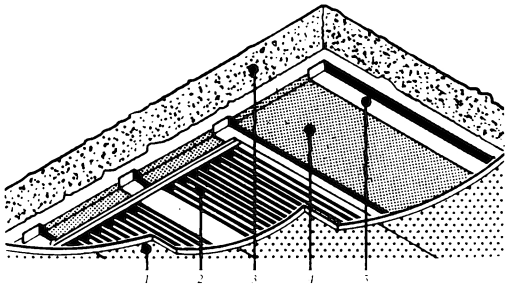


***Bild 11.21:*** *Folien-Flächenbeheizung*
*1* Wand- oder Deckenverkleidung; *2* Heizfolie; *3* Wand oder Rohdecke; *4* Wärmedämmung; *5* Lattung

kann die Decke mit Gipskartonplatten, Profilbrettern, Stoff o. dgl. verkleidet werden (**Bild 11.21**).

Wegen der großen Fläche der Heizelemente genügt eine Oberflächentemperatur am Heizelement von 30...35 °C. Dies schafft eine gleichmäßige milde Wärmestrahlung und garantiert ein gutes Raumklima.

Die Raumtemperatur lässt sich in jedem Raum leicht und exakt regeln, wenn gewünscht auch zeitabhängig. Von Vorteil ist dabei, dass es sich um ein schnell ansprechendes Heizsystem handelt. Der elektrische Anschluss erfolgt über die an jeder Folie angebrachte Anschlussleitung. Um bei beschädigter Folie eine Spannungsverschleppung zu vermeiden und um einen Brand infolge widerstandsbehafteter Fehler auszuschließen, müssen die Heizstromkreise über eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA geschützt werden. Einrichtungsgegenstände, wie Schränke, Flächenleuchten u. dgl., dürfen nicht in Bereichen aufgestellt oder angebracht werden, hinter denen Heizfolien installiert sind. Die Leuchtenauslässe sind in die heizleiterfreien Seitenstreifen der Folie zu legen.

*Direktheizgeräte* mit sichtbaren oder abgedeckten Heizelementen von mindestens 650 °C eignen sich i. Allg. aus wirtschaftlichen Gründen während der Hochtarifzeit nur zum Beheizen von selten benutzten Räumen oder Aufenthaltsbereichen, auch im Freien.

Bei reinen Strahlern von 1...8 kW Anschlussleistung wird nicht die Luft, sondern lediglich die Fläche erwärmt, auf die die Strahlen auftreffen. Die Wärmestromdichte nimmt mit dem Quadrat der Entfernung zwischen Strahler und bestrahlter Fläche ab. Der Abstand zwischen dem Strahler und dem Kopf des Menschen soll bei dauerndem Aufenthalt mindestens 2 m und bei kurzzeitigem 1,5 m betragen. Als Anhalt für Heizstrahler auf dem Balkon kann die **Tabelle 11.15** dienen.

*Tabelle 11.15: Notwendige spezifische Strahlungsleistung bei vorwiegend sitzender Beschäftigung in Abhängigkeit von der Außentemperatur und der Montagehöhe der Strahler*

| Montagehöhe in m | 2 | | | 2,25 | | | 2,5 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Außentemperatur in °C | +15 | +12 | +9 | +15 | +12 | +9 | +15 | +12 | +9 |
| zu beheizende Fläche $m^2$ | spezif. Strahlungsleistung $W/m^2$ | | | | | | | | |
| 5 | 250 | 430 | 600 | 300 | 480 | 660 | 350 | 560 | 770 |
| 10 | 200 | 320 | 450 | 230 | 370 | 510 | 265 | 425 | 580 |
| 15 | 190 | 300 | 420 | 200 | 320 | 450 | 230 | 370 | 500 |
| 20 | 175 | 290 | 400 | 190 | 310 | 420 | 210 | 340 | 460 |
| 25 | 170 | 270 | 375 | 185 | 300 | 410 | 195 | 315 | 430 |
| 30 | 160 | 250 | 350 | 180 | 290 | 400 | 190 | 300 | 420 |

Bei *Rippenheizrohren* (*Konvektorgeräten*) mit Anschlussleistungen von 0,4...6 kW strömt die Raumluft über die heißen Rippen (115...180 °C) und nimmt Wärme auf. In bestimmten Fällen, z. B. Garagen, eignet sich nur die Ausführung mit 115 °C Oberflächentemperatur.

*Gebläse-Heizsysteme* müssen so errichtet werden, dass ihre Heizelemente – außer bei elektrischen Speicherheizgeräten – erst dann in Betrieb gesetzt werden können, wenn der vorgesehene Luftdurchsatz erreicht ist. Sie müssen sich außer Betrieb setzen, wenn die Gebläseleistung sich unzulässig reduziert oder das Gebläse abgeschaltet wird. Außerdem sind zwei voneinander unabhängige Temperaturbegrenzer vorzusehen, die eine Überschreitung der zulässigen Temperatur im Luftkanal verhindern.

### 11.4.3.2 Zentralheizgeräte (Elektro-Zentralspeicher)

Elektro-Zentralspeicher sind stark vergrößerte, zentral angeordnete Speicherheizgeräte. Der Wärmetransport in die zu beheizenden Räume erfolgt in Verbindung mit einer Warmwasser-Zentralheizung oder einer Warmluftheizung. Der Elektro-Zentralspeicher ersetzt den mit Koks, Öl oder Gas befeuerten Kessel. Somit können vorhandene Heizungsanlagen auf elektrischen Betrieb umgerüstet werden. Eine gebräuchliche Bauart sind die direkt im Speicherbehälter angeordneten Heizwiderstände. Die Leistung liegt zwischen 6 kW und 18 kW.

Die Vorteile der Elektro-Zentralspeicher liegen in der einfachen Umrüstung bestehender Zentralheizungssysteme, in der guten Wärmedämmung der Blockspeicher (dadurch kann die in der tarifgünstigen Zeit gewonnene Wärme ohne bedeutende Verluste gespeichert werden) und im Wegfall von Lüftergeräuschen, die bei Einzelspeichergeräten in den Wohnräumen auftreten.

Eine Elektro-Zentralheizung ist ideal für Ein- und Zweifamilienhäuser. In Neubauten kann sie mit einer Warmwasser-Fußbodenheizung kombiniert werden. Die Regelung übernimmt eine Aufladesteuerung mit einer witterungsabhängigen Vorlauftemperaturregelung.

### 11.4.3.3 Speicherheizgeräte

Reihe VDE 0700-61

Speicherheizgeräte sind einfach zu installierende Heizungssysteme, waren aber von den Auswirkungen des Erneuerbare-Energie-Gesetzes (EEG) (Negativliste) und des Energieeinspargesetzes (EnEG) bzw. der Energieeinsparverordnung (EnEV) betroffen (§ 10a der EnEV (Stand 29.04.2009) „Außerbetriebnahme von elektrischen Speicherheizsystem"). Mit der novellierten EnEV (aktueller Stand mit letzter Änderung 24.10.2015) ist der § 10a weggefallen. Die elektrischen Speicherheizgeräte sollen im Zuge einer notwendigen und sinnvollen Speicherung erneuerbarer Energien wieder genutzt werden können, allerdings erst nach dem 31.12.2019.

Die Geräte mit einer Tiefe von 18 cm oder 24 cm passen sich – am Boden stehend oder an der Wand hängend – jeder Raumgestaltung an. Die Geräte (Leistung 2...8 kW) speichern die Wärme in tarifgünstigen Zeiten und geben sie tagsüber ab. Als Speichermasse dient ein *Kern* aus keramischen Stoffen, i. Allg. Magnesit. Er enthält die elektrischen Heizelemente. Die Bemessungsspeicherkapazität ist erreicht, wenn das Gerät 8 h lang mit Bemessungsanschlusswert eingeschaltet war. Dabei steigt die Kerntemperatur auf etwa 650 °C an. An der Geräteoberfläche hält die den Kern umgebende Wärmedämmung die Temperatur auf max. 90 °C (**Bild 11.22**). Die Aufladung der einzelnen Wärmespeicher wird mit Mikroprozessoren witterungs- und restwärmeabhängig gesteuert.

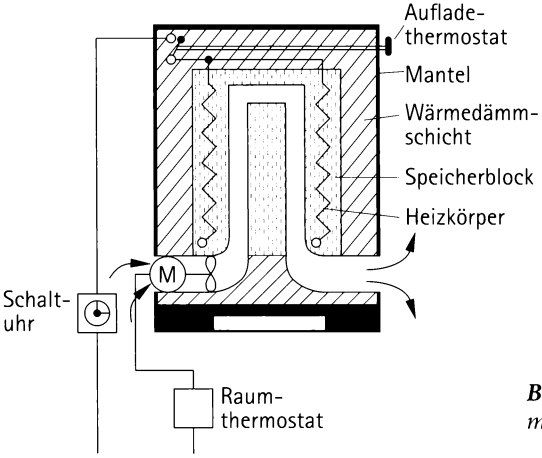



***Bild 11.22:*** *Nachtstromspeichergerät mit Entlüfter (im Schnitt)*

Die gewünschte *Kerntemperatur* kann gewählt werden. Außerdem ist ein *Schutztemperaturbegrenzer* angebracht, der die Stromzufuhr abschaltet, wenn die maximale Kerntemperatur erreicht ist. Der Hersteller muss auf haltbaren Karten oder in Heften Hinweise geben, welche Mindestabstände von brennbaren Stoffen, wie Teppichen, Vorhängen, Holzwänden und Möbeln, einzuhalten sind. Das Nichteinhalten dieser Hinweise hat schon zu erheblichen Brandschäden geführt.

In *feuergefährdeten Betriebsstätten* sind Wärmegeräte grundsätzlich auf nicht brennbarer Unterlage zu befestigen.

Speicherheizgeräte, bei denen die Raumluft mit dem Speicherkern in Berührung kommen kann, dürfen in Räumen, die durch Staub oder Fasern feuergefährdet sind, nicht verwendet werden.

Speicherheizgeräte dürfen über Steckvorrichtungen oder über eine Geräteanschlussdose mit flexiblen Leitungen angeschlossen werden. Sie dürfen fest angeschlossen werden, wenn sie fest mit der Aufstellfläche oder einem anderen Gebäudeteil verbunden sind. Flexible Anschlussleitungen zwischen Geräteanschlussdose und Speicherheizgerät müssen den Wärmebeanspruchungen gemäß gewählt werden.

Unabhängig von der Spannungshöhe in den Hilfs-(Steuer-)Stromkreisen ist Installationsmaterial für eine Bemessungsspannung von mindestens 250 V gegen Erde zu verwenden.

### 11.4.4 Heizkabel und Heizleitungen

VDE 0100-753

Nach VDE 0253 gibt es verschiedene Bauarten isolierter Heizleitungen zur Errichtung von Heizungsanlagen für 500 V Bemessungsspannung (**Tabelle 11.16**).

***Tabelle 11.16:*** *Heizkabel und Heizleitungen (Auswahl)*

| Bauart | Bemessungstemperatur °C | Isolierhülle | Mantel | Verwendung |
|---|---|---|---|---|
| NH2GM2G | 150 | SiR | SiR | in trockenen Räumen, nicht in Putz oder Beton |
| NH4GMY | 90 | EVA | PVC | in trockenen Räumen, auch in Putz, Estrich oder Beton |
| NH6Y4 GW | 110 | FEP | FE | |
| NH6YQU6Y | 150 | FEP | FEP | in feuchten und nassen Räumen, auch in Putz oder Beton |
| NH4GQU3G | 90 | EVA | EPR | |
| NH4GKUY | 90 | EVA | Pb und PVC | |

EVA Ethylen-Vinylacetat
EPR Ethylen-Propylen-Gummi
Pb und PVC Bleimantel und darüber ein Mantel aus Polyvinylchlorid
FE Stahlmantel
SiR Silikongummi
FEP Perfluorethylen-Propylen

*Beispiel:* Heizleitung NH4GMY90-480

NH: Heizleiter
4G: Isolierhülle aus EVA
MY: Mantel aus PVC
90: Bemessungstemperatur: 90 °C
480: Nennwiderstand des Heizleiters: 480 Ω/km

*Heizkabel* haben einen mehrdrähtigen Widerstandsleiter von etwa 0,6 Ω/m, der von einer Isolierhülle umgeben ist. Über dieser liegt der Metallmantel, und außen schließt ein Kunststoffmantel das Kabel ab. Der Außendurchmesser beträgt etwa 7 mm und das Gewicht etwa 165 kg/1 000 m. Man verwendet es, wo ein Metallmantel aus Sicherheitsgründen nötig ist, z. B. bei der Beheizung von Dachrinnen (Bild 11.24) und Rohrleitungen, oder wenn mit einer nachträglichen Beschädigung gerechnet werden muss, z. B. bei der Beheizung von Frühbeeten, aber auch in feuchten Räumen als Fußbodenheizung (Bild 11.25). Die zulässige Grenztemperatur von 100 °C darf nicht überschritten werden; dies ist i. Allg. bei einer Belastung von 20 W/m gewährleistet.

Ein Hersteller bietet für Dachrinnenbeheizungen u. dgl. ein *selbstregelndes Heizband* an. Der Kern des Heizbands besteht aus einem halbleitenden Kunststoffband, dessen elektrischer Widerstand sich temperaturabhängig ändert. Zwei im Heizband eingelegte Kupferlitzen dienen der elektrischen Stromzuführung (**Bild 11.23**). Sinkt die Temperatur, so steigt die Heizbandleistung. Neben der Selbstregulierung bietet das Heizband den Vorteil, dass es beliebig abgelängt werden kann.

Wenn der Metallmantel entsprechend geerdet wird, eignet sich eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) vorzüglich als Schutzmaßnahme gegen elektrischen Schlag; andernfalls wäre PELV (Schutzkleinspannung) zu wählen.

Die Verbindung mit dem Zuleitungskabel NYY oder der Zuleitung NYM kann durch Gießharzmuffen oder in ausgegossenen Abzweigdosen geschehen.

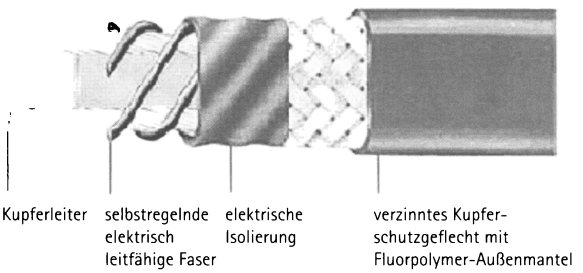



***Bild 11.23:*** *Selbstregelndes Heizband (Werkbild: PSG Lambertz)*

*Heizleitungen* haben denselben Widerstandsleiter wie Heizkabel, jedoch nur eine doppelte Kunststoffhülle. Der Außendurchmesser beträgt 4 mm und das Gewicht 21 kg/1 000 m. Auch Heizleitungen können in trockenen Räumen unmittelbar im Putz oder Beton verlegt werden. Die Grenztemperatur beträgt 80 °C und die entsprechende Heizleistung etwa 16 W/m.

Um bei Beschädigung der Heizleiterisolierung noch eine Abschaltung des Fehlers zu bewirken, sollten Heizleitungen und -kabel durch eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) geschützt werden; andernfalls empfiehlt sich Schutz durch Kleinspannung mittels PELV.

Beheizte *Dachabläufe* (**Bild 11.24**) dürfen keine auswechselbaren Einzelteile, z. B. auswechselbare Heizkörper, haben. Sie sollten nach Schutzklasse I oder III gebaut sein und dürfen fest oder mit Steckvorrichtungen angeschlossen werden. Als Anschlussleitung ist mindestens die flexible Schlauchleitung für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung H07RN-F zu wählen. Bei Schutzklasse I sind Heizkabel mit Metallmantel zu verwenden. Der Metallmantel ist mit dem Schutzleiter zu verbinden. Der Schutz durch Abschalten erfolgt mittels Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD).

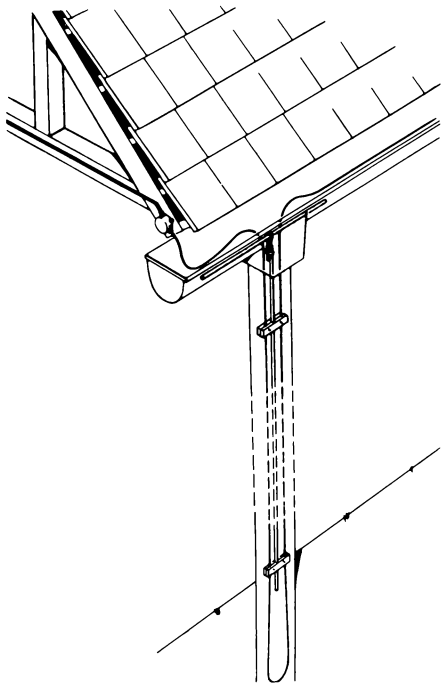


***Bild 11.24:*** *Dachrinnenbeheizung*

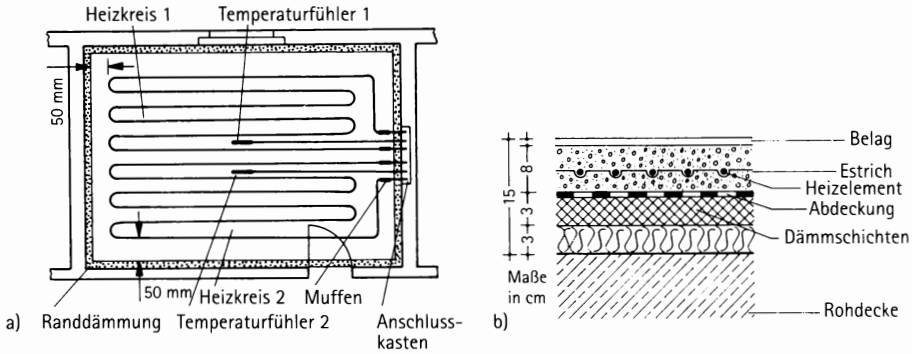



***Bild 11.25:*** *Fußbodenheizung*
a) Heizschleifen
b) Schnittzeichnung

Bei *Flächenheizungen*, z. B. Fußbodenheizungen (**Bild 11.25**), werden die Heizleitungen beim Verlegen zweckmäßig über Abstandshalter gespannt.

Während des Verputzens oder beim Betonieren sind Isolationswiderstände und Durchgang der Heizleiter ständig zu überwachen, damit Schäden sofort beseitigt werden können.

Eine optische Betriebsanzeige und eine Regeleinrichtung mit entsprechenden Messfühlern sind zweckmäßig.

Bei der Dachrinnenheizung ist an den Schutz gegen atmosphärische Entladungen (s. Kap. 17) zu denken.

**Tabelle 11.17** gibt Anhaltswerte für die je Länge oder Fläche zu installierende Leistung.

***Tabelle 11.17:*** *Leistungsbedarf bei Heizleitungen je Länge oder je Fläche*

| **Heizungsart** | **erforderliche Leistung** | |
|---|---|---|
| | **W/m** | **W/m²** |
| Dachrinnenbeheizung | 25 | |
| Fallrohrbeheizung | 50 | |
| Frostschutz für Wasserleitungen bis 1 Zoll | 10 | |
| Warmhalten von Ölleitungen | 20...100 | |
| Raumheizung in Böden, Decken, Wänden | | 100...300 |
| Glatteisverhütung auf Straßen oder Brücken | | 200...400 |
| Bodenheizung im Gartenbau | | 40...120 |

# 11.5 Motoren

## 11.5.1 Begriffe

**Drehmoment.** Bei jedem Riemenantrieb wirkt am Riemen und somit auch am Umfang der Riemenscheibe eine Kraft $F$, die in N ($1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{J/m} = 1\ \mathrm{kg \cdot m/s^2} \approx 0{,}1$ kp) angegeben wird. Bildet man das Produkt aus der am Umfang der Scheibe wirkenden Kraft $F$ und dem Radius der Scheibe $r$, so erhält man das *Drehmoment* $M$ des Motors. Zwischen dem Drehmoment $M$ in Nm, der an der Welle abgegebenen Leistung $P$ in W und der Leerlaufdrehzahl $n$ in U/min besteht die Beziehung (angenähert)

$$M \text{ in Nm} \approx \frac{P \text{ in W}}{0{,}1\, n \text{ in U/min}}.$$

*Beispiel:* Ein Motor von $P = 10$ kW und $n = 1\,450$ U/min kann ein Nenndrehmoment von $\frac{10\,000}{0{,}1\, n \text{ in U/min}} \approx 69$ Nm abgeben. Hat die Riemenscheibe einen Durchmesser von 0,2 m (also $r = 0{,}1$ m), so ergibt dies eine am Umfang der Scheibe und somit am Riemen wirkende Kraft $F = 690$ N.

**Anzugsmoment.** Das Drehmoment, das der Motor beim Anziehen des Antriebs, also aus dem Stillstand heraus, entwickelt, heißt *Anzugsmoment*. Man kann es den Auswahltabellen, die von den Motorherstellern herausgegeben werden, entnehmen. Der im Beispiel genannte 10-kW-Drehstrommotor könnte z. B. bei direktem Einschalten ein Anzugsmoment von 160 Nm entwickeln. Das Anzugsmoment steigt und fällt mit dem Quadrat der Spannung. Bei 120 % der Bemessungsspannung würde es also 144 % und bei 80 % der Spannung nur noch 64 % betragen.

**Kippmoment.** Steigert man bei einem mit der Bemessungsdrehzahl und der Bemessungsleistung laufenden Motor die Belastung, zwingt man ihn also, ein immer größeres Drehmoment zu entwickeln, so sinkt die Drehzahl zunächst langsam und fällt dann plötzlich sehr rasch ab: Der Motor hat seine *Kippdrehzahl* und somit auch sein *Kippmoment* erreicht. Nach VDE 0530 muss das Kippmoment von Wechselstrom-Induktionsmotoren im Dauerbetrieb mindestens das 1,6-fache des Bemessungsdrehmoments sein. Im Beispiel des 10-kW-Motors betrüge das Kippmoment also etwa $1{,}6 \cdot 69\ \mathrm{Nm} \approx 110\ \mathrm{Nm}$.

**Lastmoment.** Die vom Motor anzutreibende Arbeitsmaschine setzt dem Antrieb einen Widerstand entgegen, der auf den treibenden Motor bremsend wirkt. Dieses *Gegendrehmoment* heißt *Lastmoment*. Es ist selbst zu Beginn des Anlaufs nicht null, sondern kann dann sogar besonders groß sein, z. B. beim Anfahren eines kalten Kompressors oder wenn das Öl in den Lagern eingedickt ist. Man spricht in solchen Fällen vom *Losreißmoment*; es kann beim Anlauf erhebliche Schwierigkeiten bereiten.

*Tabelle 11.18: Lastmoment beim Anlauf von Arbeitsmaschinen*

| Art des Anlaufs | Lastmoment | Beispiele |
|---|---|---|
| Leerlauf | praktisch kein Lastmoment | Drehmaschinen, Kolbenverdichter bei entlastetem Anlauf, Pressen, Stanzen |
| Lastanlauf mit steigendem Drehmoment | Gegenmoment steigt mit der Drehzahl | Lüfter, Kreiselpumpen und -verdichter |
| Volllastanlauf | Gegenmoment praktisch so groß wie Volllastmoment | Hebezeuge, Kolbenpumpen bei belastetem Anlauf, Förderbänder |
| Schweranlauf | Gegenmoment wesentlich größer als Volllastmoment | Walzwerkantriebe, Kugelmühlen, Kalander, Zentrifugen |

**Beschleunigungsmoment.** Der Unterschied zwischen Motor- und Lastdrehmoment ist das Beschleunigungsmoment. Ist es groß, so läuft der Antrieb schnell vom Stillstand auf volle Drehzahl hoch.

Die **Tabelle 11.18** enthält Beispiele für die verschiedenen Arten des Lastmoments (Gegendrehmoment) beim Anlauf von Arbeitsmaschinen.

## 11.5.2 Planungsgrundsätze

Die *Bemessungsleistung* des Motors soll möglichst gleich der Antriebsleistung der Arbeitsmaschine sein. Ein zu groß bemessener Motor bedeutet höheren Anlaufstrom, damit größere Sicherungen, größeren Leiterquerschnitt und unwirtschaftlichen Betrieb, da Wirkungsgrad und Leistungsfaktor bei Teillast schlechter sind als bei Volllast. Zu bevorzugen sind Drehstrommotoren mit *Käfigläufer* für direktes Einschalten. Die Drehmoment- und Stromkurven sind für einen bestimmten Typ fest gegeben und unabhängig von der Schwere des Anlaufs (**Tabelle 11.19**).

Auch der Anzugsstromstoß, der je nach der Motorbauart bei direktem Einschalten bis zum 5-fachen des Bemessungsstroms betragen kann, hängt allein von der Auslegung des Motors, nicht aber davon ab, welche Arbeitsmaschine angeschlossen ist. Diese hat lediglich einen Einfluss auf die Dauer des erhöhten Anlaufstroms.

*Stern-Dreieck-Anlasser* von Motoren mit Käfigläufer sind anzuwenden, wenn ein besonders niedriges Motormoment (Sanftanlauf) oder kleine Anzugsströme verlangt werden. Anzugsmoment, Kippmoment und Anzugsstrom betragen etwa ⅓ der Werte bei direktem Einschalten. Das Motormoment muss während des ganzen Anlaufs genügend weit über dem Lastmoment liegen. Das Umschalten von Stern auf Dreieck darf praktisch erst bei Betriebsdrehzahl erfolgen. Ein Motor, der im 400-V-Drehstromnetz mit Stern-Dreieck-Umschaltung angelassen werden soll, muss für 400 V Dreieck gewickelt sein. Ein Motor mit der Wicklungsausführung

*Tabelle 11.19: Motorbemessungsströme von Käfigläufermotoren 50 Hz 1500 U/min bei 400 V und Sicherungen Typ gG*

| Motor-bemessungs-leistung kW | Leistungsfaktor cos φ | Motor-bemessungs-strom A | Sicherungen in A für | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Direktanlauf | Stern-Dreieck-Anlauf |
| 0,06 | 0,70 | 00,21 | 02 | – |
| 0,18 | 0,70 | 00,60 | 02 | – |
| 0,55 | 0,75 | 01,50 | 04 | 02 |
| 0,75 | 0,81 | 01,90 | 06 | 04 |
| 1,10 | 0,81 | 02,60 | 06 | 04 |
| 1,50 | 0,81 | 03,60 | 06 | 04 |
| 2,20 | 0,81 | 05,00 | 10 | 06 |
| 3,00 | 0,82 | 06,60 | 16 | 10 |
| 4,00 | 0,82 | 08,50 | 20 | 10 |
| 5,50 | 0,82 | 11,30 | 25 | 16 |
| 7,50 | 0,82 | 15,20 | 32 | 16 |
| 11,00 | 0,84 | 21,70 | 40 | 25 |
| 15,00 | 0,84 | 30,00 | 63 | 32 |
| 18,50 | 0,84 | 36,00 | 63 | 40 |
| 22,00 | 0,84 | 41,00 | 80 | 50 |
| 30 | 0,85 | 55 | 100 | 63 |
| 37 | 0,86 | 68 | 125 | 80 |
| 45 | 0,86 | 81 | 160 | 100 |
| 55 | 0,86 | 99 | 200 | 125 |
| 75 | 0,86 | 134 | 200 | 160 |
| 90 | 0,86 | 161 | 250 | 200 |

230/400 V könnte nur in einem 230-V-Drehstromnetz mit einem Stern-Dreieck-Schalter angelassen werden.

Will man zum Anlauf etwa das 1,5-fache Bemessungsmoment und trotzdem nur den 1,5-fachen Bemessungsstrom beim Anlaufen erreichen, dann ist ein Motor mit *Schleifringläufer* und Anlasser zu wählen.

Ein sanftes Anlassen von Drehstrommotoren ermöglichen auch *elektronische Motorstarter*. Durch eine Thyristor-Phasenanschnittsteuerung wird die Ständerspannung des Drehstrommotors während einer eingestellten Anlaufzeit von 40 % auf 100 % erhöht. Drehmomentenstöße werden dadurch vermieden.

Motoren für Bewegungsabläufe in der Fördertechnik müssen meist in zwei Drehrichtungen laufen. Ein geeignetes Mittel hierfür sind bei Drehstrommotoren *Kompaktwendeschütze*, durch die die Phasenfolge in der Zuleitung des Motors geändert wird. Fabrikfertige Kompaktwendeschütze verhindern sicher Phasenkurzschlüsse beim Umschalten der Phasenfolge sowie Fehlschaltungen durch Erschütterungen und bei Doppelkommando.

Durch die *Betriebsarten* (Dauerbetrieb S 1, Kurzzeitbetrieb S 2, periodischer Aussetzbetrieb S 3 bis S 5 und Sonderbetrieb S 6 bis S 10 nach VDE 0530-1) kann der Motor dem Rhythmus der Arbeitsmaschine optimal angepasst werden. Jede Betriebsart erfordert eine besondere Auslegung des Motors. Ein Austausch von Motoren für die verschiedenen Betriebsarten untereinander ist daher nicht möglich. Die sog. *Übergangsvorgänge*, d. h. der Anlauf, die Bremsung und das Umsteuern eines elektromotorischen Antriebs, beanspruchen den Motor wesentlich mehr als der Dauerbetrieb mit gleich bleibender Drehzahl und gleicher Bemessungsbelastung. Bei der Planung sind daher zu berücksichtigen:

- die Art der Übergangsvorgänge,
- die Anzahl der Übergangsvorgänge in einer Zeiteinheit,
- das Drehmoment des Motors und der Arbeitsmaschine,
- der Verlauf des Motor- und des Lastmoments über der Drehzahl.

Die Bemessungsbetriebsart ist auf dem Leistungsschild angegeben. Fehlt sie, so ist der Motor für S 1 ausgelegt.

Die *Motorwicklungen* werden meist in Isolierstoffklasse E (Lackdraht getränkt oder in Füllmasse) ausgeführt. Sie sind für Räume geeignet, in denen sich praktisch keine Luftfeuchtigkeit niederschlägt, und für Räume mit nicht leitendem, trockenem Staub. Sonderisolierung der Isolierstoffklasse B (Glimmer- und Glaserzeugnisse) passt für die Aufstellung in feuchten Räumen und beim Auftreten chemisch wirksamer Gase und Dämpfe (Landwirtschaft).

Die *Motorengehäuse* werden in unterschiedlichen *Schutzarten* ausgeführt (s. Kap. 3). So ist z. B. die Schutzart IP21 (tropfwassergeschützt) für Kessel- und Maschinenhäuser sowie für viele Antriebe in Gewerbe und Industrie geeignet, die Schutzart IP44 (Schutz gegen kornförmige Fremdkörper und gegen Spritzwasser) dagegen für Landwirtschaft, Brauereien, Molkereien, chemische Industrie, Baubetriebe, Zementfabriken und Werkzeugmaschinen.

Geschützte und geschlossene Maschinen sollten nicht mit Strahlwasser, z. B. aus dem Wasserschlauch, abgespritzt werden. Ist dies nötig, dann muss eine Sonderanfertigung in höherer Schutzart (IP56) bestellt werden. Flanschmotoren und Maschinen mit auswechselbaren Füßen werden hin und wieder fahrlässigerweise

so montiert, dass die Kondenswasserlöcher oben liegen, oder das Entfernen der Verschlussstopfen wird versäumt. Solche kleine Nachlässigkeiten können umfangreiche Schäden zur Folge haben.

### 11.5.3 Motorschutz

Motorschutzschalter s. auch Abschn. 7.5.1

Den Motorschutz übernehmen *Motorschutzschalter* (laut Norm: „Motorstarter mit Überstromauslöser") und nicht etwa Sicherungen. Schalter dieser Art müssen den Motor betriebsmäßig allpolig aus- und einschalten sowie den Motor gegen Überlastung schützen.

Um die erste Aufgabe zu erfüllen, wird ein bestimmtes Schaltvermögen vorausgesetzt. So müssen Motorschutzschalter für Käfigläufermotoren mit einem Bemessungsstrom bis 100 A den 8-fachen Bemessungsstrom schalten, ohne dass die Schaltstücke verschweißen. Die Lebensdauer muss ausreichend groß sein. Den Überlastschutz übernehmen thermisch verzögerte einstellbare *Überstromauslöser (Bimetallauslöser)* in allen Strompfaden. Der Schutzbereich erstreckt sich auf Ströme zwischen dem 1,05- und etwa 10-fachen Motorbemessungsstrom. Wenn der Aufstellungsort des Motors und der des Schalters verschiedene Umgebungstemperaturen haben, sollte der Schalter mit einer Einrichtung für Raumtemperaturkompensation versehen sein, besonders wenn die Temperatur sich häufig ändert und von 20 °C abweicht. Es gibt Schutzschalter mit Kompensation z. B. zwischen –20 °C und +50 °C. Am empfindlichsten gegen Überlast sind sehr kleine Motoren bis 3 kW. Handelt es sich noch dazu um Schweranlauf, dann schalten die Bimetallauslöser zu schnell ab. Um dies zu verhindern, kann den Auslösern während des Anlaufs ein Schütz parallel geschaltet werden, sodass nur ein Teilstrom über das Relais fließt. Allerdings besteht dann während des Hochlaufs kein ausreichender Schutz.

Beim Aussetzbetrieb nach S 3 bis S 5 ist das thermische Überstromrelais auf den quadratischen Mittelwert aus Anlauf- und Betriebsstrom über die Spieldauer einzustellen. Dabei ist zu kontrollieren, ob der Motor noch anläuft; ggf. ist nur Überwachung durch Temperaturfühler möglich.

Die thermischen Überstromauslöser in Schutzschaltern werden vor Zerstörung durch Kurzschlussströme in der Weise geschützt, dass ihnen unverzögert wirkende *elektromagnetische Überstromauslöser* zugeordnet werden, die beim 10- bis 15-fachen oberen Endwert des Einstellbereichs der thermischen Überstromauslöser ansprechen. So können verhältnismäßig hohe Kurzschlussströme noch abgeschaltet werden. Das Überstromrelais des Schutzschalters wird auf den Motorbemessungsstrom eingestellt. Damit bietet es bei Dauerbetrieb und bei Kurzzeitbetrieb zuverlässigen Überlastschutz.

Früher waren zum Schutz der Schalter Abzweigsicherungen notwendig. Jetzt übernehmen bereits Einspeisesicherungen an der Verteilung die erforderliche Schutzfunktion. Den Überlastschutz der Abzweigleitungen übernehmen die Motorschutzschalter, sodass Kurzschlusssicherungen genügen (vgl. Abschn. 8.5).

Übersteigt die an der Einbaustelle des Schutzschalters mögliche Höhe des Kurzschlussstroms den zulässigen Wert oder wird auf elektromagnetische Auslösung verzichtet, so kann ein Motorschutz-Leistungsschalter gewählt werden, oder es sind vor dem Schalter zusätzliche *Sicherungen* anzuordnen. Werte für Vorsicherungen, insbesondere für Stern-Dreieck-Schalter, sind den Herstellerlisten zu entnehmen. Etwa vorhandene elektromagnetische Überstromauslöser verbleiben trotz der vorzuschaltenden Sicherungen im Schutzschalter, um die Staffelung mit den thermischen Überstromauslösern zu gewährleisten. Schließlich kann man außerdem durch *Unterspannungsauslöser* bei einem Kurzschluss, der durch die vorgeschaltete Sicherung abgeschaltet wird, selbsttätig eine allpolige Abtrennung des Motors vom Netz erreichen.

Um einen besseren Motorschutz zu erreichen, verwendet man *eingebaute Thermofühler* (ETF), die direkt in die Wickelköpfe des Motors eingebaut werden und bei Überschreiten der Grenztemperatur einen Steuerstromkreis unterbrechen und damit das Ausschalten des Motorschalters bewirken. Bei stark wechselnder Belastung, bei Aussetz- oder Umkehrbetrieb tritt jedoch ein gewisser Temperaturnachlauf ein, der für das Festlegen der Ansprechtemperatur des Temperaturwächters zu berücksichtigen ist. Da dies Schwierigkeiten ergeben kann, empfiehlt es sich, in solchen Fällen weiterhin zusätzliche Motorschutzschalter mit Bimetall- und Kurzschlussschnellauslösern zu verwenden. Wegen ihrer Abmessungen lassen sich Temperaturwächter nur in größeren Maschinen einbauen.

Es gibt den *Motorvollschutz* durch *Kaltleiter-Temperaturfühler*, die in den einzelnen Wicklungssträngen in Reihe geschaltet sind. Man braucht daher nur zwei Steuerleiter zwischen Motor und Steuergerät. Dieses schaltet über ein Schütz den Motor ab. Der Steuerkreis überwacht sich durch das Ruhestromprinzip bei Leitungsbruch u. dgl. selbst. Da die Kaltleiter fest in die Wicklung eingelegt sind, muss der Motor schon vom Hersteller für diesen Schutz eingerichtet sein. Besonders wirtschaftlich ist er für Motorleistungen > 20 kW. Er schützt gegen jede thermische Überbeanspruchung, z. B. durch Leiterausfall im Netz, Unter- oder Überspannung, Festbremsen des Läufers, behinderte Kühlung, Anlauf- und Bremsvorgänge, erhöhte Kühlmitteltemperatur oder hohe und wechselnde Schalthäufigkeit.

In Sonderfällen, z. B. bei Schweranläufen mit kurzzeitigen, aber hohen Überlastungen, bei stark wechselnden Belastungen, bei intermittierendem Betrieb, also etwa in der Klima- und Lüftungstechnik, in Pumpstationen, bei Zentrifugenantrieben, Steinbrechern oder in Großproduktionsanlagen mit ungewöhnlichen Betriebsver-

hältnissen, kann ein *elektronisches Motorschutzrelais* empfohlen werden. Es ist ein thermisches Motormodell und ein Phasenausfallschutz.

Motorschutzschalter sind unerlässlich für Motoren, die ohne Wartung laufen, selbsttätig geschaltet oder ferngeschaltet werden, sowie für Motoren, die an eine Drehstromsteckdose angeschlossen werden; für alle übrigen Motoren sind sie dringend zu empfehlen. Motoren, die selbsttätig geschaltet werden, sind z. B. solche für den Antrieb von Pumpen in Wasserförderungsanlagen, Ventilatoren und Kompressoren für Kühl- und Klimaanlagen.

Die *allpolige elektromagnetische Schnellauslösung* ist insbesondere in TN-Systemen erforderlich. Wenn nämlich z. B. einer der Zuleiter zu einem dreiphasigen Stromverbraucher (Motor, Wärmegerät) einen satten Körperschluss erhält, so spricht, wenn nur Sicherungen als Kurzschlussschutz vorgesehen sind, eine der Sicherungen an. Dann führen die zwei gesunden Zuleiter bei einem Wärmegerät nur mehr etwa 86 % des Bemessungsstroms, während durch den PE-Leiter 33 % fließen. Bei nicht voll belasteten Motoren verhält es sich ähnlich. Die Leistung sinkt auf die Hälfte bei Wärmegeräten und bis zu etwa 70 % bei Motoren, ohne dass die Bemessungsströme eines Zuleiters überschritten werden. Der Strom im PE-Leiter kann aber erheblich sein, und es besteht Brandgefahr. Nur elektromagnetische Schnellauslöser in allen drei Zuleitern vermögen diesen Störungsfall abzuschalten.

Der Ausfall nur einer Phase bewirkt ferner, dass bei Umkehrantrieben die Umkehrung nicht nur unwirksam, sondern der Motor in der gleichen Richtung weiter angetrieben wird. Schwere Schäden können die Folge sein. Das einpolige Abschalten von Schmelzsicherungen hat auch ein Absenken der aus diesem Stromkreis entnommenen Steuerspannung auf Werte zwischen 40 % und 90 % der Bemessungsspannung zur Folge, sofern die Steuerspannung über zwei Außenleiter abgenommen wird. Dies kann zum Spulenbrand führen.

Man sollte daher in wichtigen Stromkreisen sowohl für Motoren als auch für dreiphasige Wärmegeräte keine Sicherungen oder einpolige LS-Schalter, sondern nur Motorschutzschalter mit allpoliger elektromagnetischer Schnellauslösung einsetzen. Dabei soll betont werden, dass dieser eben geschilderte Kurzschlussschutz nichts mit dem Kurzschlussschutz der Zuleitung zu tun hat, der immer am Leitungsanfang angeordnet sein muss.

*Einphasenlauf* von Drehstrommotoren, hervorgerufen durch Abschmelzen einer Sicherung, Leiterbruch, Ausfall einer Netzphase, Störung im Schaltgerät, ist eine der häufigsten Schadensursachen, insbesondere bei großen und schnell laufenden Motoren > 30 kW. Bei normalen Betriebsbedingungen schützt ein Motorschutzschalter den Motor ausreichend, wie es soeben dargestellt wurde. Es gibt jedoch Betriebsfälle, z. B. unbelastete in Dreieck geschaltete Motoren oder Motoren für aussetzenden Betrieb (Aufzüge, Rolltreppen, Krane), wo der Schutz versagen kann.

Hierfür ist von mehreren Firmen ein Auslöserelais entwickelt worden, das unter der Bezeichnung *Einphasenwart* oder *Schutz gegen Einphasenlauf* im Handel ist. Es wird zusätzlich zum Motorschutzschalter eingesetzt.

Die *Überprüfung der Auslöser* kann durch Einphasenlauf des voll belasteten Motors oder bei allpolig angeschlossenem abgebremstem Motor erfolgen. Im ersten Fall soll die Auslösung in wenigen Minuten, im zweiten Fall in einigen Sekunden geschehen. Es ist dagegen sinnlos, den unbelasteten Motor hochlaufen zu lassen und dann eine Sicherung zu entfernen. Der Motor nimmt bei dieser Betriebsart nur geringe Ströme auf, die das Relais nicht auslösen.

Daneben gibt es noch phasenausfallempfindliche Überlastrelais oder Überlastauslöser, bei denen sich der Ansprechstrom, abhängig von der Ungleichheit der Stromverteilung, zwischen den Phasen verringert (s. VDE 0660-102 (Überlastrelais) und VDE 0435-3011 (Motorstarter)).

Bei *Stern-Dreieck-Schaltern* werden die Schutzglieder so im Motorstromkreis angeordnet, dass sie bei Dreieckschaltung nicht den aus dem Netz entnommenen gesamten Motorstrom, sondern den durch die einzelnen Wicklungsstränge des Motors fließenden Teilstrom überwachen. Dieser beträgt das 0,58-fache des Bemessungsstroms. Durch diese Anordnung wird auch in der Anlaufschaltung (Sternschaltung) ein wirksamer Überlastungsschutz erzielt.

Diese Schaltung hat allerdings auch einen Nachteil: Wenn der Schutzschalter auslöst, bleibt der Motor zwar stehen, liegt aber in der Dreieckschaltung über x, y, z weiter an Spannung. Ebenso verführt der Druckknopf des Motorschutzschalters zu Einschaltversuchen, wobei der Bedienende kaum daran denkt, in welcher Schaltstellung der Stern-Dreieck-Schalter steht. Es gibt daher einen kombinierten Stern-Dreieck-Motorschutzschalter, der bei Ansprechen der Relais auch die Verbindung x, y, z vom Netz trennt und den Schalter in die Nullstellung zurückbringt. Zusätzlich verhindert eine Fortschaltverriegelung, dass man von null direkt auf die Dreieckschaltung durchschaltet.

### 11.5.4 Anschließen von Motoren

s. auch TAB

In Anlagen, die an das Niederspannungsnetz der NBs angeschlossen sind, darf der Anlauf von Motoren keine störenden Spannungsabsenkungen im Netz des NB verursachen. Diese Bedingung ist bei gelegentlich anlaufenden Motoren i. Allg. dann erfüllt, wenn Wechselstrommotoren mit einer Scheinleistung $\leq 1{,}7$ kVA oder Drehstrommotoren mit einer Scheinleistung $\leq 5{,}2$ kVA oder bei höheren Scheinleistungen Motoren mit einem Anzugsstrom $\leq 60$ A eingesetzt werden. Bei Motoren mit gelegentlichem Anlauf und mit höheren Anzugsströmen als 60 A sind mit dem

zuständigen NB Maßnahmen zur Vermeidung störender Spannungsänderungen zu vereinbaren, sofern nicht durch eine Untersuchung nach den TAB eine Unbedenklichkeit bez. möglicher störender Netzrückwirkungen nachgewiesen wurde. Bei Motoren, die störende Netzrückwirkungen durch schweren Anlauf, häufiges Schalten oder schwankende Stromaufnahme verursachen können, z. B. Aufzüge, Sägegatter und Cutter mit einem Anzugsstrom > 30 A, muss der Planer oder Errichter mit dem NB die für die Reduzierung der Netzrückwirkungen notwendigen Maßnahmen vereinbaren.

### 11.5.5 Blindleistungsbedarf

Die Leistungen der *Kondensatoren* sollen bei Motorbemessungsleistungen bis 30 kW zwischen 40 % und 50 % und bei höheren Leistungen etwa 35 % der Motorbemessungsleistung betragen. Bei der Blindlastdeckung einzelner Motoren sind die Kondensatoren i. Allg. nach **Tabelle 11.20** zu bemessen.

Werden für kompensierte Motoren *Stern-Dreieck-Schalter* verwendet, dann ist der Kondensator an die Klemmen U, V, W so anzuschließen, dass Spannungsresonanz und Selbsterregung des Motors ausgeschlossen werden. Es gibt dafür besondere Stern-Dreieck-Schalter, bei denen in Aus-Stellung die Motorwicklung bei geöffneten Netzverbindungen in Dreieck geschaltet wird, damit sich der Kondensator über die Motorwicklung entladen kann. Um Ausgleichsströme zu verhindern, werden die Netzverbindungen beim Umschalten von Stern auf Dreieck oder umgekehrt nicht unterbrochen. Mit Nockenschaltern wird die größte Schaltgenauigkeit erzielt.

***Tabelle 11.20:*** *Blindlastkondensatoren für Motoren*

| **Motorbemessungsleistung kW** | **Kondensatorleistung kvar**[1)] |
|---|---|
| 4,0...4,9 | 2 |
| 5,0...5,9 | 2,5 |
| 6,0...7,9 | 3 |
| 8,0...10,9 | 4 |
| 11,0...13,9 | 5 |
| 14,0...17,9 | 6 |
| 18,0...21,9 | 8 |
| 22,0...29,9 | 10 |
| ≥ 30,0 | ca. 30 % der Motorbemessungsleistung |

[1)] var: Einheit der elektrischen Blindleistung (Abkürzung von Voltampère réactif)

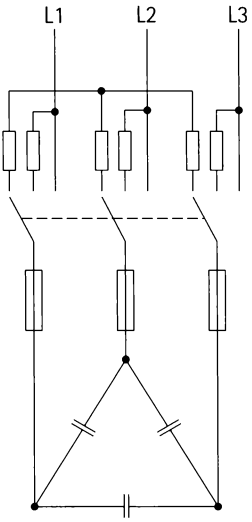



***Bild 11.26:*** *Spezialschalter für Kondensatoren*

Abnehmeranlagen dürfen den Betrieb von Tonfrequenz-Rundsteueranlagen nicht unzulässig beeinträchtigen; ggf. sind die Kondensatoren zur Blindlastdeckung mit Sperrdrosseln zu versehen.

Bis zu 10 kvar können zum *Schalten* die üblichen Schalter mit Momentschaltung verwendet werden. Bei größeren Einheiten sind wegen der hohen Einschaltstromstöße Spezialschalter oder Schütze mit Vor- und Entladewiderständen vorzusehen (**Bild 11.26**). Verwendet man Motorschutzschalter, dann sind deren Kurzschlussschnellauslöser für etwa den 8- bis 10-fachen, die Wärmeauslöser für etwa den 1,3-fachen Bemessungsstrom des Kondensators einzustellen.

Werden *Sicherungen* vorgeschaltet, dann sind Schmelzeinsätze für den 1,6- bis 1,8-fachen Kondensatorbemessungsstrom vorzusehen. Den Sicherungen entsprechend ist der Leiterquerschnitt zu wählen.

Kondensatoren müssen entweder über das direkt angeschlossene Verbrauchsmittel, z. B. den Motor, oder durch fest angeschlossene Widerstände (Bild 11.26) entladen werden. Innerhalb der vorgegebenen Entladezeit (1 min bei $U_n \leq 660$ V) muss die Restspannung vom Scheitelwert der Bemessungsspannung auf $U_R < 50$ V sinken. Der Kondensator darf nicht unbeabsichtigt von der Entladeeinrichtung getrennt werden können. Zwischen Kondensator und Entladeeinrichtung dürfen also keine Trennstellen, z. B. Schalter, sein.

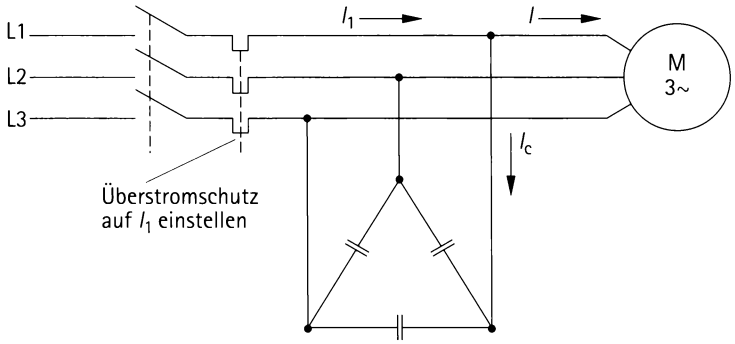



***Bild 11.27:*** *Kondensatorenanschluss unmittelbar am Motor*

Wenn der Kondensator unmittelbar am Motor angeschlossen ist (**Bild 11.27**), erspart man sich Schalter, Sicherungen und Entladewiderstände. Die Entladung geschieht dann zwangsläufig über die Motorwicklungen. Der Querschnitt der Anschlussleiter des Kondensators muss mit denen des Motors übereinstimmen. Bei Aufzugs- und sonstigen Hebezeugmotoren sowie bei Bremsmotoren und Motoren mit Bremslüftern dürfen jedoch Kondensatoren nicht unmittelbar parallel zu den Motoren geschaltet, sondern nur so angeschlossen werden, dass keine Selbsterregung auftritt.

## 11.5.6 Elektrisches Abbremsen von Drehstrommotoren

Die elektrischen Bremsverfahren beruhen auf der Bremswirkung eines induzierten Leiters im Magnetfeld und arbeiten daher verschleißfrei ohne mechanische Reibung. Diesem Vorteil steht der Nachteil gegenüber, dass im Stillstand des Motors keine Bremswirkung (Haltebremse) zu erzielen ist.

Das gebräuchlichste und einfachste elektrische Bremsverfahren ist die *Gegenstrombremsung*. Durch das Vertauschen zweier Phasen wird dabei die Drehrichtung des Motors umgekehrt (**Bild 11.28**). Da der Motor in der entgegengesetzten Richtung wieder hochlaufen würde, muss er mithilfe eines Drehzahlwächters rechtzeitig abgeschaltet werden.

Bei Schleifringläufermotoren kann durch Vergrößerung des Läuferwiderstands eine sog. *Senkbremsung* erzielt werden. Antriebe mit kleinen Trägheitsmomenten können dadurch abgebremst werden, dass die Ständerklemmen vom Netz getrennt und dann kurzgeschlossen werden. Dabei muss darauf geachtet werden, dass der Lichtbogen des Netzschalters gelöscht ist, bevor der Motor kurzgeschlossen wird, da sonst ein Netzkurzschluss entsteht.

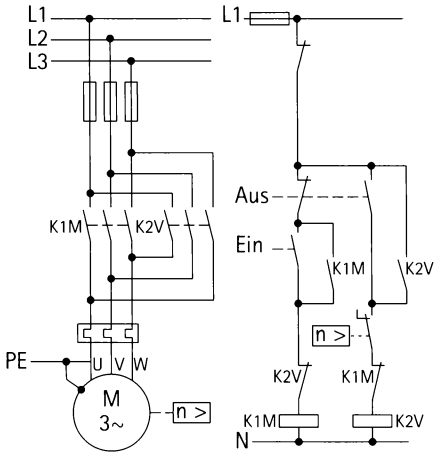



***Bild 11.28:*** *Schaltplan einer Gegenstrombremsung*

## 11.6 Elektrische Ausrüstung von Maschinen

VDE 0113-1

### 11.6.1 Allgemeines

Die VDE-Bestimmung 0113-1 mit dem aktuellen Stand Juni 2007 ist die deutsche Fassung der europäischen Norm EN 60204-1:2006 und die modifizierte Fassung der internationalen Norm IEC 60204-1:2005 und ist in erster Linie eine Produktnorm.

Mit dieser VDE-Bestimmung *Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen* werden weiterhin die grundlegenden Sicherheitsanforderungen des Anhangs 1 der EG-Maschinenrichtlinie (2006/42/EG) und der EG-Niederspannungsrichtlinie (2006/95/EG) abgedeckt.

Im Anhang F werden Hinweise auf die Anwendung der Norm gegeben. Insbesondere wird dort die Notwendigkeit einer Risikobeurteilung für die Maschine beschrieben. Dafür ist es notwendig, die Norm DIN EN ISO 12100:2011-03 „Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung" als Grundlage der Risikobetrachtung heranzuziehen. Dies ist insbesondere bei verketteten Maschinen, die zu Anlagen verbunden werden, zu beachten. Im Abschn. 11.6.2, Risikobeurteilung, wird darauf näher eingegangen.

Die weiteren Ausführungen in diesem Abschnitt sollen dem Praktiker wesentliche Aspekte der Norm VDE 0113-1 aufzeigen und Hilfestellung bei Fragen zur elektri-

schen Ausrüstung von Maschinen geben. Für umfangreichere Betrachtungen bezüglich der Anforderungen an Maschinen, z. B. Erstellen der CE-Konformitätserklärung nach der Maschinenrichtlinie, sind tiefer gehende Betrachtungen anzustellen, die ein intensives Fachwissen und umfangreiche Erfahrung voraussetzen.

Im Anhang C der VDE-Bestimmung sind umfangreiche Beispiele von Maschinen aufgeführt, deren elektrische Ausrüstung der Norm entsprechen sollte. Ausgenommen vom Gültigkeitsbereich sind u. a. elektrische Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke sowie handgeführte oder transportable motorbetriebene Elektrowerkzeuge. Hier sind die Normenreihen VDE 0700 und VDE 0740 heranzuziehen.

Es ist zu beachten, dass in der Norm VDE 0113-1 keine zusätzlichen oder besonderen Anforderungen festgelegt werden, die für Maschinen relevant sein können, wenn sie unter besonderen Bedingungen arbeiten, z. B.:

- für die Benutzung im Freien (d. h. außerhalb von Gebäuden oder anderen schützenden Einrichtungen),
- wenn die Maschinen explosionsfähige Stoffe verwenden, be- oder verarbeiten oder herstellen oder eine explosionsfähige Atmosphäre entstehen kann,
- beim Betrieb der Maschinen in explosions- und/oder feuergefährdeten Bereichen,
- für Maschinen für den Bergbau,
- für Hebezeuge, für die der Teil 31 der VDE 0113 gilt,
- für Nähmaschinen, Nähanlagen und -Einheiten,
- bei Hochspannungsausrüstungen für Spannungen > AC 1 000 V oder DC 1 500 V.

Die zusätzlichen oder besonderen Anforderungen sind den dafür gültigen Anwendungsnormen zu entnehmen und zu berücksichtigen. Basis dafür ist in der Regel die oben genannte Risikobeurteilung, in der die Besonderheiten beschrieben und Maßnahmen dafür genannt sind.

Sollen elektrische, elektronische und/oder programmierbare elektronische Steuerungssysteme, z. B. SPS, Sicherheitsfunktionen übernehmen, ist die Norm VDE 0113-50 „Sicherheit von Maschinen – Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme“ zu beachten und anzuwenden.

Der Anhang B der VDE 0113-1 enthält einen informativen „Fragebogen für die elektrische Ausrüstung von Maschinen“. Um Unstimmigkeiten zwischen Auftraggeber/Betreiber und Auftragnehmer/Lieferanten im Zuge der Auslegung der elektrischen Ausrüstung zu vermeiden, ist es dringend angeraten, sich abzustimmen. Mit Hilfe des Fragebogens werden grundlegende Voraussetzungen und zusätzliche

Anforderungen festgehalten, die später eine passende Auslegung, Anwendung und Nutzung der Maschine und ihrer elektrischen Ausrüstung ermöglichen.

Auf den Entwurf der Norm VDE 0113-1:2014-10 wird hier nicht eingegangen, da die möglichen Einsprüche nicht berücksichtigt werden können und sich auch noch Änderungen gegenüber der Schlussfassung der Norm ergeben können. Es sind bei der zukünftigen Ausgabe Änderungen bezüglich folgender Punkte zu erwarten, und zwar Anforderungen an

- eine EMV-gerechte Installation,
- den Schutzpotenzialausgleich und den Funktionspotenzialausgleich,
- drahtlose Steuerungen,
- die zu liefernde Dokumentation,
- die Behandlung betriebsmäßiger Schutzleiterströme,
- die Prüfungen und
- Prüfungen für TT-Systeme.

### 11.6.2 Risikobeurteilung

Maschinen und ihre elektrische Ausrüstung bergen Risiken, die bewertet werden müssen. Dabei sind bereits bei der Planung mögliche Fehler der elektrischen Ausrüstung zu berücksichtigen und eine angemessene Risikominderung vorzusehen.

In VDE 0113-1:2007-06, Abschn. 4.1 werden beispielhaft folgende gefahrbringende Situationen beschrieben:

- Brand oder elektrischer Schlag durch Ausfälle oder Fehler in der elektrischen Anlage,
- Fehlfunktionen der elektrischen Anlage bzw. der Steuerung durch Ausfälle oder Fehler der elektrischen Anlage,
- Fehlfunktionen der Maschine durch Ausfall oder Störungen der versorgenden Energien oder Ausfälle bzw. Fehler in den Hauptstromkreisen,
- Störungen oder Unterbrechungen in Stromkreisen, die von Schleifkontakten oder rollenden Kontakten abhängig sind,
- Fehlfunktionen der Maschine durch elektrische Störungen, z. B. elektromagnetische, elektrostatische, von außerhalb oder intern erzeugt,
- unerwartete Bewegungen oder möglicher elektrischer Schlag durch Freiwerden von gespeicherter Energie (elektrisch oder mechanisch),
- Verletzungen durch heiße Oberflächen.

Über die Betrachtungen der Normenreihe VDE 0113 hinaus ist die Grundlage für eine Risikobeurteilung die Norm DIN EN ISO 12100:2011-03 „Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung". Diese Norm ersetzt die zurückgezogene Norm DIN EN ISO 14121-1:2007-12 „Sicherheit von Maschinen – Risikobeurteilung – Teil 1: Leitsätze".

Für den Konstrukteur einer Maschine und den Konstrukteur der zugehörigen elektrischen Ausrüstung ist es unerlässlich, dass vor Beginn der Planungen eine gemeinsame und abgestimmte Risikobeurteilung auf der Basis der Norm DIN EN 12100 vorgenommen wird. Sie enthält als Norm des Typs A sicherheitstechnische Festlegungen im Sinne der Maschinenrichtlinie und deren deutsche Umsetzung als „Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung) (9. ProdSV)" (Stand: 08.11.2011). Damit schafft die Anwendung der Norm auch Rechtssicherheit im Sinne der Produkthaftung.

Die Vorgehensweise der Risikobeurteilung und der Risikominderung bei der Konstruktion einer Maschine und/oder verketteter Anlagenteile wird in der Norm DIN EN ISO 12100 sehr präzise beschrieben und eine strukturierte Vorgehensweise und Reihenfolge vorgegeben:

1. Festlegen der Grenzen der Maschine, Festlegen der bestimmungsgemäßen, Verwendung und vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendungen,
2. Identifizieren von Gefährdungen und zugehörigen Gefährdungssituationen,
3. Einschätzen des Risikos für jede identifizierte Gefährdung und Gefährdungssituation,
4. Bewerten des Risikos und Treffen von Entscheidungen über die Notwendigkeit zur Risikominderung,
5. Beseitigen der Gefährdung oder Vermindern des mit der Gefährdung verbunden Risikos durch Schutzmaßnahmen.

Mit einer graphischen Darstellung in der Norm DIN EN ISO 12100 (Schematische Darstellung des dreistufigen iterativen Prozesses zur Risikominderung, Bild 1 der Norm von März 2011) werden die logischen Schritte, die zur systematischen Analyse und Bewertung von Risiken führen, anschaulich dargestellt.

Dem Hersteller der elektrischen Ausrüstung von Maschinen wird weiterhin empfohlen, die erforderlichen Risikobetrachtungen der geänderten, seit 01. Juni 2015 gültigen Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV, zuletzt geändert am 13.07.2015, s. Abschn. 1.2.5.4) zu beachten.

Als weiteres Nachschlagewerk, um bei der Betrachtung von Risiken möglichst alle relevanten sog. A-, B- und C-Normen zu berücksichtigen, ist das Heranziehen

des dafür gültigen EU-Amtsblatts erforderlich. Die letzte Ausgabe stammt vom 11.04.2014 und ist als „Mitteilung der Kommission im Rahmen der Durchführung der Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung)" unter der Nummer 2014/C 110/02 veröffentlicht.

Eine sehr ausführliche und informative Publikation ist ferner der „Leitfaden für die Anwendung der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG", 2. Auflage Juni 2010, herausgegeben von der Europäischen Kommission, Unternehmen und Industrie.

### 11.6.3 Anleitung für die Benutzung der VDE 0113-1

Der informative Anhang F der Norm VDE 0113-1 gibt eine Anleitung zur Benutzung. Dabei wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass Fachwissen unentbehrlich ist, um die notwendige Risikobewertung durchzuführen. Weiter wird auf das Blockdiagramm einer typischen Maschine verwiesen (**Bild 11.29**), das als Startpunkt für die Anwendung der Norm genutzt werden soll. In dem Diagramm werden Abschnitte und Unterabschnitte genannt, die besondere Anforderungen bzw. Ausrüstungen behandeln.

Die Zahlen in Klammern im Blockdiagramm beziehen sich auf die jeweiligen Abschnitte in der Norm. Alle dargestellten Elemente zusammen bilden eine typische Maschine. Dazu gehören u. a. die Schutzvorrichtungen, auch notwendige Software und die Dokumentation. Eine oder mehrere zusammenarbeitende Maschinen werden üblicherweise mit einer übergeordneten Steuerungsebene versehen sein.

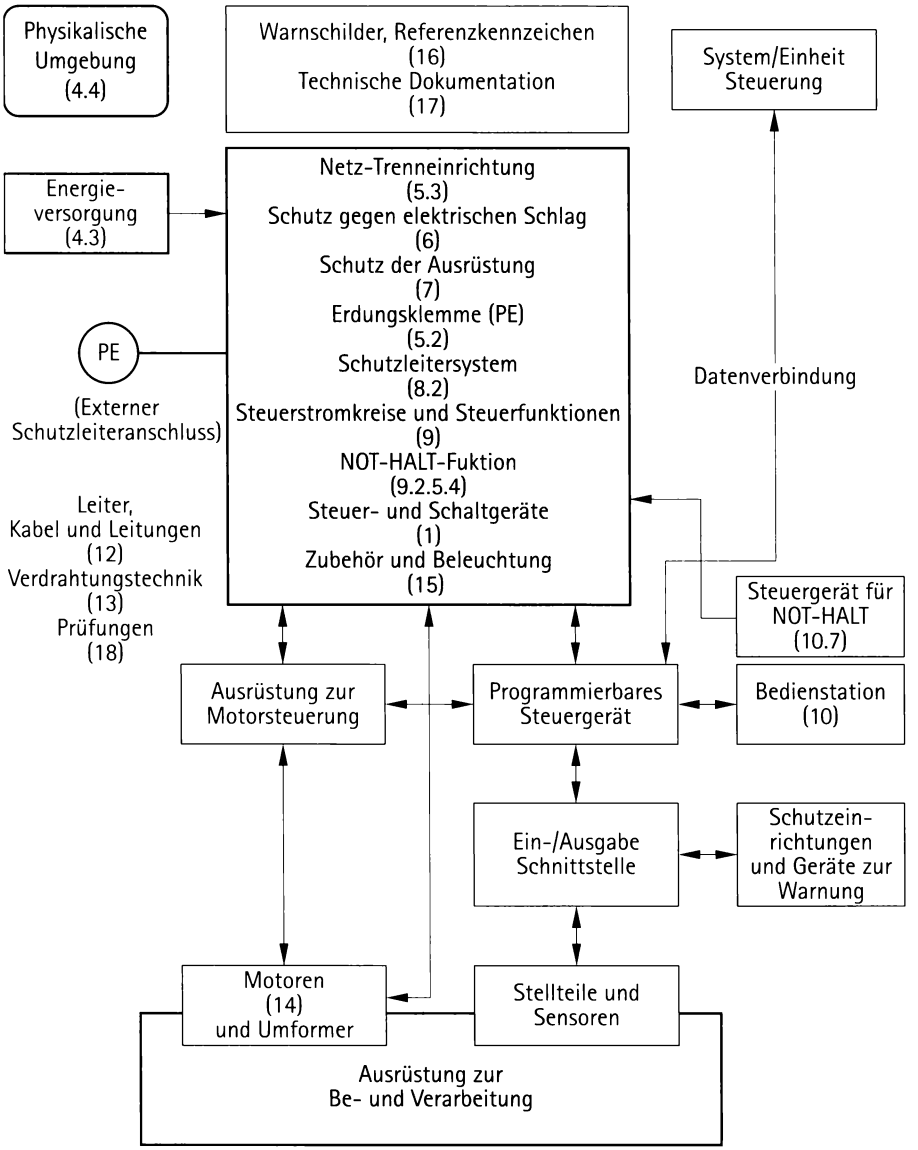



***Bild 11.29:*** *Blockdiagramm einer typischen Maschine (nach VDE 0113-1)*

### 11.6.4 Anwendungsbereich der Norm, Schutzziele, weitere Randbedingungen

Die Norm VDE 0113-1 beschreibt Anforderungen und Empfehlungen für die elektrische Ausrüstung von Maschinen, um

- die Sicherheit von Personen und Sachen, sowie
- den Erhalt der Funktionsfähigkeit zu gewährleisten und
- die Instandhaltung zu erleichtern.

Die Ausrüstung nach Norm beginnt an der Netzanschlussstelle der Maschine und gilt für Nennspannungen bis AC 1 000 V mit Nennfrequenzen bis 200 Hz oder bis DC 1 500 V.

Es werden in der Norm VDE 0113-1 nicht alle Anforderungen berücksichtigt, die notwendig sind (oder durch andere Normen gefordert werden), um Personen vor anderen als vor elektrischen Gefährdungen zu schützen. Im Anhang C der Norm VDE 0113-1 sind Beispiele von Maschinen genannt, deren elektrische Ausrüstung durch diese Norm abgedeckt sein kann.

Hauptstromkreise, in denen elektrische Energie direkt als Werkzeug verwendet wird, sind von der Norm ausgenommen.

Die Abschnitte 4.2 bis 4.7 der Norm VDE 0113-1 beschreiben Beschaffenheitsanforderungen an die elektrische Ausrüstung und deren Komponenten/Betriebsmittel, z. B. Spannungstoleranzen, Umgebungs- und Betriebsbedingungen, EMV-Anforderungen, Transport und Lagerung.

### 11.6.5 Netzanschluss – Netztrenneinrichtung

Nach Möglichkeit soll die elektrische Ausrüstung an eine einzige Energieversorgung angeschlossen werden. Bei Verwendung eines Neutralleiters ist dieser auf eine getrennte, isolierte Klemme zu führen und es darf keine Verbindung zum Schutzleitersystem bestehen. Ausnahme: In TN-C-Systemen darf an der Netzanschlussstelle eine Verbindung zwischen N-Leiter und der PE-Klemme hergestellt werden.

Für jeden Netzanschluss muss in der Nähe der zugehörigen Außenleiter eine Klemme für den externen Schutzleiter oder das Schutzleitersystem vorgesehen werden. Die Querschnitte für externe Schutzleiter sind nach der Tabelle 5.18 (s. Abschn. 5.6.8) zu wählen.

Für jeden Netzanschluss zu einer Maschine muss eine Netztrenneinrichtung vorgesehen werden. Diese Trenneinrichtung muss die elektrische Ausrüstung der

Maschine von der Versorgung sicher trennen, z. B. für Arbeiten an der Maschine. Bei mehreren Maschinen und damit erforderlichen mehreren Netztrenneinrichtungen sind Schutzverriegelungen vorzusehen, um gefahrbringenden Situationen vorzubeugen.

Netztrenneinrichtungen müssen ausgeführt sein als

- Lasttrennschalter, mit oder ohne Sicherungen,
- Trennschalter, mit oder ohne Sicherungen, mit Hilfskontakt, der bewirkt, dass Schaltgeräte die zugehörigen Lasten vor dem Öffnen der Hauptkontakte des Trennschalters abschalten,
- Leistungsschalter, geeignet zum Trennen,
- Schaltgeräte, welche die Anforderungen an Trenneinrichtungen erfüllen oder
- Stecker-Steckdosen-Kombinationen bei der Verwendung von flexiblen Leitungen.

Außer Stecker-Steckdosen-Kombinationen müssen Trenneinrichtungen alle folgenden Anforderungen erfüllen:

- es darf nur eine AUS- (Trenn-) und eine EIN-Stellung vorhanden sein,
- es muss eine sichtbare Kontakt-Trennstrecke oder Stellungsanzeige vorhanden sein, die AUS nur anzeigen kann, wenn alle Kontakte geöffnet sind,
- sie müssen über eine äußere Bedienungsvorrichtung verfügen,
- sie müssen alle aktiven Leiter von der Energieversorgung trennen und
- sie müssen ein ausreichendes Ausschaltvermögen besitzen, um den Strom des größten Motors im blockierten Zustand und die Summe aller Betriebsströme der übrigen Motoren und Verbraucher abschalten zu können.

Die Bedienungsvorrichtung der Netztrennvorrichtung muss leicht zugänglich sein und zwischen 0,6 m und 1,9 m (max. 1,7 m empfohlen) oberhalb der Zugangsebene angeordnet sein.

Beleuchtungsstromkreise und Steckdosen, die für Reparatur- bzw. Instandhaltungsarbeiten notwendig sind, ebenso wie Stromkreise für den Unterspannungsschutz, Stromkreise von besonderen Ausrüstungen und Steuerstromkreise für Verriegelungen, brauchen nicht über die Netztrenneinrichtung abgeschaltet werden. Diese Stromkreise sind jedoch zu kennzeichnen (durch Warnschilder, räumlich getrennte Verlegung, farbliche Kennzeichnung der Leiter) und im Wartungshandbuch zu benennen. Eine eigene Trenneinrichtung für diese Stromkreise wird empfohlen.

Kann durch einen unerwarteten Anlauf der Maschine oder eines Teils davon, z. B. während der Instandhaltungsarbeiten, eine Gefährdung entstehen, sind dafür Ausschalteinrichtungen – in der Praxis oftmals auch Reparaturschalter genannt – vorzusehen. Die Anforderungen sind die gleichen, wie bei Netztrenneinrichtungen. Weiterhin dürfen Trennschalter mit entnehmbaren Sicherungselementen oder Trennlaschen verwendet werden, wenn sie in abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten angeordnet sind.

Solche Ausschalteinrichtungen müssen gegen unbefugtes, unbeabsichtigtes bzw. irrtümliches Schließen gesichert werden. Im getrennten Zustand (AUS-Stellung) muss die Möglichkeit vorhanden sein, diesen Zustand zu sichern, z. B. durch Vorhängeschlösser, Verriegelungseinrichtungen mit Schlüsseltransfersystem o. Ä. Im gesicherten Zustand muss sowohl ein Wiedereinschalten vor Ort als auch fernbedient sicher verhindert sein.

Bei der Verwendung von Trennschaltern mit entnehmbaren Sicherungselementen ist durch entsprechende Warnschilder vor unbefugtem Wiedereinschalten zu warnen.

### 11.6.6 Schutz gegen elektrischen Schlag

Für die elektrische Ausrüstung von Maschinen sind im Wesentlichen alle in VDE 0100-410 genannten Maßnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag zu berücksichtigen.

Der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) und der Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) müssen in jedem Falle gewährleistet sein. Ferner ein Schutz gegen Restspannungen an aktiven Teilen. Hier müssen Restspannungen die > 60 V betragen innerhalb von 5 s auf ≤ 60 V entladen sein. Kann dies auf Grund der Funktionssicherheit nicht gewährleistet werden, muss auf die Gefährdung und den Zeitverzug durch Warnschilder hingewiesen werden.

Als Schutzmaßnahmen sind erlaubt:

- automatische Abschaltung der Stromversorgung (s. Abschn. 5.6),
- doppelte oder verstärkte Isolierung (bisherige Bezeichnung: Schutz durch Verwendung von Geräten der Schutzklasse II oder durch gleichwertige Isolierung) (s. Abschn. 5.7),
- Schutztrennung (s. Abschn. 5.8),
- Schutz durch Kleinspannung mittels PELV (s. Abschn. 5.9) mit
  - ≤ AC 25/DC 60 V in trockenen Räumen und bei nicht großflächiger Berührung oder
  - ≤ AC 6/DC 15 V in allen anderen Fällen.

Darüber hinaus sind als *Schutzvorkehrungen* für den Basisschutz erlaubt:

- Abdeckungen oder Umhüllungen (s. Abschn. 5.3.1.2),
- Hindernisse (Schutz durch Abstand) und Anordnung außerhalb des Handbereichs (s. Abschn. 5.3.1.2).

## 11.6.7 Schutz der Ausrüstung

Die Ausrüstung ist z. B. gegen folgende Einflüsse zu schützen:

- Überstrom als Folge eines Kurzschlusses,
- Überlast bei Motoren,
- Ausfall oder unzulässiges Absinken der Versorgungsspannung,
- Überdrehzahl von Motoren,
- Erdschluss/Fehlerstrom,
- falsches Drehfeld,
- Überspannungen (Blitzschlag oder Schaltüberspannungen),
- anormale Temperaturen.

**Schutz gegen Überstrom**

Soweit nicht anders vereinbart, ist der Lieferant der elektrischen Ausrüstung nicht verantwortlich für die Überstromschutzeinrichtung des Netzanschlusses (s. Abschn. 11.6.5). Der Lieferant muss aber die notwendigen Daten für die richtige Auswahl der Schutzeinrichtung im Installationsplan angeben.

Die Auswahl der Bemessungsströme von Sicherungen bzw. die Einstellungen der Überstromschutzeinrichtungen soll so niedrig wie möglich gewählt werden. Es sind jedoch vorhersehbare Überströme, z. B. Anlaufströme von Motoren, Einschaltströme von Transformatoren, zu berücksichtigen. Bei der Auswahl der Schutzeinrichtungen ist ferner der mögliche Kurzschlussstrom an der Einbaustelle zu berücksichtigen, er muss sicher abgeschaltet werden können.

Die Überstromeinrichtungen müssen alle aktiven Leiter abschalten, das gilt sowohl für Hauptstromkreise als auch für Steuerstromkreise, Beleuchtungsstromkreise und Stromkreise von Transformatoren.

In der Regel wird die Schutzeinrichtung am Anfang des Stromkreises angeordnet (Reduzierung des Leiterquerschnitts). Ausnahmen sind möglich bei sog. kurzschluss- und erdschlusssicherer Verlegung der Leiter (s. Abschn. 8.2.6) und wenn der Abstand zwischen der Verminderung des Leiterquerschnitts und der Schutz-

einrichtung nicht mehr als 3 m beträgt und die Strombelastbarkeit des verwendeten Leiters mindestens der zu erwartenden Last entspricht.

**Schutz gegen Überlast und Überhitzung von Motoren**

Ein solcher Schutz ist für alle Motoren über 0,5 kW Bemessungsleistung vorzusehen. Die Schutzeinrichtung muss alle aktiven Leiter abschalten. Nach Ansprechen der Schutzeinrichtungen muss ein automatischer Wiederanlauf verhindert werden.

Der Schutz wird erreicht, durch Überlastschutz, durch Übertemperaturschutz oder durch strombegrenzende Maßnahmen.

**Ausfall oder unzulässiges Absinken der Versorgungsspannung**

Ein Unterspannungsschutz ist notwendig, wenn durch den Ausfall oder eine Unterbrechung der Stromversorgung oder einen Spannungseinbruch eine gefahrbringende Situation, Schaden an der Maschine oder am Produktionsgut entstehen kann. Bei entsprechenden Voraussetzungen kann auch ein verzögerter Unterspannungsschutz eingesetzt werden. Ein automatischer Wiederanlauf nach Spannungswiederkehr ist zu verhindern.

**Überdrehzahl von Motoren**

Ein solcher Schutz muss vorgesehen werden, wenn Überdrehzahlen auftreten können und diese eine gefahrbringende Situation verursachen können.

**Schutz vor Erdschluss/Fehlerstrom**

Um Schäden an der Maschinenausrüstung zu mindern, kann zusätzlich zum Überstromschutz ein Erdschluss-/Fehlerschutz vorgesehen werden, der Erdschlussströme unterhalb der Ansprechschwelle der Überstromschutzeinrichtung erfasst.

**Drehfeldüberwachung**

Kann ein falsches Drehfeld Schaden an der Maschine verursachen oder eine gefahrbringende Situation hervorrufen, ist eine Drehfeldüberwachung einzubauen.

**Schutz gegen Überspannungen (Blitzschlag oder Schaltüberspannungen)**

Erforderlichenfalls sollten Überspannungsschutzeinrichtungen eingesetzt werden. Sie müssen dann an den Eingangsklemmen der Netztrenneinrichtung angeschlossen werden (Blitzschutz) oder an den Klemmen jeder Ausrüstung, die einen solchen Schutz benötigt (Schaltüberspannungen).

**Schutz gegen anormale Temperaturen**

Insbesondere wenn anormale Temperaturen bei Widerstandsheizungen zu gefahrbringenden Situationen führen können, sind geeignete Erfassungseinrichtungen zu verwenden, die dann einen entsprechenden Steuerbefehl einleiten.

## 11.6.8 Potenzialausgleich

Die Konzepte für den Schutzpotenzialausgleich und den Funktionspotenzialausgleich werden im **Bild 11.30** dargestellt.

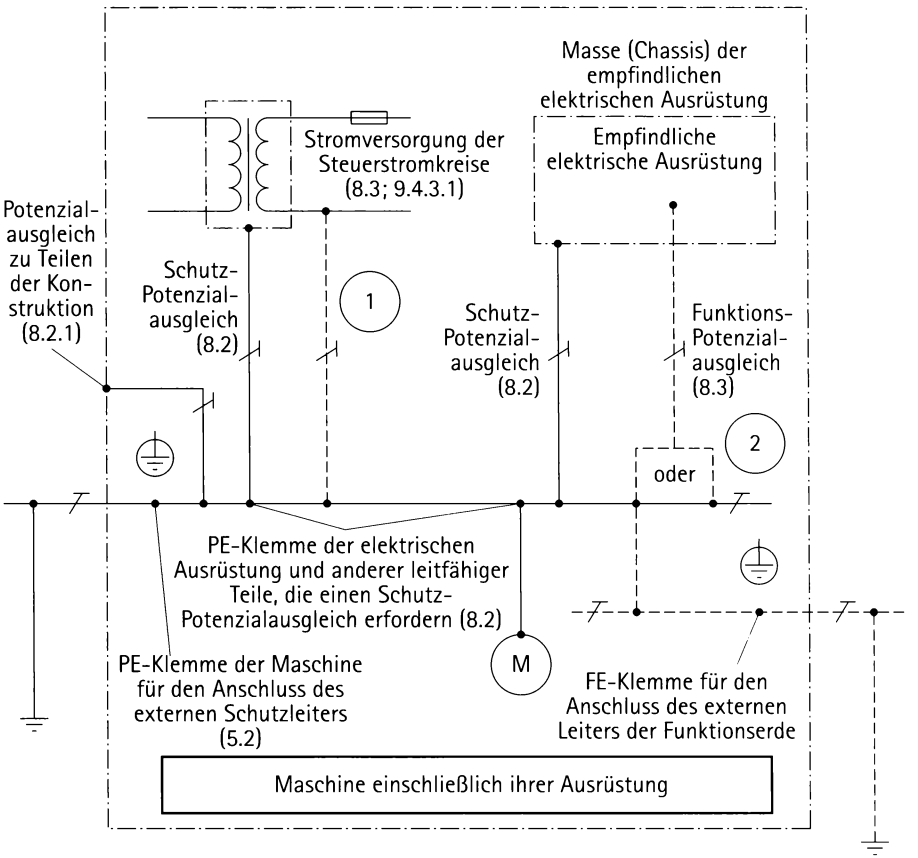
Es wird unterschieden zwischen dem Schutzpotenzialausgleich und dem Funktionspotenzialausgleich. Ersterer ist für den Schutz im Fehlerfall, zum Schutz von Personen für den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren). Der Funktionspotenzialausgleich soll Auswirkungen von Isolationsfehlern, welche den Betrieb der Maschine beeinflussen können, mindern.

Wie im Bild 11.30 dargestellt, besteht das Schutzleitersystem aus den zugehörigen PE-Klemmen, den Schutzleitern in der Maschinenausrüstung, den leitfähigen Teilen der Maschine und sog. fremden leitfähigen Teilen, die zur Maschine gehören. Die PE-Leiter sind so zu bemessen, dass sie den höchsten thermischen und mechanischen Belastungen durch Erdschluss-Ströme standhalten, die dort fließen können.

Alle Körper der elektrischen Ausrüstung müssen mit dem Schutzleitersystem verbunden sein. Dabei ist auf die Durchgängigkeit des Schutzleiters zu achten, z. B. an Deckeln, Türen oder Abdeckplatten, wenn dort Teile der elektrischen Ausrüstung angebracht sind.

Der Schutzleiter darf keine Schaltgeräte oder Überstromschutzeinrichtung enthalten, d. h., es dürfen keine Geräte, die zur Unterbrechung des Schutzleiters führen, eingebaut werden.

Die Anschlusspunkte des Schutzleiters sind, ebenso wie die Schutzleiter selbst, zu kennzeichnen, z. B. durch Verwendung des Erdungssymbols ⏚, durch die Buchstaben PE oder durch die Farbkombination Grün-Gelb.




---- optionale Verbindungen

(1) Funktions-Potenzialausgleich (8.3) einschließlich Schutz-Potenzialausgleich (8.2)

(2) ausschließlich Funktions-Potenzialausgleich (8.3), entweder zum Schutzleiter oder zum Leiter der Funktionserde

Anmerkung: Der Leiter für Funktionserdung wurde früher „fremdspannungsarmer Erdleiter" genannt, und die „FE"-Klemme war mit „TE" bezeichnet (siehe DIN EN 60445 (VDE 0197))

***Bild 11.30:*** *Beispiel des Potenzialausgleichs für die elektrische Ausrüstung einer Maschine (nach VDE 0113-1)*

### 11.6.9 Steuerstromkreise

Werden Steuerstromkreise mit Wechselstrom betrieben, so muss ein Steuertransformator, erforderlichenfalls mehrere Steuertransformatoren zur Versorgung der Steuerstromkreise verwendet werden. Kommen mehrere Transformatoren zum Einsatz, sollen die Wicklungen der Transformatoren so geschaltet werden, dass die Sekundärspannungen phasengleich sind. Die angeschlossenen Steuerstromkreise müssen einen Überstromschutz haben.

### 11.6.10 Steuerfunktionen

Die Norm beschreibt folgende Steuerfunktionen:

- Start-Funktionen,
- Stopp-Funktionen,
- Betriebsarten,
- Aufheben von Sicherheitsfunktionen und/oder Schutzfunktionen,
- Betrieb,
- andere Steuerfunktionen und
- kabellose Steuerungen.

In den einzelnen Unterpunkten zu den Steuerfunktionen wird auf die Eigenschaften und Voraussetzungen eingegangen, unter welchen die jeweiligen Funktionen aktiv werden können oder dürfen.

Insbesondere bei den *NOT-HALT*- und *NOT-AUS*-Funktionen ist der Bezug zu den notwendigen Gefährdungsbeurteilungen hergestellt, da diese die Grundlage für die Auslegung der *NOT*-Schaltfunktionen bilden und es wird daraus die Anforderung an die notwendige Stopp-Kategorie gebildet. Auf die Aspekte von *NOT-AUS*-Funktionen wird ferner auf die VDE 0100-460 „Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Trennen, Schalten und Steuern" Bezug genommen.

Grundsätzlich darf eine Maschine nur in Gang gesetzt werden, wenn alle vorgesehenen Sicherheits- und Schutzmaßnahmen erfüllt sind, ein Auslösen einer dieser Maßnahmen muss ebenso wie bei einer Stopp- oder NOT-HALT-/NOT-AUS-Funktion zum Stillsetzen der Maschine führen, ein automatisches Wiederanlaufen ist sicher zu verhindern.

## 11.6.11 Schutzverriegelungen

Schutzverriegelungen dienen u. a. der Überwachung von mechanischen, trennenden Schutzeinrichtungen, der Überwachung von definierten Betriebsgrenzen (z. B. Temperaturen, Drücken, Positionen etc.) und/oder dem Betrieb von Hilfseinrichtungen wo erforderlich, der Verriegelung zwischen unterschiedlichen Betriebsfunktionen oder gegenläufiger Bewegungen.

Dabei wird auch auf die Norm DIN EN ISO 12100:2011-03 „Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung" verwiesen. Diese Norm geht auf Gefährdungen, deren Verhütung und dafür sinnvolle Schutzmaßnahmen (z. B. Verriegelungen) ein.

## 11.6.12 Steuerfunktionen im Fehlerfall

Bei der Auslegung und Planung der elektrischen Ausrüstung einer Maschine ist außer dem normalen Betrieb, den Sicherheitsfunktionen und den Schutzverriegelungen auch ein möglicher Fehlerfall mit einzubeziehen. Entsprechend dem Ergebnis der erstellten Risikobeurteilung müssen die Steuerkreise ein angemessenes Niveau an sicherheitstechnischer Leistungsfähigkeit haben, um Risiken im Fehlerfall zu verringern.

Um Risiken zu mindern, beschreibt die Norm folgende Möglichkeiten:

- Verwendung von erprobten Schaltungstechniken und Komponenten,
- teilweise oder vollständige Redundanz,
- Anwendung von Diversität,
- regelmäßige Funktionsprüfungen (automatisch oder manuell).

Der fehlerhafte Zustand in einer Steuerung, hervorgerufen durch Erdschlüsse im Steuerstromkreis, durch Spannungsunterbrechungen oder dem Verlust der elektrischen Durchgängigkeit (z. B. bei Schleifkontakten), darf weder zu einem unbeabsichtigten Anlauf der Maschine, zu gefahrbringenden Bewegungen führen noch das Stillsetzen der Maschine verhindern.

Insbesondere der Schutz bei Erdschluss in einem Steuerstromkreis wird durch mehrere mögliche Methoden beschrieben. Bei Verwendung eines Steuertransformators wird meist die geerdete Steuerstromversorgung zur Verhinderung des sog. doppelten Erdschlusses, der sicherheitsgerichtete Kontakte wirkungslos werden ließe, bevorzugt.

## 11.6.13 Bedienerschnittstelle Mensch – Maschine

Bei der Installation und dem Anbringen der Steuergeräte für die Maschinenbedienung – das können Taster, Schalter, Bedienereingabegeräte von programmierbaren Steuerungen, Touchscreens usw. sein – ist besonderer Wert auf unbeabsichtigtes Betätigen zu legen.

Die Steuergeräte sollen von der Arbeitsposition des Bedieners leicht erreichbar angebracht sein und mindestens 0,6 m oberhalb der Bedienebene installiert werden. Der Bediener darf beim Betätigen nicht in eine gefahrbringende Situation geraten.

Die Geräte müssen weiterhin so ausgelegt sein, dass sie den zu erwartenden Umwelteinflüssen standhalten und vor dem Eindringen von Fremdkörpern, z. B. Staub, Schutz bieten. Wegfühler und Positionsschalter dürfen – auch beim Überfahren – nicht beschädigt werden.

Die Farbkennzeichnung von Drucktastern muss der **Tabelle 11.21** entsprechen. Dabei ist insbesondere zu beachten, dass die Farbe **rot** nur für NOT-HALT- und NOT-AUS-Bedienteile verwendet werden darf.

***Tabelle 11.21:*** *Farben von Drucktastern nach VDE 0113-1*

| Farbe | Bedeutung | Erklärung | Anwendungsbeispiele |
|---|---|---|---|
| rot | Notfall | bei Gefahr bringendem Zustand oder im Notfall | • Stillsetzen im Notfall<br>• Einleiten von Notfunktionen<br>• auch für STOP/AUS; aber nicht in der Nähe von Geräten für den Notfall |
| gelb | anormal | bei einem anormalen Zustand betätigen | • Eingriff, um anormalen Zustand zu unterdrücken<br>• Eingriff, um unterbrochenen automatischen Ablauf wieder zu starten |
| grün | normal | Betätigen, um übliche Zustände einzuleiten | auch für START/EIN |
| blau | zwingend | bei einem Zustand betätigen, der eine zwingende Handlung erfordert | Rückstellfunktion |
| weiß | keine spezielle Bedeutung zugeordnet | für allgemeine Einleitung von Funktionen außer Stillsetzen im Notfall | START/EIN (bevorzugt)<br>STOP/AUS |
| grau | | | START/EIN<br>STOP/AUS |
| schwarz | | | START/EIN<br>STOP/AUS (bevorzugt) |

Weiterhin empfiehlt es sich, in der Nähe oder direkt auf dem Taster eine Kennung (Symbol) für die zugehörige Funktion gemäß der Tabelle 3 „Symbole für Drucktaster" aus der Norm anzubringen und durch eine sinnhafte Funktions-Kurzbeschreibung zu ergänzen.

*Geräte für NOT-HALT und NOT-AUS* müssen leicht erreichbar angebracht sein.

NOT-HALT-Geräte müssen an jedem Bedienstand und dort, wo die Einleitung der NOT-HALT-Funktion erforderlich sein kann, installiert werden. Als Bedienelemente dürfen Pilzdrucktaster, Reißleinenschalter oder Fußschalter ohne mechanischen Schutz verwendet werden. Wie genannt, müssen die Bedienteile *rot* sein und bei Einbau vor einem Hintergrund (z. B. Bedienpult, Schaltschranktür etc.) muss dieser *gelb* sein.

NOT-AUS-Geräte werden dort angebracht, wo es für die Funktion notwendig ist, d. h. nicht unbedingt am Bedienstand, sondern z. B. bei Zugangstüren von Einhausungen, Umzäunungen usw. Idealerweise werden die Standorte bereits in der Risikobeurteilung berücksichtigt. Die Bediensteile müssen ebenfalls *rot* gekennzeichnet werden, ggf. vor gelbem Hintergrund, wie oben. Bedienelemente für die NOT-AUS-Funktion dürfen Pilzdrucktaster mit Rastfunktion oder Reißleinenschalter sein.

Bei Gefahr der Verwechslung von NOT-HALT- und NOT-AUS-Geräten sind entsprechende Kennzeichnungen anzubringen, um die Verwechslung zu minimieren.

***Tabelle 11.22:*** *Farben von Leuchtmeldern nach VDE 0113-1*

| Farbe | Bedeutung | Erklärung | Handlung durch den Bediener |
|---|---|---|---|
| rot | Notfall | Gefahr bringender Zustand | sofortige Handlung, um auf einen Gefahr bringenden Zustand zu reagieren (z. B. durch Betätigung des Stillsetzens im Notfall) |
| gelb | anormal | anormaler Zustand; bevorstehender kritischer Zustand | Überwachen und/oder Eingreifen (z. B. durch Wiederherstellen der vorgesehenen Funktion) |
| grün | normal | normaler Zustand | optional |
| blau | zwingend | Anzeige eines Zustands, der Handlung durch den Bediener erfordert | zwingende Handlung |
| weiß | neutral | andere Zustände; darf verwendet werden, wenn Zweifel über die Anwendung von rot, gelb, grün oder blau bestehen | Überwachen |

*Anzeigeleuchten und Anzeigen* machen den Bediener aufmerksam, dass eine bestimmte Aufgabe ausgeführt werden soll. Insbesondere um Aufmerksamkeit zu erregen, bei Unterschieden zwischen Kommando und Ist-Zustand oder um sofortiges Handeln anzufordern, können blinkende Leuchten oder Anzeigen auf Bildschirmen verwendet werden. Unterschiedliche Blinkfrequenzen können dabei die Prioritäten der Informationen signalisieren (höhere Frequenz für höhere Priorität). In **Tabelle 11.22** wird die farbliche Codierung der Leuchten beschrieben.

## 11.6.14 Schaltgeräte und Schaltgerätekombinationen

Der Aufbau der Schaltgerätekombination ist so zu gestalten, dass die Schaltgeräte für Instandhaltungsarbeiten und für notwendige Bedienung, Einstellarbeiten oder Austausch gut zugänglich sind. Bevorzugt sollen die Geräte von der Vorderseite der Schaltanlage zugänglich sein. Ein Anbringen in Türen oder abnehmbaren Abdeckungen ist nicht gestattet, ausgenommen davon sind Anzeigen, Messgeräte oder Kühleinrichtungen.

Bei der Montage der Schaltgeräte sind die von den Herstellern festgelegten Luft- und Kriechstrecken einzuhalten.

Teile, die nicht zur elektrischen Ausrüstung gehören, dürfen nicht gemeinsam mit Schaltgeräten im gleichen Gehäuse eingebaut sein.

*Anschlussklemmen* müssen gruppenweise angeordnet werden (Hauptstromkreise, zugeordnete Steuerstromkreise, extern gespeiste Steuerstromkreise z. B. von Verriegelungen). Die Gruppen dürfen aneinandergrenzend montiert werden, dabei muss jede Gruppe für sich leicht identifizierbar sein. Dies kann durch Kennzeichnungen, Einsatz von Trennwänden, Farben o. Ä. geschehen. Alle Anschlüsse müssen gegen Selbstlockern gesichert sein und es wird gefordert, dass insbesondere je anzuschließendem Schutzleiter eine eigene Klemme zur Verfügung steht.

Die *Gehäuse* der Schaltanlagen müssen einen ausreichenden Schutz gegen das Eindringen von festen Fremdkörpern und Flüssigkeiten bieten und den zu erwartenden mechanischen, thermischen und elektrischen Beanspruchungen gewachsen sein. Die notwendigen Schutzgrade (IPXX) werden in der Norm VDE 0113-1 detailliert beschrieben. Dichtungen von Türen, Abdeckungen usw. müssen eine ausreichende Widerstandsfähigkeit gegen evtl. vorhandene aggressive Umgebungsbedingungen am Aufstellort besitzen. Kabeleinführungen müssen ebenfalls die vorgenannten Eigenschaften erfüllen. Zwischen Gehäusen mit elektrischen Ausrüstungen und solchen, in denen Kühlmittel, Schmier- und Hydraulikflüssigkeiten, Öle usw. untergebracht sind, darf keine Öffnung sein.

Bei der Aufstellung und beim Anbringen von Schaltgerätekombinationen und Gehäusen von Schaltgeräten sind ausreichende Abstände für den Zugang vorzusehen, um insbesondere im Gefahrenfall eine Flucht des Personals zu ermöglichen:

- Verwendung von Panikverschlüssen bei Türen,
- Türen in Fluchtrichtung öffnend,
- mindestens 0,7 m Breite und 2,0 m Höhe von Türen, bzw. 2,1 m Höhe, wenn die Gehäuse einen vollständigen Zugang erlauben,
- mindestens 1,0 m Breite, wenn leitfähige Teile frei liegen oder mit spannungsführenden Teilen zu rechnen ist (bei beidseitiger Aufstellung min. 1,5 m Breite).

## 11.6.15 Kabel, Leitungen und Leiter

Die Kabel, Leitungen und Leiter sind so auszulegen, dass sie den zu erwartenden Beanspruchungen durch z. B. Spannung, Strom, Umgebungstemperatur, mechanische Beanspruchung, Brandgefährdung ausreichend standhalten und den Schutz gegen elektrischen Schlag gewährleisten.

Leiter müssen im Allgemeinen aus Kupfer sein. Wird Aluminium genutzt, ist ein Mindestquerschnitt von 16 $mm^2$ zu verwenden.

Bei der Auswahl des notwendigen Querschnitts sind die Mindestquerschnitte gemäß **Tabelle 11.24** und die **Tabelle 11.23** (Beispiel für die Strombelastbarkeit) zu berücksichtigen. Weiterhin gilt, dass der Spannungsfall von der Netzanschlussstelle bis zum Verbraucher nicht mehr als 5 % der Netzspannung betragen darf. Ggf. kann es erforderlich sein, einen größeren Querschnitt als den Tabellenwert zu wählen, um diese Forderung zu erfüllen.

Für *Trommelleitungen* gelten bezüglich der zulässigen Strombelastbarkeit eigene Reduktionsfaktoren in Abhängigkeit von der möglichen Belüftung und der Anzahl der Lagen auf der Trommel.

*Schleifleitungen* und *Schleifringkörper* erfordern hinsichtlich des Basisschutzes (Schutz gegen direktes Berühren), der Schutzleiter, der Luft- und Kriechstrecken besondere Eigenschaften, die in der Norm VDE 0113-1 näher erläutert werden.

***Tabelle 11.23:*** *Strombelastbarkeit $I_z$ in A von PVC-isolierten Kupferleitern oder -kabeln und -leitungen unter Dauerbetriebsbedingungen in einer Umgebungstemperatur der Luft von +40 °C für verschiedene Verlegearten*

| Cu-Querschnitt | Verlegeart (s. Abschn. 8.3) | | | |
|---|---|---|---|---|
| $mm^2$ | B1 | B2 | C | E |
| 0,75 | 8,6 | 8,5 | 9,8 | 10,4 |
| 1,00 | 10,3 | 10,1 | 11,7 | 12,4 |
| 1,50 | 13,5 | 13,1 | 15,2 | 16,1 |
| 2,50 | 18,3 | 17,4 | 21,0 | 22,0 |
| 4,00 | 24,0 | 23,0 | 28,0 | 30,0 |
| 6,00 | 31,0 | 30,0 | 36,0 | 37,0 |
| 10,00 | 44,0 | 40,0 | 50,0 | 52,0 |
| 16,00 | 59,0 | 54,0 | 66,0 | 70,0 |
| Elektronik (Paare) | | | | |
| 0,20 | – | 4,3 | 4,4 | 4,4 |
| 0,50 | – | 7,5 | 7,5 | 7,8 |
| 0,75 | – | 9,0 | 9,5 | 10,0 |

***Tabelle 11.24:*** *Mindestquerschnitte für Cu-Leiter in $mm^2$*

| Anwendung | einadrig, mehrdrähtig | einadrig, massiv | zweiadrig, abgeschirmt | zweiadrig, nicht abgeschirmt | drei- und mehradrig, mit u. ohne Abschirmung |
|---|---|---|---|---|---|
| nicht flexibel, Hauptstromkreise; außerhalb* | 1,0 | 1,5 | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| nicht flexibel, Hauptstromkreise; innerhalb* | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| Anschlüsse an Maschinenteilen, die häufiger Bewegung unterworfen sind; außerhalb* | 1,0 | – | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Verbindungen in Steuerstromkreisen; außerhalb* | 1,0 | 1,5 | 0,3 | 0,5 | 0,3 |
| Verbindungen in Steuerstromkreisen; innerhalb* | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Verdrahtung in Datenübertragungssystemen; außerhalb* | – | – | – | – | 0,08 |
| Verdrahtung in Datenübertragungssystemen; innerhalb* | – | – | – | – | 0,08 |

* außerhalb oder innerhalb von Gehäusen

## 11.6.16 Verdrahtungstechnik

Abgesehen von Anforderungen an Klemmen (s. auch Abschn. 11.6.14) werden solche auch bezüglich der Leiter für die Verdrahtung von Schaltanlagen definiert. Leiter müssen eindeutig in Übereinstimmung mit der technischen Dokumentation (Schaltplan, Stromlaufplan) identifizierbar sein. Besonders ist die Kennzeichnung der *Schutzleiter* in den Farben grün-gelb über die gesamte Leiterlänge hervorzuheben. Diese Farbkombination darf nur für Schutzleiter verwendet werden. Ist ein Schutzleiter nur schwer zugänglich oder durch seine Form oder seinen Aufbau leicht zu erkennen, darf von der Forderung der Kennzeichnung über die ganze Länge abgewichen werden. Dann ist eine Kennzeichnung an den Enden und/oder an zugänglichen Stellen ausreichend.

Werden *Neutralleiter* durch eine Farbe gekennzeichnet, so muss diese blau sein. Diese Farbe darf dann für keinen anderen Zweck verwendet werden.

Bei anderen Leitern, die farblich gekennzeichnet werden, sollen folgende Farben verwendet werden:

- schwarz: Hauptstromkreise für AC und DC,
- rot: Steuerstromkreise für AC, blau (hellblau) für Steuerstromkreise DC,
- orange: Stromkreise für Fremdspannungen.

Darüber hinaus sind noch folgende Farben erlaubt: braun, rot, violett, grau, weiß, rosa, türkis. Die Farben gelb und grün sollen nach Möglichkeit nicht verwendet werden, um eine Verwechslung mit der Schutzleiterkennzeichnung grün-gelb zu vermeiden.

Innerhalb von Gehäusen sind Leiter so zu verlegen, dass sie in Position bleiben (z. B. Installation in Kanälen), oder ggf. zu befestigen. Zum Anschluss von Geräten an Türen oder anderen beweglichen Teilen sind flexible Leiter und evtl. flexible Schutzrohre zu verwenden.

Beim Verlegen außerhalb von Gehäusen sind die Leiter in geeigneten Kanälen mit ausreichender Festigkeit gegen mechanische und Umwelteinflüsse unterzubringen. Zur Aufrechterhaltung des notwendigen Schutzgrads (IPXX) sind Verschraubungen und/oder Durchführungen zu verwenden, die den geforderten Schutzgrad nicht mindern.

Beim Anschluss sich bewegender Maschinenteile müssen ebenfalls flexible Leitungen und Installationsrohre verwendet werden. Ferner ist bei der Installation darauf zu achten, dass ein Beschädigen der Leitungen durch die Maschine selbst oder durch übermäßige Zug- oder Biegebeanspruchungen vermieden wird. Der Mantel von Kabeln oder Leitungen muss gegen den zu erwartenden Verschleiß und die Umgebungsbedingungen ausreichend Schutz bieten.

Auf ausreichende Biegeradien bei der Verlegung von flexiblen Leitungen ist zu achten. Minimal zulässige Biegeradien für die Zwangsführung von flexiblen Leitungen sind in Tabelle 8 der Norm VDE 0113-1:2007-06 angegeben.

Darüber hinaus werden in der Norm VDE 0113-1 ausführlich besondere Anforderungen an Stecker-Steckdosen-Kombinationen im Leitungsverlauf bezüglich der Bauart, Schutzart und Ausführung erläutert.

Reserveleiter für Instandhaltung oder Reparatur müssen auf Klemmen geführt werden, um eine Berührung mit aktiven Teilen zu verhindern.

## 11.6.17 Betriebsmittelkennzeichnung und Dokumentation

Neben Warnzeichen, z. B. auf Gehäusen, bei denen nicht klar erkennbar ist, dass sie elektrische Betriebsmittel enthalten (schwarzer Blitz im schwarzen Dreieck) oder bei Gefährdung durch heiße Oberflächen, sind alle Gehäuse, Zubehörteile und sonstige Komponenten mit Referenzkennzeichen zu versehen, die mit den Angaben in den Schaltungsunterlagen bzw. der technischen Dokumentation korrespondieren.

Das Anbringen eines Typenschilds in der Nähe jeder Netzeinspeisung mit folgenden Angaben ist verpflichtend:

- Name des Lieferanten/Herstellers und/oder dessen Firmenzeichen,
- Zulassungszeichen, wenn erforderlich,
- Seriennummer, wenn zutreffend,
- Nennspannung, Anzahl der Außenleiter mit Frequenz (bei Wechselspannung), Volllaststrom,
- Angaben zur Auslegung der Kurzschlussfestigkeit,
- Nummer der Hauptdokumentation.

Für Schaltgerätekombinationen gelten die Normen der Reihe VDE 0660.

Die *Dokumentation* muss alle Informationen enthalten, die für die Installation, den Betrieb und die Instandhaltung/Wartung der elektrischen Ausrüstung erforderlich sind. Diese Dokumentation wird Teil der Gesamtdokumentation, wie sie nach der EG-Maschinenrichtlinie für die Gesamtanlage erforderlich ist. Als geeignete Informationen gelten z. B. Schaltpläne, Stücklisten, Betriebsanleitungen der verwendeten Komponenten, Instandhaltungsanleitungen, Schaubilder. Wo erforderlich sind Querverweise zu mitgültigen Dokumenten anzugeben. Aus der Dokumentation müssen auch Angaben zu getroffenen Schutzmaßnahmen gemäß der Gefährdungsbeurteilung und eventuelle Restrisiken, z. B. bei Instandhaltungsarbeiten hervorgehen. Es ist dabei darauf zu achten, dass alle Informationen, die der

Hersteller einer Anlage nach Maschinenrichtlinie dem späteren Betreiber übergibt, für diesen die Grundlage für den Betrieb und die daraus resultierenden Forderungen aus der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) darstellen.

Die Einhaltung der umfangreichen Anforderungen aus der Normenreihe VDE 0113 und der Maschinenrichtlinie wird dringend angeraten, um Rechtssicherheit für den Hersteller zu gewährleisten.

## 11.6.18 Prüfungen

Der Umfang von notwendigen Prüfungen ergibt sich aus der Norm und ggf. zugehörigen Produktnormen der Maschine. Die Norm empfiehlt weiterhin, wenn keine spezielle Produktnorm vorhanden ist, folgende Prüfungen in der genannten Reihenfolge durchzuführen:

- Prüfung, dass die elektrische Ausrüstung mit der technischen Dokumentation übereinstimmt,
- Einhaltung der Bedingungen zum Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung,
- Prüfung des Isolationswiderstands,
- Spannungsprüfung,
- Schutz gegen Restspannungen, wo erforderlich,
- Funktionsprüfungen.

In der Norm VDE 0113-1 sind in Tabelle 9 („Anwendung der Prüfungen in TN-Systemen") und Tabelle 10 („Beispiele für die maximale Kabel-/Leitungslänge von jedem Schutzgerät bis zu seiner Last") weitere Informationen dazu angegeben.

*Nachprüfungen* sind erforderlich, wenn ein Teil der Maschine oder der Ausrüstung ausgewechselt bzw. geändert wird.

# 12 Einrichtungen für Sicherheitszwecke

## 12.1 Begriffe und Anwendungsbereich

VDE 0100-200, -560, -718

*Einrichtungen für Sicherheitszwecke* (frühere Bezeichnung: *notwendige Sicherheitseinrichtungen*) schützen oder warnen Personen bei Gefahr oder sind für das Evakuieren eines Orts erforderlich, z. B. in Arbeitsstätten, Ausstellungshallen, Bahnhöfen, Beherbergungsstätten, Flughäfen, Heimen, Hochhäusern, Kinos, Einrichtungen zur Lebenserhaltung von Nutztieren (z. B. in der Landwirtschaft), medizinisch genutzten Bereichen, Parkhäusern, Restaurants, Schulen, Schwimmbädern, Sportarenen, Theatern, Tiefgaragen, Verkaufsstätten, Versammlungsstätten.

*Einrichtungen für Sicherheitszwecke* können Gefahrenmeldeanlagen, wie Brandmeldeanlagen, CO-, $CO_2$-, CH-Warnanlagen und Einbruchmeldeanlagen, Einrichtungen zum selbsttätigen Schließen von Rauch- und Feuerschutzabschlüssen, Einrichtungen zur Alarmierung und zur Erteilung von Anweisungen, Feuerlöschanlagen und Druckerhöhungsanlagen zur Löschwasserversorgung, Feuerwehraufzüge, maschinelle Rauch- und Wärmeabzugsanlagen, wichtige medizinische Systeme, Notbeleuchtung (Sicherheitsbeleuchtung), Anlagen zur Rauch- und Wärmefreihaltung oder Personenaufzüge mit Brandfallsteuerung sein. Art und Umfang der *Einrichtungen für Sicherheitszwecke* werden aufgrund allgemein geltender oder im Einzelfall erhobener bauordnungsrechtlicher Anforderungen oder anderer Rechtsvorschriften vorgeschrieben (s. Abschn. 14.11).

Auch Anlagen und Einrichtungen zur Vermeidung von Umweltschäden und Schäden an anderen Anlagen werden als *Einrichtungen für Sicherheitszwecke* (frühere Bezeichnung: *notwendige Sicherheitseinrichtungen*) bezeichnet. Allerdings wird der Begriff *Sicherheitseinrichtungen* – ohne den Zusatz „notwendig" – auch allgemeiner und auch in geltenden Normen wie VDE 0100-430, -520, -560, -600 und -710 und auch im Baurecht weiterverwendet. Es werden also verschiedene Begriffe verwendet werden und zwar:

- Anlagen für Sicherheitszwecke (VDE 0100-443),
- Einrichtungen für Sicherheitszwecke (VDE 0100-560, -705, -710, -718),
- notwendige Sicherheitseinrichtungen (VDE 0100-420),
- Sicherheitseinrichtungen (VDE 0100-430, -520, -560, -710) und
- sicherheitstechnische Anlagen und Einrichtungen (Baurecht, Leitungsanlagenrichtlinie),

die grundsätzlich alle dasselbe meinen.

## 12.2 Elektrische Anlagen für Sicherheitszwecke

VDE 0100-200, -560, -710, -718

Eine *elektrische Anlage für Sicherheitszwecke* dient dazu, die Funktion von den elektrischen Betriebsmitteln aufrechtzuerhalten, die für die Sicherheit und Gesundheit für Personen und Nutztiere und zur Vermeidung von Umweltschäden und Schäden an anderen Betriebsmitteln wichtig sind. Das Vermeiden von Umweltschäden und von Schäden an anderen Betriebsmitteln muss durch nationale Rechtsvorschriften (Gesetze, Verordnungen, staatliche Richtlinien, Erlasse) gefordert sein. Die *elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke* versorgen bei Störung der allgemeinen Stromversorgung für eine begrenzte Zeit Einrichtungen für Sicherheitszwecke bzw. Sicherheitseinrichtungen, die zur Abwehr von Lebens-, Unfall- und Feuergefahren erforderlich sind. Zu den elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke gehören in der Regel die Stromquelle (s. Abschn. 12.2.1) und die Stromkreise bis zu den Anschlussklemmen der elektrischen Betriebsmittel (s. Abschn. 12.2.2 u. 12.2.3).

In anderen Normen und in den gesamten Baurechtsverordnungen wird für den Begriff *elektrische Anlage für Sicherheitszwecke* auch noch der Begriff *Sicherheitsstromversorgung* verwendet, ohne dass der Begriff erläutert bzw. definiert wird. Der Begriff Sicherheitsstromversorgung stammt noch aus der inzwischen zurückgezogenen und nicht mehr gültigen Reihe VDE 0108 und war definiert in der VDE 0108-1 (zurückgezogen 2005-10). Die Unterschiedlichkeit der Bezeichnungen innerhalb des VDE-Vorschriftenwerkes hängt damit zusammen, dass die verschiedenen Normenteile und Normen nach VDE zu unterschiedlichen Zeitpunkten in Kraft getreten sind oder Verordnungsgeber sich nicht an den Begriffsbestimmungen nach DIN VDE orientieren. Verwendet wird der Begriff *Sicherheitsstromversorgung* u. a. noch in den aktuellen VDE-Bestimmungen 0100-560:2013-10, 0100-705:2007-10, 0100-710:2012-10, 0100-710 Beiblatt 1:2014-06 und auch noch in verschiedenen aktuellen VDE-Produktnormen. *Elektrische Anlage für Sicherheitszwecke* ist der aktuell gültige Begriff nach VDE 0100-100:2009-06, VDE 0100-200:2006-06 und

VDE 0100-560:2013-10. In VDE 0100-710:2012-10 („Medizinisch genutzte Bereiche"), VDE 0100-705:2007-10 („Elektrische Anlagen von landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten") und VDE 0100-560:2013-10 wird wieder oder immer noch von der *Sicherheitsstromversorgung* gesprochen, obwohl es genauer Sicherheitsstromversorgungs*anlagen* oder *Anlagen der Sicherheitsstromversorgung* heißen müsste, da Sicherheitsstromversorgung ein abstrakter Begriff und *Elektrische Anlage für Sicherheitszwecke* eine technische Einrichtung ist. Zwischenzeitlich wurde auch der Begriff „*Versorgungseinrichtung für Sicherheitszwecke*" gebraucht.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass neben dem – eigentlich allein geltenden – Begriff *Elektrische Anlagen für Sicherheitszwecke* noch der Begriff *Sicherheitsstromversorgung* bzw. – genauer – *Sicherheitsstromversorgungsanlage* verwendet wird. Im Folgenden wird hinter dem Begriff *Elektrische Anlagen für Sicherheitszwecke* der Begriff *Sicherheitsstromversorgungsanlage* in Klammern gestellt.

Anforderungen an die *elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke* (nach Bauordnungsrecht und vorher in den Normen und fälschlicherweise in aktuellen Normen auch *Sicherheitsstromversorgungsanlagen* genannt) enthalten VDE 0100-560 (Einrichtungen für Sicherheitszwecke), VDE 0100-710 (Medizinisch genutzte Bereiche) und VDE 0100-718 (Öffentliche Einrichtungen und Arbeitsstätten). Zu den elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgungsanlagen) gehören die Stromquellen (*Stromquellen für Sicherheitszwecke*) und die Stromkreise (*Stromkreise für Sicherheitszwecke*). Die *Stromkreise für Sicherheitszwecke* schließen in der Regel die zugehörigen Schalteinrichtungen, Verteiler, Haupt- und Verbraucherstromkreise und die Anschlussklemmen der elektrischen Betriebsmittel der Sicherheitseinrichtungen ein. Gegebenenfalls gehören auch die Betriebsmittel selbst zur *elektrischen Anlage für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgungsanlage).*

Kennzeichen einer elektrischen Anlage für Sicherheitszwecke ist immer eine zweite Stromquelle, die bei Störung der allgemeinen Stromversorgung für eine begrenzte Zeit die notwendigen Sicherheitseinrichtungen versorgt.

Wenn die elektrische Anlage für Sicherheitszwecke auch im Fall eines Brands betrieben werden soll, müssen alle Betriebsmittel aufgrund ihrer Konstruktion oder durch geeignete Anordnung einem Brand während einer angemessenen Zeit widerstehen (s. Abschn. 12.2.3). Die Stromquelle (für Sicherheitszwecke) muss die Stromversorgung für eine ausreichende Dauer sicherstellen (s. Abschn. 12.2.1).

## 12.2.1 Stromquellen für Sicherheitszwecke

Kennzeichen einer elektrischen Anlage für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgungsanlage) ist immer eine Stromquelle für Sicherheitszwecke, nicht zu verwechseln mit einer *Ersatzstromquelle*. Eine Ersatzstromquelle ist dazu bestimmt,

die Versorgung einer elektrischen Anlage bei einer Unterbrechung der üblichen Stromversorgung aus anderen Gründen als für Sicherheitszwecke aufrechtzuerhalten, z. B. die allgemeine Stromversorgung eines Bürogebäudes oder eines Industriebetriebs, damit der allgemeine Betrieb oder die Fertigung aufrechterhalten erhalten werden kann, solange die allgemeine Stromversorgung ausgefallen ist (s. auch Abschn. 6.4.2). Als Stromquellen für Sicherheitszwecke sind zulässig

- *(Sekundär-) Batterien (Akkumulatorenbatterien)*,
- *Primärelemente* (für medizinisch genutzte Bereiche nicht zulässig),
- *Generatoren*, deren Antriebsmaschine unabhängig von der allgemeinen Stromversorgung ist,
- eine *zusätzliche unabhängige Einspeisung* aus der allgemeinen Stromversorgung, die von der normalen Einspeisung aus dem Netz unabhängig ist.

Solche zusätzlichen Einspeisungen sind allerdings nur zulässig, wenn durch den Netzaufbau und den Betrieb sichergestellt ist, dass nicht beide Einspeisungen gleichzeitig ausfallen und spannungslos werden oder eine notwendige netztechnische Trennung der beiden Einspeisungen innerhalb der zulässigen Einschaltverzögerung liegt. Wenn nur eine Stromquelle für Sicherheitszwecke vorhanden ist, darf diese nicht für andere Zwecke verwendet werden.

Blockheizkraftwerke (BHKWs) sind als Stromquellen zur Versorgung von Einrichtungen für Sicherheitszwecke bzw. von notwendigen Sicherheitseinrichtungen in baulichen Anlagen für Menschenansammlungen und für medizinische Zwecke zulässig. BHKWs müssen DIN 6280-14 entsprechen. Festlegungen der Länderbehörden zum Einsatz als Stromquelle für Sicherheitszwecke sind in jedem Fall zu beachten. Darin werden Aussagen zur Verfügbarkeit (zu versorgende Sicherheitseinrichtungen müssen Vorrang haben), zur Spannungsqualität, zur gesicherten Betriebsdauer (Kraftstoffversorgung) und zu den beherrschten Betriebsbedingungen (gesicherte Kühlung) gemacht. Der Einsatz eines BHKW als Stromquelle für Sicherheitszwecke (Ersatzstromquelle) muss in jedem Einzelfall fachgerecht geprüft werden.

Für bauliche Anlagen für Menschenansammlungen können als Stromquellen für Sicherheitszwecke so genannte *zentrale Stromversorgungssysteme* (frühere Bezeichnung: Zentralbatterieanlagen) eingesetzt werden. Sie dienen dazu, bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung notwendige Sicherheitseinrichtungen zu speisen, wie Sicherheitsbeleuchtung für Rettungs-/Fluchtwege, elektrische Stromkreise automatischer Feuerlöscheinrichtungen, Personensuchanlagen und signalgebende Sicherheitseinrichtungen (Rauchabzugseinrichtungen, CO-Warnanlagen, besondere Sicherheitseinrichtungen für besondere Gebäude, z. B. Bereiche mit besonderer

Gefährdung). Es wird unterschieden nach zentralen Stromversorgungssystemen *ohne* Leistungsbegrenzung, abgekürzt CPS-System (vom Englischen **C**entral **P**ower **S**upply System), und zentralen Stromversorgungssystemen *mit* Leistungsbegrenzung, abgekürzt LPS-System (vom Englischen **L**ow **P**ower **S**upply System). Das CPS-System ist ein zentrales Stromversorgungssystem, das ohne jede Begrenzung der Ausgangsleistung den geforderten Notstrom für die notwendigen Sicherheitseinrichtungen liefert, wogegen das LPS-System ein zentrales Stromversorgungssystem mit Begrenzung der Ausgangsleistung auf 500 W für eine Dauer von 3 h oder 1 500 W für eine Dauer von 1 h ist. Beide zentralen Stromversorgungssysteme müssen VDE 0558-508 entsprechen.

*Batterieanlagen* werden entsprechend ihrer Leistung, den vorhandenen Kontrolleinrichtungen und den anzuschließenden Verbrauchern in Einzel-, Gruppen- und Zentralbatterieanlagen unterteilt.

Bei Stromquellen für Sicherheitszwecke unterscheidet man – nach VDE 0100-560 auch Klassifizierung genannt – *nicht selbsttätig* anlaufende bzw. einschaltende (Starten bzw. Einschalten erfolgt von Hand) (nicht-automatische Versorgung) und *selbsttätig* anlaufende bzw. einschaltende (automatische Versorgung). Die nicht-automatische Versorgung ist als Stromquelle für Sicherheitszwecke n i c h t zulässig. Die selbsttätig anlaufenden bzw. einschaltenden *Stromquellen* werden darüber hinaus nach ihrer maximalen Umschaltzeit, bisher auch *Einschaltverzögerung* genannt, unterteilt. Umschaltzeit ist die Dauer zwischen dem Ausfall der allgemeinen Stromversorgung und der Übernahme der Versorgung der Betriebsmittel durch die Stromquelle für Sicherheitszwecke. Die Unterteilung (Klassifizierung) erfolgt nach

- unterbrechungsloser Stromversorgung: fortlaufende Stromversorgung unter Einhaltung besonderer Bedingungen während der Übergangszeit (z. B. Spannung, Frequenz),
- Stromversorgung mit sehr kurzer Unterbrechung: Verfügbarkeit der selbsttätigen Stromversorgung innerhalb von 0,15 s,
- Stromversorgung mit kurzer Unterbrechung: Verfügbarkeit der selbsttätigen Stromversorgung innerhalb von 0,5 s,
- Stromversorgung mit durchschnittlicher Unterbrechung: Verfügbarkeit der selbsttätigen Stromversorgung innerhalb von 5 s,
- Stromversorgung mit mittlerer Unterbrechung: Verfügbarkeit der selbsttätigen Stromversorgung innerhalb von 15 s,
- Stromversorgung mit langer Unterbrechung: Verfügbarkeit der selbsttätigen Stromversorgung nach mehr als 15 s.

*Stromerzeugungsaggregate* werden entsprechend der Unterbrechungszeit unterteilt in

- Sofortbereitschaftsaggregate: unterbrechungsfreie Versorgung,
- Schnellbereitschaftsaggregate: Einschaltverzögerung ≤ 0,5 s und
- Ersatzstromaggregate: Einschaltverzögerung ≤ 15 s.

Ein unterbrechungsfreier Betrieb muss bei Netzausfall die Stromversorgung ohne zeitliche Unterbrechung übernehmen. Dafür eignen sich nur Batteriesysteme (**Bild 12.1**) (Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV) nach VDE 0558-510 und -530) oder Kraftmaschinenaggregate, deren Generator ständig von einem an das Netz angeschlossenen Motor angetrieben wird. Bei Netzausfall wird die Kraftmaschine mit der Antriebswelle Generator – Schwungrad – Motor gekuppelt. Das Schwungrad reißt die Kraftmaschine hoch und übernimmt gleichzeitig die Energielieferung für den Generatorantrieb, bis die Kraftmaschine voll wirksam ist (**Bild 12.2**).

Für die überwiegende Anzahl der Verbraucher kann eine Unterbrechungszeit von 15 s hingenommen werden. In diesen Fällen eignet sich ein Bereitschaftsbetrieb (Umschaltbetrieb) mittels eines Kraftmaschinenaggregats, das bei Netzausfall anläuft und innerhalb von 15 s die Stromversorgung der angeschlossenen Verbraucher

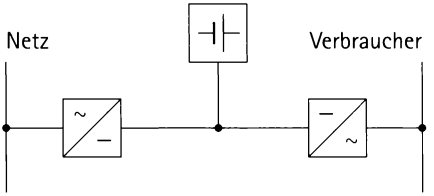



***Bild 12.1:*** *Batterieanlage mit statischem Wechselrichter für unterbrechungsfreien Betrieb*

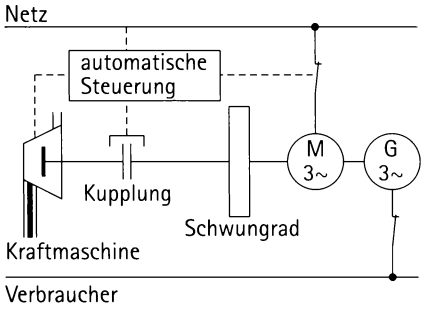



***Bild 12.2:*** *Sofortbereitschaftsaggregat für unterbrechungsfreien Betrieb*

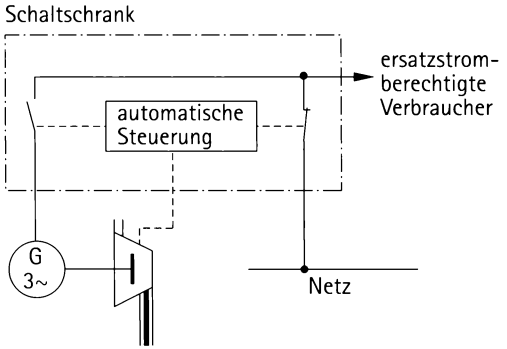



***Bild 12.3:*** *Ersatzstromerzeuger im Umschaltbetrieb*

übernimmt (**Bild 12.3**). Je nach Größe des Aggregats beträgt die Umschaltlücke bei selbsttätiger Umschaltung etwa 5...15 s.

Kleinere Umschaltlücken (0,1...0,5 s) können durch Schnellbereitschaftsaggregate (diese werden durch ein Schwungrad hochgerissen) oder durch Batteriesysteme erzielt werden.

Generatoren und Kraftmaschinen für Ersatzstromquellen müssen DIN 6280-13 „Stromerzeugungsaggregate mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren – Teil 13: Für Sicherheitsstromversorgung in Krankenhäusern und in baulichen Anlagen für Menschenansammlungen" entsprechen. Darin sind alle gerätespezifischen Anforderungen an die Bauart der Stromerzeugungsaggregate enthalten. Zusätzlich ist DIN 6280-14 (s. o.) zu berücksichtigen.

**Leistungsbestimmung**

Die Leistung ist eine der wichtigsten Planungsgrößen. Bei der Leistungsbestimmung ist gleichzeitig zu prüfen, ob eine Aufteilung der erforderlichen Gesamtleistungen auf mehrere kleinere Aggregate zweckmäßig ist, wobei zu berücksichtigen ist, dass durch kleine unabhängige Einheiten eine höhere Sicherheit zu erreichen ist.

Die Aggregatgröße wird aufgrund folgender Fakten bestimmt:

- *Leistungssumme* der insgesamt installierten ersatzstromberechtigten Verbraucher. Sollen aus betrieblichen Gründen außer den notwendigen Sicherheitsanlagen auch andere Verbraucher versorgt werden, so dürfen diese die Verfügbarkeit der Sicherheitsanlagen nicht beeinträchtigen. Dies bedeutet u. a., dass durch Störungen an wichtigen Verbrauchern die Versorgung der Sicherheitseinrichtungen nicht gefährdet werden darf.

- *Gleichzeitigkeitsfaktor*, da nicht alle Verbraucher gleichzeitig eingeschaltet bzw. gleichzeitig ihren maximalen Stromverbrauch erreichen werden. Allerdings sollte man in keinem Fall die Leistung des Aggregats zu knapp bemessen, da nach dessen Einbau oft weitere Verbraucher installiert werden.
- *Leistungsfaktor*, da einige Verbraucher reine Wirkleistung, andere dagegen eine Scheinleistung aufnehmen. Der Leistungsfaktor $\cos \varphi$ gibt das Verhältnis von Wirkleistung zu Scheinleistung an. In vielen Fällen lässt sich der tatsächlich zu erwartende Leistungsfaktor im Voraus nicht genau ermitteln. Daher ist es üblich, den Berechnungen einen $\cos \varphi = 0{,}8$ zugrunde zu legen. Die Kraftmaschine braucht nur für die errechnete Wirkleistung ausgelegt zu werden, die Generatorgröße richtet sich dagegen immer nach der von den Verbrauchern geforderten Scheinleistung.
- *Stoßlast-Charakteristik*, insbesondere von Drehstrommotoren, oder extreme Forderungen an Spannungs- und Frequenzkonstanz.

  Motoren dürfen nur bis zu einer Größe von etwa 20 % der Bemessungsleistung des Generators direkt zugeschaltet werden.

  Aufgeladene Dieselmotoren erlauben je nach Ladedruck nur Lastzuschaltungen in Schritten von 20...50 % der Motorbemessungsleistung. Die maximalen Lastschwankungen sind zu berücksichtigen.
- Bei *besonderen klimatischen Aufstellungsbedingungen*, wie hohe Lufttemperaturen und große Höhen, können Motor und Generator nicht ihre Normalleistung abgeben.

**Umschaltzeit**

Die Umschaltzeit ist die Zeit zwischen dem Erkennen des Ausfalls der allgemeinen Stromversorgung und dem Zeitpunkt des Wirksamwerdens der Stromquelle für Sicherheitszwecke. Bei baulichen Anlagen für Menschenansammlungen muss das Umschalten vom Normalbetrieb auf die Stromquelle für Sicherheitszwecke erfolgen, wenn die Spannung länger als 0,5 s um mindestens 15 % der Bemessungsspannung abgesunken ist. Bei > 85 % Bemessungsspannung muss nach ca. 60 s zurückgeschaltet werden.

**Aufstellen in Räumen**

Die Stromquelle für Sicherheitszwecke muss an einem geeigneten Ort ortsfest aufgestellt werden und darf nur Elektrofachkräften oder elektrotechnisch unterwiesenen Personen zugänglich sein. Die Stromquelle darf durch Fehler in der allgemeinen Stromversorgung nicht beeinträchtigt werden.

Räume, in denen Kraftmaschinenaggregate, Batterien, Gleichrichter, Wechselrichter u. dgl. aufgestellt werden, sollen trocken und beheizbar sein, damit eine Raumtemperatur von mindestens +5 °C eingehalten werden kann.

Maschinenräume für stationäre Aggregate sollten so groß gewählt werden, dass mindestens 1 m freier Raum um das Aggregat für Wartungsarbeiten bleibt. Weitere Einbauten, wie Schaltanlage, Batterie, Kraftstoffbehälter, Hebezeuge, Schalldämpfer sowie Zu- und Abluft, sind hinsichtlich des Platzbedarfes zu berücksichtigen. Die Art des Aufstellens (elastisch oder starr), die Ausführung des Fundamentblocks, das Verlegen der Rohrleitungen und Kabel sowie die Dämmung gegen Erschütterungen und Schall müssen geklärt werden. Falls erforderlich, muss der Raum oder der Aufstellungsort so belüftet werden, dass Auspuffgase, Rauch oder Dämpfe von der Stromquelle nicht in Bereiche oder Räume gelangen können, die von Personen benutzt werden. Verbrennungsgase von Kraftmaschinen sind über besondere Leitungen ins Freie zu führen (s. auch Abschn. 1.2.8).

## 12.2.2 Stromkreise und Leitungsnetz für Sicherheitszwecke

In dem Niederspannungs-Hauptverteiler ist eine Aufteilung durchzuführen in Verbraucher, die auf die elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke (ES) geschaltet, und solche, die bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung selbsttätig abgeschaltet werden. In den Verteilern müssen die Teile der elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke (ES) von den übrigen mindestens so getrennt sein, dass eine gegenseitige Gefährdung durch Lichtbögen vermieden wird. Dies kann durch dicht schließende Blechabschottungen, die einen Übertritt von Lichtbogengasen verhindern, erreicht werden. Auch die Leitungen der Stromversorgung sind von den anderen Sicherheitsleitungen zumindest getrennt zu verlegen. Besser ist es, notwendige Sicherheitseinrichtungen über ein zweites, vom normalen Leitungsnetz getrenntes Ersatzleitungsnetz zu versorgen (**Bild 12.4**). Dadurch können auch Fehler im Leitungsnetz beherrscht werden.

*Stromkreise für Sicherheitszwecke* (nach Bauordnungsrecht und früher in den Normen und fälschlicherweise weiterhin in aktuellen Normen auch *Sicherheitsstromversorgung* genannt) müssen unabhängig von anderen Stromkreisen verlegt sein. Das bedeutet, dass elektrische Fehler, Eingriffe oder Änderungen in einer Anlage nicht die Betriebssicherheit der anderen beeinflussen dürfen. Dies kann erreicht werden, dass Kabel- und Leitungsanlagen der Stromkreise für Sicherheitszwecke von anderen Kabel- und Leitungsanlagen durch feuerbeständiges Material getrennt, in Umhüllungen (z. B. Elektroinstallationskanäle) oder auf getrennten Trassen verlegt werden (s. auch Abschn. 12.2.3). Kabel und Leitungen zu einzelnen Betriebsmitteln in einem Raum (z. B. zu Normal- und zu Sicherheitsleuchten) brauchen nicht getrennt voneinander verlegt zu werden.

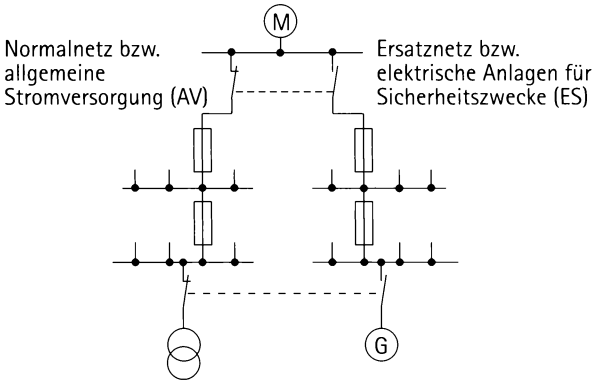



***Bild 12.4:*** *Redundante Stromversorgung*

Durch *feuergefährdete Betriebsstätten* (s. Abschn. 14.7) sollten Stromkreise von elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke nicht geführt werden. Wenn sie durchgeführt werden, müssen die Kabel- und Leitungsanlagen schwer entflammbar sein. Durch *explosionsgefährdete Bereiche* (s. Abschn. 14.9) dürfen Stromkreise von elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke in keinem Fall geführt werden.

Sollte für Einrichtungen für Sicherheitszwecke (s. Abschn. 12.1) ein sog. Funktionserhalt im Brandfall gefordert sein (s. Abschn. 12.2.3), müssen

- mineralisolierte Leitungen nach Reihe VDE 0284 (s. Abschn. 8.1.5) oder
- Kabel und Leitungen, die nach VDE 0482-200 (Prüfung des Isolationserhaltes im Brandfall für Kabel und Leitungen, die konstruktionsbedingt gegen Feuer beständig sind und für die Verwendung in Notstromkreisen für Alarm-, Beleuchtungs- und Kommunikationszwecke vorgesehen sind) und nach VDE 0482-332-1-2 (Prüfung der vertikalen Flammenausbreitung unter Brandbedingungen) geprüft sind, oder
- Kabel- und Leitungsanlagen, die gegen Feuer und mechanische Beschädigung geschützt sind (z. B. bauliche Umhüllung oder Verlegung in getrennten Brandabschnitten),

verwendet werden. Es können auch Kabel und Leitungen verlegt werden, die mehr als eine der drei beschriebenen Eigenschaften besitzen. Die Kabel- und Leitungsanlagen müssen so befestigt werden, dass die Funktion der Stromkreise im Brandfall nicht beeinträchtigt wird. Für elektrischen Kabel- und Leitungsanlagen für bauordnungsrechtlich vorgeschriebene Einrichtungen für Sicherheitszwecke ist zusätzlich Abschnitt 12.2.3 zu beachten.

Bei der Auswahl und dem Einbau von Überstromschutzeinrichtungen ist zu beachten, dass der Überstrom eines Stromkreises die Betriebssicherheit anderer Stromkreise der elektrischen Anlage für Sicherheitszwecke nicht beeinträchtigt. Mit Gleichstrom gespeiste Stromkreise müssen zweipolig gegen Überstrom geschützt sein. Der Schutz gegen Überlast darf bei Leitungen und Kabeln von Stromkreisen für Sicherheitszwecke entfallen (s. Abschn. 8.6). Die elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke sollten jedoch so projektiert und ausgeführt werden, dass mit einer Überlast nicht zu rechnen ist. Elektrische Betriebsstätten und Verteiler, die elektrische Anlagen und Betriebsmittel für Sicherheitszwecke enthalten, dürfen nur Elektrofachkräften oder elektrotechnisch unterwiesenen Personen zugänglich sein. Schalt- und Steuergeräte sowie Alarmeinrichtungen müssen eindeutig gekennzeichnet sein.

### 12.2.3 Elektrische Leitungsanlagen für bauordnungsrechtlich vorgeschriebene sicherheitstechnische Anlagen und Einrichtungen

VDE 0100-520, -560, MLAR

*Baurechtlich vorgeschriebene sicherheitstechnische Anlagen und Einrichtungen* sind insbesondere Einrichtungen, die im *Brandfall* der Sicherheit der Personen dienen. Sie sind aufgrund bauordnungsrechtlicher Anforderungen vorzusehen. Zu ihnen gehören Sicherheitsbeleuchtungsanlagen, Brandmeldeanlagen, Anlagen zur Alarmierung und Erteilung von Anweisungen, Wasserdruckerhöhungsanlagen zur Löschwasserversorgung, maschinelle Rauchabzugsanlagen und Rauchschutz-Druckanlagen, natürliche Rauchabzugsanlagen, Feuerwehraufzüge und Bettenaufzüge in Krankenhäusern, Personenaufzüge mit Brandfallsteuerung. Da alle diese sicherheitstechnischen Anlagen und Einrichtungen gerade im Brandfall benötigt werden, muss sichergestellt sein, dass deren elektrische Versorgung nicht durch Brandeinwirkung vorzeitig ausfällt. Die elektrische Versorgung der baurechtlich vorgeschriebenen sicherheitstechnischen Anlagen und Einrichtungen muss somit bei äußerer Brandeinwirkung für eine ausreichende Zeitdauer funktionsfähig bleiben. Während die elektrotechnischen Anforderungen an derartige Sicherheitseinrichtungen durch VDE-Bestimmungen geregelt werden, finden sich die brandschutztechnischen Anforderungen an diese Einrichtungen in einer *Musterrichtlinie*, die von der Arbeitsgemeinschaft der u. a. für Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Bundesländer (ARGEBAU) erarbeitet wurde (Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Leitungsanlagen, abgekürzt: *Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie MLAR*, in der Fassung vom Nov. 2005).

Da Baurecht Länderrecht ist, setzt jedes Bundesland diese Richtlinie einzeln um. Erschwerend kommt noch hinzu, dass die einzelnen Bundesländer die Musterrichtlinie nicht einfach übernehmen, sondern auch noch davon abweichen und in speziellen Länderverordnungen oder sonstigen behördlichen Papieren veröffentlichen. In der Regel erfolgt die Veröffentlichung im Rahmen der Liste der so genannten technischen Baubestimmungen. Der Planer und Errichter elektrischer Anlagen muss sich also in jedem Fall bei der zuständigen Baubehörde nach der für das betreffende Bundesland geltenden Fassung erkundigen.

Zu den Leitungsanlagen gehören jedoch nicht nur die eigentlichen Kabel und Leitungen, sondern auch die Hausanschlusseinrichtungen, Messeinrichtungen, Steuer- und Regel- und Sicherheitseinrichtungen, Netzgeräte, elektrischen Verteiler und Dämmstoff sowie die Befestigungen und Beschichtungen der Leitungen und Kabel. Im Sinne der Leitungsrichtlinie gelten auch Kabel und Lichtwellenleiter-Kabel als elektrische Leitungen.

Die Richtlinien fordern einen *Funktionserhalt der Leitungsanlagen* bei äußerer Brandeinwirkung von

mindestens 30 min bei

- Brandmeldeanlagen einschl. der zugehörigen Übertragungsanlagen; *ausgenommen* sind Leitungsanlagen in Räumen, die durch automatische Brandmelder überwacht werden, sowie Leitungsanlagen in Räumen ohne automatische Brandmelder, wenn bei Kurzschluss oder Leitungsunterbrechung durch Brandeinwirkung in diesen Räumen alle an diese Leitungsanlage angeschlossenen Brandmelder funktionsfähig bleiben;
- Anlagen zur Alarmierung und zur Erteilung von Anweisungen an Besucher und Beschäftigte, sofern diese Anlagen im Brandfall wirksam sein müssen; *ausgenommen* sind Leitungsanlagen einschl. Verteiler, die der Stromversorgung der Anlagen nur innerhalb eines Brandabschnitts in einem Geschoss oder nur innerhalb eines Treppenraums dienen; die Grundfläche je Brandabschnitt darf höchstens 1 600 $m^2$ betragen;
- Sicherheitsbeleuchtungsanlagen; *ausgenommen* sind Leitungsanlagen einschl. Verteiler, die der Stromversorgung der Sicherheitsbeleuchtung nur innerhalb eines Brandabschnitts in einem Geschoss oder nur innerhalb eines Treppenraums dienen; die Grundfläche je Brandabschnitt darf höchstens 1 600 $m^2$ betragen;
- natürlichen Rauchabzugsanlagen (Rauchableitung durch thermischen Auftrieb); *ausgenommen* sind Anlagen, die bei einer Störung der Stromversorgung selbsttätig öffnen, sowie Leitungsanlagen in Räumen, die durch automatische Brandmelder überwacht werden und das Ansprechen eines Brandmelders durch Rauch bewirkt, dass die Anlage selbsttätig öffnet;

- maschinellen Rauchabzugsanlagen und Rauchschutz-Druckanlagen, für die kein Funktionserhalt von mindestens 90 min gefordert wird (s. o.);
- Personenaufzügen mit Brandfallsteuerung; *ausgenommen* sind Leitungsanlagen, die sich innerhalb der Fahrschächte oder der Triebwerksräume befinden;

mindestens 90 min bei

- Wasserdruckerhöhungsanlagen zur Löschwasserversorgung;
- Feuerwehraufzügen und Bettenaufzügen in Krankenhäusern und anderen baulichen Anlagen mit entsprechender Zweckbestimmung; *ausgenommen* sind Leitungsanlagen, die sich innerhalb der Fahrschächte oder der Triebwerksräume befinden;
- maschinellen Rauchabzugsanlagen und Rauchschutz-Druckanlagen für notwendige Treppenräume in Hochhäusern sowie für Sonderbauten, für die dies im Einzelfall verlangt wird; abweichend hiervon genügt für Leitungsanlagen, die innerhalb der Treppenräume verlegt sind, eine Dauer von 30 min.

*Sonderbauten* sind Hochhäuser, bauliche Anlagen > 30 m Höhe, Gebäude mit > 1 600 $m^2$ Grundfläche des Geschosses mit der größten Ausdehnung (nicht Wohngebäude), Verkaufsstätten > 800 $m^2$ Grundfläche aller Verkaufsräume und Ladenstraßen, Büro- oder Verwaltungsgebäude mit > 400 $m^2$ Grundfläche jedes einzelnen Raums, Gebäude mit Nutzung jedes einzelnen Raums durch > 100 Personen, Versammlungsstätten mit Versammlungsräumen für > 200 Besucher und gemeinsamen Rettungs-/Fluchtwegen, Versammlungsstätten im Freien mit Szenenflächen und Freisportanlagen mit Besucherbereich > 1 000 Besucher je Bereich (Besucherbereiche bestehen ganz oder teilweise aus baulichen Anlagen), Schank- und Speisegaststätten > 40 Gastplätzen, Beherbergungsstätten > 12 Betten, Spielhallen > 150 $m^2$ Grundfläche, Krankenhäuser, Heime und sonstige Einrichtungen zur Unterbringung oder Pflege von Personen, Tageseinrichtungen für Kinder, Tageseinrichtungen für behinderte und alte Menschen, Schulen einschl. Hochschulen und ähnliche Einrichtungen, Justizvollzugsanstalten und bauliche Anlagen für den Maßregelvollzug, Camping- und Wochenendplätze, Freizeit- und Vergnügungsparks, Fliegende Bauten mit genehmigungspflichtiger Ausführung, Regallager mit einer Oberkante Lagerguthöhe > 7,50 m, bauliche Anlagen mit Nutzung durch Umgang oder Lagerung von Stoffen mit Explosions- oder erhöhter Brandgefahr.

Der geforderte Funktionserhalt kann durch geeignete Anordnung, Abtrennen durch Bauteile oder Konstruktion der elektrischen Betriebsmittel gewährleistet werden. Der Funktionserhalt der Leitungen ist gewährleistet, wenn die Leitungen DIN 4102-12 (Funktionserhaltsklasse E 90 oder E 30) entsprechen oder auf Rohdecken unterhalb des Fußbodenestrichs mit einer Dicke ≥ 30 mm oder im Erdreich

verlegt werden. Die Verlegung der Leitungen im oder unter Putz ist keine ausreichende Maßnahme zum Funktionserhalt der Leitungen. Mit „FE" gekennzeichnete Kabel bleiben unter Flammeneinwirkung 20 min betriebsfähig. Da die entsprechenden VDE-Bestimmungen keine Prüfung nach DIN 4102-12 vorsehen, darf die Kennzeichnung FE nicht mit einem Funktionserhalt im Sinne von DIN 4102-12 gleichgesetzt werden. Der Funktionserhalt von Kabeln und Leitungen schließt auch Kabelträger (Kabelpritschen und -wannen) und alle Befestigungselemente von Kabeln und Leitungen und deren Aufhängungen bis zum Dübel ein.

Der Funktionserhalt der elektrischen Verteiler und der zugehörigen Leitungen und Kabel ist gewährleistet, wenn die Verteiler in eigenen, für andere Zwecke nicht genutzten Räumen untergebracht werden, die gegenüber anderen Räumen durch Wände, Decken und Türen mit einer Feuerwiderstandsfähigkeit (frühere Bezeichnung: Feuerwiderstandsdauer) entsprechend der notwendigen Dauer des Funktionserhalts und – mit Ausnahme der Türen – aus nichtbrennbaren Baustoffen abgetrennt sind. Weiter ist der Funktionserhalt von elektrischen Verteilern auch gewährleistet, wenn sie durch Gehäuse abgetrennt werden, für die durch einen bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis die Funktion der elektrotechnischen Einbauten des Verteilers im Brandfall für die notwendige Dauer des Funktionserhalts nachgewiesen ist. Weiterhin ist es zulässig, Verteiler mit Bauteilen (einschließlich ihrer Abschlüsse) zu umgeben, die eine Feuerwiderstandsfähigkeit (frühere Bezeichnung: Feuerwiderstandsdauer) entsprechend der notwendigen Dauer des Funktionserhalts haben und – mit Ausnahme der Abschlüsse – aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Dabei muss sichergestellt sein, dass die Funktion der elektrotechnischen Einbauten des Verteilers im Brandfall für die Dauer des Funktionserhalts gewährleistet ist. Der Nachweis der Sicherstellung der Funktion der elektrischen Einbauten im Brandfalle ist dann Aufgabe des Planers und Errichters.

Der Funktionserhalt der elektrischen Betriebsmittel als auch der Kabel und Leitungen und Verteiler muss durch einen so genannten bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis bestätigt werden. In den bauaufsichtlichen Prüfzeugnissen und bauaufsichtlichen Zulassungen sind Einzelheiten niedergelegt, wie zu verwendende Bauteile, mechanische Belastungen, genaue Montage mit Montagemaßen, Art von Beschichtungen. An diese Angaben muss man sich genau halten, da sonst der Funktionserhalt nicht gegeben und die Zulassung unter Umständen ungültig ist.

**Stromquellen**

Die Stromquellen für Sicherheitszwecke (z. B. Batterien, Generatoren) müssen in einem eigenen, von der allgemeinen Stromversorgung getrennten Raum untergebracht sein. Dieser Raum muss je nach Anforderung über den Funktionserhalt der Sicherheitseinrichtung, die von der betreffenden Stromquelle versorgt wird,

feuerhemmend oder feuerbeständig von der allgemeinen Stromversorgung bzw. von dem Brandabschnitt getrennt sein, für den die Sicherheitseinrichtungen bestimmt sind (s. EltBauV, Abschn. 1.2.8).

### 12.2.4 Schutzmaßnahmen in elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke

**Schutz bei Überlast und Kurzschluss**

Der Generator wird i. Allg. mithilfe eines Leistungsschalters gegen die Auswirkungen von Überlast und Kurzschluss geschützt. Der magnetische Auslöser des Leistungsschalters wird auf den etwa 3-fachen Bemessungsstrom des Generators ausgelegt, der thermische Auslöser auf den Bemessungsstrom des Generators eingestellt.

Der Schutz der Kabel und Leitungen gegen die Auswirkungen bei Überlast darf für Stromkreise mit notwendigen Sicherheitseinrichtungen entfallen. Im Übrigen sind Leitungen, die im Netzbetrieb gegen die Auswirkungen bei Überlast geschützt sind, grundsätzlich auch bei Ersatznetzbetrieb geschützt. Gegen die Auswirkungen bei Kurzschluss müssen Kabel und Leitungen dagegen immer geschützt werden. Sind die Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Überlast am Anfang der Stromkreise angeordnet, so gewähren diese nach den geltenden Festlegungen vom VDE auch den Schutz bei Kurzschluss, sofern sie über ein ausreichendes Schaltvermögen verfügen. Sind für den Schutz bei Überlast keine Schutzeinrichtungen vorhanden oder sind diese nicht am Anfang des Stromkreises angeordnet, so muss der Schutz der Leitungen gegen die Auswirkungen bei Kurzschluss rechnerisch nachgewiesen werden (s. Abschn. 8.5.1). Für die zulässige Ausschaltzeit der Schutzeinrichtung gilt die Gleichung (8.5).

Da der Kurzschlussstrom bei Ersatznetzbetrieb aufgrund der Generatorimpedanz i. Allg. kleiner ist als bei Netzbetrieb, muss der Kurzschlussschutz für den Ersatznetzbetrieb eigens nachgewiesen werden. Dazu sind der 1-polige und der 3-polige Dauerkurzschlussstrom vom Hersteller des Generators zu erfragen, die etwa beim 3-fachen Bemessungsstrom des Generators liegen. Unter zusätzlicher Berücksichtigung der Leitungsimpedanz können dann die zu erwartenden Kurzschlussströme ermittelt werden. *Generatorferne Kurzschlussströme* können auch mithilfe eines Schleifenwiderstands-Messgeräts gemessen werden. Die Messung kann als einigermaßen richtig bewertet werden, wenn der gemessene Kurzschlussstrom nicht wesentlich höher als der Bemessungsstrom des Generators ist. Beim *generatornahen Kurzschluss* wird die Dämpfung des Kurzschlussstroms durch den Generator vom Messgeräte nicht berücksichtigt; der tatsächliche Kurzschlussstrom ist kleiner als der Messwert.

Der nach den VDE-Bestimmungen geforderte Schutz bei Kurzschluss bezieht sich nur auf den Schutz der Leitungen gegen zu hohe Erwärmung. Es ist jedoch auch daran zu denken, dass, solange ein Kurzschluss ansteht, der Spannungsfall die Versorgung aller Ersatznetzverbraucher fraglich macht. Deshalb sollte im Kurzschlussfall der fehlerbehaftete Stromkreis innerhalb von 1 s abgeschaltet werden. Eine Untersuchung von TÜV SÜD ergab, dass bei einem Großteil der Anlagen ein angenommener 3-poliger Kurzschluss erst nach Minuten zum Ansprechen der vorgeschalteten Überstromschutzeinrichtungen führt. Wegen der kritischen Abschaltzeit muss deshalb jeder Einzelfall untersucht werden.

**Selektivität**

Bei Auswahl und Einbau von Überstromschutzeinrichtungen ist zu beachten, dass der Überstrom eines Stromkreises die Betriebssicherheit anderer Stromkreise der elektrischen Anlage für Sicherheitszwecke nicht beeinträchtigen darf. Dies setzt voraus, dass sich die in Reihe geschalteten Schutzeinrichtungen selektiv verhalten. Insbesondere muss die Selektivität zwischen Generatorschutzschalter und nachgeordneter Überstromschutzeinrichtung nachgewiesen werden. Sind dem Generatorschutzschalter Sicherungen nachgeordnet, so sollte die Ansprechzeit des magnetischen Überstromauslösers mindestens 100 ms über der Sicherungskennlinie liegen (s. auch Abschn. 7.4.6).

**Schutz gegen elektrischen Schlag im Fehlerfall**

Unabhängig vom vorhandenen Verteilungsnetz müssen nach VDE 0100-410 bei Ersatznetzbetrieb Maßnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag im Fehlerfall (Schutz bei indirektem Berühren) angewendet werden. Dabei sollte dem IT-System und dem Schutz durch Verwenden von Betriebsmitteln der Schutzklasse II (Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung, früher: Schutzisolierung) der Vorzug gegeben werden (s. Abschn. 6.4). Im IT-System müssen Isolationsüberwachungseinrichtungen (IMDs) vorgesehen werden, die den ersten Fehler akustisch und optisch melden und nicht abschalten. Bei Speisen der Einrichtungen für Sicherheitszwecke (auch genannt: der notwendigen Sicherheitseinrichtungen) über das Netz können auch die für die Netzversorgung üblichen Maßnahmen, z. B. Schutz durch automatisches Abschalten der Stromversorgung im TN-System mit Überstromschutzeinrichtungen, angewendet werden (s. auch Abschn. 6.4). Die Abschaltbedingungen müssen in jedem Fall eigens für den Ersatznetzbetrieb nachgewiesen werden, da die Kurzschlussströme infolge der Generatorimpedanz kleiner als bei Netzbetrieb sind (s. o.).

# 12.3 Sicherheitsbeleuchtungsanlagen

VDE 0100-560, -718, VDE 0108-100, VDE V 0108-100, DIN EN 1838

## 12.3.1 Zweck, Aufbau, Funktion

Die Sicherheitsbeleuchtung ist eine *Notbeleuchtung*, die aus Sicherheitsgründen erforderlich ist. Zum Oberbegriff Notbeleuchtung zählt noch die *Ersatzbeleuchtung*. Das ist eine Notbeleuchtung, die für die Weiterführung des Betriebs über einen begrenzten Zeitraum ersatzweise die Aufgabe der künstlichen Beleuchtung übernimmt. Die Ersatzbeleuchtung hat keine sicherheitstechnische Funktion; für sie gibt es keine besonderen Bestimmungen.

Die Sicherheitsbeleuchtung wird zum Schutz des Menschen gefordert. Sie soll ein sicheres Verlassen von Räumen oder Gebäuden ermöglichen und Unfallgefahren aufgrund mangelhafter Orientierung und Panik vermeiden. Deshalb muss die Sicherheitsbeleuchtung bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung die Beleuchtung sofort, automatisch und für eine vorgegebene Zeit in einem festgelegten Bereich zur Verfügung stellen. Die Sicherheitsbeleuchtung muss nicht nur bei vollständigem Ausfall der allgemeinen Stromversorgung wirksam werden, sondern auch bei einem örtlichen Ausfall der allgemeinen Beleuchtung, z. B. beim Ausfall eines Endstromkreises. Deshalb müssen auch für die Beleuchtung eines Bereichs des Rettungs-/Fluchtwegs mindestens zwei Leuchten vorgesehen werden, damit gewährleistet ist, dass der Ausfall einer Leuchte den Rettungs-/Fluchtweg nicht vollständig verdunkelt oder die Kennzeichnung des Rettungs-/Fluchtwegs unwirksam macht. Aus dem gleichen Grund müssen auch in jedem Antipanikbereich (s. u.) zwei oder mehr Leuchten installiert werden. Wichtig in diesem Zusammenhang ist auch zu beachten, dass es in der Regel nicht möglich sein wird, die Versorgung der allgemeinen Beleuchtung nur auf Grund eines Ausfalls einer einzigen Lampe zu unterbrechen, um die Sicherheitsbeleuchtung in Betrieb zu nehmen. Deshalb sollten Maßnahmen getroffen werden, um möglichst alle Gefahren auszuschließen, die durch Ausfall einer einzigen Lampe entstehen können.

Der Errichter und Planer elektrischer Anlagen muss bei der Errichtung einer Sicherheitsbeleuchtung die Anforderungen nach VDE 0108-100 (früher: VDE 0100-1 bis -8) (aktuelle, noch gültige Ausgabe: 2005-01) zusammen mit der Vornorm VDE V 0108-100:2010-08 und VDE 0100-560 sowie die lichttechnischen Anforderungen nach DIN EN 1838 „Notbeleuchtung" beachten. Diese Norm legt die lichttechnischen Anforderungen an Notbeleuchtungssysteme fest, wozu auch die Sicherheitsbeleuchtung gehört.Unterschieden wird dabei in *Sicherheitsbeleuchtung* für Rettungs-/Fluchtwege, *Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung* und *Antipanikbeleuchtung*. Die Sicherheitsbeleuchtung muss Personen

das sichere Verlassen eines Raums oder Gebäudes ermöglichen oder ermöglichen, einen potenziell gefährlichen Arbeitsablauf zu beenden. Die *Sicherheitsbeleuchtung für Rettungs-/Fluchtwege* ist ein Teil der Sicherheitsbeleuchtung. Sie dient dem Beleuchten bzw. Hinterleuchten der Sicherheitszeichen für Rettungs-/Fluchtwege (weitere Bezeichnung: *Rettungszeichen* oder *Rettungswegzeichen*), dem Beleuchten der *Wege zu den Ausgängen*, um sicher in den sicheren Bereich zu gelangen, und dem Beleuchten der Brandbekämpfungseinrichtungen oder Meldeeinrichtungen entlang der *Rettungs-/Fluchtwege* sowie in Sicherheitsbeleuchtung für das Erlauben von Arbeiten in Verbindung mit *Sicherheitsmaßnahmen* und für *Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung*. Die Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung ist eine Beleuchtung, die das gefahrlose Beenden notwendiger Tätigkeiten und das Verlassen des Arbeitsplatzes bei Ausfall der Allgemeinbeleuchtung ermöglicht. Schließlich ermöglicht die Sicherheitsbeleuchtung gegebenenfalls auch Rettungsmaßnahmen. Die *Antipanikbeleuchtung* ist ebenfalls ein Teil der Sicherheitsbeleuchtung. Die Antipanikbeleuchtung soll Panik vermeiden und Personen erlauben, eine Stelle zu erreichen, von der aus ein Rettungs-/Fluchtweg eindeutig als solcher erkannt werden kann. Sie wird bei Bereichen ohne festgelegte Rettungs-/Fluchtwege in Hallen oder baulichen Anlagen mit einer Fläche > 60 $m^2$ angewendet oder bei kleineren Flächen, sofern dort durch eine größere Menschenansammlung eine erhöhtes Risiko besteht, z. B. in Kinos, Theatern.

Nach der aufgrund des Arbeitsrechts, das einheitlich in Deutschland gilt, erlassenen Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) vom 12.8.2004 mit der letzten Änderung vom 31.08.2015 müssen Arbeitsstätten eine ausreichende Sicherheitsbeleuchtung haben, sofern bei Ausfall der Allgemeinbeleuchtung Beschäftigte Unfallgefahren ausgesetzt sind (ArbStättV, Anhang nach § 3 Abs. 1 Abschn. 3.4 Absatz (3)). Ebenfalls mit einer Sicherheitsbeleuchtung sind Fluchtwege und Notausgänge auszurüsten, wenn das gefahrlose Verlassen der Arbeitsstätte für die Beschäftigten, insbesondere bei Ausfall der allgemeinen Beleuchtung, nicht gewährleistet ist (ArbStättV, Anhang nach § 3 Abs. 1 Abschn. 2.3 Absatz (1)). Auch in der zugehörigen Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A2.3 (Ausgabe Aug. 2007, zuletzt geändert GMBl 2014, S. 286), Abschn. 8, wird mit Bezug auf diese Forderung für Fluchtwege beispielhaft aufgezählt, wann eine Sicherheitsbeleuchtung für Fluchtwege erforderlich sein kann.

In einer weiteren Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A3.4/3 (Ausgabe Mai 2009, zuletzt geändert GMBl 2014, S. 287) („Sicherheitsbeleuchtung, optische Sicherheitsleitsysteme"), Abschn. 4.2 „Sicherheitsbeleuchtung in Arbeitsbereichen mit besonderer Gefährdung", werden beispielhaft Arbeitsstätten aufgezählt, in denen eine Sicherheitsbeleuchtung erforderlich sein kann, u. a. bestimmte Laboratorien, Arbeitsplätze ohne Tageslicht, elektrische Betriebsräume, die bei Ausfall der Allgemeinbeleuchtung betreten werden, Bereiche lang nachlaufender Arbeitsmittel,

Steuereinrichtungen für ständig zu überwachende Anlagen. Für Baustellen gelten ergänzende Anforderungen. Die ASR A3.4/3 ist der Ersatz für die nicht mehr geltenden Arbeitsstätten-Richtlinien (ASR) 7/4.

Die Sicherheitsbeleuchtung muss nach ASR A3.4/3 folgende Richtwerte erfüllen (s. auch Tabelle 12.1):

*Für Fluchtwege in Arbeitsstätten:*

- Beleuchtungsstärke: ≥ 1 Lux; nach Ausfall der Allgemeinbeleuchtung 50 % der Beleuchtungsstärke innerhalb 5 s, volle Beleuchtungsstärke innerhalb 15 s (s. Tab. 12.1);
- Gleichmäßigkeit: (Verhältnis der maximalen zur minimalen Beleuchtungsstärke) < 40 : 1;
- Messpunkte: Mittellinie des Fluchtwegs in 20 cm Höhe über dem Fußboden oder den Treppenstufen;

*für Arbeitsstätten, in denen bei Ausfall der Allgemeinbeleuchtung Unfallgefahren entstehen können:*

- Beleuchtungsstärke: Festlegung auf Grundlage einer Gefährdungsbeurteilung, mindestens aber 15 Lux, im Einzelfall höher; bewährt hat sich ein Wert von 10 % der Allgemeinbeleuchtung;
- Messpunkte: am Ort der Sehaufgabe.

Darüber hinaus sind in den ASR A3.4/3 u. a. Anforderungen an sog. optische Sicherheitsleitsysteme, auch elektrisch betrieben, und hinterleuchtete Sicherheitszeichen, elektrisch betriebene Leitmarkierungen und niedrig montierte Sicherheitsleuchten angegeben. Elektrisch betriebene Sicherheitsleitsysteme sind ebenfalls aus einer Stromquelle für Sicherheitszwecke zu versorgen.

Im Baurecht wird eine Sicherheitsbeleuchtung nach den Länderbauverordnungen für so genannte *notwendige innen liegende Treppenräume* in Gebäuden ab einer bestimmten Größe, Versammlungsstätten (dazu gehören sog. Schank- und Speisewirtschaften), Beherbergungsstätten, Verkaufsstätten (Warenhäuser einschließlich Ladenstraßen) und Großgaragen gefordert. Generell sind die Auflagen der Bauaufsicht und Gewerbeaufsicht zu beachten, die über die genannten Verordnungen hinaus eine Sicherheitsbeleuchtung verlangen können. Eine Kurzübersicht über die Anforderungen an die elektrischen Anlagen für Sicherheitsbeleuchtung gibt **Tabelle 12.1**. Die Angaben in der Tabelle 12.1 stammen aus VDE V 0108-100:2010-08 und entsprechen bis auf den zulässigen Einsatz von Einzelbatteriesystemen im Wesentlichen auch den Angaben aus den nicht mehr gültigen Teilen der VDE 0108 (Teile 1 bis 8), die u. U. für ältere Anlagen noch maßgebend sein können.

***Tabelle 12.1:*** *Anforderungen an die elektrische Anlage für Sicherheitsbeleuchtung nach VDE V 0108-100:2010-08, Tabelle A.1*

| **bauliche Anlage** | **Stromquelle für Sicherheitszwecke**[1)] | **maximale Umschalt-zeit s** | **Mindest-Bemessungs-betriebsdauer der Stromquelle h** |
|---|---|---|---|
| Arbeitsstätten mit bes. Gefährdung | ZoL, ZmL, E, SAoU, SAkU, bgN | 0,5 | [2)] |
| Arbeitsstätten Flucht-/ Rettungswege | ZoL, ZmL, E, SAoU, SAkU, SAmU, bgN | 5/15 [8)] | 1 |
| Ausstellungsräume, -hallen | ZoL, ZmL, E, SAoU, SAkU | 1 | 3 |
| Beherbergungsstätten, Heime | ZoL, ZmL, E, SAoU, SAkU, SAmU | 15 [3)] | 8 bzw. 3 [4)] |
| Bühnen | ZoL, ZmL, E, SAoU, SAkU | 1 | 3 |
| fliegende Bauten als VStätt* | ZoL, ZmL, E, SAoU, SAkU | 1 | 3 |
| Flughäfen, Bahnhöfe | ZoL, ZmL, E, SAoU, SAkU | 1 | 3 [5)] |
| Gaststätten (Restaurants) | ZoL, ZmL, E, SAoU, SAkU | 1 | 3 |
| geschlossene Großgaragen[6)] | ZoL, ZmL, E, SAoU, SAkU, SAmU | 15 | 1 |
| Hochhäuser | ZoL, ZmL, E, SAoU, SAkU, SAmU | 15 [3)] | 8 bzw. 3 [7)] |
| Kinos, Theater, sonst. VStätt* | ZoL, ZmL, E, SAoU, SAkU | 1 | 3 |
| Schulen | ZoL, ZmL, E, SAoU, SAkU, SAmU | 15 [3)] | 3 |
| Verkaufsstätten | ZoL, ZmL, E, SAoU, SAkU | 1 | 3 |

* VStätt: Versammlungsstätte

1) Z: Zentrales Stromversorgungssystem, ohne Leistungsbegrenzung (oL) (CPS-System), mit Leistungsbegrenzung (mL) (LPS-System); E: Einzelbatteriesystem; SA: Stromerzeugungsaggregat als Stromquelle für Sicherheitszwecke; oU: ohne Unterbrechung; kU: kurze Unterbrechung (≤ 0,5 s); mU: mittlere Unterbrechung (≤ 15 s); bgN: besonders gesichertes Netz

2) Die Beleuchtungsstärke muss mindestens über die Dauer der bestehenden Gefährdung/ Unfallgefahr wirksam sein.

3) je nach Panikrisiko 1 s bis 15 s und Ergebnis Gefährdungsbeurteilung

4) siehe Text im Unterabschnitt „Schaltung"

5) Für oberirdische Bereiche von Bahnhöfen ist je nach Evakuierungskonzept auch 1 h zulässig.

6) je nach Bundesland auch in mehrgeschossigen unterirdischen Mittelgaragen

7) bei Wohnhochhäusern 8 h (siehe Text im Unterabschnitt „Schaltung")

8) siehe Ausführungen zu Arbeitsstätten/Fluchtwege in diesem Abschnitt

### Schaltung der Sicherheitsbeleuchtung

Nach Art der Schaltung (**Bild 12.5**) unterscheidet man *Sicherheitsbeleuchtung in Dauerbetrieb* und *Sicherheitsbeleuchtung in Bereitschaftsbetrieb* (bisherige Bezeichnung: *Dauerschaltung* und *Bereitschaftsschaltung*).

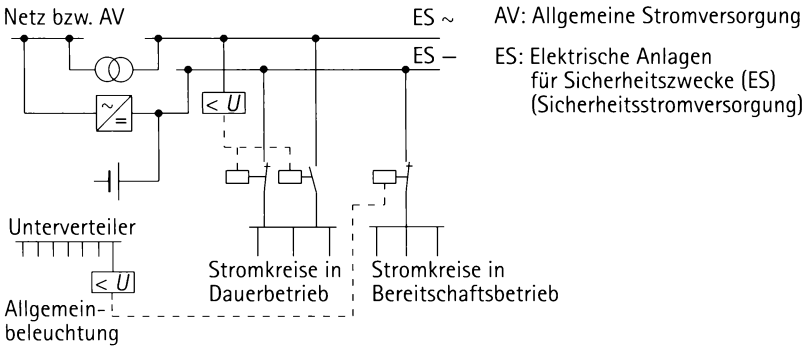



***Bild 12.5:*** *Schaltungsbeispiel einer Sicherheitsbeleuchtung (Ruhestrom)*

Die Aggregatautomatik und der Generatorschalter (Aggregatschaltgerät) dürfen in einer baulichen Einheit (z. B. Schrank) zusammengefasst sein, nicht dagegen auch der Kuppelschalter (Schalter der Netzeinspeisung).

Die Sicherheitsbeleuchtung muss für Dauerbetrieb oder Bereitschaftsbetrieb ausgeführt sein. Eine Kombination von beiden Betriebsarten ist ebenfalls zulässig. Auch innerhalb eines Endstromkreises der Sicherheitsbeleuchtung ist der gemeinsame Betrieb verschiedener Leuchten in Bereitschaftsbetrieb und Dauerbetrieb zulässig, wenn sichergestellt ist, dass bei einer Störung oder einem Ausfall der Steuerung die Sicherheitsbeleuchtung weiter funktioniert. Es darf aber nicht automatisch auf die Stromquelle für Sicherheitszwecke (Batterie) umgeschaltet werden.

Bei der *Sicherheitsbeleuchtung in Dauerbetrieb* ist die Sicherheitsbeleuchtung während der Betriebszeit dauernd eingeschaltet. Sie wird in der Regel vom allgemeinen Stromversorgungsnetz und bei Ausfall dieses Netzes selbsttätig von einer Stromquelle für Sicherheitszwecke (bisherige Bezeichnung: Ersatzstromquelle) gespeist. Die Sicherheitsbeleuchtung in Dauerbetrieb kann im Umschalt- oder im Bereitschaftsparallelbetrieb betrieben werden. Bei Räumen und Rettungs-/Fluchtwegen, die ausreichend mit Tageslicht beleuchtet sind, nicht betriebsmäßig verdunkelt werden können und nicht ständig besetzt sind, *darf* die Sicherheitsbeleuchtung in Dauerbetrieb mit der allgemeinen Beleuchtung geschaltet werden.

In Wohnhochhäusern sowie Beherbergungsstätten und Heimen *muss* die Sicherheitsbeleuchtung in *Dauerbetrieb* mit der allgemeinen Beleuchtung geschaltet werden, wenn die *Bemessungsbetriebsdauer der Stromquelle für Sicherheitszwecke* nur 3 h beträgt (s. Tabelle 12.1). Voraussetzung ist, dass als örtliche Schaltgeräte *Leuchttaster* so anzubringen sind, dass von jedem Standort mindestens ein Leuchttaster auch bei Ausfall der allgemeinen Beleuchtung erkennbar ist. Die Sicherheitsbeleuchtung muss sich nach einer einstellbaren Zeit selbstständig wieder ausschalten, wenn sie von der Stromquelle für Sicherheitszwecke versorgt wird.

Beim *Umschaltbetrieb* (**Bild 12.6**) wird bei Ausfall des speisenden allgemeinen Stromversorgungsnetzes (AV) die Sicherheitsbeleuchtung auf die Stromquelle für Sicherheitszwecke umgeschaltet. Dabei ist für eine bestimmte Zeitspanne (Umschaltzeit; frühere Bezeichnung: Einschaltverzögerung) keine Beleuchtung wirksam. Das Gleiche geschieht nach der Netzwiederkehr bei der Rückschaltung auf das allgemeine Stromversorgungsnetz.

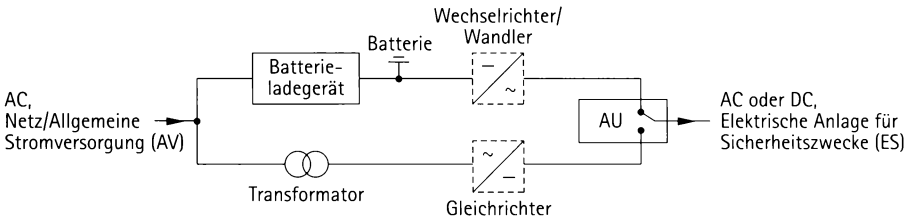



***Bild 12.6:*** *Beispiel für Dauerbetrieb im Umschaltbetrieb*
AU: Automatisches Umschaltgerät

Beim *Bereitschaftsparallelbetrieb* (**Bild 12.7**) wird die Stromquelle für Sicherheitszwecke schon während der Speisung der Sicherheitsbeleuchtung aus dem allgemeinen Netz mit diesem Netz parallel geschaltet. Bei Ausfall des Netzes übernimmt die Stromquelle für Sicherheitszwecke unterbrechungslos die Speisung der Sicherheitsbeleuchtung. Ebenso unterbrechungslos erfolgt die Speisung aus dem allgemeinen Stromversorgungsnetz nach Netzwiederkehr.

Die Sicherheitsbeleuchtung in Dauerbetrieb ist für die Kennzeichnung der Rettungs-/Fluchtwege anzuwenden.

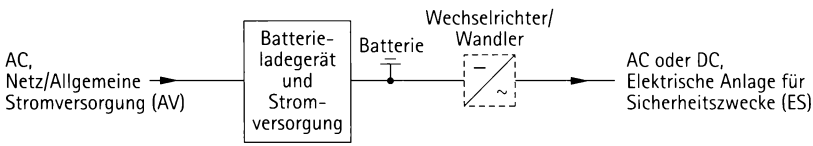



***Bild 12.7:*** *Beispiel für Dauerbetrieb im Bereitschaftsparallelbetrieb*

Bei der *Sicherheitsbeleuchtung in Bereitschaftsbetrieb* (ganz früher als „Panikbeleuchtung" bezeichnet) ist die Sicherheitsbeleuchtung während der Betriebszeit nicht eingeschaltet. Bei Ausfall der Spannung für die Versorgung der Verbraucherstromkreise der allgemeinen Beleuchtung wird sie selbsttätig eingeschaltet und nur von der Stromquelle für Sicherheitszwecke gespeist.

*Sicherheitszeichen* (Bezeichnung nach DIN EN 1838, ASR 1.3 und DIN EN ISO 7010; weitere Bezeichnung auch *Rettungszeichen* nach DIN 4844-1 u. -2) müssen be- oder hinterleuchtet sein. Das *hinterleuchtete Sicherheitszeichen* (*Rettungszeichenleuchte*) wird von einer internen Lichtquelle, das *beleuchtete Sicherheitszeichen* von einer externen Lichtquelle beleuchtet. Die Lichtquelle muss natürlich ein Teil der Sicherheitsbeleuchtung sein. Sicherheitszeichen für Rettungs-/Fluchtwege in Arbeitsstätten müssen nicht in Dauerbetrieb sein.

Der elektrische Verteiler der Sicherheitsbeleuchtung muss bei Vorhandensein der Spannung der allgemeinen Stromversorgung ebenfalls aus der allgemeinen Stromversorgung gespeist werden (s. Bild 12.5). Bei Wiederkehr der Netzspannung für die Verbraucherstromkreise der allgemeinen Beleuchtung wird die Sicherheitsbeleuchtung selbsttätig ausgeschaltet. Jedoch darf bei Anlagen, bei denen die Gefahr besteht, dass die allgemeine Beleuchtung verdunkelt oder ausgeschaltet ist, sodass nach dem Ausschalten der Sicherheitsbeleuchtung der Bereich unbeleuchtet wäre (Kinos, Theater), darf die Sicherheitsbeleuchtung nicht selbsttätig ausgeschaltet werden. Beim Zurückschalten auf die Spannung der allgemeinen Stromversorgung muss auch gegebenenfalls die Wiederzündung der Lampen der allgemeinen Beleuchtung berücksichtigt werden. In jedem Fall darf in betrieblich verdunkelten Räumen die Rückschaltung der Sicherheitsbeleuchtung im Bereitschaftsbetrieb erst bei vorhandener und ausreichender allgemeiner Beleuchtung erfolgen.

Wird die Sicherheitsbeleuchtung mit einem *Steuerungs- und Bussystem* betrieben, muss dieses unabhängig von einem Steuerungs- und Bussystem der allgemeinen Beleuchtung sein, es sei denn, es werden galvanisch getrennte Schnittstellen zwischen den Systemen eingesetzt. Auf jeden Fall darf ein Fehler im Steuerungs- und Bussystem der allgemeinen Beleuchtung nicht die ordnungsgemäße Funktion der Sicherheitsbeleuchtung beeinflussen. Gegebenenfalls ist die Steuerung der allgemeinen Beleuchtung zu überwachen, z. B. wenn ein Fehler im Steuerungs- und Bussystem der allgemeinen Beleuchtung zum Ausfall der allgemeinen Beleuchtung eines Raums oder Rettungs-/Fluchtwegs führen kann. Im Fehlerfall ist dann die in der Betriebsart „Bereitschaftsbetrieb" geschaltete Sicherheitsbeleuchtung einzuschalten.

**Spannungsüberwachung**

Bei Sicherheitsbeleuchtung in *Dauerbetrieb* muss die allgemeine Stromversorgung an der Sammelschiene des Hauptverteilers der Sicherheitsbeleuchtung überwacht

werden. Dieses gilt nicht für Einzelbatteriesysteme. Bei *Bereitschaftsbetrieb* ist die Stromversorgung für die Allgemeinbeleuchtung des betreffenden Raums am zugehörigen Unterverteiler zu überwachen. Ist die Allgemeinbeleuchtung eines Raums nicht auf mindestens zwei Stromkreise aufgeteilt, so muss der Beleuchtungsstromkreis dieses Raums überwacht werden. Gleiches gilt für Steuerstromkreise, wenn durch eine Störung in der Steuerung die Allgemeinbeleuchtung eines Raums oder Rettungs-/Fluchtwegs ganz ausfallen kann. Im Störungsfall ist dann die in der Betriebsart „Bereitschaftsbetrieb" geschaltete Sicherheitsbeleuchtung einzuschalten. Bei Wiederkehr der Netzspannung muss die Sicherheitsbeleuchtung selbsttätig auf Netzspeisung zurückschalten (s. o.).

**Umschaltzeit/Einschaltverzögerung**

Die Umschaltzeit ist die Zeit zwischen dem Erkennen des Ausfalls der allgemeinen Stromversorgung und dem Zeitpunkt des Wirksamwerdens der Stromquelle für Sicherheitszwecke. In der Norm für Notbeleuchtung DIN EN 1838 wird der Begriff nur umschrieben. Es heißt dort z. B., dass die Sicherheitsbeleuchtung für Rettungs-/Fluchtwege 50 % der geforderten Beleuchtungsstärke innerhalb von 5 s und die geforderte Beleuchtungsstärke innerhalb von 60 s erreichen muss (s. Tabelle 12.1).

Die Verfügbarkeit einer Sicherheitsbeleuchtung ist insbesondere abhängig von der Umschaltzeit bzw. der Einschaltverzögerung, d. h. der Zeitspanne, die zwischen dem Ausfall der allgemeinen künstlichen Beleuchtung bei Störung der Stromversorgung und dem Erreichen der erforderlichen Beleuchtungsstärke der Sicherheitsbeleuchtung vergeht. Die Umschaltzeit bzw. Einschaltverzögerung ist auch hauptsächlich maßgebend für die technische Ausführung der Sicherheitsbeleuchtungsanlage, insbesondere für die Wahl der geeigneten Stromquelle für Sicherheitszwecke. Die zulässige Umschaltzeit bzw. Einschaltverzögerung ist abhängig von der *Panikgefahr*.

Zu den Bereichen, in denen eine Panikgefahr weniger zu befürchten ist, zählen in erster Linie die Rettungs-/Fluchtwege aus Bereichen mit geringer Menschenansammlung oder aus Bereichen, in denen die Flüchtenden gute Ortskenntnisse besitzen (z. B. Garagen, Hochhäuser, Arbeitsstätten). Als Umschaltzeit wird hier eine Zeit bis zu 15 s für vertretbar erachtet (s. Tabelle 12.1).

In Bereichen, in denen die Sicherheitsbeleuchtung zur Verhinderung einer Panik und zur zügigen Räumung eines Gebäudes beiträgt, z. B. bei Versammlungsstätten und Verkaufsstätten, ist eine Umschaltzeit von bis zu 1 s zulässig (s. Tabelle 12.1).

Bei Arbeitsplätzen, an denen bei Ausfall der Beleuchtung eine unmittelbare Unfallgefahr besteht oder von denen besondere Gefahren für Dritte ausgehen können (Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung), ist eine Umschaltzeit (früherer Begriff nach Arbeitsstättenrecht: Einschaltverzögerung) von höchstens 0,5 s zulässig.

**Betriebsdauer**

Die Betriebsdauer einer Sicherheitsbeleuchtung ist die Dauer, für die sie bei Ausfall der Stromversorgung der allgemeinen Beleuchtung wirksam ist. Die *Bemessungsbetriebsdauer* der Stromquelle für Sicherheitszwecke ist die Dauer, für die eine Stromquelle für Sicherheitszwecke unter Bemessungsbetriebsbedingungen ausgelegt ist (VDE 0100-560:2013-10) bzw. die vorgesehene Zeitdauer, während der die Verbraucher (z. B. Notleuchten) gespeist werden können, wobei das System innerhalb festgelegter Spannungsgrenzen bleibt (VDE 0558-508 „Zentrale Stromversorgungssysteme"). Im Zusammenhang mit der Sicherheitsbeleuchtung gibt es auch lichttechnische Definitionen der Bemessungsbetriebsdauer, wonach diese die vom Hersteller angegebene Dauer ist, in der der Bemessungslichtstrom abgegeben wird (VDE V 0108-100), nach DIN EN 1838 (Notbeleuchtung) auch Nennbetriebsdauer genannt. Die Werte der *Bemessungsbetriebsdauer* sind in Tabelle 12.1 angegeben.

**Stromkreisaufteilung/Schutzeinrichtungen**

Wenn in einem Raum oder Rettungs-/Fluchtwegbereich mehr als eine Leuchte der Sicherheitsbeleuchtung installiert ist, sind diese Leuchten auf mindestens zwei Stromkreise abwechselnd zu verteilen (gilt nicht für Einzelbatteriesysteme). Dabei müssen die Schutzeinrichtungen der Stromkreise unabhängig voneinander sein.

Bei Sicherheitsbeleuchtung im Bereitschaftsbetrieb muss die allgemeine Beleuchtung in Räumen und an Rettungs-/Fluchtwegen mit mehr als einer Leuchte mindestens an zwei Stromkreise angeschlossen werden, wodurch die Verfügbarkeit der Allgemeinbeleuchtung erhöht wird. Ein Fehler in *einem* Stromkreis der Allgemeinbeleuchtung führt nicht zum Ansteuern der Sicherheitsbeleuchtung in Bereitschaftsbetrieb; die Allgemeinbeleuchtung fiele aber vollständig aus, wenn die Allgemeinbeleuchtung über nur einen einzigen Stromkreis gespeist würde. Auch beim Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) muss die allgemeine Beleuchtung auf mindestens zwei Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) aufgeteilt werden.

Die Überstromschutzeinrichtungen der Endstromkreise der Sicherheitsbeleuchtung dürfen mit nicht mehr als 60 % des Bemessungsstroms der Schutzeinrichtung belastet werden. An einem Stromkreis der Sicherheitsbeleuchtung dürfen jedoch höchstens 20 Leuchten angeschlossen werden. Dies gilt nicht für die Zuleitung von Einzelbatteriesystemen. Nach der alten Norm VDE 0108-1 galt bis Febr. 2007, dass bei Anlagen mit Zentral- oder Gruppenbatterie an einem Stromkreis der Sicherheitsbeleuchtung höchstens 12 Leuchten angeschlossen werden durften.

## 12.3.2 Betriebsmittel der Sicherheitsbeleuchtung

**Stromquellen der Sicherheitsbeleuchtung (bisherige Bezeichnung: Ersatzstromquellen) (s. auch Abschn. 12.2 u. 14.11)**

Für den Betrieb der Sicherheitsbeleuchtung bei Störung der normalen Stromversorgung der allgemeinen Beleuchtung ist eine von der normalen Stromversorgung unabhängige Stromquelle notwendig. Als Stromquellen für Sicherheitszwecke (bisherige Bezeichnung: Ersatzstromquellen) dürfen zentrale Stromversorgungssysteme und Einzelbatteriesysteme eingesetzt werden. Zentrale Stromversorgungssysteme sind batteriebetriebene zentrale Stromversorgungssysteme, die VDE 0558-508 und VDE 0510-1 u. -2 (stationäre Batterien und Batterieanlagen) entsprechen müssen, und Stromerzeugungsaggregate, die von Hubkolben-Verbrennungsmotoren angetrieben werden und DIN 6280-13 (Untertitel: „Für Sicherheitsstromversorgung in Krankenhäusern und in baulichen Anlagen für Menschenansammlungen") und DIN 6280-14 (Untertitel: „Blockheizkraftwerke (BHKW) mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren") entsprechen müssen (s. auch Abschn. 12.2.1). Zur Anwendung und zum Aufbau von zentralen Stromversorgungssystemen siehe auch Abschnitt 14.11. Ebenfalls als zentrales Stromversorgungssystem kann ein sog. besonders gesichertes Netz eingesetzt werden (zuweilen auch als Sondernetz bezeichnet), das aber zz. nur für Rettungs-/Fluchtwege und Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung in Arbeitsstätten zulässig ist. Die Anlage der allgemeinen Beleuchtung wird dabei aus einem Netz gespeist, das über zwei voneinander unabhängige Einspeisungen verfügt, z. B. öffentliche Stromversorgung und eigene Kraftwerksanlage und deswegen als besonders gesichert angesehen werden kann. Besonders gesicherte Netze – auch als unabhängige Einspeisung aus der allgemeinen Stromversorgung bezeichnet – müssen VDE 0100-560 entsprechen. Danach muss es sich um eine separate Einspeisung aus dem Versorgungsnetz handeln, die von der normalen Einspeisung tatsächlich unabhängig ist. Von dem Versorger muss eine Zusicherung vorliegen, dass ein gleichzeitiger Ausfall beider Einspeisungen unwahrscheinlich ist. Für Sicherheitsbeleuchtungsanlagen werden auch häufig Einzelbatteriesysteme eingesetzt, die dann VDE 0711-2-22 („Leuchten für Notbeleuchtung") entsprechen müssen.

Batteriebetriebene zentrale Stromversorgungssysteme wurden in zurückgezogenen Normen und werden in zz. noch geltenden Vorschriften als *Zentralbatterieanlagen* oder *Sicherheitsbeleuchtung mit Zentralbatterie* und Einzelbatteriesysteme als *Sicherheitsbeleuchtung mit Einzelbatterie* bezeichnet. Als quasi Untergruppe der zentralen Stromversorgungssysteme mit Batterieversorgung wurde bisher die sog. *Sicherheitsbeleuchtung mit Gruppenbatterie* eingesetzt.

Die *Sicherheitsbeleuchtung mit Zentralbatterie* war für große bauliche Anlagen bestimmt. In dem zentralen Schalt- und Ladegerät sind zahlreiche, für die Über-

wachung und Überprüfung der Betriebsbereitschaft der Anlage notwendige Messinstrumente u. dgl. untergebracht. Die *Sicherheitsbeleuchtung mit Gruppenbatterie* war für mittlere bauliche Anlagen bestimmt und für Großbauten, die in Funktionsbereiche unterteilt werden konnten. Die Anzahl der Sicherheitsleuchten war auf höchstens 20 begrenzt mit einer Leistungsaufnahme aus der Batterie von 300 W bei 3-stündiger Betriebsdauer oder 900 W bei 1-stündiger Betriebsdauer. Die Gruppenbatterieanlage durfte insbesondere hinsichtlich der für die Überwachung notwendigen Messinstrumente einfacher als bei Zentralbatterieanlagen ausgeführt werden. Die *Sicherheitsbeleuchtung mit Einzelbatterie* war eher für kleine bauliche Anlagen bestimmt. Seit dem Juli 1997 durften nur noch Einzelbatterieleuchten eingesetzt werden, die der jeweils geltenden VDE 0711-2-22 entsprechen mussten.

### Unterbringung von Verteilern und Stromquellen, Kabel- und Leitungsanlagen

Zu brandschutztechnischen Anforderungen an Leitungsanlagen der Sicherheitsbeleuchtung, wozu auch elektrische Verteiler gehören, siehe Abschnitt 12.2.3, zur Unterbringung von Verteilern und Stromquellen für Sicherheitszwecke sowie zur Kabel- und Leitungsverlegung, siehe Abschnitt 14.11.

### Leuchten für Sicherheitsbeleuchtung (Notleuchten)

Als *Leuchten für Sicherheitsbeleuchtung* (auch Notleuchten genannt) dürfen nur solche nach VDE 0711-2-22 „Leuchten für Notbeleuchtung" eingesetzt werden. Notbeleuchtung ist nach DIN EN 1838 der Oberbegriff für Sicherheitsbeleuchtung und die sog. Ersatzbeleuchtung, weshalb die Leuchten für Sicherheitsbeleuchtung auch als Notleuchten bezeichnet werden. Früher durften unter Beachtung der einschlägigen Errichtungsvorschriften und Normen Leuchten beliebiger Art für die Sicherheitsbeleuchtung (*Sicherheitsleuchten*) eingesetzt werden.

Außer der eigentlichen Beleuchtung von Panikbereichen dient ein Teil der Leuchten für Notbeleuchtung dem Betrieb der *Sicherheitszeichen* (*Rettungszeichen*). Die Sicherheitszeichen unterscheiden sich in beleuchtete und hinterleuchtete Sicherheitszeichen (veraltete Bezeichnung: Rettungszeichenleuchten). Sie müssen DIN EN 1838 sowie ASR 1.3 (Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung), DIN EN ISO 7010 (Registrierte Sicherheitszeichen) und DIN 4844-1 und -2 (u. a. Rettungszeichen für Rettungs-/Fluchtwege und Notausgänge) entsprechen.

Notleuchten (einschl. Einzelbatterieleuchten) nach VDE 0711-2-22 sind für die direkte Befestigung auf normal entflammbare Flächen geeignet (F-Kennzeichen).

Nach der *Bauart* unterscheiden sich Notleuchten in Leuchten mit eingebauter Einzelbatterie und für zentrale Versorgung.

Nach der *Betriebsart* unterscheiden sich die Leuchten in:

- Notleuchte in Bereitschaftsschaltung,
- Notleuchte in Dauerschaltung,
- kombinierte Notleuchte,
- Notleuchte für Mutter-/Tochterbetrieb und
- Tochternotleuchte.

Eine *Notleuchte in Dauerschaltung* ist eine Leuchte, bei der die Lampen für die Not-/Sicherheitsbeleuchtung immer dann ständig gespeist werden, wenn Allgemeinbeleuchtung oder Not-/Sicherheitsbeleuchtung erforderlich ist. Eine *Notleuchte in Bereitschaftsschaltung* ist eine Leuchte, bei der die Lampen für die Not-/Sicherheitsbeleuchtung nur dann eingeschaltet sind, wenn die Stromversorgung für die Allgemeinbeleuchtung ausfällt. Eine *kombinierte Notleuchte* ist eine Leuchte, die zwei oder mehr Lampen besitzt, von denen mindestens eine von der Stromquelle für Sicherheitszwecke und die andere von dem Netz der Allgemeinbeleuchtung gespeist wird. Es können auch mehr als eine Lampe sein, die vom Netz der Allgemeinbeleuchtung versorgt wird. Eine kombinierte Notleuchte kann für Dauerbetrieb oder für Bereitschaftsbetrieb ausgelegt sein. Eine *Notleuchte mit Einzelbatterie* ist eine Leuchte für die Sicherheitsbeleuchtung in Dauerbetrieb oder Bereitschaftsbetrieb, in der sämtliche Teile wie Batterie, Lampe, Steuereinheit sowie Prüf- und Überwachungseinrichtungen enthalten sind. Diese Teile können in der Leuchte oder ihrer unmittelbaren Umgebung angeordnet sein. Unmittelbare Umgebung bedeutet innerhalb des Bereichs einer Kabellänge von 1 m. Eine Prüf- und Überwachungseinrichtung muss nicht vorhanden sein. Eine *Notleuchte für zentrale Versorgung* ist eine Leuchte für Dauerbetrieb oder Bereitschaftsbetrieb, die von einem zentralen Stromversorgungssystem für Sicherheitszwecke gespeist wird. Das zentrale Stromversorgungssystem ist nicht in der Leuchte enthalten. Eine Notleuchte mit Einzelbatterie für *Mutter-/Tochterbetrieb* ist eine Leuchte (Mutterleuchte) für Dauerbetrieb oder Bereitschaftsbetrieb, die auch eine zweite Leuchte (Tochterleuchte) aus der Stromquelle für Sicherheitszwecke versorgt. Eine *Tochternotleuchte* ist eine Leuchte für Dauerbetrieb oder Bereitschaftsbetrieb, die aus der Stromquelle für Sicherheitszwecke einer zugehörigen Notleuchte mit Einzelbatterie für Mutter-/Tochterbetrieb versorgt wird.

Elektrische Verbindungsteile zum Netz (z. B. Stecker und Steckdosen) zwischen getrennten Teilen einer Leuchte für Sicherheitsbeleuchtung (z. B. einer entfernt montierten Vorschaltgeräteeinheit) oder zwischen Einzelteilen der Leuchte müssen gegen die Gefahr einer unbeabsichtigten Trennung geschützt sein. Die elektrischen Verbindungen müssen dauerhaft oder mit einer Vorkehrung ausgestattet sein, die

eine unbeabsichtigte Trennung verhindert. Innere Steckverbindungen, bei denen unbeabsichtigte Trennen nicht verhindert ist, sind nur erlaubt, wenn der direkte Zugang zu ihnen dadurch verhindert ist, dass der Anschluss nur mit Werkzeug zugänglich (z. B. geschlossenes Gehäuse). Äußere Steckverbindungen, die nicht gegen unbeabsichtigte Trennung geschützt sind, müssen mit einem Warnhinweis an der Leuchte versehen werden, in der Art: *„Diese Leuchte ist nur für die Montage in Anlagen bestimmt, in denen die Steckverbindung vor unbefugtem Trennen geschützt ist".*

Zum Prüfen der Sicherheitsbeleuchtung können auch automatische Prüfeinrichtungen eingesetzt werden. Diese müssen dann VDE 0711-400 („Automatische Prüfsysteme für batteriebetriebene Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege") entsprechen. Solche automatischen Prüfsysteme gelten sowohl für Einzelbatterieleuchten bzw. Einzelbatteriesysteme als auch für zentrale Stromversorgungssysteme (früher sog. Zentralbatterieanlagen) mit dazugehörigen Notleuchten. Die angegebene Norm gilt nicht für manuelle Prüfeinrichtungen, die auf manuelle Betätigung und/oder Sichtkontrolle des Zustands der Lampe angewiesen sind.

**Einzelbatteriesysteme**

Es dürfen nur Einzelbatteriesysteme bzw. Notleuchten mit Einzelbatterie eingesetzt werden, die VDE 0711-2-22 entsprechen.

Auf den Leuchten mit Einzelbatterien müssen der Batterietyp, die Bemessungsspannung das Herstellungsdatum (Jahr und Monat oder Jahr und Woche) angegeben werden. Außerdem müssen deutliche Angaben über den sachgerechten Batteriewechsel und das Verfahren für die sachgerechte Entsorgung der Batterie vorhanden sein. Auf dem Typenschild der Batterie muss der Installateur oder der Verantwortliche das Datum der Inbetriebnahme eintragen. Dafür muss vom Hersteller der Leuchte ausreichend Platz auf der Leuchte vorgesehen sein.

Wenn die Bemessungsbetriebsdauer (s. Tabelle 12.1) der Einzelbatterieleuchte nicht mehr erreicht wird, muss die Batterie gewechselt werden, worauf der Hersteller ausdrücklich in der beizufügenden Betriebsanweisung hinweisen muss.

Einzelbatterieleuchten müssen mit einer eingebauten *Prüfeinrichtung* oder mit einer Anschlussvorrichtung für eine *Fernprüfeinrichtung* ausgerüstet sein, um eine Störung der allgemeinen Stromversorgung nachbilden zu können. Handbetätigte Prüfschalter müssen selbsttätig in ihre Ausgangslage zurückkehren oder müssen als Schlüsselschalter ausgeführt sein. Die Prüfeinrichtung muss entsprechend den Anweisungen des Herstellers geprüft werden. Eine gegebenenfalls eingesetzte Fernprüfeinrichtung, die in Verbindung mit Notleuchten verwendet wird, darf den bestimmungsgemäßen Betrieb der Notleuchte, außer bei der Prüfung, nicht beeinträchtigen.

**Kennzeichnung von Leuchten und Stromkreisen**

Alle Leuchten der Sicherheitsbeleuchtung und Verbindungs- und Abzweigstellen im Zuge eines Sicherheitsbeleuchtungsstromkreises sind leicht erkennbar und dauerhaft mit einer roten oder grünen Markierung zu kennzeichnen. Auch Leuchtenteile der Sicherheitsbeleuchtung von kombinierten Notleuchten (Leuchten, die sowohl Lampen der Sicherheitsbeleuchtung als auch der allgemeinen Beleuchtung enthalten) sind entsprechend zu kennzeichnen. Die Lampenfassungen für die Notbeleuchtungslampen müssen mit einem grünen Punkt gekennzeichnet sein, der mindestens einen Durchmesser von 5 mm besitzt und beim Lampenwechsel sichtbar sein muss. Außerdem ist in der Nähe jeder Leuchte die Verteiler-, Stromkreis- und Leuchtennummer anzubringen. In der Praxis werden häufig runde Kunststoffschilder mit rotem oder grünem Grund und weißer Beschriftung verwendet. Sie erfüllen die farbliche Kennzeichnung und ermöglichen die Angabe der Verteiler-, Stromkreis- und Leuchtennummer. Nach VDE 0711-2-22 müssen die Leuchten vom Hersteller der Leuchten deutliche Hinweise für einen sachgerechten Lampenwechsel tragen (z. B. Anzahl der Lampen, Typ, Bemessungsspannung, Bemessungsleistung). Diese Hinweise müssen so angebracht sein, dass sie für den Lampenwechsel sichtbar sind. Dies ist deshalb wichtig, damit sichergestellt ist, dass der Bemessungslichtstrom erreicht wird.

Nach VDE 0711-2-22 muss auf jeder Leuchte der Not- bzw. Sicherheitsbeleuchtung deutlich sichtbar eine Kennzeichnung angebracht sein, aus der neben der Bemessungsspannung oder dem Spannungsbereich, der Typ, die Betriebsart, die eingebauten Einrichtungen und die Bemessungsbetriebsdauer der Leuchte hervorgehen (s. u.).

Die Kennzeichnung der Leuchten wird auf der jeweiligen Leuchte in drei oder vier Abschnitten dargestellt. In den Abschnitten wird mit Buchstaben und Ziffern der Aufbau der Leuchte dargestellt. Die Buchstaben und Ziffern haben die im Folgenden aufgeführte Bedeutung. Ein Punkt wird angegeben, wenn keine Angabe erfolgen muss. Die Form für die Kennzeichnung auf einer Leuchte für die Notbeleuchtung geschieht in folgender Darstellung:

| | | | |
|---|---|---|---|
| * | * | **** | *** |

Der *erste Abschnitt* enthält eine Stelle mit einem Großbuchstaben, der die *Bauart* angibt, mit der Bedeutung:

X mit eingebauter Einzelbatterie,

Z für zentrale Versorgung.

Der *zweite Abschnitt* enthält eine Stelle mit einer Ziffer, die die *Betriebsart* angibt, mit der Bedeutung:

0 Notleuchte in Bereitschaftsbetrieb,

1 Notleuchte in Dauerbetrieb,

2 Kombinierte Notleuchte in Bereitschaftsbetrieb,

3 Kombinierte Notleuchte in Dauerbetrieb,

4 Notleuchte für Mutter-/Tochterbetrieb in Bereitschaftsbetrieb,

5 Notleuchte für Mutter-/Tochterbetrieb in Dauerbetrieb,

6 Tochternotleuchte.

Der *dritte Abschnitt* enthält vier Stellen mit Großbuchstaben, die die *Einrichtungen* angeben, mit der Bedeutung (wobei eine nicht vorhandene Einrichtung durch einen Punkt dargestellt wird):

A enthält eine Prüfeinrichtung,

B enthält Fernschaltung für Ruhe-Zustand,

C enthält Fernausschaltmöglichkeit,

D Leuchte für Arbeitsstätten mit besonderer Gefährdung,

E Leuchte mit nicht austauschbarer Lampe bzw. nicht austauschbaren Lampen und/oder Batterie.

Punkte werden gegebenenfalls bei der Installation der Leuchte durch den entsprechenden Buchstaben ersetzt.

Der *vierte Abschnitt* hat nur Bedeutung für Notleuchten mit *Einzelbatterien* und enthält drei Stellen mit Zahlen, die die maximale Dauer des Notbetriebs angeben, wobei bei zweistelliger Zahl die dritte Ziffer durch einen Punkt angegeben wird:

*10 für die Angabe einer Betriebsdauer von 10 min,

*60 für die Angabe einer Betriebsdauer von 1 h,

120 für die Angabe einer Betriebsdauer von 2 h,

180 für die Angabe einer Betriebsdauer von 3 h.

Zur Erläuterung der Kennzeichnung werden zwei Beispiele angegeben (aus VDE 0711-2-22, Anhang B:2015-06):

*Beispiel 1:*

| | | | |
|---|---|---|---|
| X | 1 | *B*D | *60 |

Bedeutung: Notleuchte mit Einzelbatterie in Dauerbetrieb Möglichkeit der Ferneinschaltung des Ruhezustands für Arbeitsstätten mit besonderer Gefährdung, die eine Betriebsdauer im Notbetrieb von 60 min hat.

*Beispiel 2:*

| | | |
|---|---|---|
| Z | 1 | **** |

Bedeutung: Zentral versorgte Notleuchte in Dauerbetrieb

### Sicherheitszeichen/Rettungszeichen

Sicherheitszeichen (Bezeichnung nach DIN EN 1838, DIN EN ISO 7010, ASR A1.3) oder Rettungszeichen (Bezeichnung nach DIN 4844) müssen nach ASR A1.3, DIN EN ISO 7010 bzw. DIN 4844-2 ausgewählt werden, z. B. E001, E002 (**Bilder 12.8** und **12.9**). Die von der Berufsgenossenschaft unter der bisherigen Bezeichnung BGV A8 herausgegebene UVV ist zurückgezogen worden. Die erforderliche Zeichengröße richtet sich nach der gewünschten Erkennungsweite. Zudem müssen die Umfeldleuchtdichte und der Zeichenkontrast berücksichtigt werden.



***Bild 12.8:*** *Sicherheitszeichen/Rettungszeichen, Beispiel Notausgang*



***Bild 12.9:*** *Sicherheitszeichen/Rettungszeichen, Beispiel Rettungsweg*

## 12.3.3 Prüfungen

Nach der Errichtung der Sicherheitsbeleuchtungsanlagen sind sog. Erstprüfungen durchzuführen. Außer den grundlegenden Erstprüfungen der Niederspannungsanlagen (s. Kap. 15) und der elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke (s. Abschn. 14.11) müssen wenigstens die lichttechnischen Werte der Sicherheitsbeleuchtung nach DIN 5035-6 (Beleuchtung mit künstlichem Licht – Teil 6: Messung und Bewertung) gemessen werden. Darüber hinaus sind für Sicherheitsbeleuchtungs-

anlagen Prüfungen nach dem Bauordnungsrecht und der Arbeitsstättenverordnung mit der dazu gehörenden Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A3.4/3 vorzunehmen. Nach dem Bauordnungsrecht müssen die elektrischen Anlagen und Stromquellen für Sicherheitszwecke von Sicherheitsbeleuchtungsanlagen (nach Baurecht *Sicherheitsstromversorgungsanlagen* genannt) vor der ersten Inbetriebnahme, nach wesentlichen Änderungen sowie regelmäßig wiederkehrend (in der Regel 3-jährlich) auf ihre – wie es in der Verordnung heißt – Wirksamkeit und Betriebssicherheit von nach Bauordnungsrecht anerkannten Sachverständigen, wie z. B. solche vom TÜV, geprüft werden. Dies gilt für Sicherheitsbeleuchtungsanlagen in bestimmten, nach Bauordnungsrecht festgelegten Sonderbauten, insbesondere für Verkaufsstätten, Versammlungsstätten, Gaststätten, Beherbergungsstätten, Hochhäusern, Mittel- und Großgaragen, wenn die Sicherheitsbeleuchtung bauordnungsrechtlich gefordert worden ist. Diese Forderung kann auch für andere Sonderbauten nach Bauordnung gestellt werden. In verschiedenen Bundesländern gehören auch Sicherheitsbeleuchtungsanlagen in Krankenhäusern und allgemeinbildenden und berufsbildenden Schulen dazu. In manchen Bundesländern gehören alle Sonderbauten dazu. Entscheidend ist in der Regel immer, was im Baubescheid für einen Sonderbau gefordert wird.

Nach der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) vom 12.8.2004 mit der letzten Änderung vom 31.08.2015, § 4 Abs. 3 hat der Arbeitgeber u. a. Sicherheitsbeleuchtungen und sog. Notaggregate (Stromquelle für Sicherheitszwecke) in regelmäßigen Abständen sachgerecht zu warten und auf ihre Funktionsfähigkeit prüfen zu lassen. In der alten ArbStättV war eine Prüffrist von wenigsten einem Jahr gefordert. In der neuen, zz. geltenden ArbStättV wird keine Prüffrist mehr angegeben. Nach der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A3.4/3 („Sicherheitsbeleuchtung, optische Sicherheitsleitsysteme"), Abschn. 6 hat der Arbeitgeber die Sicherheitsbeleuchtung und die Sicherheitsleitsysteme in regelmäßigen Abständen auf ihre Funktionsfähigkeit prüfen zu lassen. Auch hier werden keine konkreten Prüffristen angegeben und auf das Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung verwiesen, wobei Herstellerangaben zu berücksichtigen sind. Mängel sind umgehend sachgerecht zu beseitigen. Diese kann durch Gefährdungsbeurteilungen ermittelt werden oder man orientiert sich an den Prüffristen des Bauordnungsrechts.

Auch wenn Sicherheitsbeleuchtungsanlagen nicht dem Bauordnungsrecht unterliegen, sind *wiederkehrende Prüfungen* dieser Anlagen nach den einschlägigen Normen durchzuführen und zwar VDE 0108-100 und VDE V 0108-100. Prüfungen dürfen in der Regel nur zu Zeiten durchgeführt werden, wenn das Risiko möglichst niedrig ist, d. h. es z. B. keine Menschenansammlungen in dem betroffenen Gebäude gibt oder Zeiten mit geringer Belegung von Arbeitsstätten durch die Beschäftigten. Es muss auch der Zeitraum berücksichtigt werden bis Batterien wieder aufgeladen sind.

Wiederkehrende Prüfungen nach VDE 0108-100 bzw. VDE V 0108-100 beinhalten tägliche Sichtprüfungen sowie Erprobungen und Funktionsprüfungen, die je nach Art der Erprobung oder Prüfung wöchentlich, monatlich und jährlich durchzuführen sind. Abhängig von der Größe des Gebäudes, des Betriebs oder der Anlage, und von der Art der Stromversorgungssysteme (zentrale Versorgung oder Einzelbatteriesystem), der Stromquellen für Sicherheitszwecke und der Leuchten fällt der Umfang der Prüfungen und Erprobungen unterschiedlich aus. Bei Einzelbatterieanlagen entfallen gegebenenfalls Prüfungen und Erprobungen. Wird anstatt einer manuellen Prüfung eine automatische Prüfeinrichtung zur Überwachung der Sicherheitsbeleuchtungsanlagen genutzt, muss die Prüfeinrichtung VDE 0711-400 „Automatische Prüfsysteme für batteriebetriebene Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege" entsprechen. Die aus automatischen Prüfsystemen gewonnenen Prüfergebnisse sind monatlich in einem Prüfbuch aufzuzeichnen. Die Auslösung der jährlichen Prüfung (s. u.) darf nicht automatisch, sondern muss manuell erfolgen.

Die folgenden Prüfungen (Sichtprüfungen, Erprobungen, Messungen) sind mindestens nach VDE 0105-100 bzw. VDE V 0108-100 in den genannten Zeitabständen durchzuführen. Arbeitsrechtliche und bauaufsichtlichen Regelungen sind zu beachten. Die Ergebnisse aller Prüfungen sind mit Datum in einem Prüfbuch (s. u.) festzuhalten.

*Täglich* sind durch *Sichtprüfung* die Anzeigen der zentralen Stromversorgungsanlage auf korrekte Funktion zu kontrollieren. Damit wird festgestellt, ob das System betriebsbereit ist. Eine Funktionsprüfung ist nicht erforderlich. Durch Meldeeinrichtungen kann während der betriebserforderlichen Zeit an einer ständig überwachten zentralen Stelle der Anlagenzustand der zentralen Stromversorgungsanlage (Anlage betriebsbereit, Speisung aus der Stromquelle für Sicherheitszwecke/Batteriebetrieb, Anlage gestört) angezeigt werden. Dieses gilt nicht für Einzelbatterieanlagen.

Erprobungen und Funktionsprüfungen sind durchzuführen:

*wöchentlich*

- Funktion der Sicherheitsbeleuchtung; Zuschaltung der Stromquelle für Sicherheitszwecke (nur bei Batterien) erforderlich,
- Funktion der Leuchten für Sicherheitsbeleuchtung und Sicherheitszeichen;

*monatlich*

- Umschalten jeder Leuchte der Sicherheitsbeleuchtung auf Betrieb der Stromquelle für Sicherheitszwecke durch Simulation eines Ausfalls der Versorgung der allgemeinen Beleuchtung, solange jede Lampe leuchtet. Am Ende dieser Prüfdauer muss die allgemeine Beleuchtung wiederhergestellt und jede Meldelampe und jedes Meldegerät geprüft werden, um sicherzustellen, dass allgemeine Stromversorgung wiederhergestellt ist,

- zusätzlich bei Zentralbatterieanlagen: korrekter Betrieb der Überwachungseinrichtung,
- Generatorsätze nach DIN 6280-13;

*jährlich*

- alle monatlichen Prüfungen,
- Umschalten jeder Leuchte der Sicherheitsbeleuchtung und jedes hinterleuchtete Zeichen auf Betrieb der Stromquelle für Sicherheitszwecke durch Simulation eines Ausfalls der Versorgung der allgemeinen Beleuchtung über volle, notwendige Betriebsdauer,
- Wiederherstellung der allgemeinen Stromversorgung durch Wiederherstellung der allgemeinen Beleuchtung mit Überprüfung jeder Meldelampe und jedes Meldegeräts,
- Ladeeinrichtung auf richtige Funktion,
- Generatorsätze nach DIN 6280-13,
- Batterien nach VDE 0510-1 u. - 2;

*3-jährlich*

- Messen der Beleuchtungsstärke der Sicherheitsbeleuchtung nach DIN 5035-6.

### 12.3.4 Unterlagen für Sicherheitsbeleuchtungsanlagen

Für Sicherheitsbeleuchtungsanlagen müssen nach VDE 0100-510:2014-10, 514.5.1 Übersichtspläne erstellt werden, die der Reihe VDE 0040 (Regeln für die Erstellung von Dokumenten, Identifizierungssystemen, Klassifikation) entsprechen müssen. In den Plänen müssen insbesondere alle Leuchten und Hauptkomponenten dargestellt sein und entsprechend einem geänderten Anlagenzustand aktualisiert werden. Zusätzlich muss ein *Prüfbuch* für die Aufzeichnung der regelmäßigen Durchsichten, Prüfungen, Fehler und Änderungen angelegt und regelmäßig aktualisiert werden. Eintragungen können handschriftlich erfolgen oder als Ausdrucke einer automatischen Prüfeinrichtung hinterlegt werden (s. u.).

Das *Prüfbuch* muss von einer durch den Besitzer oder Eigentümer ernannten verantwortlichen Person bei der baulichen Anlage geführt werden und für entsprechend bevollmächtigte Personen (Vertreter von Baubehörden und Berufsgenossenschaften, Sachverständige nach Baurecht) zur Einsichtnahme verfügbar sein. Entsprechende Ausdrucke einer automatischen Prüfeinrichtung erfüllen auch die Anforderungen an ein Prüfbuch.

Das Prüfbuch muss mindestens folgende Informationen enthalten:

- Datum
  - der Inbetriebnahme und
  - jeder Erst- und wiederkehrenden Prüfung,
- kurzgefasste Einzelheiten mit Datum über
  - jede durchgeführte Wartung und Prüfung,
  - jeden Fehler und jede durchgeführte Abhilfemaßnahme,
  - jede Änderung an der Sicherheitsbeleuchtungsanlage.

Das Prüfbuch darf auch Einzelheiten über Ersatzbauteile von Leuchten, wie z. B. Lampenart, Batterie und Schutzeinrichtungen, und andere Sicherheitsaufzeichnungen, wie z. B. über Feueralarme, enthalten.

Berichte über die nach Bauordnungsrecht geforderten Prüfungen (s. o.) vor der ersten Inbetriebnahme und vor Wiederinbetriebnahme nach wesentlichen Änderungen muss der Bauherr oder der Betreiber der zuständigen Bauaufsichtsbehörde übersenden. Berichte über die wiederkehrenden Prüfungen müssen mindestens fünf Jahre aufbewahrt und der Bauaufsichtsbehörde auf Verlangen vorgelegt werden.

# 13 Vorbeugender Brandschutz

Der vorbeugende Brandschutz umfasst Maßnahmen zur Verhinderung eines Brandausbruchs und einer Brandausbreitung sowie zur Sicherung der Rettungswege.

Die elektrische Anlage ist für den vorbeugenden Brandschutz in jeder Hinsicht von grundlegender Bedeutung. Durch sie werden – neben der Brandstiftung – die meisten Brände verursacht (s. Abschn. 13.2). Im Brandfall trägt die elektrische Anlage wegen ihres weit verzweigten Leitungsnetzes vielfach zur Brandausbreitung bei (s. Abschn. 13.4). Um die Rettungswege im Brandfall sichern zu können, müssen sie, ebenso wie die für die Brandbekämpfung bedeutsamen Gebäudebereiche, von brennbaren Materialien, z. B. Leiterisolierungen, freigehalten werden (s. Abschn. 13.5). Die elektrische Versorgung notwendiger Sicherheitseinrichtungen, wie Feuerlöschanlagen, Feuerwehraufzüge, Rauchabzugseinrichtungen, Sicherheitsbeleuchtung, muss so aufgebaut werden, das sie im Brandfall über einen geforderten Zeitraum hinweg funktionstüchtig bleibt (s. Abschn. 12.2.3).

## 13.1 Brandgefahren

Die Forderung in VDE 0100-420, wonach elektrische Betriebsmittel keine Brandgefahr für benachbartes Material und die Umgebung darstellen dürfen, steht im Widerspruch zur Brandschadenstatistik, die die elektrische Anlage – neben der Brandstiftung – als die häufigste Brandursache ausweist. Isolationsfehler, mangelhafte Kontaktgabe, Überlast und unzureichende Wärmeabfuhr sind dabei i. Allg. die Zündquellen. Für die Entstehung eines Brands sind die auftretende Leistung und die Umgebung der Fehlerstelle aus brennbarem Material von Bedeutung. Eine *Fehlerleistung* > 60 W wird i. Allg. als gefährlich angesehen. Jedoch können auch kleinere Leistungen bei unzureichender Wärmeabfuhr zu Entzündungen führen; bereits eine Energie von 10 Ws kann für feste leicht entzündliche Stoffe ausreichen.

Die Fehlerleistung bei einem Isolationsfehler ist abhängig vom Quadrat des Fehlerstroms $I$ und vom Widerstand $R_F$ an der Fehlerstelle. Der Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) (s. Abschn. 5.4) und der Schutz bei Kurzschluss (s. Abschn. 8.5)

gehen von der Annahme aus, dass der Übergangswiderstand an der Fehlerquelle null ist. In der Praxis ist jedoch stets ein *Übergangswiderstand* vorhanden. Ist z. B. der Übergangswiderstand bei einem Isolationsfehler 200 Ω, so beträgt der Fehlerstrom etwa 1,15 A ($U_0$ = 230 V). Die Fehlerleistung ist dann $P_F = I^2 R_F$ = 264 W – ein Wert, der benachbartes brennbares Material entzünden könnte.

Bei einer mangelhaften Kontaktgabe, z. B. durch eine lose Klemmverbindung, kann ebenso eine gefährliche Fehlerleistung entstehen. So beträgt z. B. bei einem Kontaktwiderstand $R_K$ = 0,1 Ω und einem Betriebsstrom $I_B$ = 25 A die Fehlerleistung $I_B^2\ R_K$ = 62,5 W – ein durchaus gefährlicher Wert.

Überlast führt dagegen i. Allg. nicht zu Temperaturen, die Materialien entzünden. Jedoch können durch Überlast Temperaturen auftreten, die die Isoliereigenschaften von Isolierstoffen zerstören, was wiederum zu gefährlichen Isolationsfehlerströmen führen kann.

Eine häufige unmittelbare Brandursache bilden dagegen leistungsintensive Verbrauchsmittel, wie Leuchten und Wärmegeräte, die mit entzündlichen Stoffen abgedeckt oder in unzulässiger Nähe von entzündlichen Stoffen angebracht werden.

## 13.2 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen

Reihe DIN 4102

### 13.2.1 Baustoffe

Die Baustoffe werden entsprechend ihrem Brandverhalten in *Baustoffklassen* eingeteilt. Baustoffe der Klasse A sind nicht brennbare Baustoffe mit der Untergliederung A 1 und A 2. Baustoffe der Klasse B sind brennbare Baustoffe mit der Untergliederung B 1 für schwer entflammbare, B 2 für normal entflammbare und B 3 für leicht entflammbare Baustoffe. Die Kurzzeichen und Benennungen sind für den einzelnen Baustoff nur dann gültig, wenn das Brandverhalten auf der Grundlage von DIN 4102-1 ermittelt worden ist.

*Nicht brennbare Baustoffe* der Klasse A 1 und – wenn durch Prüfung bestätigt – A 2 sind z. B. Fibersilikate, Mineralfaser, Zement, Kalk, Gips, Mörtel, Beton, Steine, Sand, Lehm, Ziegel, Glas, Metalle in nicht fein zerteilter Form (ausgenommen Alkali- und Erdalkalimetalle). Zur Baustoffklasse A 2 gehören Gipskartonplatten nach DIN 18180 mit geschlossener Oberfläche.

*Schwer entflammbare Baustoffe* (Baustoffklasse B 1) sind z. B. PVC-Bodenbeläge, Eichenparkett nach DIN 13226, Gipskartonplatten mit gelochter Oberfläche nach DIN 18180, Holzwolle-Leichtbauplatten nach DIN 1101, Rohre aus Hart-PVC, mindestens 3,2 mm dicke Wand, oder Polypropylen (PP) nach DIN CEN/TS 1451-2.

*Normal entflammbare Baustoffe* (Baustoffklasse B 2) sind z. B. PVC-Bodenbeläge in verklebtem Zustand, Linoleumbeläge, Holz, Gipskarton-Verbundplatten nach DIN 18184 und Kunststoffe. Elektrische Leitungen gehören nach DIN 4102-1 ebenfalls zu den normal entflammbaren Baustoffen.

*Leicht entflammbare Baustoffe* (Baustoffklasse B 3) sind brennbare Baustoffe, die weder in die Klasse B 1 noch in die Klasse B 2 einzuordnen sind. Sie dürfen nach den Landesbauverordnungen nicht für Bauteile verwendet werden.

## 13.2.2 Bauteile

Als Bauteile gelten Wände, Decken, Stützen, Unterzüge, Treppen usw. Das Brandverhalten von Bauteilen wird durch die *Feuerwiderstandsdauer* gekennzeichnet. Die Bauteile werden entsprechend ihrer Feuerwiderstandsdauer in *Feuerwiderstandsklassen* eingestuft, die mit F abgekürzt werden. Die Kennzeichnung geschieht nach der Zeitdauer in Minuten, während der das Bauteil dem Feuer widersteht, z. B. F 30 (Feuerwiderstandsdauer mindestens 30 min). Hinzugefügt wird das Brandverhalten der Baustoffe nach Abschnitt 13.1.1, aus denen das Bauteil besteht, z. B. F 30-A, F 60-AB, F 90-A, F 180-A. Baustoffe und Bauteile sind nach ihrem Brandverhalten in DIN 4102-2 bis -4 aufgeführt. Sind sie dort nicht genannt, so ist ein Prüfzeugnis über Brandversuche nach den Teilen der DIN 4102 beizufügen.

Die Bundesländer verwenden in ihren Bauordnungen z. T. auch folgende nicht genormte Begriffe,

- *feuerhemmend:* F 30,
- feuerhemmend und aus nichtbrennbaren Baustoffen: F 30-A,
- *hochfeuerhemmend:* F 60-AB *oder* F 60-A,
- *feuerbeständig:* F 90-AB,
- feuerbeständig und aus nichtbrennbaren Baustoffen: F 90-A.

Die dann gültige Zuordnung zu DIN 4102 ist den Einführungserlassen der Bundesländer zu entnehmen.

Für die unterschiedlichen Bauteile werden außer der allgemein gültigen Abkürzung F für die Feuerwiderstandsklasse weitere Buchstaben verwendet. So steht z. B.

I für Installationsschächte, -kanäle einschl. ihrer Revisionsöffnungen (z. B. I 30 mit Feuerwiderstandsdauer ≥ 30 min oder I 180 mit Feuerwiderstandsdauer ≥ 180 min),

S für Kabelabschottungen (z. B. S 30),

T für Feuerschutzabschlüsse (selbstschließende Türen, Klappen, Rollläden, Tore) (z. B. T 30),

W für Brandwände, nicht tragende Außenwände (z. B. W 90).

Weitere Abkürzungen für Feuerwiderstandsklassen sind

G für gegen Feuer widerstandsfähige Verglasungen,

L für Lüftungsleitungen,

K für Brandschutzklappen,

R für Rohrleitungen und Rohrummantelungen.

Die mit den verschiedenen Buchstaben bezeichnete Feuerwiderstandsklasse darf nicht mit der *Funktionserhaltsklasse* nach DIN 4102-12 verwechselt werden, die mit E abgekürzt wird. Die Funktionserhaltsklasse bezeichnet den Funktionserhalt von elektrischen Kabel- und Leitungsanlagen bis 1 000 V mit einem Funktionserhalt von ≥ 30 min (E 30), ≥ 60 min (E 60) und ≥ 90 min (E 90) (s. Abschn. 12.2.3). Unter Kabel- und Leitungsanlage sind hier nicht nur die Starkstromkabel und -leitungen, sondern auch die zugehörigen Kanäle, Beschichtungen und Bekleidungen, Verbindungselemente, Tragevorrichtungen und Halterungen zu verstehen. Weiter ist zu beachten, dass sich der Funktionserhalt in diesem Zusammenhang nur auf den Funktionserhalt der Kabel- und Leitungsanlage in Hinblick auf die Brandeinwirkung bezieht und weder einen Spannungsfall noch eine reduzierte Strombelastbarkeit durch temperaturbedingte Widerstandserhöhung der Leiter abdeckt. Diese muss im gegebenen Fall besonders betrachtet werden. Die Hersteller von Kabeln und Leitungen sowie von Trageeinrichtungen und Befestigungselementen mit Funktionserhalt geben in Listen oder Katalogen entsprechende Hinweise.

Der Funktionserhalt darf auch nicht mit dem *Isolationserhalt* nach VDE 0472-814 verwechselt werden, der zum Verwechseln ähnlich mit FE bezeichnet wird und nur die Isolierung des Kabels oder der Leitung und nicht die gesamte Kabelanlage betrifft.

## 13.3 Schutz gegen Brände

VDE 0100-420, -530, VdS 2046

Der beste Schutz besteht in der richtigen Auswahl, der ordnungsgemäßen Installation und dem vorschriftsmäßigen Betreiben der elektrischen Anlagen. Die meisten Brandgefahren lassen sich dadurch ausschließen. Die Maßnahmen sind je nach Risikobewertung auch in anderen Betriebsbereichen notwendig und dürfen natürlich

und sollten sogar auch in anderen Bereichen der elektrischen Anlage angewendet werden. Maßnahmen für einen vorbeugenden Brandschutz und zur Begrenzung der Auswirkungen im Falle eines Brands können sein der Einsatz von

- Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs),
- Differenzstromüberwachungsgeräten (Kunstwort: RCMs),
- Brandmeldeanlagen,
- Feuerlöschanlagen sowie
- das Verwenden von Kabeln und Leitungen mit dem sog. besonderen Verhalten im Brandfall und
- die Auswahl von Betriebsmitteln wie Leuchten und Klemmkästen mit besonderen thermischen und konstruktiven Eigenschaften.

Als Schutz- und Überwachungseinrichtungen zum Brandschutz und zum Schutz gegen thermische Einflüsse, die nicht direkt zum Brand führen, müssen oder können eingesetzt werden:

- Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) (Brandschutz),
- Differenzstromüberwachungsgeräte (RCMs) (Brandschutz),
- Schutztemperaturbegrenzer (Temperaturbegrenzung),
- Motorschutzeinrichtungen (Temperaturbegrenzung),
- thermisch wirkende Motorschutzeinrichtungen (Temperaturbegrenzung),
- Einrichtungen zur Isolationsüberwachung (IMDs),
- Einrichtungen zum Schutz des Neutralleiters in Drehstromsystemen gegen Überlastung durch Oberschwingungen,
- Störlichtbogenschutzeinrichtungen,
- Einrichtungen zur Lichtbogenerkennung und -abschaltung (AFDD).

Am 01.02.2013 ist der Teil 420 der VDE-Bestimmung 0100 mit dem etwas geänderten Untertitel *Schutz gegen thermische Auswirkungen* neu erschienen. Er ist eine Zusammenfassung des alten Teils 420 vom Nov. 1991 mit dem Untertitel *Schutz gegen thermische Einflüsse* und des Teils 482 der VDE 0100 vom Juni 2003 mit dem Untertitel *Brandschutz bei besonderen Risiken oder Gefahren*. Der Schutz gegen Brände als Folge gefährlicher Isolationsfehler wird in VDE 0100-420; Abschn. 422.3, für – wie der Abschnittstitel lautet – *Räume oder Orte mit besonderem Brandrisiko – Feuergefährdete Betriebsstätten* sowie in VDE 0100-420, Abschnitt 422.4, für *Räume oder Orte mit brennbaren Baustoffen* geregelt (s. Abschn. 14.7 u. 14.21).

Als Schutz zum Verhüten von Bränden durch Entzünden an Stellen mit Isolationsfehlern sind *Fehlerstromschutzeinrichtungen* (*RCDs*) mit einem Bemessungsdifferenzstrom ≤ 300 mA vorgeschrieben, und zwar solche für den sog. gehobenen vorbeugenden Brandschutz (s. Abschn. 14.7). Für alle sonstigen Anlagen und Gebäude wird in den VDE-Bestimmungen nur der Schutz von Kabeln und Leitungen bei Überstrom (s. Abschn. 8.4 u. 8.5) gefordert. Ein Schutz gegen Brände wird damit nur bedingt erreicht. Zum Verhüten von Bränden durch Entzünden an Stellen mit Isolationsfehlern sollten deshalb, wo immer möglich, den Kabeln und Leitungen Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom ≤ 300 mA vorgeschaltet werden. In Fällen, in denen der Fehlerstelle Impedanzen von Verbrauchsmitteln, z. B. Deckenheizungen mit Flächenheizelementen, vorgeschaltet sind, muss der Bemessungsdifferenzstrom der Schutzeinrichtung ≤ 30 mA sein. Alternativ zu einer Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) lassen sich *Differenzstromüberwachungsgeräte* (Kunstwort: RCMs) nach VDE 0663 oder auch *Isolationsüberwachungsgeräte* (Kunstwort: IMDs) nach VDE 0413-8 verwenden. Diese Einrichtungen haben die Aufgabe, eine elektrische Installation oder einen Stromkreis auf das Auftreten eines Differenz- oder Fehlerstroms zu überwachen und durch einen Alarm anzuzeigen, wenn ein bestimmter Wert überschritten wird. Die Überwachungseinrichtung sollte grundsätzlich bereits bei Werten ≤ 30 mA ansprechen. Nach Meldung muss der Fehler unverzüglich beseitigt werden.

Betriebsmittel müssen so angeordnet und angebracht werden, dass weder die im Betrieb noch die im Überlastungsfall auftretenden Temperaturen eine Brandgefahr darstellen. Können fest eingebaute Betriebsmittel *gefährliche Oberflächentemperaturen* erreichen, so müssen sie durch Werk- oder Baustoffe niedriger Wärmeleitfähigkeit von brennbaren Teilen der Gebäudekonstruktion abgeschirmt werden. Im Allgemeinen sind Oberflächentemperaturen ≥ 200 °C als gefährlich anzusehen. Erst bei diesen Temperaturen können normal entflammbare Baustoffe (s. Abschn. 13.1) entzündet werden. Besteht die Gefahr, dass sich leicht entflammbare Baustoffe oder brennbare Stäube und Fasern dem elektrischen Betriebsmittel nähern, so können bereits Oberflächentemperaturen > 115 °C gefährlich werden. Deshalb müssen nach VDE 0100-420 Maßnahmen ergriffen werden, damit das Gehäuse eines elektrischen Betriebsmittels eine Temperatur von 90 °C unter normalen Bedingungen und 115 °C unter Fehlerbedingungen nicht überschreitet. Zur Abschirmung der heißen Teile von der brennbaren Umgebung eignen sich z. B. Fibersilikatplatten. Auf eine sichere Ableitung der Wärme ist zu achten; nötigenfalls sind die Betriebsmittel zusätzlich zu belüften.

Ist mit dem Auftreten von *Lichtbögen* (genauer: *Störlichtbögen* oder auch *Fehlerlichtbogen*) oder *Funken* zu rechnen, z. B. in offenen Schaltanlagen, dann ist das Betriebsmittel von brennbaren Bauteilen durch lichtbogenbeständige Werk- oder

Baustoffe, z. B. durch eine 20 mm dicke Fibersilikatplatte, abzuschirmen. Eine Unterlage aus Blech reicht nicht aus.

Betriebsmittel, die zur Befestigungsfläche hin offen sind, dürfen grundsätzlich nicht unmittelbar auf normal entflammbaren Baustoffen bzw. Bauteilen angebracht werden. Zur Befestigungsfläche hin offene Betriebsmittel für Bemessungsströme bis 63 A, wie Steckdosen, Abzweigdosen, müssen hier mit einer Unterlage, z. B. aus 1,5 mm dickem schwer entflammbarem Isolierstoff, hinterlegt werden. Geeignet sind Werkstoffe nach VDE 0318-1, z. B. Hartpapier auf Phenolharzbasis PFCP 204, Hartpapier EPCP 201 und Hartglasgewebe EPGC 202 auf Epoxidharzbasis sowie Glashartmatte auf Polyesterbasis UPGM 201. Neben den genannten Festlegungen müssen die Montageanweisungen des Herstellers beachtet werden. Für die Montage von Leuchten und Elektrowärmegeräten sind die Festlegungen in den Abschnitten 11.3 und 11.4 zu beachten.

Für besondere Fälle können auch spezielle Schutzeinrichtungen eingesetzt werden, die bei Eintritt eines Fehlerlichtbogens wirksam werden. Ein *Fehlerlichtbogen* (bisher auch *Störlichtbogen* genannt) ist ein gefährlicher unbeabsichtigter paralleler oder serieller Lichtbogen zwischen Leitern. Ein *paralleler* Fehlerlichtbogen ist nach der VDE-Produktbestimmung 0665-10:2014-08 ein Fehlerlichtbogen, bei dem der Lichtbogenstrom zwischen aktiven Leitern parallel zur Last des Stromkreises fließt, und ein *serieller* Fehlerlichtbogen ein Fehlerlichtbogen, bei dem der Strom durch die Last oder Lasten eines Verbraucherstromkreises fließt. Bei Eintritt eines Fehlerlichtbogens leitet die Schutzeinrichtung innerhalb kürzester Zeit die Löschung des Fehlerlichtbogens ein und trennt gleichzeitig die Fehlerstelle vom Netz. Diese Fehlerlichtbogenschutzeinrichtung nach VDE 0665-10 (nach VDE 0100-530:2011-06 eben auch *Störlichtbogenschutzeinrichtung* genannt) wird auch mit der englischen Abkürzung *AFDD* (**a**rc **f**ault detection **d**evice) bezeichnet. Fehlerlichtbogenschutzeinrichtungen (AFDDs) sollten in elektrischen Anlagen eingesetzt werden, wenn mit Fehlerlichtbögen zu rechnen ist und besondere Anforderungen an den Brandschutz bestehen, aber auch aus Gründen der Verfügbarkeit von elektrischen Anlagen. In einer Erweiterung (zz. Entwurf) von VDE 0100-420 ist vorgesehen, Maßnahmen zum Schutz gegen die Auswirkungen von Fehlerlichtbögen in Endstromkreisen aufzunehmen, wonach Fehlerlichtbogenschutzeinrichtungen (AFDDs) nach VDE 0665-10 in einphasigen Wechselspannungssystemen mit einem Betriebsstrom $\leq 16$ A für bestimmte Bereiche vorzusehen sind.

Zur Montage von elektrischen Betriebsmitteln in brennbaren Hohlwänden siehe Abschnitt 14.21.

## 13.4 Führung von elektrischen Leitungen durch Wände und Decken

MBO, MLAR

Nach § 40 der neuen *Musterbauordnung* (MBO) von 2002 (zuletzt geändert 21.09.2012) dürfen Leitungen (gemeint sind auch Kabel) sowie Installationsschächte und -kanäle durch raumabschließende Bauteile (Brandwände, Treppenraumwände, Trennwände, Decken), für die eine bestimmte Feuerwiderstandsfähigkeit (frühere Bezeichnung: Feuerwiderstandsdauer) vorgeschrieben ist, nur dann hindurchgeführt werden, wenn entweder eine Brandausbreitung ausreichend lange nicht zu befürchten ist oder wenn Vorkehrungen hiergegen getroffen sind. Dies gilt nicht für Decken

- in Gebäuden mit einer Höhe bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungsebenen von insgesamt mehr als 400 $m^2$,
- in frei stehenden land- oder forstwirtschaftlich genutzten Gebäuden,
- innerhalb von Wohnungen und
- innerhalb derselben Nutzungseinheit mit nicht mehr als 400 $m^2$ in nicht mehr als zwei Geschossen.

Installationsschächte und -kanäle müssen aus nicht brennbaren Baustoffen bestehen. Wenn kein Beitrag der Schächte und Kanäle zur Brandentstehung und Brandausweitung – wie es in der MBO heißt – zu befürchten ist, sind auch brennbare Baustoffe zulässig.

Werden mehrere Leitungen gebündelt durch eine Wand oder Decke geführt, so ist i. Allg. ein vollständiges Verschließen durch Baustoffe wie Mörtel, Beton oder Mineralfasern nicht mehr möglich, da sich infolge der Leitungsbündelung sog. Zwickel zwischen den Leitungen bilden, die durch die genannten Stoffe nicht ordnungsgemäß ausgefüllt werden. Deshalb müssen Leitungen

- durch *Abschottungen* geführt werden (**Bild 13.1**), die mindestens die gleiche Feuerwiderstandsfähigkeit (frühere Bezeichnung: Feuerwiderstandsdauer) aufweisen wie die raumabschließenden Bauteile, oder
- innerhalb von *Installationsschächten* oder *-kanälen* geführt werden, die – einschließlich der Abschlüsse von Öffnungen – mindestens die gleiche Feuerwiderstandsfähigkeit (frühere Bezeichnung: Feuerwiderstandsdauer) aufweisen wie die durchdrungenen raumabschließenden Bauteile und aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen.

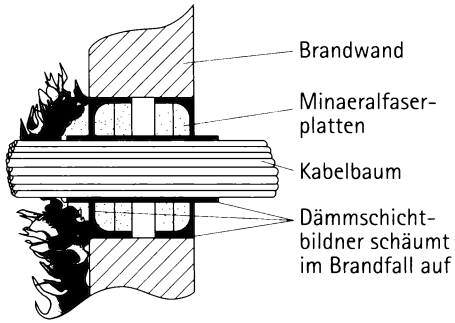



***Bild 13.1:*** *Abschottung von Kabeldurchführungen*

Für die Leitungsdurchführung von so genannten Flurtrennwänden (feuerhemmende Wände – ausgenommen solche notwendiger Treppenräume und Räume zwischen notwendigen Treppenräumen und Ausgängen ins Freie) darf für elektrische Leitungen und Kabel auf Abschottung mit bauaufsichtlichen Verwendungsnachweis verzichtet werden, wenn der Raum zwischen den Leitungen und dem umgebenden Bauteil aus nichtbrennbaren Baustoffen mit nichtbrennbaren Baustoffen oder mit im Brandfall aufschäumenden Baustoffen vollständig ausgefüllt wird. Bei Verwendung von Mineralfasern müssen diese eine Schmelztemperatur von mindestens 1 000 °C aufweisen. Bei Verwendung von aufschäumenden Dämmschichtbildnern und von Mineralfasern darf der Abstand zwischen der Leitung und dem umgebenden Bauteil nicht mehr als 50 mm betragen.

Für die Abschlüsse von Öffnungen gelten dieselben Anforderungen.

Die Brauchbarkeit der Abschottung muss durch einen bauaufsichtlichen Verwendungsnachweis belegt sein. Die *Prüfungen von Kabelschotts* werden nach den „Prüfrichtlinien für Abschottungen von Kabeldurchführungen" von den Materialprüfungsämtern durchgeführt. Die dabei zugelassenen Kabelschotts erhalten ein Prüfzeichen. Der Errichter der elektrischen Anlagen muss das von ihm angebrachte Kabelschott kennzeichnen. Ganz allgemein werden an die Abschottungssysteme für Leitungen und Kabel folgende Anforderungen gestellt:

1. Die Durchbrüche müssen so abgeschottet sein, dass unabhängig vom Grad der Belegung mit Kabeln und unabhängig davon, von welcher Seite das Feuer einwirkt, eine Brandübertragung in andere Brandabschnitte oder Geschosse verhindert wird. Das bedeutet, dass bei den Brandversuchen nach DIN 4102-2
   - der Raumabschluss gewahrt bleibt,

- auf der dem Feuer abgekehrten Seite an keiner Stelle der Abschottung, der Halterung, des Kabelmantels und ggf. der Kabelpritsche eine Temperaturerhöhung > 180 K – im Mittel aller Messwerte > 140 K – auftritt;
- zu Beanstandungen wegen Brandnebenerscheinungen (Rauchdurchlässigkeit, Rauchentwicklung, Entwicklung toxischer Gase usw.) kein Anlass besteht.

2. Eine spätere Nach- oder Neubelegung (Reserveschott) muss möglich sein. Die dazu erforderlichen Maßnahmen dürfen die Schutzwirkung der Abschottung nicht mindern.
3. Die Kabeltragekonstruktion ist so auszubilden, dass eine zusätzliche mechanische Beanspruchung der Abschottung, z. B. durch Verwerfen von Kabelpritschen infolge von Wärmespannungen, nicht auftreten kann (z. B. Kabelpritschen nicht durch das Schott hindurchführen!).
4. Bei Deckenschotts muss das anteilige Gewicht der Kabel oberhalb und unterhalb der Decken so aufgenommen werden, dass die Wirksamkeit dieser Halterung mindestens während der für das Schott ermittelten Feuerwiderstandsdauer nach DIN 4102 gewährleistet ist, d. h., wenn die Kabel oberhalb des Schotts verbrannt sind, muss sichergestellt sein, dass sich die unterhalb des Schotts befindlichen Kabel durch ihr Gewicht nicht aus dem Schott lösen und somit das Schott aufreißen.
5. Beim Einbau sind die im Prüfungsbericht des Kabelschotts enthaltenen Bedingungen über
   - Bauart und Mindestdicke der Wand bzw. Decke, mit der das Brandverhalten der Kabelabschottung festgestellt wurde,
   - Bauart, Mindestdicke und maximale Belegungsdichte der Abschottung,
   - mechanisches Verhalten, Brandnebenerscheinungen der Abschottung,
   - Art und Querschnitt der Kabel, für die die Schutzwirkung der Abschottung nachgewiesen wurde,
   - Konstruktion der Kabelunterstützung,
   - ggf. Art und Verwendung von Brandschutzbeschichtungen,

   zu beachten.

**Einzelleitungen**

Abweichend von der grundsätzlichen Forderung nach Verlegen von Kabeln und Leitungen durch Abschottungen und innerhalb der beschrieben Installationsschächte und -kanäle dürfen einzelne

- elektrische Leitungen,
- Rohrleitungen mit einem Außendurchmesser bis 160 mm aus nichtbrennbaren Baustoffen (z. B. Elektroinstallationsrohre aus Stahl, aber keine Rohre aus Aluminium; Rohre mit Beschichtung aus brennbaren Baustoffen bis zu 2 mm Dicke sind zulässig),
- Installationsrohre für elektrische Leitungen mit einem Außendurchmesser bis 32 mm aus brennbaren Baustoffen oder Aluminium

außerhalb von feuerbeständigen Installationsschächten bzw. -kanälen durch Wände und Decken geführt werden, wenn die Wand oder Decke eine Dicke von mindestens 80 mm (feuerbeständig), 70 mm (hochfeuerhemmend) oder 60 mm (feuerhemmend) hat und der Raum zwischen den Leitungen und den umgebenden Bauteilen mit Zementmörtel oder Beton vollständig verschlossen wird. Der Verschluss muss einen sicheren Rauch- und Feuerabschluss gewährleisten und deshalb über die gesamte Wand- bzw. Deckendicke erfolgen. Dabei müssen bestimmte Abstände eingehalten werden.

Der lichte Abstand

- von Einzelleitungen untereinander muss mindestens gleich dem 1-fachen des größeren Leitungsdurchmessers,
- nicht brennbarer Rohre untereinander muss mindestens gleich dem 1-fachen des größeren Leitungsdurchmessers,
- brennbarer Rohre oder von Rohren aus Aluminium untereinander muss mindestens gleich dem 5-fachen des größeren Leitungsdurchmessers,
- zwischen einem brennbaren Rohr/einem Alu-Rohr und einer Einzelleitung muss mindestens gleich dem größeren Abstandsmaß der beiden Leitungsarten,
- zwischen einem brennbaren Rohr/einem Alu-Rohr und einem nicht brennbaren Rohr muss mindestens gleich dem größeren Abstandsmaß der beiden Leitungsarten

sein.

Wenn Einzelleitungen durch jeweils eigene Öffnungen geführt werden, genügt, abweichend von dem vorher Gesagten, statt des Ausfüllens mit Zement oder Beton ein vollständiges Verschließen mit Baustoffen aus Mineralfasern oder mit im Brandfall aufschäumenden Baustoffen. Mineralfasern müssen eine Schmelztemperatur von mindestens 1 000 °C aufweisen. Der lichte Abstand zwischen der Leitung und dem umgebenden Bauteil darf im Fall des Einsatzes von Mineralfasern höchsten 50 mm und von im Brandfall aufschäumenden Baustoffen höchstens 15 mm betragen.

## 13.5 Leitungsanlagen in notwendigen Treppenräumen und Fluren

Nach § 40 *Musterbauordnung* von 2002 (zuletzt geändert 21.09.2012) sind Leitungsanlagen in notwendigen Treppenräumen, in notwendigen Fluren (Begriffserläuterungen weiter unten) und in Räumen zwischen notwendigen Treppenräumen und dem Ausgang ins Freie (s. auch § 35, Abs. 3, Satz 3 MBO) nur zulässig, wenn eine Nutzung als Rettungsweg im Brandfall ausreichend lange möglich ist. Das bedeutet, dass Rettungswege frei von Brandlast zu halten sind. Das Verlegen von Kabeln und Leitungen mit brennbarer Isolierung ist in Rettungswegen so weit wie möglich zu vermeiden und deshalb auch in der *Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie* (MLAR), s. Abschn. 12.1.3, geregelt. Die MLAR (Fassung vom November 2005), die in Gebäuden aller Art gilt, muss in den einzelnen Bundesländern baurechtlich eingeführt werden, was in den meisten Fällen auch geschehen ist oder geschehen wird, z. B. in der Liste der als Technische Baubestimmungen eingeführte Regeln. Architekten und Fachplaner sollten im Zweifelsfall die Anwendung der Richtlinie mit den jeweiligen Baubehörden abstimmen.

Unter *Leitungsanlagen* werden nicht nur die eigentlichen Leitungen – im Fall einer Elektroinstallation die elektrischen Leitungen und Kabel – verstanden, sondern auch elektrische Betriebsmittel, wie Hausanschlusseinrichtungen, Messeinrichtungen, Steuer- und Regeleinrichtungen, Sicherheitseinrichtungen, Netzgeräte und elektrische Verteiler. Bei anderen Leitungsanlagen gehören Dämmstoffe und Armaturen dazu. Auch die Befestigungselemente und Beschichtungen gehören zu den Leitungsanlagen. Lichtwellenleiter gelten als elektrische Leitungen.

Unter *Rettungswegen* sind hier im Sinne der MLAR *notwendige Treppenräume*, Räume zwischen notwendigen Treppenräume und *Ausgänge* ins Freie und *notwendige Flure* zu verstehen. Notwendige Treppenräume und notwendige Flure wurden früher als „allgemein zugängliche" Treppenräume bzw. als „allgemein zugängliche" Flure bezeichnet.

Die Isolierung der meistverwendeten Leitungen (z. B. NYM) besteht aus normal entflammbarem Weich-PVC. Beim Verbrennen von Weich-PVC entsteht *Chlorwasserstoffgas*, das sich in Wasser (z. B. Löschwasser) zu konzentrierter rauchender Salzsäure lösen kann. Diese Salzsäure kann schwere Organschäden beim Menschen und hohe Sachschäden durch Korrosion hervorrufen. Als Ersatz können elektrische Leitungen und Kabel mit *verbessertem Brandverhalten* (s. Tabellen 14.2 u. 14.3) dienen. Allerdings werden in der MLAR weder herkömmliche PVC-Leitungen und -Kabel verboten noch solche mit halogenfreier Isolierung verlangt. Ein Grund dafür könnte sein, dass es in Gebäuden und Anlagen außer PVC-haltigen Kabeln

und Leitungen auch andere halogenhaltige Baustoffe und Einrichtungen gibt, die im Brandfall vergleichbare Folgen haben können, sodass ein einseitiges Verbot von Kabeln und Leitungen mit halogenhaltiger Isolierung nicht zu rechtfertigen ist. Im Einzelfall müssen Bauherr, Architekt, Fachplaner und nicht zuletzt Versicherer darüber entscheiden.

In Wände und Decken sowie in Bauteile von Installationsschächten und -kanälen dürfen Leitungsanlagen nur so weit eingreifen, dass die verbleibenden Querschnitte die erforderliche Feuerwiderstandsdauer behalten (s. Abschn. 13.2). In Sicherheitstreppenräumen und ihren Ausgängen ins Freie sowie den Räumen dazwischen sind nur Leitungsanlagen zulässig, die ausschließlich der unmittelbaren Versorgung dieser Räume oder der Brandbekämpfung (z. B. Beleuchtung, Brandmeldeanlagen) dienen. Ein *Sicherheitstreppenraum* ist ein sicher erreichbarer Treppenraum, in den Feuer und Rauch nicht eindringen können. Sicherheitstreppenräume werden gegebenenfalls im Baubescheid oder Brandschutzgutachten als solche ausgewiesen.

*Messeinrichtungen* und *Verteiler* sind gegenüber

- notwendigen Treppenräumen und Räumen zwischen notwendigen Treppenräumen und Ausgängen ins Freie durch mindestens feuerhemmende Bauteile aus nichtbrennbaren Baustoffen abzutrennen; Öffnungen in diesen Bauteilen sind durch mindestens feuerhemmende Abschlüsse mit umlaufender Dichtung zu verschließen;
- notwendigen Fluren durch Bauteile aus nichtbrennbaren Baustoffen mit geschlossenen Oberflächen abzutrennen; Öffnungen in diesen Bauteilen sind mit Abschlüssen aus nichtbrennbaren Baustoffen mit geschlossenen Oberflächen zu verschließen.

Nach der Richtlinie müssen brennbare – also kunststoff- oder gummiisolierte – elektrische Leitungen und Kabel in notwendigen Treppenräumen und den Räumen dazwischen und den Ausgängen ins Freie und in notwendigen Fluren

- einzeln voll eingeputzt oder
- in Schlitzen von massiven Wänden, die mit mindestens 15 mm dickem mineralischem Putz auf nicht brennbarem Putzträger oder mit mindestens 15 mm dicken Platten aus mineralischen Baustoffen verschlossen werden, oder
- innerhalb von mindestens feuerhemmenden Wänden in Leichtbauweise, jedoch nur Leitungen, die ausschließlich der Versorgung der in und an der Wand befindlichen elektrischen Betriebsmitteln dienen, oder
- in Installationsschächten bzw. -kanälen oder
- über Unterdecken oder

- Unterflurkanälen oder
- Systemböden

verlegt werden. Die jeweiligen Anforderungen der MLAR, Abschnitt 3.5, sind hierbei zu beachten.

### Offene Verlegung

Leitungen dürfen offen verlegt werden, wenn sie ausschließlich der Versorgung der o. g. Räume, Flure und Gänge dienen. Nichtbrennbare Leitungen (mineralisolierte Leitungen nach VDE 0284-1) dürfen ebenfalls offen verlegt werden. In notwendigen Fluren von Gebäuden der Gebäudeklasse[1] 1 bis 3, deren Nutzungseinheiten eine Fläche von jeweils 200 $m^2$ nicht überschreiten und die keine Sonderbauten sind, dürfen auch Leitungen und Kabel mit verbessertem Brandverhalten offen verlegt werden. Für Leitungen und Kabel mit verbessertem Verhalten im Brandfall ist ein bauaufsichtlicher Verwendungsnachweis erforderlich. Außerdem dürfen in notwendigen Fluren einzelne kurze Stichleitungen offen verlegt werden.

*Leitungen und Kabel mit verbessertem Verhalten* im Brandfall im Sinne der MLAR sind solche, die die Prüfanforderungen nach DIN 4102-1:1998-05 in Verbindung mit DIN 4102-16:2015-09, Baustoffklasse B 1 (schwer entflammbar) – auch in Verbindung mit einer Beschichtung – erfüllen sowie eine nur geringe Rauchentwicklung aufweisen. Sie sind für den Brandfall hinsichtlich der Brandfortleitungsgeschwindigkeit längs einer Leitungstrasse und der beim Verbrennen der Kunststoffe der Leitungen entstehenden Rauchmenge wesentlich günstiger einzustufen als Kabel und Leitungen anderer Bauarten, weshalb sie für das offene Verlegen zugelassen werden. In diesem Zusammenhang wird die Halogenfreiheit der Isoliermaterialien der Kabel und Leitungen nicht gefordert. Werden für das offene Verlegen Elektroinstallationskanäle oder -rohre nach Reihe VDE 0604 bzw. Reihe VDE 0605 verwendet, so müssen diese aus nicht brennbaren Baustoffen bestehen.

### Installationsschächte, Installationskanäle, Unterdecken

Installationsschächte und -kanäle und Unterdecken müssen – einschl. der Abschlüsse von Öffnungen – aus nicht brennbaren Baustoffen bestehen und eine Feuerwiderstandsfähigkeit (frühere Bezeichnung: Feuerwiderstandsdauer) haben,

1 Gebäudeklasse 1: freist. Gebäude Höhe ≤ 7 m und ≤ 2 Nutzungseinheiten insgesamt ≤ 400 $m^2$,
Gebäudeklasse 2: Gebäude Höhe ≤ 7 m und ≤ 2 Nutzungseinheiten insgesamt ≤ 400 $m^2$,
Gebäudeklasse 3: sonstige Gebäude Höhe ≤ 7 m,
Gebäudeklasse 4: Gebäude Höhe ≤ 13 m und Nutzungseinheiten mit jeweils ≤ 400 $m^2$,
Gebäudeklasse 5: sonstige Gebäude einschließl. unterirdischer Gebäude.

die der höchsten notwendigen Feuerwiderstandsfähigkeit der von ihnen durchdrungenen raumabschließenden Bauteile entspricht. Die Abschlüsse müssen mit einer umlaufenden Dichtung dicht schließen. Die Befestigung der Installationsschächte und -kanäle ist mit nichtbrennbaren Befestigungsmitteln auszuführen.

In notwendigen Fluren genügen

- Installationsschächte, die keine Geschossdecken überbrücken und
- Installationskanäle

in mindestens feuerhemmender Ausführung (F 30-A). Die Bauteile müssen aus nicht brennbaren Baustoffen bestehen. Diese Anforderungen gelten auch für die Abschlüsse von Öffnungen.

Unterdecken müssen einschließlich der Abschlüsse von Öffnungen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen und bei einer Brandbeanspruchung sowohl von oben als auch von unten (äußerer und innerer Brand) in notwendigen Fluren mindestens feuerhemmend sein. In notwendigen Treppenräumen und in Räumen zwischen notwendigen Treppenräumen und Ausgängen ins Freie müssen Unterdecken mindestens der notwendigen Feuerwiderstandsfähigkeit (frühere Bezeichnung: Feuerwiderstandsdauer) der Decken entsprechen. Für Befestigungen der im Bereich zwischen Geschossdecken und Unterdecken verlegten Kabel und Leitungen müssen besondere brandschutztechnische Anforderungen erfüllt werden, damit sich im Brandfall – sowohl beim äußeren als auch beim inneren Brand – die Leitungen mit ihren Befestigungen nicht innerhalb der Mindestfeuerwiderstandsdauer vorzeitig lösen und die Unterdecken beschädigen oder zerstören.

Die in den früher gültigen Leitungsrichtlinien (Fassung 1998) zugelassene Erleichterung für die Ausführung von Unterdecken und Installationskanälen, die nur aus nicht brennbaren Baustoffen zu sein brauchten, wenn die *Gesamtbrandlast* aller Leitungen – nicht nur der elektrischen Leitungen – ≤ 7 kWh je $m^2$ Flurgrundfläche bzw. bei Verwenden ausschließlich halogenfreier Leitungen mit verbessertem Verhalten ≤ 14 kWh je $m^2$ Flurgrundfläche betragen hatte, kann gegebenenfalls nur noch unter dem Aspekt des Bestandsschutzes angewendet werden. Dies bedeutet zwar eine Verschärfung der Anforderungen in diesem Punkt, die aber voll zu rechtfertigen ist, u. a. deswegen, weil nach Bauabschluss und bei späterem Nachrüsten von Leitungen keine Gewähr mehr für das Einhalten der Brandlastgrenzwerte von 7 kWh je $m^2$ bzw. 14 kWh je $m^2$ Flurgrundfläche gegeben werden kann.

Für bestehende Anlagen und Gebäude, bei denen noch die alten Leitungsrichtlinien und die Erleichterung im Fall einer begrenzten Brandlast angewandt wurden, können den **Tabellen 13.1** bis **13.3** die Brandlastwerte der Isolierstoffe von Kabeln und Leitungen entnommen werden.

In notwendigen Fluren von Gebäuden der Gebäudeklassen 1 bis 3 (s. Fußnote S. 676), deren Nutzungseinheiten eine Fläche von jeweils 200 $m^2$ nicht überschreiten und die keine Sonderbauten sind, brauchen Installationsschächte, die keine Geschossdecken überbrücken, Installationskanäle und Unterdecken – einschl. der Abschlüsse von Öffnungen – nur aus nicht brennbaren Baustoffen mit geschlossenen Oberflächen zu bestehen. Einbauten, wie Leuchten und Lautsprecher, können unberücksichtigt bleiben.

***Tabelle 13.1:*** *Verbrennungswärme der Isolierstoffe von Kabeln und Leitungen (Merkblatt VdS 2134:2010-12, Auszug)*

| Leitung/Kabel | *H* kWh/m | Leitung/Kabel | *H* kWh/m |
|---|---|---|---|
| NYM 3 × 1,5 | 0,44 | NYY 7 × 1,5 | 1,08 |
| NYM 3 × 2,5 | 0,58 | NYY 7 × 2,5 | 1,22 |
| NYM 3 × 4 | 0,72 | NYY 7 × 4 | 1,67 |
| NYM 3 × 6 | 0,92 | NHXHX 3 × 1,5 | 0,78 |
| NYM 4 × 2,5 | 0,67 | NHXHX 3 × 2,5 | 0,86 |
| NYM 4 × 4 | 0,92 | NHXHX 3 × 4 | 1,00 |
| NYM 4 × 6 | 1,08 | NHXHX 3 × 6 | 1,08 |
| NYM 4 × 10 | 1,50 | NHXHX 4 × 6 | 1,28 |
| NYM 4 × 16 | 1,86 | NHXHX 4 × 10 | 1,50 |
| NYM 4 × 25 | 2,89 | NHXHX 4 × 16 | 1,86 |
| NYM 5 × 1,5 | 0,58 | NHXHX 4 × 25 | 2,64 |
| NYM 5 × 2,5 | 0,75 | NHXHX 4 × 35 | 3,00 |
| NYM 5 × 4 | 1,11 | NHXHX 5 × 1,5 | 1,03 |
| NYM 5 × 6 | 1,28 | NHXHX 5 × 2,5 | 1,14 |
| NYY 4 × 10 | 1,67 | NHXHX 5 × 4 | 1,31 |
| NYY 4 × 16 | 2,03 | NHXHX 5 × 6 | 1,47 |
| NYY 4 × 25 | 2,89 | NHXHX 7 × 1,5 | 1,17 |
| NYY 4 × 35 | 2,61 | NHXHX 7 × 2,5 | 1,31 |
| NYY 4 × 50 | 3,31 | NHXHX 7 × 4 | 1,50 |

*H* längenbezogene Verbrennungswärme der Isolierstoffe des Kabels/der Leitung

***Tabelle 13.2:*** *Verbrennungswärme der Isolierstoffe von Kabeln $U_N > 1\,000$ V (Merkblatt VdS 2134:2010-12)*

| Kabel | NA2xSEY | NYSEY |
|---|---|---|
| | ***H*** **kWh/m** | ***H*** **kWh/m** |
| 3 × 35/16 | 10,28 | 10,56 |
| 3 × 50/16 | 11,67 | 11,67 |
| 3 × 70/16 | 13,06 | 12,78 |
| 3 × 95/16 | 14,72 | 14,72 |
| 3 × 120/16 | 16,68 | 16,12 |

*H* längenbezogene Verbrennungswärme der Isolierstoffe des Kabels

***Tabelle 13.3:*** *Verbrennungswärme der Isolierstoffe von Installationskabeln und -leitungen für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen (Merkblatt VdS 2134:2010-12, Auszug)*

| Leitung/Kabel | ***H*** **kWh/m** | Leitung/Kabel | ***H*** **kWh/m** |
|---|---|---|---|
| *I-YY Bd 4 × 2 × 0,6 | 0,17 | I-HH Bd 4 × 2 × 0,6 | 0,33 |
| I-YY Bd 10 × 2 × 0,6 | 0,28 | I-HH Bd 10 × 2 × 0,6 | 0,53 |
| I-YY Bd 20 × 2 × 0,6 | 0,44 | I-HH Bd 20 × 2 × 0,6 | 0,97 |
| I-YY Bd 50 × 2 × 0,6 | 0,94 | I-HH Bd 50 × 2 × 0,6 | 2,00 |
| IE-Y(St) Y Bd 4 × 2 × 0,8 | 0,28 | IE-H(St) H Bd 4 × 2 × 0,8 | 0,39 |
| IE-Y(St) Y Bd 12 × 2 × 0,8 | 0,58 | IE-H(St) H Bd 12 × 2 × 0,8 | 0,86 |
| IE-Y(St) Y Bd 20 × 2 × 0,8 | 0,83 | IE-H(St) H Bd 20 × 2 × 0,8 | 1,17 |
| IE-Y(St) Y Bd 80 × 2 × 0,8 | 2,83 | IE-H(St) H Bd 40 × 2 × 0,8 | 2,08 |

*H* längenbezogene Verbrennungswärme der Isolierstoffe des Kabels/der Leitung

* *Hinweis:* In den aktuellen VDE-Vorschriften wird bei Bauartkurzzeichen der Installationskabel und -leitungen statt des Großbuchstaben I der Großbuchstabe J gesetzt, damit I nicht mit der römischen Ziffer I verwechselt werden kann; der Buchstabe „J" ist wie „i" zu sprechen.

Geräte- und anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen, wie der Einsatz von automatischen Feuerlöschanlagen oder Brandmeldeanlagen, als Ersatz für die oben beschriebenen Brandschutzmaßnahmen können nur im Einzelfall im Einvernehmen mit allen Zuständigen und Verantwortlichen und nur mit Zustimmung der zuständigen Unteren Baubehörde eingesetzt werden, wobei der Einsatz von Brandmeldeanlagen grundsätzlich nicht als Ersatz einer Brandschutzmaßnahme dienen kann.

# 14 Bereiche, Räume und Anlagen besonderer Art oder Nutzung

## 14.1 Feuchte und nasse Bereiche und Räume

VDE 0100-737

In feuchten und nassen Räumen oder Bereichen kann die Sicherheit der elektrischen Betriebsmittel durch Feuchtigkeit, Kondenswasser, chemische oder ähnliche Einflüsse beeinträchtigt werden. Zu den feuchten und nassen Räumen gehören grundsätzlich alle diejenigen, deren Fußboden, Wände oder auch Einrichtungen zu Reinigungszwecken abgespritzt werden. Daneben können hierzu gehören: Großküchen, Kühlräume, Pumpenräume, unbeheizte oder unbelüftbare Keller u. dgl. Die Räume können häufig nur nach genauer Kenntnis der örtlichen und betrieblichen Verhältnisse eingeordnet werden. Wenn z. B. in einem Raum nur an einer bestimmten Stelle eine hohe Feuchtigkeit auftritt, der übrige Raum aber infolge regelmäßiger Lüftung trocken ist, so braucht nicht der gesamte Raum als feuchter Raum zu gelten.

Für *festes Verlegen* auf, in oder unter Putz dürfen nur ummantelte Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt), z. B. NYM, oder Kabel, z. B. NYY, verwendet werden. Verteiler, Abzweigdosen, Schalter, Steckdosen und alle andern elektrischen Betriebsmittel sind in mindestens tropfwassergeschützter Ausführung (Schutzart IPX1) zu wählen. In Bereichen und Räumen, in denen zu Reinigungszwecken mit Strahlwasser umgegangen wird, muss die elektrische Anlage mindestens spritzwassergeschützt (Schutzart IPX4) ausgeführt sein. Die elektrischen Betriebsmittel dürfen hierbei zu Reinigungszwecken nicht direkt angestrahlt werden. Die Schutzart IPX4 reicht somit z. B. nur für Deckenleuchten aus, wenn lediglich der Boden und die Wände abgespritzt werden. Elektrische Betriebsmittel, die unmittelbar dem Wasserstrahl ausgesetzt sind, müssen druckwasserdicht (Schutzart IPX8) ausgeführt sein. Lediglich strahlwassergeschützte Betriebsmittel (Schutzart IPX5) dürfen nicht mit Druckwasser gereinigt werden,

z. B. Abspritzen mit dem Wasserschlauch oder mit Hochdruckreinigern. Hierbei ist aber zu beachten, dass die Schutzarten IPX7 (geschützt gegen die Wirkungen beim zeitweiligen Untertauchen in Wasser) und IPX8 (geschützt gegen die Wirkungen beim dauernden Untertauchen in Wasser) nicht Anforderungen an niedrigere IP-Schutzarten, z. B. IPX5 (geschützt gegen Strahlwasser) oder IPX6 (geschützt gegen starkes Strahlwasser), erfüllen müssen. Ein nur mit IPX7 oder IPX8 bezeichnetes Gehäuse wird nach VDE 0470-1 als ungeeignet für eine Beanspruchung durch Strahlwasser (IPX5, IPX6) angesehen. Es ist in diesem Fall auch möglich, Betriebsmittel einzusetzen, die nach VDE 0470-1 eine Doppelbezeichnung haben, z. B. IPX5/IPX7 oder IPX6/IPX8. Solche elektrischen Betriebsmittel wurden bisher für das Hochdruckreinigen als geeignet angesehen. Mit Inkrafttreten der neuen Ausgabe von VDE 0470-1 im Sept. 2014 ist zusätzlich die *Schutzart* (auch *Schutzgrad* genannt) IPX9 (Hochdruckreinigerprüfung) neu aufgenommen worden. Dazu wird als Beispiel die Kombination von drei unterschiedlichen Schutzarten durch eine Umhüllung (Gehäuse) genannt: IPX5/IPX7/IPX9. Diese Kombination bedeutet Schutz gegen Strahlwasser, zeitweiliges Untertauchen und Hochdruck sowie hohe Strahlwassertemperatur für – wie es in der Produktbestimmung heißt – „vielseitige" Anwendung. Dieses Beispiel ist insofern wichtig, dass eben die Schutzart IPX9 allein nicht auch Schutz gegen Untertauchen und Hochdruck bedeutet. In jedem Fall sind entsprechende Angaben des Herstellers eines Hochdruckreinigers in der Betriebsanleitung zu beachten.

Unterputzanlagen in feuchten Räumen erfordern abgedichtete Unterputzschalter und ebensolche Steckdosen und Abzweigdosen. Es müssen Dosen verwendet werden, die einen Putzausgleich in weiten Grenzen zulassen. Dies wird bei einfachster Montage durch einen zusätzlichen Dosendeckel erreicht. Dieser bildet den Wandabschluss und verdeckt jede Ausbröckelung des Wandputzes.

Als *bewegliche Leitungen* sollen mindestens flexible Schlauchleitungen für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung H07RN-F verwendet werden.

Auf *Korrosionsschutz* (Schutzanstrich, korrosionsfeste Werkstoffe) ist zu achten, insbesondere dann, wenn Metallteile ätzenden Dämpfen oder Dünsten ausgesetzt sind.

Als *Schutz gegen elektrischen Schlag* sollten, besonders für Steckdosenstromkreise bis 16 A, Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA vorgesehen werden, wenn nicht sowieso der zusätzliche Schutz für Steckdosen nach VDE 0100-410 mit Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung (Schutz bei indirektem Berühren) durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom ≤ 30 mA gefordert ist (s. Abschn. 5.6.6).

## 14.2 Anlagen im Freien

VDE 0100-410 und -737

Anlagen im Freien sind außerhalb von Gebäuden als Teil einer Verbraucheranlage errichtete Anlagen innerhalb begrenzter Grundstücke, z. B. in Höfen, Durchfahrten und Gärten, auf Bauplätzen, Bahnsteigen, Rampen und Dächern, an Kranen, Baumaschinen, Tankstellen und Gebäudeaußenwänden sowie unter Überdachungen.

Für Beleuchtungsanlagen im Freien und Beleuchtungsanlagen von Einrichtungen wie Telefonzellen, Hinweistafeln, Stadtplänen und Verkehrszeichen gilt seit Jan. 2002 VDE 0100-714 (s. Abschn. 11.3.2.11). Bei im Freien aufgestellten Schaukästen, Vitrinen u. dgl. ist zu prüfen, ob das Gehäuse dieser Hohlräume Regenschutz gewährleisten kann. Trifft dies zu, dann kann das Innere dieser Kästen als trockener Raum angesehen werden.

*Geschütze Anlagen* im Freien sind z. B. Anlagen unter einem Dach, etwa auf Bahnsteigen, in Toreinfahrten. *Ungeschützte Anlagen* im Freien sind z. B. Anlagen auf Bauplätzen, also ohne Dach.

### Installationsmaterial und Betriebsmittel

Leitungen im Freien sind nicht selten unmittelbarer *Sonnenbestrahlung* ausgesetzt, die zu einer vorzeitigen Zerstörung der Leitung führen kann. Man sollte daher versuchen, solche Leitungen möglichst im Schatten von Dachvorsprüngen oder auf Mauern, die im Schatten liegen, zu befestigen. In Erde verlegte Kabel sind vorzuziehen.

Sonnenlicht führt zu einem chemischen Abbau der oberen PVC-Schicht. Wenn die Leitungen dann im Winter abkühlen, entstehen Kälterisse quer zur Längsachse. Ummantelte Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) NYM dürfen also im Freien nur verlegt werden, wenn sie vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt sind. Als wirksamste Gegenmaßnahme gegen Kälterisse hat sich Einmischen von Ruß erwiesen, der die Lichtstrahlen absorbiert. Man sollte deshalb nur schwarze Kunststoffmäntel bei Kabeln (NYY, NYCY) und Leitungen im Freien (NYM, NYBUY, NFYW, NYDY) wählen.

Bei Verwenden von *Spannseilen* für Straßen- oder Hofbeleuchtung ist daran zu denken, dass bei geringem Durchhang erhebliche Zugbeanspruchungen auftreten können. Nicht selten werden dabei Gebäudeteile beschädigt, weil eine fachgemäße Verstrebung o. dgl. fehlt.

Elektrische Betriebsmittel in *geschützten Anlagen* im Freien müssen mindestens tropfwassergeschützt (Schutzart IPX1) sein. Sie müssen so ausgebildet sein, dass Kondenswasser sich nicht ansammeln kann.

Elektrische Betriebsmittel in *ungeschützten Anlagen* im Freien müssen mindestens in Schutzart IPX3 (Kurzzeichen [IPX3]) ausgeführt werden. Handleuchten sollten strahlwassergeschützt sein (IPX5).

**Schutz gegen elektrischen Schlag**

s. Abschn. 5.6.6.2 (Zusätzlicher Schutz für Endstromkreise für den Außenbereich)

## 14.3 Räume mit Badewanne oder Dusche

VDE 0100-701

Die wichtigsten Änderungen, die die Einführung der neuen VDE-Bestimmung VDE 0100-701 im Febr. 2002 und die Ergänzung im Febr. 2004 mit sich gebracht hat, sind die Änderung der sog. Bereiche (Änderung der Maße, Wegfall des Bereichs 3) und der Anforderungen an den zusätzlichen Potenzialausgleich sowie die Erweiterung des Schutzes durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs). Weitere wichtige Änderungen waren mit dem neuen Teil von Okt. 2008 in Kraft getreten.

Die VDE-Bestimmung gilt für das Errichten elektrischer Anlagen in Räumen, die dem Baden und/oder Duschen von Personen dienen und in denen die Bade- und Duscheinrichtungen *fest* angeordnet sind. Auch Räume mit fest errichteten Badewannen und Duschen z. B. von Caravans oder Duschcontainer fallen unter den Geltungsbereich der VDE 0100-701. Der zuvor eingeschränkte Anwendungsbereich der VDE-Bestimmung, wonach VDE 0100-701 nicht mehr für sog. Notduschen in Laboratorien gelte, wurde mit der Änderung von Okt. 2008 abgeschwächt. Jetzt heißt es, dass VDE 0100-701 für sog. Notduschen nicht angewendet werden braucht.

**Bereichseinteilung**

Nach VDE 0100-701 wird ein Raum, in dem sich eine Badewanne oder Dusche befindet, in 3 *Bereiche* (Bereiche 0, 1 und 2) eingeteilt (vorher: 4 Bereiche) (**Bild 14.1**). Einen Bereich 3 gibt es nicht mehr. Es werden jetzt jedoch Anforderungen an den gesamten Raum mit Badewanne oder Dusche gestellt. Die Bereiche kennzeichnen die unterschiedlichen Gefahrenzonen in einem derartigen Raum, die sich aufgrund von Feuchte oder Verringerung des elektrischen Widerstands des menschlichen Körpers und seiner Verbindung mit Erdpotenzial ergeben können.

Die Anforderungen, die an die elektrische Installation gestellt werden, gelten auch für Räume mit *beweglichen* Bade- oder Duscheinrichtungen, z. B. Schrankbäder und Duschkabinen. Bei fest angeschlossenen, fabrikfertigen Bade- oder Duscheinrichtungen, wie Schrankbäder mit herausschwenkbarer Wanne, beziehen sich die im Folgenden beschriebenen Bereiche auf die Gebrauchslage der Bade- oder Duschwanne.

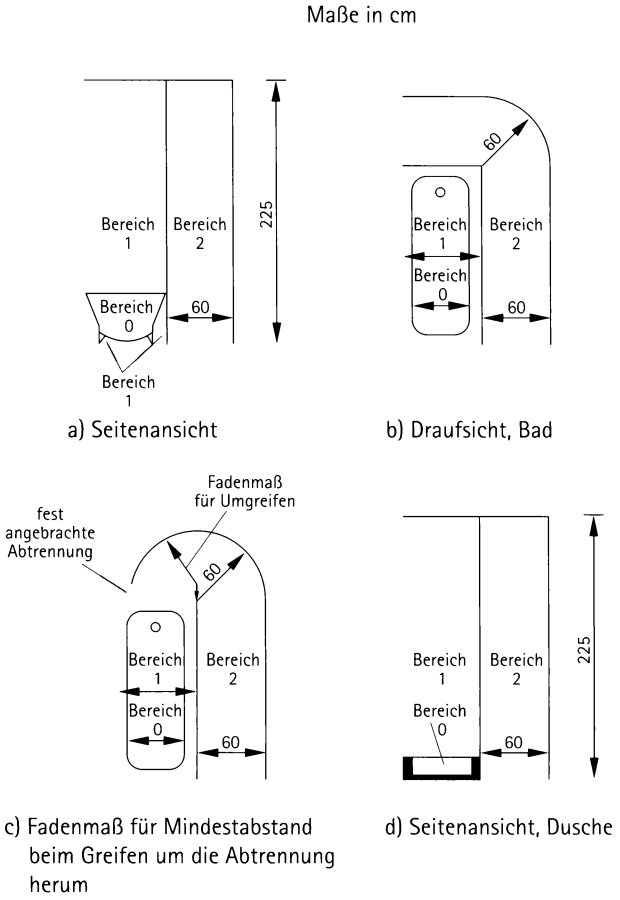



***Bild 14.1:*** *Einteilung der Bereiche in Räumen mit Bade- oder Duschwanne (aus VDE 0100-701)*

Der *Bereich 0* umfasst das Innere der Bade- oder Duschwanne (s. Bild 14.1) und geht so weit, wie das Wasser bei bis zum Rand gefüllter Wanne reicht, was bei der praktischen Nutzung einer Wanne natürlich nicht geschieht. Bei Duschen ohne Wanne entfällt der Bereich 0. Besteht allerdings die Möglichkeit, dass Wasser stehen bleiben kann – sei es wegen einer kleinen Kante, die noch keine Wanne bildet, oder sei es, dass das Wasser nur schwer abfließen kann –, ist doch ein Bereich 0 anzunehmen. Ein Wasserfilm ist damit aber nicht gemeint. Aus Sicherheitsgründen sollte nach Expertenmeinung jedoch ein gedachter Bereich von etwa 5 cm Höhe als Bereich 0 angenommen werden.

Der *Bereich 1* ist begrenzt durch den Fußboden (Fertigfußboden) und die gedachte waagerechte Fläche bis zu einer Höhe von 2,25 m über dem Fertigfußboden (Bilder 14.1 und 14.2). Sind an der Decke oder der Wand ein Brausekopf oder Wasserauslass in einer Höhe > 2,25 m über der Oberkante des Fertigfußbodens fest angebracht, dann vergrößert sich der Bereich 1 bis zur gedachten waagerechten Fläche in Höhe des höchsten fest angebrachten Brausekopfs oder Wasserauslasses. Diese erweiterte Anforderung gilt seit dem Inkrafttreten von VDE 0100-701:2008-10. *Senkrecht* ist der Bereich 1 begrenzt durch die gedachte senkrechte Fläche um die Bade- und Duschwanne (Bild 14.1). Bei *Duschen ohne Wanne* ist der Bereich 1 durch die senkrechte Fläche mit einem Abstand von 1,2 m (Wand eines Teilzylinders) vom Mittelpunkt der festen Wasseraustrittsstelle (z. B. Brausekopf) an der Wand oder an der Decke begrenzt (**Bild 14.2**). Als Ausgangspunkt gilt die feste Wasseraustrittsstelle bzw. der Anschlusspunkt, der Bestandteil der festen Wasserinstallation ist.

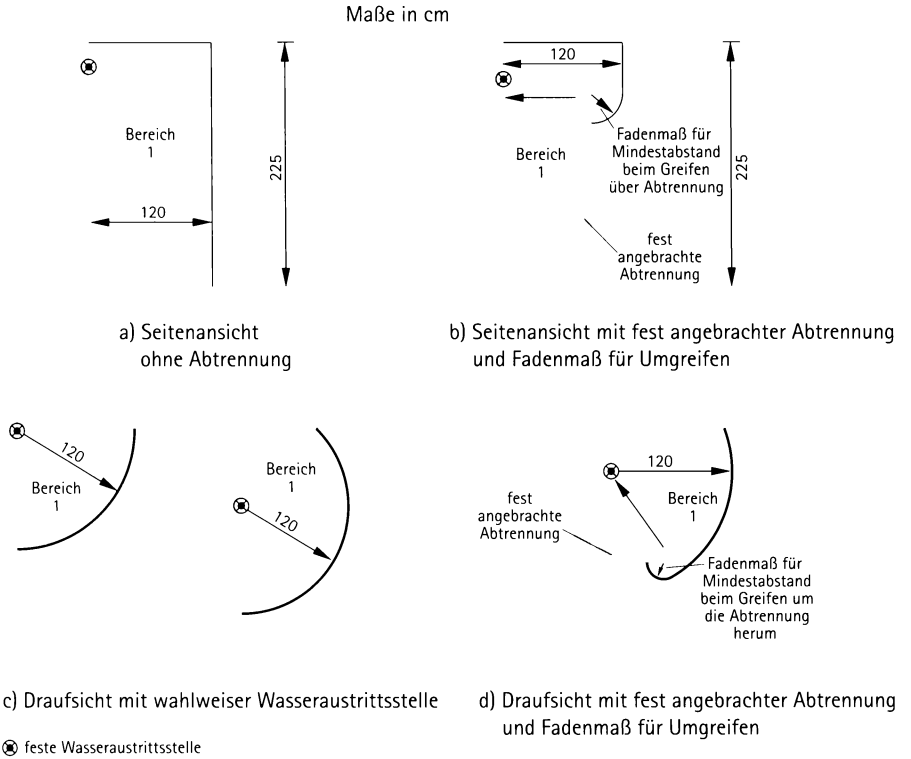



***Bild 14.2:*** *Einteilung der Bereiche in Räumen mit Dusche ohne Wanne (aus VDE 0100-701)*

Bewegliche Brauseköpfe oder eine Dusche mit beweglichem Brauseschlauch sind für die Festlegung des Bereichs nicht maßgebend. Die Länge des Brauseschlauchs braucht also nicht berücksichtigt zu werden.

Der Bereich 0 gehört nicht zum Bereich 1. Der Bereich unter der Bade- oder Duschwanne bis zur Oberfläche des Fertigbodens gilt immer als Bereich 1, auch wenn die Wannen abgemauert sind. Bis zum Inkrafttreten der VDE 0100-701 im Febr. 2002 zählte der Raum unterhalb einer abgemauerten Wanne zu keinem Bereich.

Der *Bereich 2* verläuft 0,6 m um den Bereich 1 (s. Bild 14.1). Bei Duschen ohne Wanne entfällt der Bereich 2.

Die einzelnen Bereiche können – genauso wie der gesamte Raum mit Badewanne oder Dusche – durch Decken, Dachschrägen, Wände, Fenster, Raumtüren, Fußböden und fest angebrachte Abtrennungen begrenzt werden. Als fest angebracht gelten Abtrennungen, deren Entfernen eine bauliche Maßnahme bedeutet, z. B. wenn sie im Mauerwerk verankert sind. Demnach gelten als *nicht fest angebrachte Abtrennungen* und damit nicht als Begrenzungen für Bereiche und Räume Teile wie Duschvorhänge, Möbel und Einrichtungsgegenstände, auch wenn sie nach dem Sprachgebrauch als fest angebracht bezeichnet werden. Leicht entfernbare Duschtrennwände, Badewannenfaltwände und Badewannenpendeltüren gelten ebenfalls nicht als fest angebracht. Wenn die Maße von fest angebrachten Abtrennungen oder Abmauerungen kleiner als die Maße der jeweiligen Bereiche sind, muss ein Um- und Übergreifen als sog. *Fadenmaß* in waagerechter und senkrechter Richtung berücksichtigt werden (Bilder 14.1 c und 14.2 b und 14.2 d). Einen Sprühbereich, wie er in der früheren Ausgabe VDE 0100-701 von 1984 genannt war, gibt es nicht mehr.

**Schutz gegen elektrischen Schlag**

In den Bereichen 0, 1 und 2 ist – unabhängig von der Höhe der Nennspannung der einzelnen elektrischen Betriebsmittel – ein Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) erforderlich; z. B. ist dies bei Kleinspannungsbeleuchtung („Niedervoltbeleuchtung") zu berücksichtigen. Der Basisschutz kann umgesetzt werden durch Abdeckungen oder Umhüllungen mindestens in der Schutzart IPXXB oder IP2X (s. Kap. 3) oder durch eine Isolierung, die einer Prüfspannung von AC 500 V (Effektivwert) mindestens 1 Minute standhält.

Stromkreise in Räumen mit Badewanne oder Dusche sind als zusätzlicher Schutz durch *Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs)* mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA zu schützen. Bei Stromkreisen mit der Schutzmaßnahme Schutztrennung, die ein einzelnes Verbrauchsmittel versorgen, mit der Schutzmaßnahme Schutz durch Kleinspannung mittels SELV (frühere Bezeichnung: Schutzkleinspannung) oder PELV und bei Stromkreisen, die ausschließlich der Versorgung von fest angebrachten und elektrisch fest angeschlossenen Wassererwärmern dienen,

brauchen Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) nicht eingesetzt zu werden. Allerdings ist der Schutz durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) bei Wassererwärmern zu empfehlen. Schutztrennung mit mehreren Verbrauchsmitteln oder mehreren Steckdosen ist nicht zulässig.

Bisher mussten generell leitfähige Teile der Frischwasserversorgung und Abwasserentsorgung, von Heizungs- und Klimaanlagen, sowie der Gasversorgung, die fremde leitfähige Teile (s. Kap. 2) sind und die in Räume mit Badewanne oder Dusche hineinführen, in einen *zusätzlichen Schutzpotenzialausgleich* einbezogen werden. Mit Inkrafttreten von VDE 0100-701:2008-10 hat es die wichtige Änderung gegeben, dass solch eine zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich nur noch erforderlich ist, wenn das Gebäude keinen *Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene* (bisherige Bezeichnung: Hauptpotenzialausgleich) besitzt. Es sollte allerdings immer vorrangig der Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene für das Gebäude durchgeführt und ggf. nachgerüstet werden. Der *zusätzliche Schutzpotenzialausgleich* darf außerhalb oder innerhalb der Bade- oder Duschräume vorgenommen werden, und zwar möglichst in der Nähe der Einführung der fremden leitfähigen Teile in diese Räume. Die fremden leitfähigen Teile sind durch Schutzpotenzialausgleichsleiter, die den Anforderungen an Schutzleiter entsprechen (s. Abschn. 5.6.8) miteinander zu verbinden. Die Schutzpotenzialausgleichsleiter müssen einen Querschnitt $\geq 2{,}5\ mm^2$ Cu (z. B. H07 V-U) bei geschützter Verlegung und von mindestens $\geq 4\ mm^2$ Cu bei ungeschützter Verlegung haben. Die Schutzleiter der elektrischen Betriebsmittel (Körper) und die oben beschriebenen fremden leitfähigen Teile, die sich in den Bade- und Duschräumen befinden, müssen im Zuge des zusätzlichen Schutzpotenzialausgleichs miteinander elektrisch verbunden werden. Die Verbindung *sollte* über einen separaten Schutzpotenzialausgleichsleiter auch mit der Schutzleiterschiene im elektrischen Verteiler oder – je nachdem welche Verbindung kürzer ist - mit der Haupterdungsschiene (bisherige Bezeichnung: Hauptpotenzialausgleichsschiene) erfolgen. Eine Verbindung ausschließlich mit der Wasserverbrauchsleitung – wie es früher ausreichend war – ist nicht mehr zulässig. Kunststoffumhüllte metallene Rohre brauchen dann nicht in den zusätzlichen Schutzpotenzialausgleich einbezogen zu werden, wenn sie in den Bade- oder Duschräumen nicht berührt werden können und sie nicht mit solchen berührbaren, leitfähigen Teilen verbunden sind, die selbst nicht in den zusätzlichen Schutzpotenzialausgleich einbezogen sind. Metallene Bade- oder Duschwannen brauchen nicht mehr in den zusätzlichen Schutzpotenzialausgleich einbezogen zu werden, und zwar auch dann nicht, wenn die Wanne mit einem leitfähigen Abflussrohr verbunden ist. Metallene Türzargen, Fensterrahmen und Duschtrennwände brauchen ebenfalls nicht in den zusätzlichen Schutzpotenzialausgleich einbezogen zu werden, da sie nicht als fremde leitfähige Teile gelten (s. Kap. 2).

### Betriebsmittel

Die Betriebsmittel in Räumen mit Badewanne und Dusche müssen als *Schutz gegen Fremdkörper* mindestens die Schutzart IP2X oder IPXXB aufweisen. Bei leicht zugänglichen horizontalen oberen Flächen ist u. U. IP4X oder IPXXD erforderlich. Hinsichtlich des *Wasserschutzes* ist in den Bereichen 1 und 2 mindestens die Schutzart IPX4, im Bereich 0 mindestens die Schutzart IPX7 erforderlich. In Bereichen, deren Fußböden, Wände und Einrichtungen abgespritzt werden, müssen direkt angestrahlte Betriebsmittel mindestens der Schutzart IPX5 entsprechen. Das Gleiche gilt bei Verwenden von Massageduschen. Sonst gilt für den Wasserschutz **Tabelle 14.1**.

***Tabelle 14.1:*** *IP-Schutzarten von Betriebsmitteln in Räumen mit Wanne oder Dusche*

| Bereich | Wohnbereiche, Hotelzimmer | öffentliche Bäder, Sportanlagen |
|---|---|---|
| 0 | IPX7 | IPX7 |
| 1 | IPX4 | IPX5 |
| 2 | IPX4 | IPX5 |
| sonstige Raumbereiche | IPX1[1)] | IPX5 |

[1)] für Leuchten reicht u. U. IP20

Sind elektrische Betriebsmittel in Teilen von Wänden oder Decken eingebaut, die die Bereiche 0, 1 oder 2 begrenzen, und sind die Betriebsmittel Teil der Oberfläche dieser Wände oder Decken, gelten für die Betriebsmittel die Anforderungen für den entsprechenden Bereich.

### Installationsgeräte

Im *Bereich 0* sind Installationsgeräte, z. B. Schalter, Steckdosen, Installationsdosen (z. B. Verbindungs-, Geräte-, Anschlussdosen) nicht zulässig.

Im *Bereich 1* dürfen Abzweig- und Anschlussdosen für die Versorgung der unten genannten zulässigen Verbrauchsmittel, die in den Bereichen 0 und 1 erlaubt sind, und Installationsgeräte (z. B. Schalter, Steckdosen) mit Kleinspannung bis AC 25 V oder bis DC 60 V in SELV- oder PELV-Stromkreisen eingesetzt werden. Die Stromquelle muss sich außerhalb der Bereiche 0 und 1 befinden.

Im *Bereich 2* dürfen nun alle Installationsgeräte mit Ausnahme von Steckdosen eingesetzt werden. Bis zum Inkrafttreten von VDE 0100-701:2008-10 waren im Bereich 2 nur Verbindungs- und Anschlussdosen erlaubt, die der Versorgung von Verbrauchsmitteln in den Bereichen 0 und 1 dienten. Weiter dürfen im Bereich 2 Installationsgeräte einschließlich Steckdosen mit Kleinspannung bis AC 50 V oder

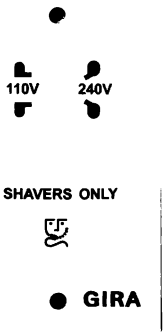



***Bild 14.3:*** *Rasiersteckdose, umschaltbar von 240 V auf 110 V (Werkbild: Gira)*

bis DC 120 V in SELV- oder PELV-Stromkreisen eingesetzt werden. Die Stromquelle darf sich nicht in den Bereichen 0 und 1 befinden. Auch Rasiersteckdosen-Einheiten nach VDE 0570-2-5 (**Bild 14.3**) dürfen im Bereich 2 installiert werden. In diesem Fall gilt nicht die IP-Schutzart IPX4, wenn ein direktes Anspritzen der Rasiersteckdosen-Einheit beim Duschen ausgeschlossen werden kann. Seit Okt. 2008 gilt, dass im Bereich 2 auch Installationsgeräte einschließlich Steckdosen für Betriebsmittel der Signal- und Kommunikationstechnik erlaubt sind, vorausgesetzt diese Betriebsmittel werden mit Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV betrieben.

Bei der Installation von Schaltgeräten (z. B. Leitungsschutzschalter, Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs)), Steuergeräten und Installationsgeräten (z. B. Schalter, Steckdosen, Installationsdosen) außerhalb von Bade- oder Duschräumen auf der Rückseite der Wände dieser Räume muss auch ein Abstand von mindestens 6 cm gegenüber der Wandoberfläche des Raums für Wannen oder Duschen eingehalten werden.

### Kabel und Leitungen

*Kabel- und Leitungsanlagen für die Versorgung elektrischer Betriebsmittel in Bade- oder Duschräumen:*

Kabel und Leitungen einschließlich deren Zubehör (Kabel-und Leitungsanlagen) dürfen in Räumen mit Badewanne oder Dusche auf den Wänden (auf Putz) oder in Wänden dieser Räume (in oder unter Putz) nur dann verlegt werden, wenn sie der Versorgung von elektrischen Betriebsmitteln in diesen Räumen dienen und einen Schutzleiter enthalten, der mit dem Schutzleiter der elektrischen Anlage leitend verbunden ist. SELV- und PELV- sowie Schutztrennungs-Stromkreise brauchen keinen Schutzleiter zu enthalten. Die bisher ausdrücklich genannte Verlegung bis zu einer Tiefe von 6 cm (früher: 5 cm) unter Putz oder hinter Verkleidungen wird

in VDE 0100-701:2008-10 so nicht mehr beschrieben. Das Maß der Verlegungstiefe von Kabel und Leitungen, die anderen Zwecken als der Versorgung elektrischer Betriebsmittel in Bade- oder Duschräumen dienen, bleibt davon unberührt (s. u.).

An fest montierte elektrische Verbrauchsmittel (z. B. Wassererwärmer), die im Bereich 1 über der Wannenoberkante (Bade- oder Duschwanne), bei Duschen ohne Wanne über der Standfläche angeordnet sind, sind die Kabel oder Leitungen senkrecht von oben oder rückseitig waagerecht von hinten durch die angrenzende Wand heranzuführen. An fest montierte elektrische Verbrauchsmittel, die im Bereich 1 unter der Wannenoberkante (Bade- oder Duschwanne) angeordnet sind, sind die Kabel oder Leitungen senkrecht von unten oder auch rückseitig waagerecht von hinten durch die angrenzende Wand heranzuführen.

*Kabel- und Leitungsanlagen, die nicht der Versorgung elektrischer Betriebsmittel in Bade- oder Duschräumen dienen:*

Kabel- und Leitungsanlagen von Stromkreisen, die der Versorgung anderer Räume dienen, müssen mindestens 6 cm tief gegenüber der Wandoberfläche des Raums für Wannen oder Duschen in der Wand verlegt werden (bisher Restwanddicke genannt). Kann diese Mindestverlegetiefe (Restwanddicke) nicht eingehalten werden, so dürfen nur Kabel, Leitungen und Installationsgeräte für Stromkreise mit den Schutzmaßnahmen SELV, PELV oder Schutztrennung verlegt werden, oder die Stromkreise werden mindestens durch eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA (zusätzlicher Schutz nach VDE 0100-410) geschützt und enthalten einen Schutzleiter, der mit dem Schutzleiter der Verbraucher verbunden ist. Weitere Möglichkeiten sind, die in der Wand (in oder unter Putz, im Mauerwerk) verlegten Kabel oder Leitungen mit einer metallenen, geerdeten Abdeckung zu umhüllen. Stattdessen können die Kabel und Leitungen auch in metallene, geerdete Elektroinstallationsrohre oder zu öffnende oder geschlossene metallene, geerdete Elektroinstallationskanalsysteme verlegt werden oder es können Kabel oder Leitungen mit konzentrischem Leiter verwendet werden, der mit dem Schutzleiter der Anlage verbunden ist. Die geerdeten Abdeckungen, Elektroinstallationsrohre und Elektroinstallationskanäle müssen die Anforderungen an einen Schutzleiter erfüllen (s. Abschn. 5.6.8). Statt der genannten Möglichkeiten können in der Wand verlegte Kabel oder Leitungen mit solch einem mechanischen Schutz versehen werden, der verhindert, dass Nägel, Schrauben, Bohrer oder Ähnliches in die Kabel oder Leitungen eindringen können. Der Schutz kann z. B. aus einem metallenen Rohr bestehen, das unter der genannten Bedingung nicht geerdet werden braucht.

Stegleitungen nach VDE 0250-201 dürfen in Wänden, Decken, Dachschrägen und fest angebrachten Abtrennungen von Räumen mit Badewanne oder Dusche bis zu einer Tiefe von 6 cm von der Wandoberfläche nicht verlegt werden.

**Verbrauchsmittel**

Innerhalb des Bereichs 0 dürfen nur elektrische Verbrauchsmittel errichtet werden, die durch Kleinspannung mittels SELV mit einer Nennspannung bis AC 12 V oder bis DC 30 V betrieben werden, wobei sich die Stromquelle der Kleinspannung SELV außerhalb der Bereiche 0 und 1 befinden muss. Die Verbrauchsmittel müssen fest angebracht und fest angeschlossen und nach Herstellerangaben ausdrücklich für die Errichtung und Verwendung im Bereich 0 zugelassen sein.

Im Bereich 1 dürfen nur Wassererwärmer, Handtuchtrockner, Whirlpooleinrichtungen, Abwasserpumpen (Duschpumpen) und Verbrauchsmittel für Lüftung (Abluftgeräte) errichtet werden. Die Installation von Handtuchtrocknern und Duschpumpen war bis zum Inkrafttreten von VDE 0100-701:2008-10 nicht zulässig. Sonstige Verbrauchsmittel (z. B. Leuchten) dürfen nur errichtet werden, wenn sie durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV mit einer Nennspannung bis AC 25 V oder bis DC 60 V betrieben werden. Auch hier muss sich die Stromquelle der Kleinspannungen SELV und PELV außerhalb der Bereiche 0 und 1 befinden. Alle Verbrauchsmittel müssen fest angebracht und fest angeschlossen sowie nach Herstellerangaben ausdrücklich für die Errichtung und Verwendung im Bereich 1 zugelassen sein.

*Elektrische Fußbodenheizung* ist in allen Bereichen erlaubt. Es dürfen aber nur Heizleitungen nach VDE 0253 oder Flächenheizelemente nach VDE 0700-96 eingesetzt werden.

Beim Einbringen von Heizleitern der Schutzklasse II (alte Bezeichnung: Schutzisolierung) oder der Schutzmaßnahme „Doppelte oder verstärkte Isolierung" sind als zusätzlicher Schutz ebenfalls Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA einzusetzen. Sollte über die Heizleiter ein Drahtgeflecht oder eine sonstige leitfähige Abdeckung gelegt werden, so ist dieses bzw. diese durch Potenzialausgleichsleiter mit dem Schutzleiter zu verbinden. Die Schutzmaßnahme Schutztrennung ist für Fußboden-Flächenheizungen in Räumen mit Badewanne oder Dusche nicht zulässig.

Verbrauchsmittel, die über Steckvorrichtungen angeschlossen sind (z. B. Waschmaschinen), sollten außerhalb des Bereichs 2 aufgestellt werden. Ist dies aus Platzgründen nicht möglich, so sollten sie bei der Aufstellung im Bereich 2 mindestens der Schutzart IPX4 entsprechen. Die sowieso über eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA geschützte Steckdose muss in jedem Fall außerhalb der Bereiche 1 und 2 liegen.

## 14.4 Becken von Schwimmbädern, begehbare Wasserbecken und Springbrunnen

VDE 0100-702

Der frühere Untertitel des im Juni 1992 erschienenen und am 01. Nov. 2003 zurückgezogenen Teils 702 von VDE 0100 hieß „Überdachte Schwimmbäder (Schwimmhallen) und Schwimmbäder im Freien". Mit Inkrafttreten des Folgeteils am 01. Nov. 2003 wurde der Untertitel geändert in „Becken von Schwimmbädern und andere Becken". Mit der Titeländerung wurde u. a. ausgedrückt, dass mit dieser VDE-Bestimmung Anforderungen nur noch für die Bereiche der Becken, z. B. eines Schwimmbads, und deren direkte Umgebung und nicht etwa für Gebäude eines Freibads, wie für Umkleideräume oder Technikräume, gestellt werden. Für solche Gebäude, Anlagen oder Bereiche gelten die allgemeinen Anforderungen der Reihe VDE 0100 oder auch die speziellen Anforderungen für andere Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art.

Gleichzeitig mit Inkrafttreten am 01. Nov. 2003 des damals neuen Teils 702 wurde der separate Teil 738 von VDE 0100 „Springbrunnen" in den Teil 702 mit dem damals neuen Titel „Becken von Schwimmbädern und andere Becken" einbezogen. Der Teil 738 wurde am 01.11.2003 ersatzlos zurückgezogen. Der Begriff bzw. Bereich *Springbrunnen* sollte durch den Begriff „... andere Becken" in dem neuen Titel abgedeckt werden.

Nun ist zum 01. März 2012 die VDE-Bestimmung 0100-702 wieder neu erschienen, erneut mit einem geänderten Untertitel, der lautet „Becken von Schwimmbädern, begehbare Wasserbecken und Springbrunnen". Hier erscheint wieder ausdrücklich der Begriff *Springbrunnen*, den Anwender gegebenenfalls hinter dem vorherigen Teiltitel „... und andere Becken" nicht unbedingt vermuten konnten. Außer dem neuen Untertitel sind gegenüber der Ausgabe von Nov. 2003 sicherheitstechnische Anforderungen geändert worden, aber insbesondere Begriffe ersetzt, konkretisiert und neu aufgenommen worden, was sich auch in dem geänderten Untertitel „Becken von Schwimmbädern, begehbare Wasserbecken und Springbrunnen" ausdrückt. Der Begriff „Schwimmbad mit kleinem Umgebungsbereich" ist entfallen, Anforderungen dazu sind aber bestehen geblieben.

Die Bereiche eines Schwimmbeckens oder sonstiger begehbarer Becken haben die Besonderheit, dass in diesen Bereichen der elektrische Widerstand des menschlichen Körpers durch Wasser und Nässe sowie durch direkten Kontakt der menschlichen Haut mit Wasser und dem Erdpotenzial verringert ist. Daraus ergeben sich Anforderungen an die elektrischen Anlagen.

Der Teil 702 der VDE 0100 gilt für elektrische Anlagen von

- Becken von Schwimmbädern,
- Planschbecken,
- Springbrunnen mit oder ohne Becken sowie

deren umgebende Bereiche.

Unter *Becken von Schwimmbädern* werden im Sinne der VDE 0100-702 Wasserbecken verstanden, die zum Schwimmen, Tauchen und dgl. bestimmt sind, jedoch nicht der persönlichen Reinigung dienen. *Planschbecken* sind Wasserbecken mit geringer Wassertiefe, z. B. zum Spielen oder Durchwaten. Becken eines *Springbrunnens* ist der Teil des Springbrunnens, in welchem das ausgetretene Wasser gesammelt wird.

Ebenfalls als Becken von Schwimmbädern gelten Bereiche in

- natürlichen Gewässern,
- mit Wasser gefüllte Kiesgruben,
- Küstenbereichen,
- begehbaren Wasserbecken,
- Schwimmteichen und
- ähnlichen Bereichen, sowie

deren umgebende Bereiche, vorausgesetzt, alle Bereiche sind besonders dafür vorgesehen, von Personen zum Schwimmen, Planschen und mit ähnlicher Absicht betreten zu werden.

Für Becken und deren umgebende Bereiche von Schwimmbädern für medizinische Zwecke gilt dieser Teil 702 nicht. Gegebenenfalls ist dafür VDE 0100-710 heranzuziehen („Medizinisch genutzte Bereiche"). Für Bade- und Duschwannen in Schwimmbädern gilt VDE 0100-701 (s. Abschn. 14.3).

Unter *begehbaren Wasserbecken und begehbaren Springbrunnen* werden nach der VDE-Bestimmung solche verstanden, die von Personen ohne Verwendung von Leitern oder ähnlichen Hilfsmitteln betreten werden können und ein Zugang zum Wasser möglich ist. Hierunter fallen auch Planschbecken. Für begehbare Wasserbecken und begehbare Springbrunnen gelten eben die Anforderungen wie für Becken von Schwimmbädern. *Nicht begehbare Springbrunnen* sind nach der VDE-Bestimmung Springbrunnen, die nicht dafür vorgesehen sind, von Personen betreten bzw. begangen zu werden, und bei denen ein Zugang zum Wasser nicht möglich ist und die von Personen ohne Verwendung von Leitern oder ähnlichen

Hilfsmitteln nicht erreicht werden können, oder in Räumen oder Bereichen angeordnet sind, die nur entsprechend unterwiesenen Personen zugänglich sind. Zu nicht begehbaren Springbrunnen gehören z. B. ein mit Gitter eingehauster Springbrunnen oder eingehaustes Wasserbecken außerhalb des Handbereichs in einer Höhe größer als 2,50 m.

Neben dem VDE-Vorschriftenwerk sind für die elektrotechnischen Anlagen gegebenenfalls auch das Regelwerk und die Merkblätter zu beachten, die der Bundesfachverband öffentliche Bader e. V. und die Deutsche Gesellschaft für das Badewesen e. V. als regelwerksgebende Institutionen herausgegeben haben.

## 14.4.1 Bereichseinteilung

Das Beckeninnere und die Umgebung um das Schwimmbecken und begehbaren Bereichen von Springbrunnen ist – ähnlich wie Räume mit Badewannen und Duschen – in Bereiche eingeteilt. Es sind drei Bereiche festgelegt, nämlich 0, 1 und 2 (**Bilder 14.4 a** bis **14.4 c**).

Der *Bereich 0* umfasst das Innere der Becken. Dazu gehören auch Öffnungen in den Beckenwänden und -fußböden, die den im Becken befindlichen Personen zugänglich sind, das Innere von Fußwaschrinnen sowie das Volumen unter Wasserfontänen oder Wasserfällen. Wenn das Volumen unter Wasserfontänen oder unter Wasserfällen nicht genau bestimmt werden kann, kann als seitliche Volumenbegrenzung die innere seitliche Begrenzung des Auffangbeckens und als Höhenbegrenzung die maximale Höhe der Wasserfontäne oder des Wasserfalls angenommen werden. Einen Schutzbereich nach unten ab Beckenboden gibt es nicht mehr.

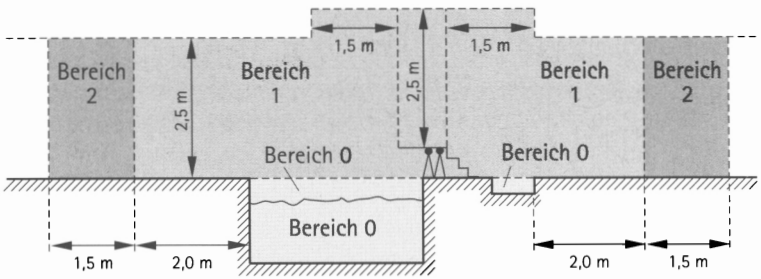



***Bild 14.4 a:*** *Einteilung der Bereiche für Schwimmbecken und Fußwaschrinnen (nach VDE 0100-702)*

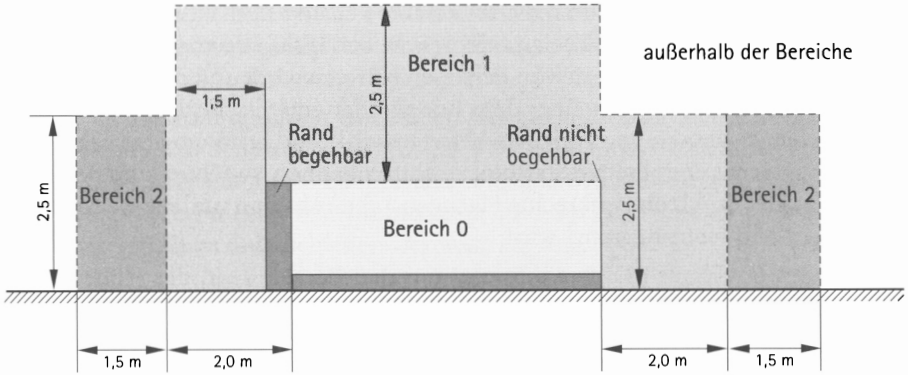



***Bild 14.4 b:*** *Einteilung der Bereiche für aufgestellte Schwimmbecken (Beispiel) (nach VDE 0100-702)*
* Hier ist der Bereich 1 bestimmt:
- in der Höhe durch die Zugangsebene rechts,
- seitlich nach links und rechts 2,0 m vom rechten Innenrand des oberen Beckens.

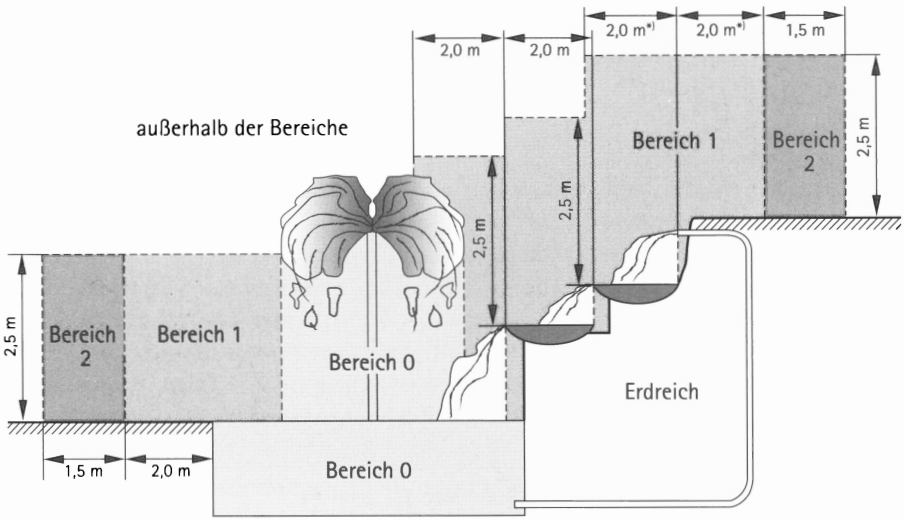



***Bild 14.4 c:*** *Einteilung der Bereiche für begehbare Becken von Springbrunnen (Beispiel) (nach VDE 0100-702)*

Der *Bereich 1* ist begrenzt durch die senkrechte Fläche in 2 m Abstand vom Rand des Beckens, durch den Fußboden oder – z. B. bei Springbrunnen – eine Fläche, bei der zu erwarten ist, dass sie von Personen betreten wird, und durch die waagerechte Fläche in 2,5 m Höhe über dem Boden oder eine Fläche, bei der ebenfalls zu erwarten ist, dass sie von Personen betreten wird. Sind Erhöhungen vorhanden, wie Sprungtürme und -bretter, Startblöcke, Rutschbahnen, so gehört zum Bereich 1 der Raum, der durch die senkrechte Fläche in 1,5 m Abstand und die waagerechte Fläche in 2,5 m Höhe begrenzt wird.

Der *Bereich 2* verläuft in 1,5 m Abstand um den Bereich 1. In der Höhe ist der Bereich ebenfalls durch den Fußboden oder die Standfläche und die waagerechte Fläche in 2,5 m Höhe begrenzt. Für nicht begehbare Becken gibt es keinen Bereich 2. Beispiele für die Abmessungen der Bereiche bei festen Abtrennungen von mindestens 2,5 m Höhe sind in **Bild 14.4 d** dargestellt.

Die Umgebung außerhalb dieser definierten Bereiche in einer Halle kann als nasser Raum (s. Abschn. 14.1), im Freien als Anlage im Freien (s. Abschn. 14.2) betrachtet werden. Wenn in Schwimmhallen sichergestellt ist, dass sich keine Nässe infolge Betauung bildet und dass die Innenseiten der Schwimmhalle nicht abgespritzt werden, gilt der Bereich außerhalb der definierten Bereiche als trockener Raum. Die Betauung kann z. B. durch Klimatisierung verhindert werden.

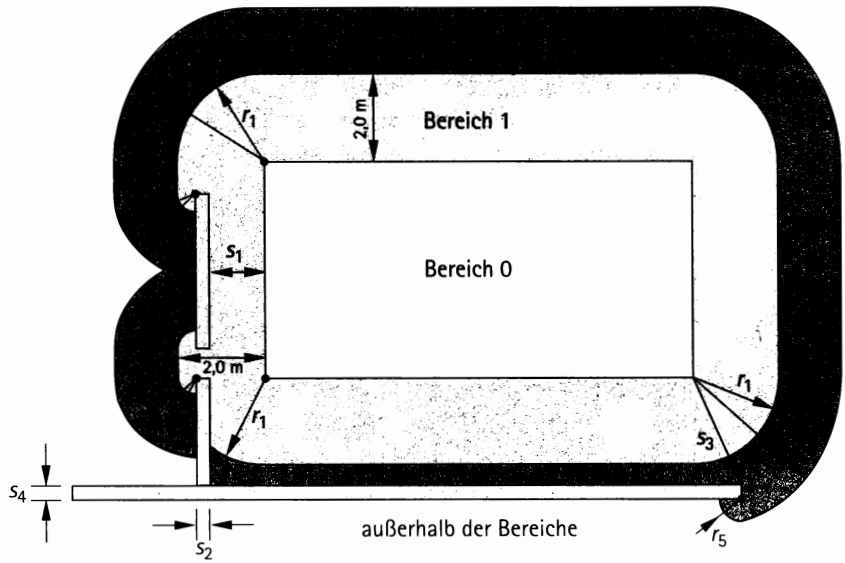



***Bild 14.4 d:*** *Abmessungen der Bereiche bei festen Abtrennungen ≥ 2,5 m Höhe (Beispiel) (nach VDE 0100-702)*

Umkleideräume, Getränkeausschank, Aufenthaltsräume, Toiletten u. dgl. in Nebenräumen gelten als trockene Räume, sofern in ihnen nicht zur Reinigung abgespritzt wird.

Durch das Zusammenführen der beiden Normenteile über Schwimmbäder und Springbrunnen in den neuen Teil 702 der VDE 0100 muss hinsichtlich der sicherheitstechnischen Anforderungen in den folgenden Ausführungen zwischen den begehbaren Becken (von Schwimmbädern und Springbrunnen) und den nicht begehbaren Becken unterschieden werden.

## 14.4.2 Schutz gegen elektrischen Schlag

Bei Verwenden der Schutzmaßnahme Schutz durch Kleinspannung mittels SELV muss der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren spannungsführender Teile) unabhängig von der Spannungshöhe gegeben sein, z. B. durch Abdeckungen oder Umhüllungen mindestens in der Schutzart IPXXB nach VDE 0470-1 (s. Kap. 3) oder durch eine Isolierung, die einer Prüfspannung von AC 500 V mindestens 1 Minute standhält. Der Schutz durch Kleinspannung mittels PELV darf nicht angewendet werden.

In den Bereichen 0, 1 und 2 ist ein *zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich* (bisherige Bezeichnung: *zusätzlicher örtlicher Potenzialausgleich*) durchzuführen. Darin sind alle fremden leitfähigen Teile einzubeziehen, wobei alle erreichbaren Metallteile, die fremde leitfähige Teile sind, untereinander wiederholt und korrosionsgeschützt, z. B. durch Cu-Leiter $\geq 6$ mm$^2$, zu verbinden sind. Die Schutzleiter aller Körper von Betriebsmitteln, die in diesen Bereichen angeordnet sind, sind mit dem zusätzlichen Schutzpotenzialausgleich zu verbinden, d. h., sie sind mit den fremden leitfähigen Teilen zu verbinden. Das gilt ebenso für Schutzleiter in Kabeln und Leitungen von Stromkreisen, die elektrische Betriebsmittel der Schutzklasse II versorgen. Das Verbinden der Schutzpotenzialausgleichsleiter mit dem Schutzleiter kann in der Nähe der Betriebsmittel vorgenommen werden, z. B. in einer Abzweigdose oder in einem Verteiler. Diese Verbindung sollte vorzugsweise an der Schutzleiterschiene im Installationsverteiler oder an der Haupterdungsschiene (bisherige Bezeichnung: Hauptpotenzialausgleichsschiene) erfolgen. Unter *fremden leitfähigen Teilen* sind solche leitfähigen Teile zu verstehen, die nicht zur elektrischen Anlage gehören, die aber ein Potenzial (Erdpotenzial) einführen können (hier: von *außerhalb* der Bereiche 0, 1 und 2 *in* die Bereiche 0, 1 oder 2). Fremde leitfähige Teile können sein: metallene Rohrleitungen für Frischwasser, Abwasser, Gas, Heizung, Klima und Ähnliches, Metallteile der Gebäudekonstruktion und Schwimmbeckenkonstruktion, Bewehrungen von nicht isolierenden Fußböden und von Betonbecken, auch metallene Pfosten und Treppen, Stahlkonstruktionen oder Leuchtenmasten.

Können leitfähige Teile in Schwimmbädern kein Potenzial einführen, so gehören sie auch nicht zu den fremden leitfähigen Teilen und müssen somit auch nicht in den zusätzlichen örtlichen Potenzialausgleich einbezogen werden. Dies kann zutreffen z. B. auf leitfähige Einstiegsleitern, leitfähige Handläufe am Beckenrand und leitfähige Gitterabdeckungen einschl. deren Überlaufrinnen, Fensterrahmen, Türzargen. Ob ein Potenzial eingeführt werden kann, ist sorgfältig zu überprüfen. Nicht isolierende Fußböden sind fremde leitfähige Teile und müssen somit in den Schutzpotenzialausgleich einbezogen werden. Fußböden und bereichsbegrenzende feste Abtrennungen gelten als isolierend und brauchen dann nicht in den Schutzpotenzialausgleich einbezogen zu werden, wenn der Isolationswiderstand der Fußböden und festen Abtrennungen gemessen wird (s. Abschn. 15.9) und an jeder gemessenen Stelle der Isolationswiderstand $\geq 50\ k\Omega$ bei einer Nennspannung der Anlage bis 500 V und $\geq 100\ k\Omega$ bei einer Nennspannung der Anlage > 500 V ist. Großflächige Betonplatten mit Armierung gehören z. B. zu den fremden leitfähigen Teilen und sind somit in den Schutzpotenzialausgleich einzubeziehen. Die Armierung ist zu verrödeln oder zu verschweißen. Fußböden, die aus einzelnen Betonplatten bestehen und deren Armierungen nicht ohne Beschädigung der Platten zugänglich sind, Betonplatten ohne Armierung, sonstige Plattenbeläge, Mutterboden (z. B. Rasen) brauchen nicht in den Schutzpotenzialausgleich einbezogen zu werden. In diesem Fall wird eine ähnliche Wirkung wie bei der *Potenzialsteuerung* erreicht. Früher wurde ausdrücklich eine Potenzialsteuerung gefordert, was nicht mehr erforderlich ist. Für isolierende Fußböden ist eine Potenzialsteuerung überhaupt nicht mehr erforderlich.

### 14.4.3 Kabel und Leitungsanlagen

Nur wenn Kabel und Leitungen einschließlich von Abzweig- und Verbindungsdosen als Unterputz-Installation in Wänden, Decken oder Fußböden bis zu einer Tiefe von 5 cm sowie als Aufputz-Installationen verlegt werden, gelten die hier aufgeführten besonderen Festlegungen für Becken in Schwimmbädern und anderen Becken. Stegleitungen sind in diesen Bereichen nicht zulässig. Üblicherweise werden als Leitungen ummantelte Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) NYM unter Putz oder als Kabel (z. B. NYY) im Erdreich verlegt. Metallene Umhüllungen oder metallene Abdeckungen von Kabeln und Leitungen müssen in den Bereichen 0, 1 und 2 in den zusätzlichen Schutzpotenzialausgleich einbezogen werden. Wenn metallene Umhüllungen oder metallene Abdeckungen als Schutzleiter verwendet werden, brauchen sie nicht in den zusätzlichen Schutzpotenzialausgleich einbezogen zu werden. Bis zum Juni 2005 durften sie in den *Bereichen 0 und 1* keine metallenen Umhüllungen haben und nicht in Metallrohren verlegt werden. Kabel und Leitungen sollten möglichst

in Installationsrohren aus Kunststoff verlegt werden. In den *Bereichen 0 und 1* dürfen Kabel und Leitungen nur verlegt werden, wenn sie für die Versorgung der dort benötigten Verbrauchsmittel erforderlich sind.

Abzweig- und Verbindungsdosen dürfen in den Bereichen 0 und 1 nicht eingesetzt werden, es sei denn, die Dosen enthalten nur SELV-Stromkreise.

In Bereichen von *nicht begehbaren Becken* dürfen Kabel und Leitungen für elektrische Betriebsmittel im Bereich 0 so weit wie praktisch möglich außerhalb der Beckenumrandung verlegt werden. Innerhalb des Beckens müssen Kabel und Leitungen auf dem kürzesten praktikablen Weg zu den elektrischen Betriebsmitteln geführt werden. Im Bereich 1 müssen Kabel und Leitungen mit einem geeigneten mechanischen Schutz versehen werden, z. B. durch Verlegen in stabilen Kunststoffrohren. In Bereichen von *nicht begehbaren Becken* dürfen Kabel und Leitungen nur eingesetzt werden, wenn der Hersteller ihre Eignung für die dauerhafte Verlegung in Wasser bestätigt hat. Als Leitung darf nur die wasserbeständige schwere Schlauchleitung für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomerisolierung (H07RN8-F nach VDE 0285-525-2-21) eingesetzt werden.

### 14.4.4 Betriebsmittel

Als elektrische Betriebsmittel kommen in Bereichen von Becken Schalt- und Steuergeräte, Steckdosen und Verbrauchsmittel wie Leuchten, speziell Unterwasserleuchten, in Fußböden eingebettet Heizungen, elektrische Pumpen, Filter, Gegenstromanlagen zum Einsatz.

#### IP-Schutzarten

Alle elektrischen Betriebsmittel sind gegen mechanische Beschädigung, z. B. durch Ballspiele und Abspritzen, sorgfältig zu schützen. Im *Bereich 0* müssen elektrische Betriebsmittel, sofern deren Installation dort erlaubt ist, bez. des Wasserschutzes mindestens der Schutzart IPX8 genügen und im *Bereich 1* mindestens der Schutzart IPX4 für Innenräume und Außenbereiche sowie IPX5 in den Fällen, bei denen das Reinigen mit Strahlwasser zu erwarten ist. Sofern mit einem Hochdruckreiniger gereinigt wird, müssen die elektrischen Betriebsmittel neben der Schutzart IPX8 auch IPX5 einhalten. Das Betriebsmittel kann auch die neu eingeführte *Schutzart* (auch *Schutzgrad* genannt) IPX9 (Hochdruckreinigerprüfung) besitzen.

Im *Bereich 2* reicht für Innenräume, z. B. für überdachte Schwimmbecken (Schwimmhallen) für Betriebsmittel die Schutzart IPX2. Betriebsmittel für Schwimmbecken im Freien müssen mindestens IPX4 haben; wenn Strahlwasser für Reinigungszwecke eingesetzt wird, mindestens IPX5, es sei denn, dass die Betriebsmittel einen geeigneten zusätzlichen Schutz haben. Werden elektrische Betriebsmittel üblicherweise

nicht zu Reinigungszwecken direkt angestrahlt, genügt ggf. die Schutzart IPX4 (spritzwassergeschützt).

#### 14.4.4.1 Betriebsmittel in Bereichen von begehbaren und nicht begehbaren Becken

In den *Bereichen 0 und 1* dürfen keine Schalt- und Steuergeräte einschließlich Steckdosen angebracht werden (Ausnahme bei kleinen Schwimmbädern s. u.).

Im *Bereich 2* sind Schalter, Steckdosen und andere Installationsgeräte nur erlaubt, wenn für die Stromkreise als Schutz gegen elektrischen Schlag ebenfalls eine der Schutzmaßnahmen angewendet wird:

- Schutz durch Kleinspannung mittels SELV, mit der maximal zulässigen SELV-Spannung (AC 50 V oder DC 120 V) (s. Abschn. 5.9),
- Schutztrennung mit nur einem Verbrauchsmittel (s. Abschn. 5.8);

die Stromquelle muss in beiden Fällen (SELV und Schutztrennung) außerhalb der Bereiche 0, 1 und 2 angeordnet sein. Sie darf im Bereich 2 errichtet werden, wenn der die Stromquelle versorgende Stromkreis durch eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA geschützt ist;

- automatische Abschaltung der Stromversorgung mit einer Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) $I_{\Delta n} \leq 30$ mA (s. Abschn. 5.6).

**Pumpen**

*Tauchmotorpumpen (Unterwasserpumpen)*, die in Schwimmbecken verwendet werden, müssen der Schutzklasse I oder III (s. Abschn. 4.4) und der Schutzart IPX8 (Schutz beim dauernden Untertauchen) entsprechen, z. B. IP68. Tauchmotorpumpen, die in Schwimmbecken eingesetzt werden, wenn sich Personen im Becken befinden, müssen der Schutzklasse III mit einer Bemessungsspannung $\leq 12$ V entsprechen.

*Ortsveränderliche Pumpen* zur Reinigung und für andere Wartungsarbeiten von Schwimmbecken müssen mindestens IPX7 (Schutz beim zeitweiligen Untertauchen) entsprechen. Ortsveränderliche Pumpen dürfen nicht benutzt werden, wenn sich Personen im Wasser aufhalten und müssen über eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA versorgt werden (s. o.). *Pumpen für Springbrunnen* im Außenbereich dürfen nur über eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA versorgt werden (s. o.) *Pumpen der Schutzklasse I* zum Betreiben von Schwimmbecken dürfen nur über einem Sicherheitstransformator (Schutztrennung) oder über eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA

versorgt werden (s. o.). Es muss darauf geachtet werden, dass bei Pumpen der Schutzklasse III (SELV), die in Zone 0 eines Schwimmbeckens installiert werden sollen, der Transformator außerhalb von Zone 1 anzuordnen ist. *Pumpen der Schutzklasse II* (frühere Bezeichnung: Schutzisolierung), die in der Zone 1 eines Schwimmbeckens befestigt werden sollen, müssen so angeordnet werden, dass sie nicht überflutet werden können.

### 14.4.4.2 Begehbare Becken

**Bereiche 0, 1 und 2 von begehbaren Becken**

Innerhalb der *Bereiche 0 und 1* von Schwimmbecken und anderen begehbaren Becken darf *nur* der Schutz durch Kleinspannung mittels SELV (frühere Bezeichnung: Schutzkleinspannung) mit einer Nennspannung bis AC 12 V oder DC 30 V angewendet werden (Ausnahme: s. u.). Die SELV-Stromquelle muss sich außerhalb der Bereiche 0, 1 und 2 befinden. Abweichungen davon bei Einsatz von Installationsgeräten und anderen elektrischen Betriebsmitteln werden weiter unten beschrieben.

In den *Bereichen 0 und 1* sind Schalt- und Steuergeräte einschließlich Steckdosen sowie im Bereich 1 Leuchten der Raumbeleuchtung nicht zulässig. Jedoch sind von dieser Beschränkung Schwimmbäder mit *kleinem Umgebungsbereich* ausgenommen. Das sind solche kleinen Schwimmbäder, in denen es nicht möglich ist, die Installationsgeräte und Leuchten außerhalb des Bereichs 1 anzubringen. Steckdosen und Schalter sowie Leuchten dürfen dann im Bereich 1 nur installiert werden, wenn sie in einer Entfernung ≥ 1,25 m (außerhalb des Handbereichs) von der Grenze des Bereichs 0 und – üblicherweise im Falle von Steckdosen – in einer Höhe von ≥ 0,3 m über dem Fußboden angeordnet sind. Als Schutz gegen elektrischen Schlag darf eine der folgenden Maßnahmen angewendet werden, wobei Leuchten zusätzlich in Schutzklasse II ausgeführt sein oder der Schutzmaßnahme doppelte oder verstärkte Isolierung (frühere Bezeichnung: Schutzisolierung) entsprechen und einen Schutz gegen mittlere mechanische Beanspruchung (Kurzzeichen: AG2) besitzen müssen:

- Schutz durch Kleinspannung mittels SELV, mit der maximal zulässigen Nennspannung AC 25 V oder DC 60 V, für Leuchten AC 25 V oder DC 120 V (s. Abschn. 5.9);
- Schutztrennung mit nur einem Verbrauchsmittel (s. Abschn. 5.8);

die jeweilige Stromquelle muss in beiden Fällen (SELV und Schutztrennung) außerhalb der Bereiche 0 und 1 angeordnet sein;

- automatische Abschaltung der Stromversorgung mit einer Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) $I_{\Delta n} \leq 30$ mA (s. Abschn. 5.6).

Innerhalb von *begehbaren Becken* werden gegebenenfalls Betriebsmittel eingesetzt, z. B. für Reinigungseinrichtungen, die nur betrieben werden oder nur betrieben werden brauchen, wenn sich keine Personen in den Becken (Bereich 0) befinden. Dafür brauchen in der Regel nicht erhöhte Maßnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag angewendet werden wie für Betriebsmittel, die auch betrieben werden, wenn sich Personen in einem begehbaren Becken befinden. Deshalb ist neu eingeführt worden, dass Stromkreise, die Betriebsmittel versorgen, die im Inneren von begehbaren Becken nur dann betrieben werden dürfen, wenn sich keine Personen in den Becken befinden, durch mindestens eine der folgenden Schutzmaßnahme geschützt werden müssen, was genauso für alle Stromkreise im *Bereich 2* von Becken von Schwimmbädern und anderen begehbaren Becken gilt (unabhängig von der Betriebsweise der angeschlossenen Betriebsmittel):

- Schutz durch Kleinspannung mittels SELV, allerdings mit der maximal zulässigen SELV-Spannung (AC 50 V oder DC 120 V) (s. Abschn. 5.9);
  die Stromquelle muss, wie bei allen begehbaren Becken, außerhalb der Bereiche 0, 1 und 2 angeordnet sein. Sie darf jedoch im Bereich 2 errichtet werden, wenn der sie versorgende Stromkreis durch eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA geschützt ist;
- automatische Abschaltung der Stromversorgung mit einer Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) $I_{\Delta n} \leq 30$ mA (s. Abschn. 5.6),
- Schutztrennung mit nur einem Verbrauchsmittel (s. Abschn. 5.8);
  die Stromquelle muss sich auch außerhalb der Bereiche 0, 1 und 2 befinden. Sie darf auch hier im Bereich 2 errichtet werden, wenn der die Stromquelle versorgende Stromkreis durch eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA geschützt ist.

Sehr wichtig ist, dass die Steckdosen für die Versorgung dieser speziell zu betreibenden Betriebsmittel und dazugehörige Steuereinrichtungen einen Hinweis tragen müssen, mit dem der Anwender dieser Betriebsmittel gewarnt wird, dass er diese Betriebsmittel nur verwenden darf, wenn sich im Schwimmbecken keine Personen befinden. Das Personal des Schwimmbades sollte bei nach der Betriebssicherheitsverordnung regelmäßig durchzuführenden Unterweisungen entsprechend auf die Besonderheit des Betriebs dieser Betriebsmittel hingewiesen werden.

**Verbrauchsmittel in Bereichen von begehbaren Becken**

In den Bereichen 0 und 1 dürfen Verbrauchsmittel (z. B. Leuchten) nur fest installiert werden. Die Verbrauchsmittel müssen für den besonderen Einsatz in Schwimmbädern hergestellt worden sein. Das bedeutet, dass der Hersteller der Geräte dies ausdrücklich bestätigen muss, z. B. im Katalog oder in Datenblättern.

Im Fußboden eingebettete *Flächenheizungen* dürfen unter den Bereichen 1 und 2 verlegt werden, wenn sie durch eine oder beide der zwei folgenden Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag geschützt werden:

- Schutz durch Kleinspannung mittels SELV, mit der maximal zulässigen SELV-Spannung (AC 50 V oder DC 120 V) (s. Abschn. 5.9). Die Stromquelle muss außerhalb der Bereiche 0, 1 und 2 angeordnet sein. Sie darf jedoch im Bereich 2 errichtet werden, wenn der die Stromquelle versorgende Stromkreis durch eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA geschützt ist;
- bedeckt mit einem geerdeten Metallgitter (z. B. Baustahlmatten) oder die Flächenheizung hat eine geerdete metallene Umhüllung. Die Metallteile sind in den zusätzlichen Schutzpotenzialausgleich einzubeziehen. Die Stromkreise der Heizungen müssen zusätzlich mit einer Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) $I_{\Delta n} \leq 30$ mA geschützt werden.

*Leuchten für Schwimmbecken* sind Leuchten, die im Wasser verwendet werden oder in Berührung mit Wasser kommen, z. B. für Schwimmbecken, Springbrunnen, Planschbecken und Gartenteiche. Diese Leuchten, die für Bereiche von *begehbaren Becken* eingesetzt werden sollen, müssen fest angeordnet sein und VDE 0711-218 entsprechen. Leuchten für Schwimmbecken werden in 3 Gruppen eingeteilt:

Gruppe A: Leuchten, bei denen der Anschluss an die Stromversorgung und der Lampenwechsel von der Seite vorgenommen wird, die nicht mit dem Wasser in Berührung steht;

Gruppe B: Leuchten, bei denen der Lampenwechsel von der mit Wasser in Berührung stehenden Seite vorgenommen wird, nachdem das Beckenwasser ganz oder teilweise abgelassen wurde;

Gruppe C: Leuchten, die zum Lampenwechsel vollständig aus dem Wasser herausgenommen werden.

Diese Leuchten müssen mit Schutz durch Kleinspannung mittels SELV (Schutzklasse III) bis 12 V betrieben werden. Der Hersteller hat die Ausgangsleistung des Kleinspannungstransformators anzugeben. Die Leuchten sind mit Leitungen $\geq 1{,}5$ mm$^2$ Cu anzuschließen. Leuchten der Gruppen B und C müssen mit einer beweglichen Anschlussleitung mindestens vom Typ H05RN-F (flexible Schlauchleitung für mittlere oder schwere Beanspruchung mit vernetzter Elastomer-Isolierung) ausgerüstet sein. Leuchten der Gruppe B müssen über nicht auswechselbare Anschlussleitungen verfügen. Für Leuchten der Gruppe C hat der Hersteller flexible Leitungen mitzuliefern.

Teile der Leuchten, die mit dem Wasser des Beckens in Berührung stehen, müssen IPX8 (druckwasserdicht), Teile, die nicht mit dem Wasser in Berührung kommen, mindestens IP54 (staub- und spritzwassergeschützt) entsprechen. Leuchten, die nur im Wasser gebraucht werden, müssen die Aufschrift „Nur im Wasser betreiben" tragen. Gegebenenfalls ist der Hinweis des Herstellers zu beachten, dass beim Einbau von Aluminium und seinen Legierungen in Beton o. dgl. die erforderlichen Korrosionsschutzmaßnahmen vorgenommen und nach dem Einbau nicht beeinträchtigt werden.

Leuchten, die nicht mit Wasser in Berührung kommen (z. B. wenn sie hinter einer von der Leuchte unabhängigen Glasscheibe angebracht sind), sind keine Leuchten für Schwimmbecken im Sinne der VDE 0711-2-18. Sie müssen aber der allgemeinen Leuchtennorm VDE 0711-1 entsprechen. Dazu gehören Unterwasserleuchten, die hinter wasserdichten Schutzgläsern (Bullaugen) angebracht und von hinten bedienbar sind. Bei Einsatz in begehbaren Becken müssen sie so installiert werden, dass eine zufällige oder absichtliche leitfähige Verbindung zwischen Körpern der Unterwasserscheinwerfer und irgendeinem leitfähigen Teil der Bullaugen nicht auftreten kann.

**Betriebsmittel im Bereich 1 von begehbaren Becken**

Wie oben beschrieben, darf innerhalb der Bereiche 0 und 1 von Schwimmbecken und anderen begehbaren Becken nur der Schutz durch Kleinspannung mittels SELV mit AC ≤ 12 V oder DC ≤ 30 V angewendet werden. Sollten es notwendig sein, Betriebsmittel im Bereich 1 einzusetzen, die z. B. aus Gründen der elektrischen Leistung mit einer SELV-Spannung AC > 12 V oder DC > 30 V betrieben werden müssen (z. B. Filter, Gegenstromanlagen), ist das erlaubt, sofern folgende drei Anforderungen erfüllt sind und es sich nur um fest angebrachte Betriebsmittel handelt:

- Die Betriebsmittel müssen in einem Gehäuse aus Isolierstoff angeordnet werden, das der Schutzklasse II oder der Schutzmaßnahme doppelte oder verstärkte Isolierung entspricht. Außerdem muss als Merkmal der äußeren Einflüsse (VDE 0100-510:2014-10, Anhang ZA1) Schutz gegen mittlere mechanische Beanspruchung (Kurzzeichen: AG2) gegeben sein (gebräuchliche Betriebsmittel für den Industrieeinsatz oder verstärkter mechanischer Schutz). Das Gehäuse darf vom Hersteller des Betriebsmittels vorgesehen werden;
- die Betriebsmittel dürfen nur über eine Luke oder eine Tür mit einem Schlüssel oder Werkzeug zugänglich sein. Das Öffnen der Luke oder der Tür muss zwangsläufig zur Abschaltung aller aktiven Leiter führen. Das Versorgungskabel oder die Versorgungsleitung sowie die Trenneinrichtung müssen in einer Weise installiert werden, dass ein Schutz wie bei Schutzklasse II oder der Schutzmaßnahme doppelte oder verstärkte Isolierung gegeben ist;

- als Schutz gegen elektrischen Schlag muss der Stromkreis geschützt werden durch:
  - Schutz durch Kleinspannung mittels SELV, mit der maximal zulässigen Nennspannung AC 25 V oder DC 60 V (s. Abschn. 5.9),
  - Schutztrennung mit nur einem Verbrauchsmittel (s. Abschn. 5.8);
- die jeweilige Stromquelle muss in beiden Fällen (SELV und Schutztrennung) außerhalb der Bereiche 0, 1 und 2 angeordnet sein;
  - automatische Abschaltung der Stromversorgung mit einer Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) $I_{\Delta n} \leq 30$ mA (s. Abschn. 5.6).

#### 14.4.4.3 Nicht begehbare Becken

**Bereiche 0 und 1 von *nicht* begehbaren Becken**

Bei *nicht begehbaren Becken* (z. B. Becken von Springbrunnen, künstlich angelegter Gartenteich) müssen für Stromkreise in den Bereichen 0 und 1 mindestens eine der Fehlerschutzmaßnahmen angewendet werden (den Bereich 2 gibt es bei nicht begehbaren Becken nicht):

- Schutz durch Kleinspannung mittels SELV, mit der maximal zulässigen SELV-Spannung (AC 50 V oder DC 120 V) (s. Abschn. 5.9);
  die Stromquelle muss, auch wie bei den begehbaren Becken, außerhalb der Bereiche 0 und 1 angeordnet sein;
- automatische Abschaltung der Stromversorgung mit einer Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) $I_{\Delta n} \leq 30$ mA (s. Abschn. 5.6),
- Schutztrennung mit nur einem Verbrauchsmittel (s. Abschn. 5.8);
  die Stromquelle muss sich auch außerhalb der Bereiche 0 und 1 befinden.

**Betriebsmittel in den Bereichen 0 und 1 von nicht begehbaren Becken**

Bei *nicht begehbaren Becken* müssen elektrische Betriebsmittel im Bereich 0 oder 1 (den Bereich 2 gibt es nicht) eine mechanische Schutzvorrichtung haben, die nur mit Werkzeug entfernt werden kann. Solch eine mechanische Schutzeinrichtung kann eine Gitterabdeckung sein. Leuchten müssen ebenfalls fest installiert werden und der VDE 0711-218 entsprechen („Leuchten für Schwimmbecken und ähnliche Anwendungen", s. o.). Wenn die Schutzmaßnahme automatische Abschaltung der Stromversorgung angewendet wird, sollten nur Betriebsmittel der Schutzklasse I (Körper mit Schutzleiteranschluss) eingesetzt werden.

## 14.5 Garagen

Je nach *Nutzfläche*, das ist die Summe ihrer Abstell- und Verkehrsflächen, werden nach der Muster-Garagenverordnung (M-GarVO) (Fassung Mai 1983 mit letzter Änderung vom 30.05.2008) Garagen unterteilt in

- Kleingaragen (Nutzfläche $\leq 100\ m^2$),
- Mittelgaragen (Nutzfläche $> 100 \ldots 1\,000\ m^2$) und
- Großgaragen (Nutzfläche $> 1\,000\ m^2$).

Weitere Unterscheidungsmerkmale nach der M-GarVO sind u. a. offene Garagen (Merkmal: unmittelbar ins Freie führende unverschließbare Öffnungen bestimmter Größe und Bauausführung), geschlossene Garagen (erfüllen Merkmale der offenen Garage nicht) und oberirdische Garagen (Merkmal: Fußboden im Mittel nicht mehr als 1,50 m unter der Geländeoberfläche).

Die für Garagen maßgebenden VDE-Bestimmungen sind natürlich die Teile der Reihe VDE 0100. Speziellen Teile, die zusätzliche Anforderungen an elektrische Anlagen von Garagen stellen, sind der Teil VDE 0100-718 (Stand: Juni 2014) mit dem neuen Untertitel „Öffentliche Einrichtungen und Arbeitsstätten" (vorher: „Bauliche Anlagen für Menschenansammlungen") (s. Abschn. 14.11) (früher: VDE 0108-1 und -6, erlaubte Anwendung bis März 2007) und VDE 0100-560 (Stand: Okt. 2013) mit dem Untertitel „Einrichtungen für Sicherheitszwecke" (s. Abschn. 12.2). Im neuen Teil 718 werden unter dem neuen Oberbegriff „Öffentliche Einrichtungen" beispielhaft die Begriffe Tiefgaragen und Parkhäuser genannt, also nicht die Begriffe Klein-, Mittel- und Großgaragen der MGarVO. Bei der Errichtung der elektrischen Anlage müssen die Muster-Garagenverordnung (M-GarVO) bzw. im konkreten Fall die *Garagenverordnungen* der einzelnen Bundesländer berücksichtigt werden. Nach der M-GarVO muss in Mittel- und Großgaragen eine allgemeine elektrische Beleuchtung vorhanden sein. Diese muss so beschaffen und mindestens in zwei Stufen derartig schaltbar sein, dass an allen Stellen der Nutzflächen und Rettungswege in der ersten Stufe eine Beleuchtungsstärke von mindestens 1 Lux und in der zweiten Stufe von mindestens 20 Lux erreicht wird [§ 14 (1)].

In Großgaragen müssen die zu den notwendigen Treppen oder zu den Ausgängen ins Freie führenden Wege (Rettungswege) an den Wänden durch beleuchtete Hinweise gekennzeichnet sein.

Eine *Sicherheitsbeleuchtung* wird nach der Muster-Garagenverordnung (M-GarVO, Stand: 2008) in geschlossenen Großgaragen gefordert. Ausgenommen sind eingeschossige Großgaragen mit festem Benutzerkreis, z. B. Wohnhausgaragen. Da

das Baurecht Länderrecht ist und deswegen die Bundesländer in der Regel jeweils eigene Verordnungen erlassen, kann es je nach Bundesland Abweichungen von der M-GarVO dahingehend geben, dass eine Sicherheitsbeleuchtung auch in mehrgeschossigen unterirdischen Mittelgaragen gefordert wird. Zu Ausführungsbestimmungen für die Sicherheitsbeleuchtung in Garagen siehe Abschnitt 12.3. Besonders zu beachten ist, dass zu den Flucht- und Rettungswegen in Mittel- und Großgaragen die Fahrgassen, die zu den Ausgängen führenden Gänge in den Garagengeschossen, die notwendigen Treppen sowie die erhöhten Gehsteige neben Zu- und Abfahrten und auf Rampen zählen.

Für Klein- und in der Regel eingeschossige Mittelgaragen sowie für nach Baurecht sog. offene Garagen enthalten die VDE-Bestimmungen keine speziellen Aussagen. Die elektrischen Anlagen in Klein- und Mittelgaragen sollten wie für feuchte und feuergefährdete Betriebsstätten ausgeführt werden (s. Abschn. 14.1 u. 14.7). Garagen, in denen ausschließlich elektrisch angetriebene Fahrzeuge eingestellt werden, können wie feuchte Räume installiert werden. Die Garagenverordnungen und die VDE-Bestimmungen enthalten dazu jedoch keine Forderungen.

Wird eine Garage – egal ob Klein-, Mittel- oder Großgarage, offene oder geschlossene Garage – als feuchter und nasser Raum eingestuft, müssen elektrische Betriebsmittel in entsprechender IP-Schutzart ausgeführt werden (s. Abschn. 14.1).

Geschlossene Mittel- und Großgaragen benötigen nach der M-GarVO eine mechanische *Abluftanlage*, die über mindestens zwei gleich große Ventilatoren verfügen muss. Jeder Ventilator muss aus einem eigenen Stromkreis gespeist werden, der unmittelbar von den Sammelschienen des Hauptverteilers der Garagen oder den Sammelschienen eines besonderen Verteilers für die Lüftungsanlage abgezweigt ist und an den andere elektrische Anlagen nicht angeschlossen werden dürfen. Soll das Lüftungssystem zeitweise nur mit einem Ventilator betrieben werden, so müssen die Ventilatoren so geschaltet sein, dass sich bei Ausfall eines Ventilators der andere selbsttätig einschaltet. Dazu muss der Luftstrom, z. B. durch ein Windfahnenrelais, überwacht werden, um den Ausfall eines Ventilators durch Keilriemenriss feststellen zu können. Der Ausfall eines Ventilators sollte durch ein Warnsignal, z. B. Hupe, gemeldet werden. Ist in einer Garage eine CO-Warnanlage vorhanden, so müssen deren Signalgeber (Lautsprecher oder Blinkzeichen) an die Stromquelle für Sicherheitszwecke der elektrischen Anlage für Sicherheitszwecke (bisher auch Sicherheitsstromversorgung genannt) angeschlossen werden. Nach der M-GarVO wird eine Ersatzstromquelle verlangt. Im Sinne der VDE 0100-560 ist hier sicher eine Stromquelle für Sicherheitszwecke gemeint, da nach VDE 0100-560 eine Ersatzstromquelle nur dazu bestimmt ist, die elektrische Energieversorgung bei einer Unterbrechung der üblichen Stromversorgung aus anderen Gründen als für Sicherheitszwecke aufrechtzuerhalten.

Geschlossene Mittel- und Großgaragen müssen nach der Muster-Garagenverordnung (M-GarVO) Brandmeldeanlagen (s. Abschn. 18.7) haben, wenn sie in Verbindung mit baulichen Anlagen oder Räumen stehen, für die Brandmeldeanlagen erforderlich sind. Nach den Garagenverordnungen einzelner Bundesländer wird z. B. für geschlossene Großgaragen generell eine Brandmeldeanlage gefordert.

Zur *Vermeidung von Zündquellen* dürfen generell keine Heizungsanlagen mit möglichen Temperaturen > 300 °C verwendet werden (z. B. elektrische Heizventilatoren). Heizgeräte für Kleingaragen sind genormt. Sie müssen mindestens IP5X entsprechen. Gehäuse, deren Oberseite eine Oberflächentemperatur von 105 °C (bezogen auf 20 °C Umgebungstemperatur) überschreitet, müssen eine schräge Oberseite erhalten, sodass Gegenstände darauf nicht abgelegt werden können. Die Oberflächentemperatur dieser Oberseite und der übrigen Außenflächen darf 110 °C nicht überschreiten. Steuer- und Regelteile sowie Schalter sind mindestens in Schutzart IP54 auszuführen. Das ortsfeste Gerät ist fest anzuschließen.

Bzgl. Garagen für gasbetriebene Kraftfahrzeuge siehe Abschnitt 14.9.11.

## 14.6 Baustellen

VDE 0100-704

Im Oktober 2007 ist der neue Teil 704 der VDE 0100 in Kraft getreten. Bis Januar 2009 konnte der alte Teil noch angewendet werden.

Als *elektrische Anlagen auf Baustellen* gelten zeitlich begrenzt bestehende elektrische Anlagen, die vorgesehen sind für Arbeiten bei der Herstellung von neuen Bauwerken, für die Reparatur, den Umbau, die Erweiterung oder den Abbruch vorhandener Bauwerke, für Erdarbeiten und – wie es heißt – für ähnliche Arbeiten. Die Anforderungen der VDE 0100-704 gelten für die fest und die beweglich errichteten elektrischen Anlagen von Baustellen.

Nicht als Einrichtungen einer Baustelle gelten nach diesem Teil 704 die elektrischen Anlagen von Fördergeräten, Bandanlagen, rückbaren Bahnanlagen, Entwässerungsanlagen, Anlagen zur Nassgewinnung und -förderung, die von Land mit elektrischer Energie versorgt werden, und sonstige elektrische Anlagen in Tagebauen, Steinbrüchen und ähnlichen Betrieben zum Gewinnen, Fördern und Verkippen, wenn dabei erschwerte Einsatzbedingungen auftreten können. Für diese Anlagen gilt VDE 0168. Ebenfalls nicht als elektrische Anlagen einer Baustelle gelten Verwaltungsräume von Baustellen (z. B. Büros, Umkleideräume, Sitzungsräume, Kantinen, Restaurants, Schlafräume, Toiletten). Unter Umständen gelten für besondere Situationen verschärfte Bedingungen, z. B. für leitfähige Bereiche mit begrenzter Bewegungsfreiheit (s. Abschn. 14.17).

Stellen, an denen lediglich Handleuchten, Lötkolben, Schweißgeräte oder Elektrowerkzeuge angewendet werden, gehören auch nicht zu den Baustellen. Hier können die im Bauwerk bereits vorhandenen, fest installierten Schutzkontaktsteckdosen das ordnungsgemäße Anwenden des Fehlerschutzes (Schutz bei indirektem Berühren) gewährleisten. Dies gilt auch für einzeln verwendete Betonmischmaschinen, wenn sie mit Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder Schutztrennung arbeiten oder wenn die Schutzmaßnahme „doppelte oder verstärkte Isolierung" (bisherige Bezeichnung: Schutz durch Verwenden der Schutzklasse II oder gleichwertige Isolierung) angewendet wird.

**Einspeisung, Baustromverteiler**

Eine Baustelle darf aus mehreren Einspeisungen einschl. Niederspannungs-Stromerzeugungsanlagen (s. Abschn. 6.4) versorgt werden. Die elektrische Einspeisung einer Baustelle erfolgt über einen speziellen Baustromverteiler (BV), den *Anschlussschrank* (s. Abschn. 7.11). Der Ort, an dem ein Anschlussschrank aufgestellt ist, wird auch als Schnittstelle zwischen dem Versorgungssystem und der Baustellenanlage betrachtet. Den sog. Speisepunkt gibt es nicht mehr. Neben dem Anschlussschrank können je nach Größe einer Baustelle weitere Baustromverteiler als BV-Kombination mit Hauptverteilerschränken, Unterverteilerschränken, Transformatorschränken für Großbaustellen, Endverteilerschränken und Steckdosenverteilern eingesetzt werden. Alle Baustromverteiler müssen nach VDE 0660-600-4 hergestellt sein (s. Abschn. 7.11). Auf kleinen Baustellen reichen oft ein Anschlussschrank und ein Steckdosenverteiler aus. Versorgungseinrichtungen für Sicherheitszwecke und Ersatzstromerzeugungsanlagen müssen über Einrichtungen angeschlossen werden, die ein Zusammenschalten der verschiedenen Einspeisungen verhindern.

Jeder Anschlussschrank und jeder Verteilerschrank muss Betriebsmittel zum Schalten und Trennen der Einspeisung enthalten. Die Forderung nach sog. *Einrichtungen zum Ausschalten im Notfall*, die alle aktiven Leiter von Verbrauchsmitteln im Gefahrenfall (Risiko eines elektrischen Schlags oder ein anderes Risiko elektrischen Ursprungs) abschalten, besteht seit Inkrafttreten des Teils 704 der VDE 0100 im Okt. 2007 nicht mehr.

Jeder Stromkreis zur Versorgung von Verbrauchsmitteln muss von einem Verteilerschrank gespeist werden, der Überstromschutzeinrichtungen, Einrichtungen, die den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) sicherstellen, und – falls erforderlich – Steckdosen enthält.

### Schutz gegen elektrischen Schlag

Auf Baustellen können mit den nachfolgend aufgeführten Ergänzungen alle Maßnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag angewandt werden (s. Kap. 5). Bei Anwendung des IT-Systems dürfen bei ortsveränderlichen (tragbaren) Stromerzeugungsanlagen Isolationsüberwachungseinrichtungen entfallen. Stromkreise mit Steckdosen mit $I_n \leq 32$ A und fest angeschlossenen, in der Hand gehaltenen elektrischen Verbrauchsmitteln mit $I_n \leq 32$ A müssen entweder durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA oder mit Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV (s. Abschn. 5.9) oder durch Schutztrennung mit einem Verbrauchsmittel (s. Abschn. 5.8) geschützt werden. Im Falle von Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV muss in jedem Fall der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) unabhängig von der Höhe der Nennspannung gegeben sein. Bei Schutztrennung muss jede Steckdose oder jedes fest angeschlossene, in der Hand gehaltene elektrische Verbrauchsmittel durch einen separaten Trenntransformator oder durch getrennte Wicklungen eines Trenntransformators versorgt werden. Wenn Schutztrennung angewendet wird, muss besonders darauf geachtet werden, dass die aktiven Teile des Stromkreises mit Schutztrennung weder mit einem anderen Stromkreis noch mit Erde verbunden werden können. Um die Gefahr eines Erdschlusses zu vermeiden, muss besonders auf die Isolierung dieser Teile gegen Erde geachtet werden, vor allem bei flexiblen Kabeln und Leitungen. Steckdosenstromkreis mit $I_n > 32$ A müssen mit Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA geschützt werden. Bisher war das nur eine Empfehlung.

### Flexible Leitungen und Steckvorrichtungen

Um eine Beschädigung zu vermeiden, sollten die Kabel und Leitungen Baustraßen oder Gehwege nicht kreuzen. Wo dies notwendig ist, muss ein besonderer Schutz vorgesehen werden, der eine mechanische Beschädigung und eine schädigende Einwirkung durch Baumaschinen oder Fahrzeuge verhindert. Flexible Leitungen müssen Schlauchleitungen für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung (frühere Bezeichnung: Gummischlauchleitungen) der Bauart H07RN-F oder Gummischlauchleitungen der Bauart NSSHÖU oder Leitungstrossen NT...ÖU sein, müssen also wetter-, ozon- und ölfeste Umhüllungen aus einer Gummimischung (z. B. Neopren) haben. Die Leitungen und ihre Kupplungssteckvorrichtungen sind vor Beschädigungen zu schützen, z. B. durch Hochlegen. Dabei muss die Kupplungs- oder Verbindungsstelle zusätzlich vom Zug entlastet sein. Kabel und Leitungen sollten nicht Verkehrswege oder Gehwege kreuzen. Wo dies notwendig ist, muss ein besonderer Schutz gegen mechanische Beschädigung und gegen Kontakt mit Baustelleneinrichtungen vor-

gesehen werden. Oberirdisch verlegte und frei gespannte Kabel und Leitungen sind gegen mechanische Beschädigung durch Umgebungseinflüsse und durch Tätigkeiten auf der Baustelle zu schützen. Als Drehstromsteckvorrichtung ist die international genormte 5-polige Industriesteckvorrichtung nach VDE 0623-2 zulässig. Dieser Teil 2 hatte VDE 0623-20 ersetzt, die von den Steckdosenherstellern noch bis Nov. 2009 angewendet werden durfte. Steckvorrichtungen müssen, wie auch das übrige Installationsmaterial, mindestens spritzwassergeschützt (Symbol ⚠) sein.

An 2-poligen Steckvorrichtungen nach der Reihe VDE 0620 sind zulässig:

- die spritzwassergeschützte 16-A-Steckvorrichtung nach den Reihen DIN 49440/41 für erschwerte Verwendungsbedingungen (s. Abschn. 11.2.3),
- die druckwasserdichte 16-A-Steckvorrichtung nach DIN 49442/43.

Leitungsroller siehe Abschnitt 11.2.6.

**Leuchten und sonstige elektrische Betriebsmittel**

Ortsfeste Leuchten sollten mindestens in der Schutzart IPX3 gekapselt sein (s. Abschn. 11.3.2.11). Ortsveränderliche Leuchten müssen mindestens strahlwassergeschützt gekapselt sein (⚠⚠; IPX5) und das Symbol T für raue Betriebe tragen (s. Abschn. 11.3.2.1). Die übrigen Betriebsmittel müssen mindestens der Schutzart IP44 entsprechen. Bei Stromerzeugungsaggregaten und Schweißstromquellen genügt die Schutzart IP23, für handgeführte Elektrowerkzeuge IP2X und für Schaltanlagen IP43.

Alle elektromotorisch betriebenen Geräte und Maschinen müssen zum Inbetrieb- und Außerbetriebsetzen durch zugeordnete Schalter (Steckdosen) allpolig schaltbar sein. Der Schalter muss an zugänglicher Stelle angebracht und vom Stand des Bedienenden leicht erreichbar sein. Bei Elektrowerkzeugen genügt eine Abschaltung, die nur ein Stillsetzen der Geräte bewirkt. Hierauf kann durch Ziehen des Steckers allpolig abgeschaltet werden.

**Unterkunftsräume**
VDE 0100-420, -717, -721

Unterkunftsräume (z. B. Holzhäuser/Baracken; VDE 0100-420), Wohnwagen (Caravans) (VDE 0100-721), transportable Baueinheiten, Lager, Werkstätten usw. zählen nicht zur Baustelle. Räume dieser Art sind nach den sonst üblichen Grundsätzen zu installieren. Zu berücksichtigen sind deshalb aus der Reihe VDE 0100 (Errichten von Niederspannungsanlagen) z. B. VDE 0100-420 (422.4 Räume oder Orte mit brennbaren Baustoffen) (s. Abschn. 14.21) oder VDE 0100-721 (Elektrische Anlagen von Caravans und Motorcaravans) (s. Abschn. 14.25).

## 14.7 Feuergefährdete Betriebsstätten und Lagerräume

VDE 0100-420 (Abschn. 422.3)

Feuergefährdete Betriebsstätten sind Räume oder Stellen in Räumen, wo sich leicht entzündliche Stoffe in Gefahr drohender Menge den elektrischen Einrichtungen so nähern können, dass höhere Temperaturen oder Lichtbögen eine Brandgefahr bilden. Hierunter können fallen: Arbeits-, Trocken-, Lagerräume oder Teile von Räumen sowie derartige Stätten im Freien, z. B. Papier-, Textil- oder Holzverarbeitungsbetriebe, landwirtschaftliche Betriebsstätten (s. Abschn. 14.8).

*Leicht entzündlich* sind brennbare feste Stoffe, die – der Flamme eines Zündholzes 10 s lang ausgesetzt – nach Entfernen der Zündquelle von selbst weiterbrennen oder weiterglimmen. Hierunter können fallen: Heu, Stroh, Hobelspäne, lose Holzwolle, Reisig, loses Papier, Baum- und Zellwollfasern, Magnesiumspäne, Holz und viele Kunststoffe bis zu 2 mm Dicke. Leicht entzündlich sind auch alle brennbaren Gase sowie flüssige Stoffe mit einem Flammpunkt < 100 °C (s. Abschn. 14.9).

Als *normal entflammbar* (Klasse B 2 nach DIN 4102-1) gelten insbesondere Holz und Holzwerkstoffe > 2 mm Dicke, genormte Dachpappen, aber auch Polyethylen, Polystyrol, Acrylglas, Polyesterharze, sofern diese Stoffe mehr als 2 mm dick sind.

VdS Schadenverhütung, ein Unternehmen des Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV), hat in der Richtlinie zur Schadenverhütung VdS 2033 eine tabellarische Beispielsammlung herausgegeben, in der Betriebsstätten, die als feuergefährdet gelten, und gleichzustellende Risiken aufgeführt sind. Hierin wird unterschieden, ob die Brandgefährdung durch leicht entzündliche Stoffe ohne oder mit Staub und/oder Fasern gegeben ist. Danach muss entschieden werden, welche IP-Schutzart elektrische Betriebsmittel haben müssen oder ob die Oberflächentemperatur eines Betriebsmittels berücksichtigt werden muss.

### Auswahl von Kabeln und Leitungen

In feuergefährdeten Betriebsstätten sollten nur die Kabel und Leitungen verlegt werden, die für die Versorgung der darin enthaltenen Betriebsmittel erforderlich sind. Um Erdschlüsse und Spannungsverschleppungen zu vermeiden, sind am besten ummantelte Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) NYM oder Kabel NYY geeignet. Wenn die Kabel und Leitungen nicht vollständig in nicht brennbaren Materialien, wie Putz, Beton, verlegt werden oder anderweitig vor Feuer geschützt sind, müssen sie schwer entflammbar sein. Das gilt auch für Kabel und Leitungen, die feuergefährdete Betriebsstätten nur durchqueren und nicht für die elektrische Versorgung innerhalb der feuergefähr-

deten Betriebsstätten notwendig sind. Ummantelte Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) NYM und Kabel NYY gelten als schwer entflammbar. Wo das Risiko der Flammenausbreitung hoch ist, wie in langen senkrechten Kanälen oder Kabelbündeln, sollten *Kabel und Leitungen mit verbesserten Verhalten im Brandfall* – auch *halogenfreie Kabel und Leitungen* genannt – eingesetzt werden. Leitungen und Kabel nach den **Tabellen 14.2** und **14.3** erfüllen diese Anforderung. Mit ihnen wird zusätzlich ein verbesserter Schutz vor Korrosionsschäden durch Halogene und vor Rauchgasen erreicht.

***Tabelle 14.2:*** *Halogenfreie Leitungen mit verbessertem Verhalten im Brandfall*

| Bauartkurzzeichen | Bezeichnung | |
|---|---|---|
| | neu | alt |
| NHXMH (VDE 0250-214) | Installationsleitung NHXMH mit verbessertem Verhalten im Brandfall | halogenfreie Mantelleitung mit verbessertem Verhalten im Brandfall |
| H05Z-U/K H07Z-U/K/R (VDE 0285-525-3-41) | halogenfreie, raucharme Ader- und Verdrahtungsleitungen mit vernetzter Isolierung für feste Verlegung U eindrähtig, K feindrähtig, R mehrdrähtig | gummiisolierte einadrige Leitung ohne Mantel für feste Verlegung mit geringer Entwicklung von Rauch und korrosiven Gasen im Brandfall |
| H07ZZ-F (VDE 0285-525-3-21) | wärmebeständige, halogenfreie Schlauchleitung mit vernetzter Isolierung sowie geringer Entwicklung von Rauch u. korrosiven Gasen für schwere Beanspruchung | ein-, mehr- und vieladrige Schlauchleitungen mit Isolierhülle und Mantel aus vernetztem Polymer, mit geringer Entwicklung von Rauch und korrosiven Gasen im Brandfall |

***Tabelle 14.3:*** *Halogenfreie Kabel mit verbessertem Verhalten im Brandfall*

| Bauartkurzzeichen | Bezeichnung |
|---|---|
| NHXHX NHXCHX (VDE 0266) | Starkstromkabel mit verbessertem Verhalten im Brandfall; Isolierung und Mantel aus halogenfreiem Werkstoff C mit konzentrischem Leiter aus Cu |
| NHXH FE 180 NHXCH FE 180 (VDE 0266) | halogenfreies Kabel mit verbessertem Verhalten im Brandfall; Isolierung aus vernetzter halogenfreier Polymermischung; Mantel aus halogenfreier Polymermischung; Isolationserhalt 180 min (nicht zu verwechseln mit Funktionserhalt); Funktionserhalt E 30 und E 90 nach DIN 4101-12 möglich; C mit konzentrischem Leiter aus Cu |
| NHXHX FE 180 NHXCHX FE 180 (VDE 0266) | halogenfreies Kabel mit verbessertem Verhalten im Brandfall; Isolierung und Mantel aus vernetzter halogenfreier Polymermischung; Isolationserhalt 180 min (nicht zu verwechseln mit Funktionserhalt); Funktionserhalt E 30 und E 90 nach DIN 4101-12 möglich; C mit konzentrischem Leiter aus Cu |

*Blanke Leiter* dürfen in feuergefährdeten Betriebsstätten nicht verwendet werden. Es müssen Vorkehrungen getroffen werden, die verhindern, dass Lichtbögen, Funken oder heiße Teile benachbarte Materialien entzünden. Beispielsweise dürfen *Schleifleitungen* nur dort verwendet werden, wo ein Ansammeln leicht entzündlicher Stoffe (Staub) ausgeschlossen ist. An mechanisch besonders gefährdeten Stellen ist ein zusätzlicher Schutz, möglichst aus elektrisch nicht leitfähigen Stoffen (z. B. dicke Kunststoffrohre), erforderlich.

Als *bewegliche Leitungen* sind mindestens Schlauchleitungen für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung (frühere Bezeichnung: flexible Gummileitungen) H07RN-F, bei starker Beanspruchung Gummischlauchleitungen (flexible Gummileitungen) NSSHÖU zu verwenden. Wegen der Brandgefahr sollte man bewegliche Leitungen in feuergefährdeten Räumen nur einsetzen, wenn es unumgänglich ist.

**Verlegen von Kabeln und Leitungen**

Kabel und Leitungen, die feuergefährdete Betriebsstätten nur durchqueren und nicht der Versorgung dieser Betriebsstätten dienen, dürfen in diesen Räumen nur Verbindungen oder Klemmen haben, wenn diese in Installationsdosen höherer Feuersicherheit nach VDE 0606-1 (Prüftemperatur 850 °C) vorgenommen werden. Hohlwanddosen (Kennzeichnung ) erfüllen diese Anforderung.

**Überstromschutz**

Kabel und Leitungen, die

a) feuergefährdete Betriebsstätten versorgen,
b) feuergefährdete Betriebsstätten nur durchqueren oder
c) ihren Speisepunkt (elektrischen Verteiler) in feuergefährdeten Betriebsstätten haben,

müssen gegen Überlast und Kurzschluss geschützt werden. Die entsprechenden Überstromschutzeinrichtungen müssen im Fall a) und b) außerhalb, in Energieflussrichtung vor diesen Betriebsstätten, im Fall c) am Anfang (Speisepunkt) dieser Stromkreise angeordnet sein. Unter *Speisepunkt* einer elektrischen Anlage versteht man den Punkt, an dem elektrische Energie in die Anlage eingespeist wird; das kann z. B. der Hausanschlusskasten oder der Baustromverteiler sein.

Die Forderung nach Schutz bei Überlast und Kurzschluss gilt für alle Kabel und Leitungen. Das bedeutet, dass keine Ausnahmen zulässig sind, wie sie in Teil 430 der VDE 0100 (Schutz von Kabeln und Leitungen bei Überstrom) genannt sind und wonach Schutzeinrichtungen in bestimmten Fällen entfallen oder versetzt werden dürfen (s. Abschn. 8.3).

**Isolationsüberwachung**

Versuche haben gezeigt, dass Fehlerströme von mindestens 300 mA über längere Zeit fließen müssen, um einen Brand zu zünden. Dagegen sind Erdschlüsse und punktförmige Leitungserwärmungen, die zu Lichtbögen führen, eine gefährliche Brandursache.

Daher müssen Kabel- und Leitungsanlagen bei Isolationsfehlern geschützt werden. Ausgenommen davon sind mineralisolierte Leitungen und Stromschienensysteme. Das Mitführen eines mit dem Schutzleiter verbundenen *Überwachungsleiters* ist die Grundvoraussetzung für den größtmöglichen Schutz bei Isolationsfehlern. Deshalb ist innerhalb der Umhüllung (Mantel) von Kabeln und Leitungen ein Schutzleiter als Überwachungsleiter oder bei Kabeln stattdessen auch ein konzentrischer Schirm, der mit dem Schutzleiter verbunden ist, mitzuführen. Der Überwachungsleiter bzw. Schutzleiter muss im gesamten Leitungsverlauf angeschlossen – d. h. geerdet – sein, auch wenn er als Schutzleiter, z. B. für die Leitungsstrecke zu einem Schalter in der Ausführung als Betriebsmittel mit der Schutzmaßnahme „Doppelte oder verstärkte Isolierung" (frühere Benennung Schutzisolierung) oder der Schutzklasse II, nicht benötigt wird. Der Schutzleiter kann gleichzeitig zum Überwachen der Berührungsspannung dienen. Tritt nun ein gefährlicher Lichtbogenfehler etwa zwischen den Außenleitern L1 und L2 innerhalb der Leitung auf, dann wird in Kürze davon auch der Überwachungsleiter berührt, der die Abschaltung der fehlerhaften Leitung über den Schutzleiter veranlasst. Der Schutzleiter sollte auch in ortsfeste elektrische Betriebsmittel der Schutzklasse II eingeführt werden, um diese Betriebsmittel ebenfalls in den Isolationsfehlerschutz einzubeziehen. Dabei ist auf die besondere Behandlung des Schutzleiters nach Einführung in ein elektrisches Betriebsmittel der Schutzklasse zu achten (s. Abschn. 5.7). Soll brandgefährlichen Isolationsfehlern vorgebeugt werden, so müssen Kabel und Leitungen erdschluss- und kurzschlusssicher verlegt werden (s. Abschn. 8.2.6).

In *TN-* und *TT-Systemen* muss der Schutz bei Isolationsfehlern durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $\leq$ 300 mA vorgenommen werden. Wo widerstandsbehaftete Fehler einen Brand verursachen können, z. B. bei Heizungen mit Flächenheizelementen, darf der Bemessungsdifferenzstrom der Fehlerstromschutzeinrichtung nur maximal 30 mA sein. Der Grund dafür ist, dass bei Heizelementen (Heizleitungen nach VDE 0253, Parallelheizleitungen nach E VDE 0254 und Flächenheizgeräte nach VDE 0700-96) im Fehlerfall meist nur kleine Fehlerströme fließen, die über längere Zeit eine Brandgefahr darstellen können, jedoch nicht zur Auslösung der Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit 300 mA führen würden.

Um die Brandgefährdung durch Fehlerströme mit hohen Frequenzen so weit wie möglich zu verringern und einen sog. gehobenen vorbeugenden Brandschutz für Personen und Sachen zu bieten, eignet sich besonders der Einsatz von Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) vom Typ B zur Auslösung bei Wechselströmen, pulsierenden und glatten Gleichströmen, für den *gehobenen vorbeugenden Brandschutz* nach VDE 0664-400 (ohne eingebauten Überstromschutz (RCCB), Typ B+) oder VDE 0664-401 (mit eingebauten Überstromschutz (RCBO), Typ B+). Nur diese und die in Abschnitt 5.6.7.1 aufgeführten Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) dürfen für den Brandschutz eingesetzt werden.

Wenn in einem TT-System eine Anlage durch eine einzelne Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) geschützt ist, so muss diese am Anfang der Anlage angeordnet sein, es sei denn, der Teil der Anlage zwischen dem Anfang und der Einrichtung erfüllt die Schutzmaßnahme „Doppelte oder verstärkte Isolierung" (frühere Benennung Schutzisolierung) (s. Abschn. 5.7). Falls mehr als eine Einspeisung vorhanden ist, gelten diese Anforderungen für jede Einspeisung.

In *IT-Systemen* müssen die sowieso notwendigen Isolationsüberwachungseinrichtungen (IMDs), die die gesamte Installation überwachen, akustisch und optisch melden. Es können auch Differenzstromüberwachungsgeräte (RCMs) in Endstromkreisen vorgesehen werden, die ebenfalls akustisch und optisch melden. Durch entsprechende Information muss die schnelle Behebung des ersten Fehlers ermöglicht werden, z. B. durch Weiterleitung der Meldung an ein übergeordnetes Melde- oder Informationssystem. Beim zweiten Fehler im IT-System darf die Abschaltzeit der Überstromschutzeinrichtung 5 s nicht überschreiten. Beim widerstandsbehafteten Kurzschluss ist diese Forderung mit Überstromschutzeinrichtungen – auch bei vorhandenem konzentrischem Leiter – nicht zu erfüllen. Die Ausweitung eines Brands kann in diesem Fall aber auch nach längerem Anstehen eines Isolationsfehlers ausgeschlossen werden, weil sich die thermische Beschädigung auf den in unmittelbarer Nähe umhüllenden konzentrischen Leiter auswirken wird, bevor sich brennbare Materialien in der weiteren Umgebung entzünden können. Dies gilt aber nur, wenn der konzentrische Leiter an den Schutzleiter angeschlossen ist.

Sollte der Einsatz von Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom von 300 mA bei leistungsstarken Verbrauchern (z. B. größeren Antrieben in Sägewerken) zur Einschränkung der Verfügbarkeit führen, so sollten als eine Maßnahme – sofern nicht schon geschehen – mehrere Fehlerstromschutzeinrichtungen eingesetzt werden, z. B. für jeden Stromkreis eine separate Fehlerstromschutzeinrichtung. Unter Umständen muss wegen unterschiedlicher möglicher Fehlerstromformen (Wechsel-, Gleich- und/oder pulsierende Fehlerströme) der Typ der Fehlerstromschutzeinrichtung (wechsel- und pulsstromsensitiv bzw. allstromsensitiv) auf die Art des Verbrauchers abgestimmt werden.

Folgende Maßnahmen können auch ergriffen werden:

- Verwenden von Leistungsschaltern mit zugeordnetem Fehlerstromauslöser (CBR) nach VDE 0660-101, Anhang B, oder mit modularem Fehlerstromgerät (MRCD) nach VDE 0660-101, Anhang M, die Außen- und Neutralleiter vom Netz trennen (s. Abschn. 5.6.7.4), oder
- Verwenden von *Differenzstromüberwachungsgeräten* (RCMs) nach VDE 0663, netzunabhängig mit Schaltgeräten, z. B. Leistungsschalter (s. Abschn. 5.6.7.1), wobei die zur Funktion der Schutzeinrichtung notwendige Hilfsspannung überwacht oder bei deren Ausfall das zugeordnete Schaltgerät abgeschaltet werden sollte, oder
- erdschluss- und kurzschlusssicheres Verlegen (s. Abschn. 8.2.6).

In der im August 1997 zurückgezogenen VDE-Bestimmung 0100-720 über feuergefährdete Betriebsstätten war als weitere Maßnahme zum Vorbeugen von Isolationsfehlern der sog. *Schutzabstand* genannt. In der Nachfolgebestimmung VDE 0100-482, die von dem aktuellen Teil 420 abgelöst wurde, und auch in dem aktuellen Teil 420 von Febr. 2013 ist der Schutzabstand nicht mehr enthalten. Andererseits brauchten nach dem zurückgezogenen Teil 482 der VDE 0100 und brauchen nach dem aktuellen Teil 420 mineralisolierte Leitungen und Stromschienensysteme bei Isolationsfehlern nicht durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) besonders geschützt zu werden. Dahinter steckt die Sicherheitsbetrachtung, dass ein Isolationsfehler oder Kurzschluss durch die Art der Leitung oder durch die Art der Verlegung – in diesem Fall Stromschienen – als unwahrscheinlich angenommen wird. Der Schutzabstand kommt dem *kurzschluss- und erdschlusssicheren Verlegen* nahe (s. Abschn. 8.2.6).

Seit dem Inkrafttreten des Teil 482 der VDE 0100 mit der Forderung, Kabel- und Leitungsanlagen (ausgenommen mineralisolierte Leitungen und Stromschienensysteme) in feuergefährdeten Betriebsstätten in TN- und TT-Systemen bei Isolationsfehlern mit Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) $I_{\Delta n} \leq 30$ mA zu schützten, wird immer wieder die Frage gestellt, wie diese Anforderung z. B. bei Maschinen erfüllt werden kann, bei denen spezielle Betriebsbedingungen gegeben sind wie:

- Brandrisiko (z. B. Einsatz in der Papier- oder holzverarbeitenden Industrie),
- Einsatz von Maschinen mit frequenzgeregelten oder frequenzgesteuerten elektrischen Antrieben, wodurch z. B. betrieblich bedingte Schutzleiterströmen (Ableitströmen) in solcher Höhe entstehen, die den Einsatz von Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs), Leistungsschaltern mit zugeordneten Fehlerstromauslösern (CBRs) oder netzspannungsunabhängigen Differenzstromüberwachungsgeräten (RCMs) nicht zulassen.

Wie in diesen Fällen verfahren werden kann, haben die zuständigen Normenkomitees der DKE (K 225 und UK 221.2) in einer so genannte Verlautbarung vom 12.10.2015 unter dem Titel „Einsatz von elektrischen Ausrüstungen von Maschinen nach DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1):2007-06 in feuergefährdeten Betriebsstätten nach DIN VDE 0100-420 (VDE 0100-420):2013-02, Abschnitt 422.3," veröffentlicht, die z. B. im Internet nachgelesen werden kann.[1]

**PEN-Leiter, Isolationsmessung**

Da die Isolationsmessung an Leitungen in feuergefährdeten Betriebsstätten besonders wichtig ist und unkontrollierbare Ströme im PEN-Leiter feuergefährlich werden können (Leiterbruch!), darf hier der Strom führende Neutralleiter nicht gleichzeitig Schutzleiter sein. Deshalb ist der PEN-Leiter vom letzten Verteiler außerhalb der feuergefährdeten Betriebsstätte an in einen Neutralleiter und einen Schutzleiter aufzutrennen (TN-S-System), der PEN-Leiter ist also nicht zulässig, es sei denn, es handelt sich um mineralisolierte Kabel und Leitungen oder die Kabel und Leitungen werden erd- und kurzschlusssicher verlegt (s. Abschn. 8.2.6). Hinter der Aufteilung des PEN-Leiters in Neutralleiter und Schutzleiter darf der Neutralleiter nicht mehr geerdet werden. Man kann dann die Isolationswiderstände von Außenleiter und Neutralleiter gegen Erde messen, unabhängig davon, ob zwischen Außenleiter und Neutralleiter Stromverbraucher eingeschaltet sind oder nicht. Jeder Neutralleiter sollte unabhängig vom Leiterquerschnitt mit einer Trennvorrichtung verbunden sein, sodass eine Isolationsmessung ohne Abklemmen des Neutralleiters möglich ist. Als Trennvorrichtungen kommen außer den speziellen Trennklemmen (s. Bild 7.30) auch Trenner, Last-Trennschalter, Steckvorrichtungen und austauschbare Sicherungen infrage.

Neu ist mit Inkrafttreten von VDE 0100-420:2013-02, dass in Kabeln und Leitungen von Stromkreisen, die feuergefährdete Betriebsstätten nur durchqueren, der PEN-Leiter zulässig ist. Allerdings ist eine Verbindung zwischen dem durchquerenden PEN-Leiter und leitfähigen Teilen in den Betriebsstätten nicht zulässig. Die Kabel und Leitungen müssen dann derart verlegt werden, dass das Risiko eines Fehlers zwischen dem PEN-Leiter und leitfähigen Teilen in der feuergefährdeten Betriebsstätte auf ein Minimum reduziert wird.

1 www.dke.de/de/Service/Installationstechnik

### Hauptschalter

Es ist empfehlenswert, die nach feuergefährdeten Räumen führende Netzzuleitung allpolig (einschl. des Neutral- oder PEN-Leiters) abschaltbar oder durch Stecker abtrennbar zu machen. Solch ein Schalter ist für Anlagen, auf die die privatrechtlichen, von VdS Schadenverhütung, einem Unternehmen des Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV), herausgegebenen VdS-Richtlinien angewendet werden müssen, sogar zwingend vorgeschrieben. Dieser als Hauptschalter bezeichnete Schalter muss außerhalb der feuergefährdeten Betriebsstätte angebracht werden. Seine Schaltstellung muss eindeutig erkennbar sein (Stellung „Ein"/„Aus" oder „0"/ „I"). Das selbsttätige Einschalten darf nicht möglich sein. Der Schalter sollte mit einer Kontrolllampe ausgestattet sein.

### Elektrische Betriebsmittel allgemein

In Bereichen, in denen gefährliche Mengen brennbaren Materials in die Nähe elektrischer Betriebsmittel kommen können, dürfen nur die für diese Bereiche notwendigen elektrischen Anlagen eingesetzt werden. Es muss alles getan werden, damit sich kein Staub und/oder keine Fasern auf den Gehäusen der elektrischen Betriebsmittel ablagern können. Die Schutzart der elektrischen Betriebsmittel in der feuergefährdeten Betriebsstätte muss mindestens IP4X sein. Wenn nicht auszuschließen ist, dass sich Staub und/oder Fasern in feuergefährlichen Mengen ablagern können, muss alles getan werden, dass keine Oberflächentemperaturen auftreten, die den Staub und/oder die Fasern entzünden können. Die Schutzart dieser Betriebsmittel muss mindestens IP5X entsprechen. Bei Elektrowärmegeräten sind die vom Hersteller angegebenen Abstände zu brennbaren Stoffen einzuhalten. Dann genügt ggf. die Schutzart IP2X.

*Schaltgeräte* müssen außerhalb feuergefährdeter Betriebsstätten angeordnet werden, es sei denn, sie sind in Gehäusen mit einer der genannten Schutzarten eingebaut. Bei Staub- und Faseranfall muss die Schutzart mindestens IP5X sein. Zu empfehlen ist, Schaltgeräte generell außerhalb der feuergefährdeten Betriebsstätte zu platzieren.

*Steckvorrichtungen* sollten zum Schutz gegen Erdschlüsse ein Isolierstoffgehäuse haben. Schalter und Steckdosen sollte man geschützt, z. B. in Nischen, verlegen.

### Leuchten (s. Abschn. 11.3.2)

Bei Leuchten für feuergefährdete Betriebsstätten hatte es mit Inkrafttreten des inzwischen ersetzten Teils 482 der VDE 0100 im Aug. 1997 zwei wesentliche Neuerungen gegeben. Zuvor mussten nur in Betriebsstätten, die durch Staub oder Fasern feuergefährdet sind, *Leuchten mit begrenzter Oberflächentemperatur* eingesetzt werden.

Seitdem müssen in feuergefährdeten Betriebsstätten immer Leuchten mit begrenzter Oberflächentemperatur verwendet werden. Leuchten mit den Kennzeichen

- D nach VDE 0711-2-24 (aktuelle Ausgabe: 2014-04) ohne zusätzliche Abdeckung (s. unten),
- FF nach VDE 0710-5 (zurückgezogen am 01.07.1999, ersetzt durch VDE 0711-2-24:1999-07) oder
- M nach VDE 0710-14 (noch gültiger Stand: 1982-04)

erfüllen die Anforderung der Oberflächentemperaturbegrenzung, wenn die vom Leuchtenhersteller vorgegebenen Einbauanweisungen und Sicherheitsabstände eingehalten werden. Leuchten mit begrenzter Oberflächentemperatur, die auch bei Anfall von Staub und/oder Fasern eingesetzt werden können, sind Leuchten nach VDE 0710-5 mit dem Bildzeichen FF. Dieses Zeichen ist durch das neue Zeichen D ersetzt worden (s. Abschn. 11.3.2). Das Bildzeichen D muss sichtbar an der Leuchte angebracht sein. Zusätzlich müssen in Betriebsstätten, in denen mit Feuergefahr infolge von Staub oder Fasern gerechnet werden muss, diese D-Leuchten von einer zusätzlichen Abdeckung in IP5X-Ausführung umschlossen werden, z. B. einer Leuchtenwanne. D-Leuchten sind in der Schutzart IP5X ausgeführt (s. Abschn. 11.3.2.1). Beim bestimmungsgemäßen Gebrauch und im normalen Betrieb von Leuchten nach VDE 0711-2-24 wird auf allen waagerechten Oberflächen, die der Ablage von Staub ausgesetzt sind, die Temperatur von 90 °C und auf allen senkrechten äußeren Flächen die Höchsttemperatur von 150 °C nicht überschritten. Die Temperatur eines jeden Teils der Glasoberfläche von röhrenförmigen Leuchtstofflampen überschreitet 150 °C nicht. Unter Fehlerbedingungen beträgt die Grenztemperatur auf allen waagerechten Oberflächen 115 °C. Die Montageanweisungen des Leuchtenherstellers einschl. ggf. erforderlicher Mindestabstände müssen unbedingt berücksichtigt werden. Wenn der Hersteller keine Angaben zum Abstand macht, müssen kleine Scheinwerfer und Projektoren folgende Mindestabstände von brennbaren Materialien haben:

| | |
|---|---|
| ≤ 100 W | 0,5 m, |
| > 100…300 W | 0,8 m, |
| > 300…500 W | 1,0 m, |
| > 500 W | größere Abstände können notwendig sein. |

Bei den Maßangaben handelt es sich um Abstände in Luft. Diese Sicherheitsabstände sollten nicht nur für Scheinwerfer, sondern unbedingt für alle Strahlerleuchten eingehalten werden, auch wenn der Hersteller dazu keine Angaben macht.

*Lampen* und andere Bestandteile von Leuchten müssen gegen mechanische Beanspruchungen geschützt werden. Es muss verhindert sein, dass Bestandteile, wie Lampen oder andere heiße Teile, aus der Leuchte herausfallen. So sind Glühlampen z. B. durch Übergläser, bei Gefahr der Beschädigung auch durch Schutzkörbe, zu schützen. Schutzteile dürfen nicht an den Lampenhaltern befestigt werden, es sei denn, sie bilden einen wesentlichen Teil der Leuchte. Der Anschluss über Leuchten-(Lüster-)Klemmen außerhalb der Leuchten ist unzulässig. Daher müssen die Anschlussleitungen mit ihren Umhüllungen in die Leuchten eingeführt werden. Handleuchten sind in Schutzart IP4X, bei Staubgefährdung IP5X, zu verwenden.

**Heizgeräte (s. Abschn. 11.4.3)**

Heizgeräte (z. B. Wärmestrahler) in der Nähe von brennbaren Stoffen müssen mit Vorrichtungen versehen sein, die ein Berühren der Heizleiter mit diesen brennbaren Stoffen und damit ein Entzünden verhindern. Daher sind Heizgeräte – auch ortsveränderliche – mit offenen, glühenden Heizleitern unzulässig. Gehäuse von Elektrowärmegeräten (z. B. Heizgeräte, Widerstände) dürfen unter normalen Bedingungen Temperaturen von 90 °C und unter Fehlerbedingungen 115 °C nicht erreichen. Solche Geräte müssen so ausgeführt oder angebracht werden, dass sich auf ihnen keine Stoffe in solchen Mengen ansammeln können, dass die Wärmeabfuhr verhindert wird.

Heizgeräte müssen auf nicht brennbaren Unterlagen, also auf Mauerwerk, Beton, Zement, Estrich, oder auf nicht brennbaren 12 cm dicken Platten angebracht werden. Die Ablagerung leicht entzündlicher Stoffe muss, z. B. durch schräge Abdeckungen mit einem Winkel von mindestens 60° gegen die Waagerechte, verhindert sein. Die Geräteoberfläche darf nicht heißer als 115 °C werden. Elektrische Raumheizkörper müssen so aufgestellt werden, dass sie die Wärme ungehindert abgeben können.

Beim Einsatz von elektrischen Heizungs- und Belüftungssystemen müssen der Staubgehalt und die Lufttemperatur so sein, dass keine Feuergefahr entsteht. Temperaturbegrenzungseinrichtungen dürfen nur eine manuelle Rückstellung haben. Heizkörper an *Warmluftgebläsen* müssen bei Ausfall des Motorantriebs, also bei Ausfall des Luftstroms, selbsttätig abgeschaltet werden. Das Stillsetzen darf nur von Hand wieder aufzuheben sein.

Raumheizgeräte mit *Wärmespeicherung*, bei denen die Raumluft mit dem Speicherkern in Berührung kommen kann, dürfen in Räumen, die durch Staub oder Faserstoffe feuergefährdet sind, nicht verwendet werden. In solchen Räumen müssen auch andere Wärmegeräte entsprechend gekapselt sein, z. B. in Schutzart IP5X.

Der Verantwortliche für die Planung oder Ausführung der elektrischen Anlage muss der Frage, ob in einem Raum mit leicht entzündlichen Stoffen Wärmegeräte aufgestellt werden dürfen, und – wenn ja – welche, sehr gewissenhaft nachgehen.

In Zweifelsfällen empfiehlt sich eine *Anfrage bei den Feuerversicherern*. Dabei ist zu beachten, dass manches an sich vorschriftsmäßige Gerät nach jahrelangem Gebrauch im Fehlerfall zu Schaden führen kann. So haben z. B. industrielle Wärmegeräte wegen Versagens des Temperaturreglers schon wiederholt zu Bränden geführt. Hinzu kommen Bedienungsfehler, wie das Vergessen des Ausschaltens oder das Abdecken von Infrarotstrahlern mit Strohballen. Selbst eine Glühlampe kann zum Brand führen, wenn sie mit Papier oder Heu zugedeckt wird. Ein Schutzglas verzögert nur den Brand, verhindert ihn aber nicht. Wo besonders kritische Verhältnisse vorliegen, die ein Ausdehnen des Schutzes auf den Explosionsschutz erforderlich machen, ist es notwendig, sich mit Spezialisten, z. B. vom TÜV, abzustimmen.

**Motorschutz**

Ein Motorschutzschalter oder eine gleichwertige Einrichtung, z. B. Temperaturfühler, ist in feuergefährdeten Räumen für alle Motoren dringend zu empfehlen. Für Motoren, die in feuergefährdeten Räumen ohne ständige Aufsicht laufen oder automatisch gesteuert oder fernbedient werden, muss eine Überlastschutzeinrichtung mit manueller Rückstellung oder eine gleichwertige Überlastschutzeinrichtung verwendet werden. Dies gilt auch für Motoren mit Stern-Dreieck-Anlauf in der Sternstufe.

## 14.8 Landwirtschaftliche und gartenbauliche Betriebsstätten

VDE 0100-705, VDE 0131 bzw. VDE 0105-115

In der Landwirtschaft treten durch Elektrizität im Verhältnis zum Stromverbrauch relativ viele Schäden auf. Etwa 10 % aller Schäden durch Elektrobrände betreffen die Landwirtschaft, obwohl hier nur 2 % des Stroms verbraucht werden. Nahezu alle Elektrounfälle in der Landwirtschaft ereignen sich an beweglich angeschlossenen Betriebsmitteln. Eine sorgfältige Elektroinstallation ist deshalb in der Landwirtschaft besonders wichtig.

Die spezielle VDE-Bestimmung für landwirtschaftliche und gartenbauliche Betriebsstätten ist die VDE 0100-705, zuletzt geändert im Oktober 2007. Der vorher geltende Teil von Okt. 1992 und der als Vornorm zusätzlich geltende Teil von April 2003 durften noch bis Sept. 2009 angewendet werden.

Zu den landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten gehören Räume, Orte oder Bereiche, in denen landwirtschaftliche Nutztiere gehalten, Futtermittel, Düngemittel, pflanzliche oder tierische Erzeugnisse gelagert, aufbereitet und weiterverarbeitet werden. Das sind also z. B. Ställe für Nutztiere und deren Neben-

räume (z. B. Futterküchen, Melkstände, Milchkammern), Scheunen, Lagerhäuser, Lager- und Vorratsräume und andere Lagerstätten, z. B. auch für Heu, Stroh, Silage, Betriebsstoffe, sowie Gewächshäuser. Unter Aufbereiten und Weiterverarbeiten sind z. B. Trocknen, Dämpfen, Gären, Schlachten und Fleischverarbeitung zu verstehen.

Die Bestimmungen in VDE 0100-705 gelten nur für landwirtschaftliche Betriebsstätten und gartenbauliche Anwesen, nicht jedoch für Wohnungen. Diese sind nach den allgemeinen Bestimmungen für Hausinstallationen zu behandeln. Einige Anforderungen gelten auch in den sog. dazugehörigen Wohnungen und anderen Räumlichkeiten von landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten. Wohnungen und andere Räumlichkeiten, wie Büros, Sozialräume, Maschinenhallen, Werkstätten, Garagen und Verkaufsräume, gelten als dazugehörig, wenn durch fremde leitfähige Teile oder Schutzleiter elektrisch leitende Verbindungen zu landwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betriebsstätten bestehen, z. B. metallene Rohrleitungen, Schutzleiter oder Schirme von Kabeln oder Leitungen derselben Verbrauchsanlage. Zu beachten ist, dass auch an Räume, die nicht in den Anwendungsbereich der neuen VDE 0100-705 fallen, in denen aber nach der UVV der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaft „betriebsdienliche" Tätigkeiten durchgeführt werden, Anforderungen gestellt werden.

Mit Inkrafttreten des Teils 705 (Landwirtschaftliche und gartenbauliche Anwesen) der VDE 0100 im Oktober 1992 sind aufgrund der europäischen Harmonisierung einige Anforderungen entfallen. Diese Anforderungen werden aber von VdS Schadenverhütung, einem Unternehmen des Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV), nach wie vor aufrecht erhalten (s. VdS-Richtlinie 2067:2008-01 „Elektrische Anlagen in der Landwirtschaft"). Sie sind zumindest für versicherte landwirtschaftliche Anwesen i. Allg. gültig. Maßgebend ist aber, was zwischen Versicherer und Versicherten vereinbart wird. Seit Inkrafttreten der Vornorm VDE V 0100-0705, die durch VDE 0100-705:2007-10 ersetzt worden ist, sind nun wieder einige Anforderungen dazugekommen oder geändert worden, die nachfolgend aufgeführt werden.

**Einstufung der Betriebsräume**

*Feucht:* Kellerräume, Wasserpumpenraum, Kornspeicher, Düngerschuppen, Maschinenschuppen, Schlepper-Einstellraum, Spülküche, Milchkammer, Futterküche, Anlagen im Freien u. dgl.

*Feucht und feuergefährdet:* Ställe, auch Räume für Geflügelhaltung und Nebenräume von Ställen, Räume für Intensivtierhaltung (s. u.), Lager- und Vorratsräume für Heu, Stroh, Häcksel, Kraftfutter, Düngemittel, Räume, in denen z. B. Körner, Grünfutter, Kartoffeln aufbereitet werden (Trocknen, Dämpfen u. dgl.).

**Verteiler**

Schalt- und Verteileranlagen, Schaltgeräte, Überstromschutzeinrichtungen u. dgl. müssen entsprechend den unterschiedlichen Umgebungsbedingungen und Raumarten in der Landwirtschaft und im Gartenbau die geeignete *Schutzart* für Staub und Wasser aufweisen (feuchte und nasse Bereiche, feuergefährdete Betriebsstätten). Im Allgemeinen ist die Schutzart IP4X vorzusehen, wenn kein Staub auftritt, und IP5X, wenn Staub auftritt. Daher wird empfohlen, Verteilungstafeln, Schutzschalter, Regler usw. in trockenen Räumen, z. B. in Wohngebäuden, anzubringen, weil dann auf eine erhöhte Schutzart verzichtet werden kann. Aber auch dort müssen alle Betriebsmittel, z. B. Zählerschränke oder Kleinverteiler, die zu einer brennbaren Befestigungsfläche hin offen sind, von dieser feuersicher getrennt sein.

Aufgrund der Forderungen von VdS Schadenverhütung, einem Unternehmen des Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV), muss die Anlage im Ganzen oder gebäudeweise durch jederzeit zugängliche, gekennzeichnete *Hauptschalter* freischaltbar sein, wobei die Schaltstellung erkennbar sein muss. Alle nicht geerdeten Leiter müssen gleichzeitig abgeschaltet werden. Als Hauptschalter dürfen auch *Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs)* verwendet werden. Leuchtmelder für die Schaltstellung erleichtern die Übersicht (grün = aus, weiß oder blau = ein). Stromkreise, die nur gelegentlich, z. B. während der Drescharbeiten, eingeschaltet werden, müssen einen eigenen, gekennzeichneten Schalter erhalten.

In jedem Gebäude oder Gebäudeabschnitt muss von einer Stelle aus die elektrische Anlage allpolig abgeschaltet werden können. Das Schaltgerät muss eine Trennvorrichtung nach VDE 0100-537 haben. Das allpolige Abschalten gilt auch für Stromkreise, die nur gelegentlich genutzt werden, z. B. während der Erntezeit. Als Trennvorrichtung können auch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) genutzt werden.

Für die erforderliche Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) ist im Verteiler genügend Platz vorzusehen. Um bei einem Fehler nicht den ganzen Betrieb stilllegen zu müssen, sollte die Anlage auf mehrere Fehlerstromschutzeinrichtungen aufgeteilt werden.

Werden zum Hauptverteiler Unterverteiler vorgesehen – was zu empfehlen ist –, dann sind auch die Unterverteiler mit Hauptschaltern auszurüsten. In diesem Fall muss die vorgeschaltete Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) im Hauptverteiler über selektive Auslösung (Kennzeichen S) verfügen.

*Überstromschutzeinrichtungen* zum Schutz gegen Überlast sind stets am Leitungsanfang anzuordnen (s. Abschn. 14.7). Dafür dürfen für Verbrauchsmittel fest eingebaute LS-Schalter nach Reihe VDE 0641, Leistungsschalter nach VDE 0660-101 und auch Schmelzsicherungen (s. Abschn. 7.4.2) verwendet werden. Bei Stromkreisen,

die in feuergefährdete Betriebsstätten führen, muss ein Kurzschluss innerhalb von 5 s abgeschaltet werden, sofern die Leitungen nicht über eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) geschützt sind und über einen Überwachungsleiter verfügen (s. Abschn. 14.7).

**Kabel- und Leitungsanlagen**

Es sind ummantelte Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) NYM oder Kabel NYY mit Isolierstoffschellen in 25 cm Abstand zu wählen. Die Unterputzverlegung ist vorzuziehen. In Tennen, Heu- oder Strohböden sind keine Abstandsschellen zu verwenden, sondern die Leitungen sind wegen der Gefahr mechanischer Beschädigung unmittelbar auf der Wand zu installieren. An gefährdeten Stellen sollten Isolierrohre als Leitungsschutz verwendet werden. In Ställen müssen Kabel und Leitungen so verlegt werden, dass sie von den Nutztieren nicht erreicht und nicht beschädigt werden können. Innerhalb der befahrbaren Bereiche von landwirtschaftlichen Anwesen, also von Gebäude zu Gebäude, müssen Kabel mindestens 0,6 m tief und mechanisch geschützt in den Erdboden verlegt werden. Elektroinstallationsrohre als zusätzlichen Schutz müssen einen sog. Schutz gegen Zusammendrücken bei Beanspruchung mit 450 N und einen sog. normalen Schutz gegen Schlageinwirkung aufweisen (nach VDE 0605-24:2011-08). Ummantelte Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) in Luft müssen in selbsttragender Aufhängung (NYMT) ausgeführt und in einer Höhe von ≤ 6 m verlegt sein. Freileitungen müssen isoliert sein. Das Verlegen von Kabeln in Erde sollte immer die bevorzugte Verlegeart sein. In urbarem Land (gedüngtes, gepflügtes, umgegrabenen Land) oder in Ackerland verlegte Kabel müssen mindestens 1 m tief verlegt werden. Werden Kabel oder Leitungen in der Luft über einer Verkehrsfläche verlegt, so sind sie nach der VdS-Richtlinie 2067 in einer Höhe von mindestens 5 m anzubringen. Bei Verlegung im Erdboden ist über den Kabelverlauf ein Plan anzufertigen und dem Betreiber auszuhändigen.

Kabel- und Leitungsanlagen zwischen Speisepunkt der elektrischen Anlage (Hausanschluss) und Hauptverteiler müssen gegen mechanische Beschädigungen geschützt sein, z. B. durch Verlegen von Kabeln oder Leitungen in getrennt zu öffnenden oder geschlossenen Kabelkanälen. Verlegen von Kabeln im Erdreich erfüllen diese Anforderungen. Dies gilt beides auch, wenn sich Kabel- und Leitungsanlagen zwischen Speisepunkt und Hauptverteilern in Wohnungen und anderen Räumlichkeiten von landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten befinden.

In brandgefährdeten Bereichen oder Räumen sind Kabel und Leitungen so zu verlegen, dass sie keinen Brand übertragen können. Soweit sie nicht unter oder in Putz verlegt werden können und die Außenmäntel nicht aus PVC bestehen,

müssen sie verkleidet werden. Das gilt auch für Kabel und Leitungen, die Räume nur durchqueren. Klemmen und Verbindungen von diesen Kabeln und Leitungen dürfen nur in schwer entflammbaren Kästen untergebracht werden.

Als bewegliche Leitungen haben sich flexible Schlauchleitungen für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung H07RN-F, bei schwerer Beanspruchung auch wärmebeständige Schlauchleitung mit Polyurethanmantel für mittlere Beanspruchung H05BQ-F (früher: Gummischlauchleitung, zuvor: NGMH11YÖ) und Gummischlauchleitung NSSHÖU, bewährt.

**Installationsmaterial**

Da die meisten Bereiche durch Staub oder Fasern feuergefährdet sind, ist Installationsmaterial mindestens der Schutzart IP5X zu verwenden. Zudem muss es mindestens tropfwassergeschützt ausgeführt sein. In Bereichen, in denen Fußböden, Wände oder Einrichtungen zu Reinigungszwecken abgespritzt werden, z. B. in Melkständen, muss die elektrische Installation mindestens der Schutzart IPX4 entsprechen (s. auch Abschn. 14.1). Verlängerungsleitungen sollten in feuergefährdeten Räumen möglichst nicht verwendet werden. Steckdosen sind nur an einer von leicht entzündlichen Stoffen stets frei bleibenden Stelle anzubringen. In Ställen dürfen sie nur dort angeordnet werden, wo sie von den Nutztieren nicht erreicht werden können.

Es dürfen nur genormte *Steckvorrichtungen* nach den Reihen VDE 0620 oder 0623 verwendet werden, wobei als 2-polige Steckvorrichtung der abgedeckte 16-A-Typ nach DIN 49440 für erschwerte Verwendungsbedingungen zu wählen ist (**Bild 14.5**, s. auch Abschn. 11.2.3). In einer landwirtschaftlichen Betriebsstätte sind für eine Polzahl, Spannung und Stromstärke nur Steckvorrichtungen derselben Bauart zu verwenden. Die *Industriesteckvorrichtungen* (frühere und noch übliche Bezeichnung: CEE-Steckvorrichtung) müssen VDE 0623-1 und -2, die Übergangsadapter




***Bild 14.5:*** *Steckdosenkombination (Werkbild: Mennekes)*

(Stecker und Steckdosen) VDE 0623-4 entsprechen. Solche *Adapter* bestehen aus einem Stecker mit flexibler Leitung und einem Gehäuse, das Steckdosen enthält, die verwendet werden können, um eine oder zwei Haushaltsstecker (Schuko-Stecker) an eine Industriesteckdose (CEE-Steckdose) für Wechselstrom (2P + PE 16 A – 6 h/250 V ~) anzuschließen. Einteilige Adapter sind nicht zulässig. Zwischen dem Steckerteil und dem Steckdosenteil muss eine flexible Leitung von etwa 1 m Länge sein. Mehrfachsteckdosen mit Schutzkontakt mit starr angebautem Stecker dürfen jedoch nicht verwendet werden.

Soweit nicht-arealgebundene Verbrauchsmittel, also z. B. Motoren oder Elektrowärmegeräte einer Fremdfirma oder eines Nachbarn, angeschlossen werden sollen, ist bis 400 V und 32 A die 5-polige CEE-Industriesteckvorrichtung (CEE-Steckvorrichtung) nach VDE 0623-1 und -2 einzusetzen. In diesem Fall müssen auch 5-adrige Verlängerungsleitungen mit 5-poligen Steckvorrichtungen verwendet werden. Jedoch brauchen in der festen Installation 4-adrige Leitungen nicht gegen 5-adrige ausgetauscht zu werden. Entsprechend ist auch bei Strömen über 32 A zu verfahren.

### Leuchten

Leuchten sollen in Schutzklasse II (schutzisoliert) ausgeführt sein. Leuchten, die in Bereichen oder Räumen montiert werden, die durch Staub oder Fasern feuergefährdet sind, z. B. Tenne, Stall, müssen das Zeichen ▽D (bisher: ▽F▽F) tragen (s. Abschn. 14.7). Leuchten mit der Kennzeichnung ▽F▽F dürfen aber weiter eingesetzt werden.

Die Leuchten sind so anzubringen, dass sie nicht versehentlich beim Einblasen durch Gebläsehäcksler in Heu oder Stroh eingepackt werden können. Versuche haben ergeben, dass sich Häcksel auf dem Überglas von Leuchten bei 215 °C schon nach 1 h entzünden kann. Bei Leuchten, deren Betriebszustand am Einbauort nicht erkannt werden kann, sind Schalter mit Anzeigelampen einzubauen.

Ganz allgemein wird man auch in landwirtschaftlichen Betriebsstätten wie nach der Arbeitsstätten-Verordnung in gewerblichen Arbeitsstätten die Lichtschalter leicht zugänglich und selbstleuchtend installieren. Sie müssen in der Nähe der Zu- und Ausgänge sowie längs der Verkehrswege angebracht sein. Dies gilt nicht, wenn die Beleuchtung zentral geschaltet wird.

Überall, wo Glasscherben in Lebensmitteln oder Viehfutter eine Gefährdung herbeiführen können, dürfen nur Leuchten installiert werden, bei denen durch unzerbrechliche Abdeckungen oder Schutzkörbe die Lampe und die Abschlussgläser vor Zerstörung geschützt sind. Die Abdeckungen dürfen nicht an den Fassungen befestigt werden, es sei denn, dies ist vom Hersteller so vorgesehen.

In der gesamten landwirtschaftlichen Betriebsstätte dürfen, wenn kein Staub auftritt, nur Leuchten der Schutzart IP4X eingesetzt werden; wenn Staub auftritt, müssen die Leuchten der Schutzart IP5X entsprechen.

Handleuchten sollten ein Schutzglas aus Glas und nicht aus Kunststoff haben.

### Motoren

Motoren, ausgenommen die von Elektrowerkzeugen, müssen mindestens in Schutzart IP44, Klemmenkästen mindestens in Schutzart IP54 ausgeführt sein. Melkeinrichtungen müssen VDE 0700-70 entsprechen.

Es ist zweckmäßig, alle Motoren mit Motorschutzschaltern auszurüsten. Bei automatischen oder ferngesteuerten Motoren oder bei solchen, die ohne ständige Aufsicht laufen, z. B. für Wasserpumpen, Melkmaschinen, Lüfter, Körnertrockner, automatische Schrotmühlen, ist dies vorgeschrieben. In vielen Fällen empfiehlt sich ein Überspannungsauslöser. Motoren für wechselbare Drehrichtungen brauchen Umschalter.

### Elektrowärmegeräte

Elektrowärmegeräte für die Tieraufzucht und Tierhaltung wie *Infrarotstrahler* (*Hellstrahler*), „elektrische Glucken", müssen VDE 0700-71 entsprechen. Sie müssen auf verschiedene Höhen eingestellt werden können. Die Aufhängevorrichtung muss aus Metall bestehen und mindestens 2 m lang sein. Die flexible Leitung darf nicht zum Aufhängen verwendet und nicht so geführt werden, dass sie das Schutzgehäuse berührt. Das Gehäuse ist so sicher aufzuhängen, dass es sich weder an der Decke noch an der Höhenverstellvorrichtung unbeabsichtigt lösen und herunterfallen kann. Dies wird z. B. mit Karabinerhaken, Kette und Schrauböse in der Decke erreicht (**Bild 14.6**).

Die Schraubösen müssen so befestigt sein, dass sie einem Zug vom 5-fachen Gewicht des Strahlers standhalten, mindestens aber 10 kg tragen können. Die Strahler müssen allseitig mindestens 0,5 m von Tieren oder brennbaren Stoffen entfernt sein, sofern der Hersteller nicht einen größeren Abstand vorschreibt.

*Dunkelstrahler* dürfen nur in Gebäuden mit Sand, Kurzstreu o. dgl. als Bodenbedeckung angebracht werden. Für die Aufhängung gelten die gleichen Bestimmungen wie für die Hellstrahler. Offene Glühwendeln sind unzulässig. Der kleinste Gebrauchsabstand von Tieren oder brennbaren Stoffen muss auf dem Strahlergehäuse vermerkt sein.

*Kükenaufzuchtbatterien* und *Tierwärmer* brauchen Heizplatten, die VDE 0700-71 entsprechen. Tierwärmer, die am Boden betrieben werden, müssen als Geräte

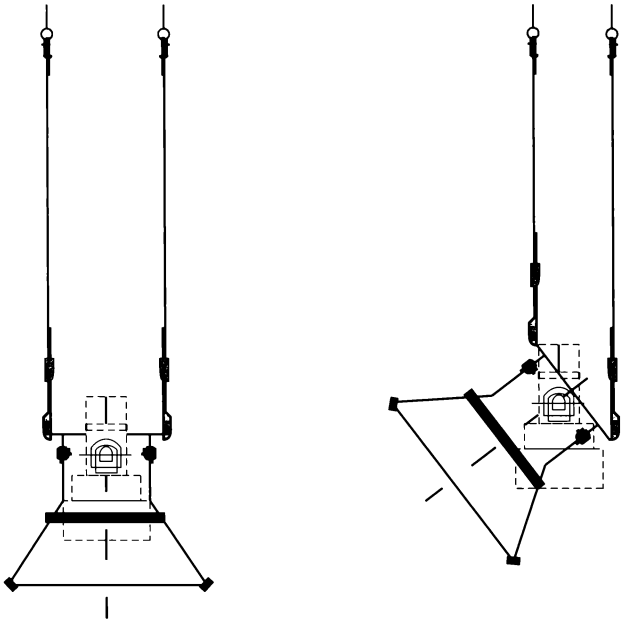


***Bild 14.6:*** *Sichere Aufhängung von Infrarotstrahlern zur Tieraufzucht*
*Beispiele für Senkrechtstrahler und Schrägstrahler bis 60° (Werkbild: Schwank)*

der Schutzklasse III (Schutz durch SELV) mit einer Bemessungsspannung ≤ 24 V gebaut sein.

*Elektrische Glucken* sind Geräte, die auf den Boden gestellt werden und die Füße oder Schlupflöcher haben, sodass Küken darunter schlüpfen können und von einer über den Tieren angebrachten Wärmeplatte erwärmt werden. Elektrische Glucken und Kükenaufzuchtbatterien dürfen nicht zugedeckt werden. Eine entsprechende Aufschrift an den Geräten muss darauf hinweisen.

*Warmluftgebläse:* siehe Abschnitt 14.7.

*Netzanschlussleitungen* zu den Wärmegeräten müssen mindestens als flexible Schlauchleitungen für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung H07RN-F (frühere Bezeichnung: flexible Gummileitungen) ausgeführt sein. Sie müssen am Gerät fest angebracht sein, d. h., Gerätesteckvorrichtungen dürfen nicht verwendet werden. Die Zuleitungen müssen bei Metallwänden durch ein fest eingebautes Isolierstück eingeführt werden, das die Vorder- und Rückseite überragt.

**Schutz gegen elektrischen Schlag, Viehschutz, Brandschutz**

Als Schutz gegen elektrischen Schlag ist die Schutzmaßnahme automatische Abschaltung der Stromversorgung zugelassen (s. Abschn. 5.6). Beim Anwenden des TN-Systems ist ab dem Hauptverteiler ein TN-S-System, also mit getrenntem Schutz- und Neutralleiter, auszuführen. Dies gilt auch für die dazugehörigen Wohnungen und anderen Räumlichkeiten. Für Bereiche der Tierhaltung ist die Grenze der dauernd zulässigen Berührungsspannung auf $U_L$ = AC 25 V oder DC 60 V nicht mehr vorgeschrieben. Wird Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV angewendet, muss unabhängig von der Nennspannung der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) durch Abdeckungen oder Umhüllungen, die mindestens der Schutzart IPXXB oder IP2X entsprechen, gegeben sein. Es kann auch stattdessen eine Isolierung eingesetzt werden, die einer Prüfwechselspannung von 500 V Effektivwert mindestens 1 min standhält.

Endstromkreise mit Steckdosen aller Art müssen durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA geschützt werden, alle anderen Stromkreise durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) $I_{\Delta n} \leq 30$ mA, ausgenommen Stromkreise, die Verteiler speisen. Nach der UVV der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaft müssen auch in Räumen, die u. U. nicht zum Anwendungsbereich der VDE 0100-705 gehören, in denen aber nach der UVV „betriebsdienliche" Tätigkeiten ausgeführt werden, alle Steckdosenstromkreise mit Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA geschützt werden.

Aus Gründen des Brandschutzes müssen in landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) für den sog. gehobenen vorbeugenden Brandschutz nach VDE 0664-400 oder VDE 0664-401 (s. Abschn. 14.7) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 300$ mA eingesetzt werden. Soweit es sich um feuergefährdete Betriebsstätten handelt, muss der Schutzleiter in der festen Installation auch dann mitgeführt werden, wenn Betriebsmittel der Schutzmaßnahme doppelte oder verstärkte Isolierung oder der Schutzklasse II (frühere Bezeichnung: schutzisoliert) eingesetzt werden. Bis zu den Ausgangsklemmen der Fehlerstromschutzeinrichtung müssen bei Anwenden des TT-Systems mit Fehlerstromschutzeinrichtung alle Betriebsmittel die Schutzmaßnahme durch doppelte oder verstärkte Isolierung haben oder Schutzklasse-II-Betriebsmittel (frühere Bezeichnung: schutzisoliert) sein.

Die einzusetzenden Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) sind in Abschnitt 5.6.7.1, solche für den Brandschutz in Abschnitt 14.7 beschrieben.

Alle vorstehend genannten Bedingungen gelten auch für das Wohnhaus oder andere angrenzende Bereiche, die mit leitfähigen Teilen der landwirtschaftlichen Betriebsstätten, wie Rohrleitungen, Konstruktionsteilen, verbunden sind.

Ein im Verteilungsnetz (TN-System) vorhandener PEN-Leiter darf nicht als Schutzleiter verwendet und nicht mit dem Schutzpotenzialausgleich verbunden werden.

Kabel und Leitungen zu Unterverteilern müssen gegen mechanische Beschädigungen geschützt verlegt werden, z. B. im Erdboden oder in getrennten, geschlossenen Systemen. Dies gilt auch für die dazugehörigen Wohnungen und andere Räumlichkeiten.

**Zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich im Stall**

Um im Stand-, Liege- und Melkbereich der Tiere (Rinder, Pferde, Schweine, Schafe) einen erhöhten Schutz gegen gefährliche Körperströme zu erreichen, müssen alle durch die Tiere berührbaren Körper der elektrischen Betriebsmittel und alle fremden leitfähigen Teile (metallene Konstruktionsteile, wie Selbsttränkeanlagen, Vakuumleitung der Melkanlage, Stahlkonstruktionen, metallene Anbindevorrichtungen, mechanische Fütterungs- und Entmistungsanlagen), durch einen zusätzlichen Schutzpotenzialausgleich untereinander und mit dem Schutzleiter oder Erder (z. B. Fundamenterder) der Anlage verbunden werden. Schutzpotenzialausgleichsleiter aus Kupfer müssen einen Mindestquerschnitt von 4 $mm^2$ haben. Fremde leitfähige Teile im Fußbodenbereich (Baustahlmatten oder die Bewehrung von Jauchekellern) sind zum Zweck der *Potenzialsteuerung* in den Schutzpotenzialausgleich einzubeziehen. Dazu ist z. B. eine Baustahlmatte mit etwa 150 mm Maschenweite und 8 mm Drahtdurchmesser in 3...4 cm Tiefe unter den Viehstandplätzen einzubetonieren. Benachbarte Teile, wie Anbindevorrichtungen, müssen mit der Baustahlmatte gut leitend, z. B. durch mehrfache Verschweißung, verbunden werden. Die einzelnen Metallteile können auch an einer Schutzpotenzialausgleichsschiene, über Schutzpotenzialausgleichsleiter, zusammengeführt werden (**Bild 14.7**). Als *Schutzpotenzialausgleichsleitung* ist feuerverzinkter Bandstahl 30 mm × 3 mm oder feuerverzinkter Rundstahl von 8 mm Durchmesser zu verwenden. Metallene Gitterroste, die zu Reinigungszwecken entfernt werden müssen, können dadurch in den Schutzpotenzialausgleich einbezogen werden, dass ihre Auflagefläche z. B. aus einem an den Schutzpotenzialausgleich angeschlossenen Winkeleisen besteht. Spaltenböden aus Betonfertigteilen sollten ebenfalls in den zusätzlichen Schutzpotenzialausgleich einbezogen werden. Diese Empfehlung ist neu.

Der Schutzpotenzialausgleich und die Potenzialsteuerung müssen so errichtet werden, dass sie dauerhaft gegen mechanische Beanspruchung und Korrosion geschützt sind.

In der VDE 0100-705 wird ausdrücklich darauf verwiesen, dass lösbare Verbindungsstellen zugänglich sein müssen, was eigentlich selbstverständlich ist. Über den Schutzpotenzialausgleich und die Potenzialsteuerung muss eine Zeichnung erstellt werden.

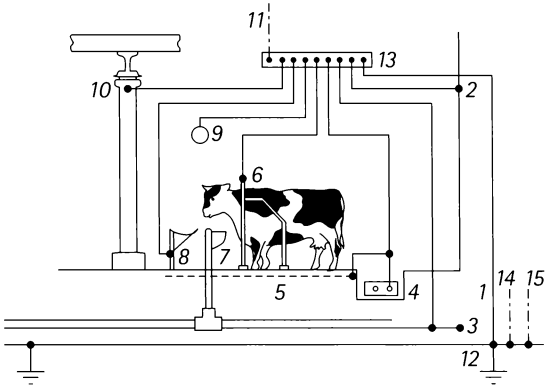



***Bild 14.7:*** *Beispiel eines Schutzpotenzialausgleichs in landwirtschaftlichen Betriebsstätten*
*1* Erdungsleitung; *2* Blech-, Folienwände; *3* Wasserleitung; *4* Entmistung; *5* Potenzialsteuerung, z. B. Baustahlmatte; *6* Anbindevorrichtung; *7* Selbsttränke; *8* Futteranlage; *9* Melkanlage; *10* Stahlkonstruktion; *11* Schutzleiter (PE); *12* Fundamenterder, Erder, sonstige Erdung; *13* Schutzpotenzialausgleichsschiene; *14* Blitzschutzerdung; *15* Weidezaunerdung

Dem Benutzer der landwirtschaftlichen Anlage ist eine Dokumentation auszuhändigen, die aus einem Dispositionsplan mit allen elektrischen Betriebsmitteln, Kabelwegeplänen, einem Übersichtsschaltplan in einpoliger Darstellung und einem Übersichtplan des zusätzlichen Schutzpotenzialausgleichs mit der Lage von allen Anschlussstellen besteht.

### Elektrozäune
VDE 0131

Ein Elektrozaun ist eine Schranke für Tiere. Er besteht aus einem oder mehreren metallenen Zaundrähten, die durch ein *Elektrozaungerät* unter Spannungsimpulse gesetzt werden, jedoch so, dass Menschen und Tiere in der Lage sind, sich vom Zaun frei zu machen (**Bild 14.8**). Die Impulse können durch ein Netz- oder ein Batteriegerät erzeugt werden, für die es besondere VDE-Bestimmungen gibt (VDE 0700-76:2015-08).

Netzanschlussgeräte dürfen nicht in Scheunen, Tennen, Stallungen oder anderen feuergefährdeten Räumen angebracht werden und müssen allpolig abschaltbar sein. Der Betriebserder $R_Z$ des Zauns muss von Schutz- oder Betriebserdern des Netzes $R_B$ mindestens 10 m getrennt verlegt werden. Als Erder eignet sich ein verzinkter Erdspieß von etwa 1 m Länge, der mindestens 50 cm tief an einer möglichst feuchten und bewachsenen Stelle des Erdreichs einzuschlagen ist.

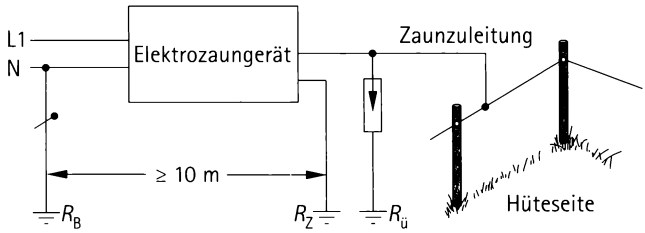



***Bild 14.8:*** *Schema eines Elektrozauns*

Wird die Zaunzuleitung von einem Gebäude weggeführt, so muss eine Überspannungsschutzeinrichtung (z. B. eine Funkenstrecke mit eigener Erdung, $R_ü$) auf mindestens feuerhemmenden Bauteilen außerhalb des Gebäudes angeordnet werden. Falls eine Gebäude-Blitzschutzanlage vorhanden ist, muss die Erdleitung der Schutzeinrichtung mit dem Blitzschutzerder verbunden werden.

Die *Zaunzuleitung* muss im Innern der Gebäude wie eine Starkstromleitung verlegt werden. Sie darf wegen Blitzgefahr weder aus feuergefährdeten Räumen heraus- noch in sie hineingeführt werden. Außerhalb darf man sie nicht an Niederspannungs-, Hochspannungs- oder Fernmeldemasten verlegen. Kreuzt sie einen verkehrsreichen Weg, dann sind auf beiden Seiten der Straße mindestens 9 m lange imprägnierte Holzmaste mit mindestens 18 cm Fußdurchmesser und Isolatoren des Typs N 95 zu setzen. Die Maste sind 1,6 m tief einzugraben. Im Kreuzungsfeld ist der Zaundraht als Seil mit 10 $mm^2$ Cu ohne Verbindungsstellen in einem Abstand von mindestens 6 m von der Fahrbahn zu führen. Kreuzt die Zaunzuleitung eine Straße mit geringem Verkehr oder einen Fahrweg, dann sind auf beiden Seiten der Straße ebenfalls Maste, wie vorher geschildert, zu setzen. Der Zaundraht braucht jedoch nur 6 $mm^2$ Cu zu sein und der Abstand vom Weg nur mindestens 5 m zu betragen. Bei Kreuzungen von Niederspannungs-, Hochspannungs- sowie Fernmelde- und Kommunikationsleitungen ist nach VDE 0210-1, VDE 0211 und VDE 0800-174-2 und -3 zu verfahren.

Zaunzuleitungen müssen von Freileitungen unter 1 000 V mindestens 2 m, von blanken Fernmeldeleitungen mindestens 1 m und von isolierten mindestens 0,5 m Abstand haben. Von Freileitungen über 1 000 V müssen sie einen waagerechten Abstand vom äußersten Leiter von mindestens 10 m haben, sofern die Maste der Zaunzuleitung nicht höher als 6 m sind. Wird die Höhe von 6 m überschritten, so ist der Abstand um das Maß der Überschreitung zu vergrößern.

*Elektrozaungeräte mit Netzanschluss* sollen auch im gebrauchten Zustand einen Isolationswiderstand von 0,5 MΩ nicht unterschreiten. Für den Ableitwiderstand des Elektrozauns einschl. der Zaunleitung dagegen genügen nach VDE 0131 nur

10 kΩ. Neuzeitliche Zaungeräte erlauben durch Leuchtanzeige eine automatische Dosierkontrolle des Zaun-Isolationszustands. Sie zeigen außerdem den Impuls- und den Betriebsstrom bzw. den Ladezustand der Batterie an. Wegen der Vorschriften für die Errichtung des Zauns selbst (Abstände von Wegen und Freileitungen, Betriebserdern, Warnungsschildern) muss der Elektroinstallateur den Landwirt auf VDE 0131 und auf das Merkblatt „Elektrozaunanlagen" der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften hinweisen.

**Intensivtierhaltung**

Als Intensivtierhaltung gilt die Aufzucht und Haltung von Nutztieren, z. B. Geflügel oder Schweinen, in geschlossenen Räumen oder Gebäuden, wenn die Versorgung mit Luft, Licht und Futtermitteln durch technische Einrichtungen erfolgt. Die vorgenannten Regeln für elektrische Anlagen in landwirtschaftlichen Betriebsstätten gelten auch hier, wenn nachstehend nichts anderes mitgeteilt wird. Zudem sind die Sicherheitsvorschriften für elektrische Anlagen in landwirtschaftlichen Betrieben/ Intensiv-Tierhaltungen (Sicherheitsvorschriften gemäß B § 8 AFB 2008) von VdS Schadenverhütung, einem Unternehmen Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) (VdS 2057), zu beachten. Verteiler sowie Regel- und Steuergeräte müssen mindestens der Schutzart IP54 entsprechen. Sie sind auf einer nicht brennbaren Unterlage anzubringen.

Es besteht die Anforderung, dass die lebenserhaltende *Luftversorgung* für die im Stall untergebrachten Tiere sichergestellt sein muss. Für den Fall einer Störung in der Luftversorgung, z. B. Netzausfall oder Kurzschluss, müssen Einrichtungen vorhanden sein, die entweder selbsttätig eine Weiterbelüftung oder eine netzunabhängige Meldung bewirken. Eine selbsttätige Weiterbelüftung kann über ein automatisch anlaufendes Ersatzstromaggregat erfolgen oder über ausreichend große Lüftungsklappen, die bei Ausfall des Netzes bzw. der mechanischen Lüftungsanlage automatisch öffnen (Ersatzstromaggregat s. Abschn. 6.4). Für eine *netzunabhängige Meldung* ist eine Gefahrenmeldeanlage in Anlehnung an VDE 0833-1 erforderlich.

Gemeldet werden sollen Netzausfall bzw. Ausfall eines Lüfters und unzulässige Temperaturerhöhung. Dabei ist zu beachten, dass es keine Thermostate mit der für landwirtschaftliche Betriebsstätten erforderlichen Schutzart in Schutzklasse-II-Ausführung auf dem Markt gibt. Der Thermostat muss also an einen Schutzleiter angeschlossen werden. Das Gleiche kann auch für Regler gelten. Die Meldung muss an eine ständig besetzte Stelle weitergegeben werden, z. B. über eine Hupe im Wohnhaus.

Beim Einsatz mehrerer Lüfter sind diese auf mehrere Stromkreise und auf mehrere Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) aufzuteilen. VdS Schadenverhütung, ein Unternehmen des Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV),

fordert darüber hinaus, dass beim Auslösen einer Fehlerstromschutzeinrichtung noch eine ausreichende Luftversorgung gewährleistet sein muss. Zudem darf die Fehlerstromschutzeinrichtung nicht als Hauptschalter verwendet werden. Dieser ist vielmehr der gesamten elektrischen Anlage eines Intensivtierhaltungsstalls zuzuordnen. In Neuanlagen sollten die Verteiler in einem gesonderten Raum untergebracht werden, der nicht den Umwelteinflüssen der Intensivtierhaltung ausgesetzt ist.

Beispiele über den Aufbau der elektrischen Anlage einer Intensivtierhaltung sind den **Bildern 14.9** und **14.10** zu entnehmen.

Die Lüftungs- und Alarmanlage ist monatlich einmal, die gesamte elektrische Anlage jährlich einmal durch einen Elektrofachmann zu überprüfen. Feuerschutzeinrichtungen sind bereitzustellen.

Nach VDE 0100-705 muss in Tierhaltungseinrichtungen, in denen bei Stromausfall eine ausreichende Versorgung der Tiere mit Futter, Wasser und Luft nicht sichergestellt ist, eine Einspeisemöglichkeit für eine Sicherheitsstromversorgung (elektrische

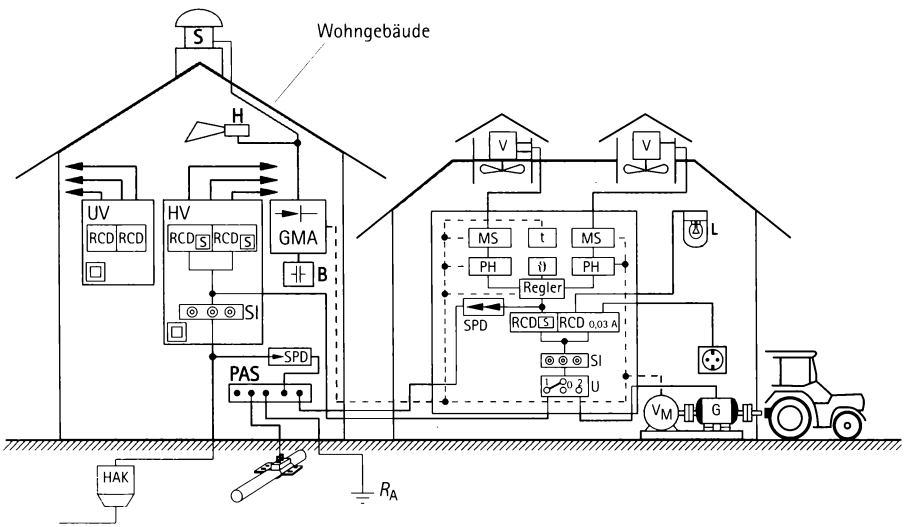



***Bild 14.9:*** *Intensivtierhaltung (nach VdS-Richtline 2067:2008-01)*
GMA Gefahrenmeldeanlage; B Batterie; H Hupe; S Sirene; V Ventilator; L Leuchte; MS Motorschutzschalter; PH Phasenausfallrelais; t Temperatur-Erfassung für GMA; ϑ Stufenthermostat für Drehzahl-Regulierung; SPD Überspannungsschutzgerät; U Umschalter; $V_M$ Verbrennungsmotor; G Generator; HAK Hausanschlusskasten; PAS Potenzialausgleichsschiene; SI Vorsicherungen; RCD Fehlerstromschutzeinrichtung; HV Hauptverteiler; UV Unterverteiler

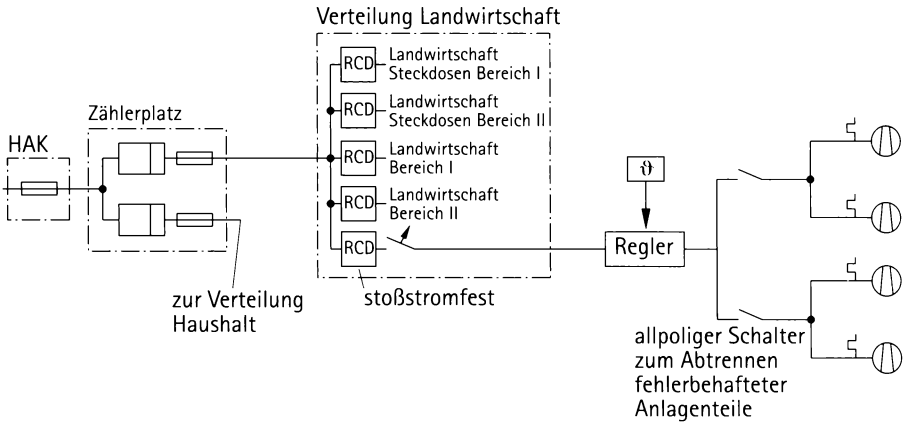



***Bild 14.10:*** *Elektroinstallation bei Intensivtierhaltung (nach D. Vogt)*

Anlage für Sicherheitszwecke) vorgesehen werden. Für Lüftungsanlagen sind gesonderte Endstromkreise vorzusehen. An diese Stromkreise dürfen nur elektrische Betriebsmittel, die zum Betrieb der Lüftungsanlage erforderlich sind, angeschlossen werden. Schutzeinrichtungen und auch Erdschlussüberwachungseinrichtungen in den Hauptstromkreisen für die Lüftungsanlage müssen sowohl bei Überstrom als auch bei Erdschluss selektiv arbeiten. Für die Zuleitung zur Lüftungsanlage (Netzeinspeisung) ist keine Redundanz erforderlich.

Die Verantwortlichen (Bauherr, Betreiber, Planer, Errichter) seien auf die bestehenden staatlichen Rechtsvorschriften zur Tierhaltung hingewiesen, wie die „Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung (Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung – TierSchNutztV)", vom 25.10.2001, zuletzt geändert durch Art. 1 der Verordnung vom 05.02.2014, BGBl. I S. 94„ die der Umsetzung verschiedener EU-Richtlinien über den Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere, wie Kälber, Legehennen, Schweine, Masthühner, Pelztieren, dient.

# 14.9 Explosionsgefährdete Bereiche

BetrSichV, 11. ProdSV, Reihen VDE 0165, 0170

## 14.9.1 Allgemeiner Explosionsschutz

Der rechtliche Aspekt des Explosionsschutzes ist sowohl für die Herstellung von explosionsgeschützten elektrischen Betriebsmitteln als auch für die Errichtung und den Betrieb elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen neu geordnet worden.

Die EU-Richtlinie 94/9/EG (richtige Bezeichnung: EG-Richtlinie) (auch *EG-Explosionsschutz- oder ATEX-Richtlinie* genannt) vom 23.3.1994 (ATEX[1] 95, alte Artikelnummer: ATEX 100a) „zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen" wurde pflichtgemäß mit der „Elften Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (*Explosionsschutzverordnung*) – (11. ProdSV)" vom 12.12.1996, zuletzt geändert durch Artikel 21 des Gesetzes vom 08.11.2011 (BGBl. I S. 2178), in nationales Recht umgesetzt. In dem Titel der alten Explosionsschutzverordnung stand noch die Abkürzung *ExVO*, die in Fachkreisen teilweise weiter genutzt wird. Seit dem 1.7.2003 mussten – da Übergangsfristen abgelaufen sind – alle elektrischen und auch nichtelektrischen Geräte, Komponenten, Schutzsysteme sowie Sicherheits-, Kontroll- und Regeleinrichtungen, die im explosionsgefährdeten, aber u. U. auch im nicht explosionsgefährdeten Bereich eingesetzt werden, nach der ExVO hergestellt und einem bestimmten Zulassungsverfahren unterworfen werden und damit der EU-RL 94/9/EG entsprechen. Das haben nicht nur die Hersteller, sondern auch deren Bevollmächtigte, Importeure und Händler zu beachten. Elektrische Betriebsmittel nach dem bisherigen Verfahrensablauf – also nach der alten Verordnung über elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Räumen (ElexV) (s. unten) – dürfen nicht mehr verkauft, aber natürlich weiterverwendet werden.

Für die *Errichtung und den Betrieb* elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen hatte es 2002/2003 einschneidende formelle Neuerungen gegeben. Für die Umsetzung mehrerer EU-Richtlinien in nationales Recht, den Explosionsschutz betreffend die EU-Richtlinie 1999/92/EG vom 16.12.1999 (ATEX 137, alte Artikelnummer: ATEX 118a) „über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphäre gefährdet werden können", trat im Sept. 2002 bzw. März 2003, die zuletzt im Nov. 2011 geänderte „Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der

1 ATEX: **At**mosphère **Ex**plosible (franz.) – explosionsfähige Atmosphäre

Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (*Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV*)", in Kraft. Sie wurde durch die am 01.06.2015 in Kraft getretene (BGBl. I G 5702 S. 49), novellierte sowie mit geändertem und kürzeren Titel versehene „Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV)" ersetzt. Eine Änderung vom 13.07.2015 der neuen Verordnung betrifft nicht den Explosionsschutz, sondern nur die Verwendung sog. Umlaufaufzüge (Paternoster) (s. auch Abschn. 1.2.5.4).

Die „Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (*Gefahrstoffverordnung* – GefStoffV)" vom 26.11.2010 (BGBl. I S. 1643, 1644), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 03.02.2015 (BGBl. I S. 49), enthält u. a. Aussagen zu Stoffen, Zubereitungen und Erzeugnissen, die explosionsfähig sind, und zu explosionsfähigen Gemischen sowie zum Explosionsschutz, wie besondere Schutzmaßnahmen gegen physikalisch-chemische Einwirkungen, insbesondere gegen Brand- und Explosionsgefährdungen (§ 11), besondere Vorschriften zu Brand- und Explosionsgefährdungen, *Zoneneinteilungen* explosionsgefährdeter Bereiche (vorher in der ersetzten BetrSichV enthalten) (Anhang I, Nummer 1).

Die GefStoffV (§ 6) macht zusammen mit der BetrSichV Aussagen u. a. über explosionsgefährdete Bereiche, über die Dokumentation des Explosionsschutzes (*Explosionsschutzdokument*) sowie über Prüfungen von explosionsgeschützten Geräten und Anlagen.

Die neue übergeordnete, aufgrund der ATEX 137 erlassene Verordnung ersetzt die für elektrische Anlagen und Betriebsmittel in explosionsgeschützten Räumen und Bereichen bisher gültige wichtige Verordnung über elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen (*ElexV*) und die Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (*VbF*). Diese Verordnungen waren am 1.1.2003 außer Kraft getreten. Die ElexV und die VbF, nach denen elektrische Betriebsmittel für den Einsatz in explosionsgefährdeten Räumen und Bereichen bisher zugelassen wurden, behalten allerdings noch Gültigkeit für Altanlagen und Altgeräte, was die „Beschaffenheit" dieser Altanlagen und Altgeräte betrifft. Für betriebliche Anforderungen an schon vorher bestehende elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen galten die beiden Verordnungen noch bis zum 31.12.2007. Das o. g. Explosionsschutzdokument nach GefStoffV und BetrSichV musste für Anlagen, die nach Inkrafttreten der neuen Verordnung in Betrieb gegangen sind, seit dem 3.10.2002 angefertigt werden; für Altanlagen musste es ab 31.12.2005 erstellt werden. Im Explosionsschutzdokument, das vom Betreiber (nach der Verordnung streng genommen: vom Arbeitgeber) der Anlage erstellt werden muss, werden u. a. Aussagen gemacht, die Auswirkungen auf die Explosionsschutzart von elektrischen Betriebsmitteln haben (s. u.).

Der Anwendungsbereich der 11. ProdSV (Explosionsschutzverordnung) erstreckt sich auf

- Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen,
- Sicherheits- und Kontrolleinrichtungen außerhalb von Ex-Bereichen, die bez. Explosionsgefahren jedoch für den sicheren Betrieb von Geräten und Schutzsystemen erforderlich sind.

Außerdem wird mit Verweis auf die EU-Richtline 94/9/EG (ATEX 95) auf die Einteilung der Geräte in 2 *Gerätegruppen* (I und II) sowie auf die neue Einführung von 3 *Gerätekategorien* (1, 2 und 3) verwiesen (s. Abschn. 14.9.5 und 14.9.6).

## 14.9.2 Möglichkeit der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre

Brennbare Gase und Dämpfe bilden im Gemisch mit Luft nur innerhalb eines bestimmten Konzentrationsbereichs eine explosionsfähige Atmosphäre. Diejenige Grenzkonzentration, bei der das Gemisch noch nicht bzw. nicht mehr explosionsfähig ist, wird als *untere* bzw. *obere Explosionsgrenze* bezeichnet. Die Explosionsgrenzen werden meist in Vol.-% (Volumenanteil des Gases, bezogen auf das Gesamtvolumen) angegeben (z. B. Wasserstoff: 4,0 Vol.-% bis 75,6 Vol.-%). Mit dem Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre braucht nicht gerechnet zu werden, wenn die Konzentration immer genügend weit unter der unteren Explosionsgrenze liegt. Durch entsprechende Maßnahmen, z. B. durch ausreichende und sichere Lüftung, sollte versucht werden, unterhalb der unteren Explosionsgrenze zu bleiben. Nur wenn dies nicht möglich ist, sind Schutzmaßnahmen zu treffen, die die Entzündung der explosionsgefährlichen Atmosphäre verhindern.

Des Weiteren ist der *Flammpunkt* einer brennbaren Flüssigkeit von großer Bedeutung. Der Flammpunkt ist die niedrigste Temperatur, bezogen auf einen Druck von 1 bar = 1 013 hPa, bei der sich aus der zu prüfenden Flüssigkeit unter festgelegten Bedingungen Dämpfe in solcher Menge entwickeln, dass sich über dem Flüssigkeitsspiegel ein durch Fremdzündung entflammbares Dampf-Luft-Gemisch bildet. Flüssigkeiten wurden bei Anlagen im Bereich der grundsätzlich nicht mehr geltenden „Verordnung über Anlagen zur Lagerung, Abfüllung und Beförderung brennbarer Flüssigkeiten (VbF)" in *Gefahrklassen* eingeteilt. Seit der Einführung der Betriebssicherheitsverordnung gelten nunmehr für Flüssigkeiten im Zusammenhang mit dem Explosionsschutz die nach der *Gefahrstoffverordnung* verwendeten Begriffe entzündliche, leicht entzündliche und hoch entzündliche Stoffe (Flüssigkeiten, Gase) und nicht mehr die Gefahrklassen A und B nach der VbF:

**Entzündliche Stoffe**

- Flüssigkeiten sind entzündlich, wenn sie einen niedrigen Flammpunkt (21 bis 55 °C) haben,
- Kennzeichnungspflicht nach den R-Sätzen: R 10,
- kein Gefahrensymbol,
- *Stoffbeispiel:* Kerosin.

**Leicht entzündliche Stoffe**

- Flüssigkeiten sind leicht entzündlich, wenn sie einen sehr niedrigen Flammpunkt (< 21 °C) haben, aber nicht hoch entzündlich sind,
- in festem Zustand durch kurzzeitige Einwirkung einer Zündquelle leicht entzündet werden können und nach deren Entfernen in gefährlicher Weise weiterbrennen oder weiterglimmen,
- sich bei gewöhnlicher Temperatur an der Luft ohne Energiezufuhr erhitzen und schließlich entzünden können,
- bei Berührung mit Wasser oder mit feuchter Luft hoch entzündliche Gase in gefährlicher Menge entwickeln,
- Kennzeichnungspflicht nach den R-Sätzen: R 11,
- Gefahrensymbol: **F – Leicht entzündlich,**
- *Stoffbeispiel:* Ethanol (Flammpunkt: 12 °C).

**Hoch entzündliche Stoffe**

- Flüssigkeiten sind hoch entzündlich, wenn sie in flüssigem Zustand einen extrem niedrigen Flammpunkt (< 0 °C) und einen niedrigen Siedepunkt (< 35 °C) haben,
- als Gase bei gewöhnlicher Temperatur und Normaldruck in Mischung mit Luft einen Explosionsbereich haben,
- Kennzeichnungspflicht nach den R-Sätzen: R 12,
- Gefahrensymbol: **F+ – Hoch entzündlich**,
- *Stoffbeispiel:* Diethylether (Flammpunkt: –45 °C; Siedepunkt: 34,6 °C; untere Explosionsgrenze: 1,7 Vol.-%; obere Explosionsgrenze: 36 Vol.-%).

Die **Tabelle 14.4** enthält die Zuordnung von Gefahrklassen und Entzündlichkeiten.

Zur Beurteilung der Frage, ob sich aus einer brennbaren Flüssigkeit eine explosionsfähige Atmosphäre entwickeln kann, muss die Temperatur des Verarbeitungszustands mit dem Flammpunkt verglichen werden. Bei Lagerung, Abfüllung

*Tabelle 14.4: Gefahrklasse, Entzündlichkeit und Flammpunkt*

| Gefahrklasse nach VbF (alt) | Flammpunkt °C | Entzündlichkeit nach GefStoffV |
|---|---|---|
| – | < 0 | hoch entzündlich |
| A I | < 21 | leicht entzündlich |
| A II | 21 bis 55 | entzündlich |
| A III | > 55 bis 100 | – |
| B | < 21, bei 15 °C in Wasser löslich | hoch oder leicht entzündlich |

und Transport brennbarer Flüssigkeiten ist die Verarbeitungstemperatur gleich der Temperatur des umgebenden Raums. Explosionsfähige Atmosphäre kann sich deshalb nur bei Flüssigkeiten der Gefahrklassen A I, A II und B bilden. A-III-Flüssigkeiten haben einen Flammpunkt > 55 °C. Wenn diese Flüssigkeiten ohne zusätzliche Erwärmung bei normalen Umgebungsbedingungen gelagert, abgefüllt oder transportiert werden, entsteht keine explosionsfähige Atmosphäre. Der Flammpunkt einiger Flüssigkeiten kann Tabelle 14.7 entnommen werden. Auch feste Stoffe (Staub) können zur Bildung explosionsfähiger Atmosphäre führen, z. B. durch Aufwirbeln von Staubablagerungen. Dabei sind die Korngrößenverteilung, die Dichte und der Schwelpunkt der festen Stoffe von Bedeutung.

### 14.9.3 Gefahrenbereiche und Zoneneinteilung

Eine explosionsgefährliche Atmosphäre ist ein Gemisch aus brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben mit Luft. Sie kann durch eine Zündquelle zur Explosion gebracht werden. Das bedeutet, dass eine Explosion nur möglich ist, wenn ein brennbarer Stoff, Sauerstoff (Luft) und eine Zündquelle vorhanden sind.

Als *Zündquellen* kommen infrage:

heiße Oberflächen,
mechanisch erzeugte Funken,
katodischer Korrosionsschutz,
Blitzschlag,
ionisierende Strahlung,
adiabatische Kompression,
strömende Gase,
Flammen und heiße Gase,
elektrische Anlagen,
statische Elektrizität,
elektromagnetische Felder,
Ultraschall,
Stoßwellen,
chemische Reaktionen.

Zur Beurteilung der Frage, wo sich eine explosionsfähige Atmosphäre ansammeln kann, ist bei Gasen und Dämpfen vor allem das *Dichteverhältnis* von Bedeutung.

Es gibt die Dichte des gas- oder dampfförmigen Stoffs, bezogen auf Luft = 1, an. Die Dichte aller Dämpfe ist größer als die Dichte der Luft; das Dichteverhältnis ist also hier eine Zahl > 1. Auch bei den meisten Gasen ist die Dichte größer als diejenige der Luft; ausgenommen sind lediglich Acetylen, Ethylen, Ammoniak, Wasserstoff, Kohlenoxid und Methan. Stoffe, die schwerer als Luft sind, sammeln sich in Bodennähe an. Der explosionsgefährdete Bereich ist also im unteren Raumteil anzunehmen. Dagegen entweichen Stoffe, die leichter als Luft sind, nach oben und sammeln sich in einem geschlossenen Raum unterhalb der Decke an. Auch die örtlichen Verhältnisse, z. B. Austrittsstellen bei undichten Ventilen, Schiebern, Rohrleitungsverbindungen, und die Art der Verarbeitung (Lagern, Abfüllen, Versprühen) sind für die Beurteilung der Bereiche, in denen mit explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen ist, zu berücksichtigen.

Zuletzt ist noch die Frage zu beantworten, ob die zu erwartende Menge explosionsfähiger Atmosphäre *gefahrdrohend* ist. Als gefährliche explosionsfähige Atmosphäre gilt bereits ein Volumen von mehr als 10 l im geschlossenen Raum. Kleinere Mengen in unmittelbarer Nähe von Menschen sind gefährlich, wenn das Raumvolumen < 100 $m^3$ ist.

Als *Faustformel* gilt: Das Volumen der explosionsfähigen Atmosphäre $V_{Ex}$ muss größer als das $10^{-4}$-fache des Raumvolumens $V_R$ sein, um gefahrdrohend zu werden ($V_{Ex} \geq 10^{-4}\ V_R$).

Für die Beurteilung bzw. Festlegung der explosionsgefährdeten Bereiche sind die Explosionsschutz-Regeln (EX-RL) – *Sammlung technischer Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung zur Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche in Zonen* – DGUV Regel 113-001 (bisher: BGR 104), Stand: 2012-05, (frühere Bezeichnung: ZH 1/10) sowie VDE 0165-101 (Gas-Ex-Bereiche) und VDE 0165-102 (Staub-Ex-Bereiche) zu berücksichtigen. Der Textteil der EX-RL wird gegenwärtig in die Technischen Regeln Betriebssicherheit (TRBS) eingearbeitet.

Explosionsgefährdete Bereiche werden nach der Häufigkeit und der Dauer des Auftretens gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre in *Zonen* eingeteilt. Für Bereiche, die durch brennbare Gase, Dämpfe oder Nebel explosionsgefährdet sind, gilt (nach GefStoffV (Febr. 2015)):

Zone 0 ist ein Bereich, in dem eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.

Zone 1 ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln bilden kann.

Zone 2 ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen und Nebeln normalerweise nicht auftritt, und wenn doch, dann nur selten und für kurze Zeit.

Für Bereiche, die durch brennbare Stäube explosionsgefährdet sind, gilt:

Zone 20 ist ein Bereich, in dem eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.

Zone 21 ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub bilden kann.

Zone 22 ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub normalerweise nicht auftritt, und wenn doch, dann nur selten und für kurze Zeit.

Die Festlegung der Zonen im Rahmen der Erstellung des Explosionsschutzdokuments nach GefStoffV/BetrSichV obliegt dem Betreiber der Anlagen bzw. dem Arbeitgeber. Die Beispielsammlung der EX-RL (DGUV Regel 113-001) gibt hier eine gute Entscheidungshilfe. In Zweifelsfällen sollten die zuständige Berufsgenossenschaft oder Sachverständige, z. B. des TÜV, konsultiert werden.

Bereiche der Zone 0 sind hauptsächlich innerhalb geschlossener Behälter, Rohrleitungen und Apparaturen vorhanden, in denen sich z. B. brennbare Flüssigkeiten befinden, deren Flammpunkt niedriger als die Betriebstemperatur ist. Der explosionsgefährdete Bereich erstreckt sich hierbei nur auf den Raum innerhalb des geschlossenen Behälters o. dgl., der oberhalb des Flüssigkeitsspiegels liegt; in der Flüssigkeit selbst besteht keine Explosionsgefahr.

Zur Zone 1 können die nähere Umgebung der Zone 0, die Umgebung von Beschickungsöffnungen, der nähere Bereich von Füll- und Entleerungseinrichtungen sowie der nähere Bereich um nicht ausreichend dichtende Stopfbuchsen an Pumpen und Schiebern gehören.

Zur Zone 2 können weitere Bereiche um die Zonen 0 und 1 gehören oder Bereiche um Flanschverbindungen bei Rohrleitungen in geschlossenen Räumen, außerdem Bereiche, in denen aufgrund von technischer oder natürlicher Lüftung die untere Explosionsgrenze nur in Ausnahmefällen erreicht wird, z. B. in der Umgebung von Anlagen im Freien.

Die Zone 20 ist im Innern von Getreidesilos u. dgl. gegeben. Deren Umgebung, Mühlen, Lagerhäuser für Kohle, Getreide usw. gelten meist als Zone 21 bzw. 22.

## 14.9.4 Zündtemperaturen und Temperaturklassen

Die *Zündtemperatur* eines Gemischs aus Luft und einem brennbarem Gas, Dampf oder Nebel ist die niedrigste Temperatur, bei der dieses Gemisch in einem genormten Prüfgerät gerade noch gezündet wird. Die maximale Oberflächentemperatur elektrischer Betriebsmittel darf die Zündtemperatur der gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre nicht erreichen.

Betriebsmittel der Gerätegruppe II werden entsprechend ihrer maximalen Oberflächentemperatur in die *Temperaturklassen* T1 bis T6 (frühere Bezeichnung: Zündgruppen G1 bis G5 bzw. A bis D) unterteilt (**Tabelle 14.5**).

***Tabelle 14.5:*** *Temperaturklassen für elektrische Betriebsmittel in explosionsgeschützter Ausführung*

| Temperaturklasse (Zündgruppe)[1)] | max. Oberflächentemperatur °C | Zündtemperatur °C |
|---|---|---|
| T1 (G1/A) | 450 | > 450 |
| T2 (G2/B) | 300 | > 300...450 |
| T3 (G3/–) | 200 | > 200...300 |
| T4 (G4/C) | 135 | > 135...200 |
| T5 (G5/D) | 100 | > 100...135 |
| T6 (G5/–) | 85 | > 85...100 |

[1)] in Klammern: frühere Bezeichnungen

## 14.9.5 Gruppe, Gerätegruppe

Elektrische Betriebsmittel (nach der EU-Richtlinie 94/9/EG auch *Geräte* genannt, der im Sinne der Richtlinie ein umfassenderer Begriff ist) für explosionsgefährdete Bereiche werden aufgrund gesetzlicher Regelungen (EU-Richtlinie 94/9/EG (ATEX 95), Explosionsschutzverordnung/11. ProdSV) und der einschlägigen Normen (Reihe VDE 0170 und Reihe VDE 0165) in *Gruppen* (bisherige Bezeichnung: *Explosionsgruppen*, alte Bezeichnung: *Explosionsklasse*) und *Kategorien* eingeteilt (s. Abschn. 14.9.6). Leider stimmen die Begriffe aus der EU-Richtlinie nicht mit denen aus den Normen überein. Außerdem haben die Begriffe auch noch abweichende Bedeutungen.

Nach der EU-Richtlinie 94/9/EG (ATEX 95) gibt es zwei Gruppen, sog. Gerätegruppen. Danach sind Geräte der Gerätegruppe I zur Verwendung in untertägigen Bergwerken sowie deren Übertageanlagen bestimmt, die durch Grubengas und/

oder brennbare Stäube gefährdet sind. Geräte nach der Gerätegruppe II sind zur Verwendung in Bereichen bestimmt, in denen explosionsfähige Atmosphäre vorhanden ist, die aus einem Gemisch von Luft und Gasen, Dämpfen oder Nebeln oder aus Staub-/Luftgemischen besteht. Das bedeutet, dass in beiden Gerätegruppen die Gefährdung durch brennbare Stäube eingeschlossen ist.

Nach den nicht mehr geltenden VDE-Bestimmungen 0170-1:2007-05 (durfte noch bis Mai 2012 angewendet werden) und 0165-1:2004-07 (Anwendung nicht mehr erlaubt) gab es ebenfalls zwei Gruppen (Gruppe I und Gruppe II), in die aber jeweils der Staubexplosionsschutz nicht eingeschlossen war. Dem Staubexplosionsschutz war nach den Normen also keine Gruppe zugeordnet. Mit dem Zusammenführen der beiden Themenbereiche Gasexplosionsschutz und Staubexplosionsschutz in die jeweiligen Grundnormen VDE 0170-1:2010-03 (Betriebsmittel-/Gerätenorm) und VDE 0165-1:2009-05 (elektrische Anlagen) gibt es nun eine dritte Gruppe für den Staubexplosionsschutz (Gruppe III). Dies stellt eine für den Richtlinien- und Normenanwender unbefriedigende Situation dar, da es nach der einschlägigen EU-Richtlinie nur zwei Gruppen für Geräte gibt, die aber jeweils den Staubexplosionsschutz abdecken.

Nach den einschlägigen Normen gehören also Betriebsmittel (Geräte) für schlagwettergefährdete Grubenbaue zur Gruppe I, solche für den Einsatz in gasexplosionsgefährdeten Bereichen zur Gruppe II (ausgenommen für schlagwettergefährdete Grubenbaue). Elektrische Betriebsmittel für staubexplosionsgefährdete Bereiche gehören zur Gruppe III.

Gruppe-II- und -III-Geräte können in *Untergruppen* unterteilt werden, die mit den Großbuchstaben A, B oder C gekennzeichnet sind, welche ohne Leerzeichen an die jeweilige Gruppenbezeichnung angehängt sind, wie folgt:

*Untergruppen Gruppe II (explosionsfähige Gasatmosphäre):*

- IIA, typisches Gas: Propan,
- IIB, typisches Gas: Ethylen,
- IIC, typisches Gas: Wasserstoff;

*Untergruppen Gruppe III (explosionsfähige Staubatmosphäre):*

- IIIA, brennbare Flusen,
- IIIB, nicht leitfähiger Staub,
- IIIC, leitfähiger Staub.

*Staub* im Sinne der VDE-Bestimmung ist der Oberbegriff für brennbaren Staub und brennbare Flugstäube. *Brennbarer Staub* sind kleine Feststoffpartikel (weder

in flüssiger noch gasförmiger Form) ≤ 500 µm, die sich aufgrund ihres Eigengewichts absetzen, in der Luft brennen oder glimmen und zusammen mit Luft bei atmosphärischem Druck und bei normalen Temperaturen explosionsfähige Gemische bilden können. Zum brennbaren Staub gehört z. B. auch Grieß. *Leitfähiger Staub* im Sinne der VDE-Bestimmung ist brennbarer Staub mit einem spezifischen elektrischen Widerstand ≤ $10^3$ Ωm. Unter *nicht leitfähigem Staub* versteht man demnach brennbaren Staub mit einem spezifischen elektrischen Widerstand größer > $10^3$ Ωm. *Brennbare Flusen* im Sinne der VDE-Bestimmung sind Feststoffpartikel in der Luft, einschließlich Fasern > 500 µm, die sich aufgrund ihres Eigengewichts absetzen können, z. B. Kunstseide, Baumwolle, Flock, Sisal, Jute, Hanf, Kokosfasern.

Bei elektrischen Betriebsmitteln der Zündschutzart druckfeste Kapselung (s. Abschn. 14.9.6.4) können explosionsfähige Gemische durch Spalte in das Gehäuse eindringen und dort von Funken gebenden Teilen oder heißen Oberflächen gezündet werden. Die Spalte solcher Betriebsmittel müssen deshalb so gestaltet sein, dass kein Zünddurchschlag nach außen erfolgt. Gase und Dämpfe werden entsprechend ihrem *Zünddurchschlagvermögen* durch Spalte in 3 Untergruppen für Ex-Betriebsmittel (*Explosionsgruppen*) (A, B und C) unterteilt. Diesen sind *Grenzspaltweiten* zugeordnet, die experimentell bei der Spaltlänge von 25 mm ermittelt wurden (**Tabelle 14.6**). Beispiele für die *Untergruppen für Ex-Betriebsmittel* (Explosionsgruppen) von Gasen und Dämpfen können Tabelle 14.7 entnommen werden. Die druckfest gekapselten Betriebsmittel (Gruppe II) werden, je nachdem welche Anforderungen sie erfüllen, mit IIA, IIB oder IIC gekennzeichnet.

***Tabelle 14.6:*** *Untergruppen für Ex-Betriebsmittel*

| Untergruppe (Explosionsgruppe Explosionsklasse)[1)] | typisches Gas | Grenzspaltweite mm | Mindestzündstrom-verhältnis |
|---|---|---|---|
| IIA (1) | Propan | > 0,9 | > 0,8 |
| IIB (2) | Ethylen | 0,5…0,9 | 0,45…0,8 |
| IIC (3) | Wasserstoff | < 0,5 | < 0,45 |

[1)] in Klammern: frühere Bezeichnung

Funken und thermische Effekte können eine explosionsfähige Atmosphäre zünden. Eine Zündung kann jedoch nicht erfolgen, wenn die festgelegten Mindestwerte der Zündleistung, des Zündstroms und der Zündenergie der betreffenden explosionsfähigen Atmosphäre nicht überschritten werden. Ein Stromkreis, in dem diese Bedingungen erfüllt sind, heißt *eigensicher*.

Die Einteilung der Gase und Dämpfe erfolgt aufgrund des Verhältnisses ihres *Mindestzündstroms* zum Mindestzündstrom von Laboratoriums-Methan. Entsprechend der in Tabelle 14.6 aufgeführten Verhältniszahl werden die Gase und Dämpfe in die Explosionsgruppen A, B und C eingeteilt. Für die in **Tabelle 14.7** aufgeführten Gase und Dämpfe sind die Explosionsgruppen bez. des Zünddurchschlagvermögens und des Mindestzündstroms die gleichen. Bisher wurden die Gruppen bzw. Untergruppen als Explosionsgruppen (IIA, IIB und IIC), früher als *Explosionsklassen* (1, 2 und 3) bezeichnet.

Die Angabe der jeweiligen Explosionsgruppe ist nur bei den Zündschutzarten druckfeste Kapselung und Eigensicherheit erforderlich.

***Tabelle 14.7:*** *Einordnung der wichtigsten Gase und Dämpfe in Betriebsmitteluntergruppen (Explosionsgruppen) und Temperaturklassen*

| Stoffbezeichnung | Flammpunkt °C | Zündtemperatur °C | Temperatur-klasse | Untergruppen Betriebsmittel |
|---|---|---|---|---|
| Acetylen | (Gas) | 305 | T2 | IIC |
| Ammoniak | (Gas) | 630 | T1 | IIA |
| Ethylalkohol | 12 | 425 | T2 | IIB/IIA |
| Ethylether | < -20 | 180 | T4 | IIB |
| Ottokraftstoffe | < 21 | 220...300 | T3 | IIA |
| Spezialbenzine | > 21 | 220...300 | T3 | IIA |
| Dieselkraftstoffe | > 55 | 220...300 | T3 | IIA |
| Heizöl EL | > 55 | 220...300 | T3 | IIA |
| Heizöl M und S | > 65 | 220...300 | T3 | IIA |
| Benzol (rein) | -11 | 555 | T1 | IIA |
| Essigsäure | 40 | 485 | T1 | IIA |
| Methan | (Gas) | 595 | T1 | IIA |
| Butan | (Gas) | 365 | T2 | IIA |
| Propan | (Gas) | 470 | T1 | IIA |
| Schwefelkohlenstoff | < -20 | 95 | T6 | IIC |
| Schwefelwasserstoff | (Gas) | 270 | T3 | IIB |
| Stadtgas (Leuchtgas) | (Gas) | 560 | T1 | IIB |
| Toluol | 6 | 535 | T1 | IIA |
| Wasserstoff | (Gas) | 560 | T1 | IIC |

### 14.9.6 Gerätekategorien und Geräteschutzniveaus (EPL)

An die in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzten elektrischen Betriebsmittel (Geräte) werden je nach Wahrscheinlichkeit des Auftretens von explosionsfähigen Atmosphären unterschiedliche Sicherheitsanforderungen gestellt.

Nach der EU-Richtline 94/9/EG (ATEX 95) werden Geräte der zwei Gerätegruppen (I, II) jeweils in Kategorien, genannt *Gerätekategorien*, eingeteilt. Die Gerätekategorie teilt die Betriebsmittel in verschiedene Sicherheitsebenen in Bezug auf das Zündrisiko ein.

Elektrische Betriebsmittel (Geräte) der *Gerätegruppe I* (Geräte zur Verwendung in Untertagebergwerken sowie deren Übertageanlagen) werden in zwei Gerätekategorien eingeteilt und zwar die Kategorie M1 (sehr hohes Maß an Sicherheit; Weiterbetrieb auch bei seltenen Gerätestörungen in vorhandener Ex-Atmosphäre) und Kategorie M2 (hohes Maß an Sicherheit; Geräte müssen bei Auftreten einer Ex-Atmosphäre abgeschaltet werden können; Sicherheit bei normalem Betrieb auch unter schweren Betriebsbedingungen).

Elektrischen Betriebsmittel (Geräte) der *Gerätegruppe II* (nach EU-Richtline 94/9/EG alle anderen explosionsgefährdeten Bereiche, in denen explosionsfähige Atmosphären durch Gase, Dämpfe oder Nebel sowie durch Staub-Luft-Gemische auftreten) werden nach der EU-Richtlinie 94/9/EG in drei Kategorien 1, 2 und 3 eingeteilt. Im Jahre 2007 sind auch die Bezeichnungen der Gerätekategorien der Gerätegruppe II mit zusätzlichen Buchstaben aus der europäischen Richtlinie 94/9/EG („Explosionsschutz-Richtlinie") in die einschlägigen Normen übernommen worden. Den mit den Ziffern 1 bis 3 bezeichneten Gerätekategorien wird je nach explosionsfähiger Bedingung der Buchstabe G und/oder D hinzugefügt. Der Buchstabe G (von **G**as) steht für Bereiche, in denen explosionsfähige Gas-, Dampf-, Nebel-Luftgemische auftreten können, und der Buchstabe D (von *engl.* **D**ust = Staub) für Bereiche, in denen Staub explosionsfähige Atmosphären bilden kann. So werden nun elektrische Betriebsmittel (Geräte) der Gerätegruppe II nach EU-Richtline 94/9/EG mit den Gerätekategorien 1G, 2G oder 3G (Gasexplosionsschutz) (entspräche Gruppe II nach VDE 0170-1) und 1D, 2D oder 3D (Staubexplosionsschutz) (entspräche Gruppe III nach VDE 0170-1) bezeichnet. Die Zuordnung zu den Kategorien erfolgt entsprechend der Verwendbarkeit der Geräte und Schutzsysteme in den Gefahrenbereichen, den Zonen 0, 1 und 2 bei Gasexplosionsgefahr und 20, 21 und 22 bei Explosionsgefahr durch Staub wie folgt:

*Kategorie 1G und 1D* (Einsatzbereiche: Zone 0 und Zone 20 (früher: Zone 10)):

Verwendung in Bereichen, in denen eine explosionsfähige Atmosphäre (Gemisch aus Luft, Gasen, Dämpfen oder Nebeln bzw. Staub-Luft-Gemischen) ständig oder langzeitig oder häufig vorhanden ist. Die Sicherheit ist selbst bei selten auftreten-

den Gerätestörungen zu gewährleisten. Die Geräte sind so konstruiert, dass beim Versagen einer apparativen Schutzmaßnahme mindestens eine zweite, unabhängige apparative Schutzmaßnahme die erforderliche Sicherheit gewährleistet bzw. beim Auftreten von zwei unabhängigen Fehlern die erforderliche Sicherheit gewährleistet ist.

*Kategorie 2G und 2D* (Einsatzbereiche: Zone 1 und Zone 21 (früher: Zone 11)):
Verwendung in Bereichen, in denen damit zu rechnen ist, dass eine explosionsfähige Atmosphäre (Gemisch aus Luft, Gasen, Dämpfen oder Nebeln bzw. Staub-Luft-Gemischen) gelegentlich auftritt. Die apparativen Explosionsschutzmaßnahmen gewährleisten selbst bei häufigen Gerätestörungen oder Fehlerzuständen, die üblicherweise zu erwarten sind, das erforderliche Maß an Sicherheit.

*Kategorie 3G und 3D* (Einsatzbereiche: Zone 2 und Zone 22 (früher: Zone 11))
Verwendung in Bereichen, in denen nicht damit zu rechnen ist, dass eine explosionsfähige Atmosphäre (Gemisch aus Luft, Gasen, Dämpfen oder Nebeln bzw. Staub-Luft-Gemischen) auftritt, aber wenn sie dennoch auftritt, dann aller Wahrscheinlichkeit nach nur selten und während eines kurzen Zeitraums. Die elektrischen Betriebsmittel (Geräte) gewährleisten bei normalem Betrieb das erforderliche Maß an Sicherheit.

Gleichwertig den Gerätekategorien gelten sog. *Geräteschutzniveaus*, abgekürzt *EPLs* (*engl.* **E**quipment **P**rotection **L**evels), die seit dem Jahre 2007 in die einschlägige Normung der Reihen VDE 0170 und 0165 eingeführt worden sind. Das Schutzniveau wird nach VDE 0170-1 für ein elektrisches Betriebsmittel (Gerät) festgelegt, wobei die Höhe der Wahrscheinlichkeit einer Zündung zugrunde gelegt wird und die Unterschiede zwischen explosionsfähigen Gas- und Staubatmosphären sowie explosionsfähigen Atmosphären in schlagwetterempfindlichen Grubenbauen berücksichtigt werden. So darf im Anschluss an die Zoneneinteilung (s. Abschn. 14.9.3 und 14.9.9.3) eine Risikobewertung einer elektrischen Anlage in explosionsgefährdeten Bereichen durchgeführt werden, um zu beurteilen, ob als Folge der Zündung einer explosionsfähigen Atmosphäre der Einsatz eines elektrischen Betriebsmittels (Geräts) mit einem höheren Geräteschutzniveau (EPL) erforderlich ist oder der Einsatz eines elektrischen Betriebsmittels (Geräts) mit einem geringeren Geräteschutzniveau als gewöhnlich gerechtfertigt anzusehen ist.
In Analogie zu der Unterteilung der Gerätegruppen nach EU-Richtlinie 94/9/EG in Gerätekategorien werden auch bei den *Geräteschutzniveaus* (*EPLs*) nach VDE 0170-1 Unterteilungen nach Art der explosionsfähigen Atmosphäre (Schlagwetter in Grubenbauen/Gruppe I, Gase/Gruppe II, Stäube/Gruppe III) und nach Höhe des Schutzniveaus vorgenommen. Zur Kennzeichnung der Einzelschutzniveaus werden auch die Großbuchstaben M (schlagwettergefährdete Bereiche), G (gasexplosions-

gefährdete Bereiche/Gas) und D (staubexplosionsgefährdete Bereiche/Staub, *engl.* **D**ust) sowie – statt der Ziffern 1, 2,3 wie bei den Gerätekategorien – Kleinbuchstaben a, b, c genutzt.

Entsprechend ergeben sich für die Geräteschutzniveaus (EPLs) die Darstellungen z. B. „EPL Ma", „EPL Gc" oder „EPL Db".

Geräteschutzniveaus (EPLs) elektrischer Betriebsmittel (Geräte) für *schlagwettergefährdete Bereiche* (Grubenbaue):

- *EPL Ma:*
  Betriebsmittel mit einem „sehr hohen" Schutzniveau für die Bereiche, für das bei bestimmungsgemäßem Betrieb, vorhersehbaren oder seltenen Fehlern bzw. Fehlfunktionen keine Zündgefahr besteht, selbst wenn das Betriebsmittel (Gerät) bei dem Ausbruch eines Gases noch in Betrieb ist;
- *EPL Mb:*
  Betriebsmittel mit einem „hohen" Schutzniveau für die Bereiche, für die bei bestimmungsgemäßem Betrieb oder bei vorhersehbaren Fehlern bzw. Fehlfunktionen keine Zündgefahr zwischen dem Ausbruch eines Gases und der Abschaltung des Geräts besteht.

Geräteschutzniveaus (EPLs) elektrischer Betriebsmittel (Geräte) für *gasexplosionsgefährdete Bereiche:*

- *EPL Ga:*
  Betriebsmittel mit einem „sehr hohen" Schutzniveau für die Bereiche, bei denen im bestimmungsgemäßen Betrieb, bei vorhersehbaren Fehlern oder auch bei selten auftretenden Fehlern bzw. Fehlfunktionen keine Zündgefahr besteht;
- *EPL Gb:*
  Betriebsmittel mit einem „hohen" Schutzniveau für die Bereiche, bei denen im bestimmungsgemäßen Betrieb oder vorhersehbaren Fehlern bzw. Fehlfunktionen keine Zündgefahr besteht.
  Die meisten Standardschutzkonzepte beinhalten Betriebsmittel in diesem Geräteschutzniveau (EPL);
- *EPL Gc:*
  Betriebsmittel mit „erweitertem" Schutzniveau für die Bereiche, bei denen während des bestimmungsgemäßen Betriebs keine Zündgefahr besteht und die einige zusätzliche Schutzmaßnahmen aufweisen, die sicherstellen, dass bei üblicherweise vorhersehbaren Störungen des elektrischen Betriebsmittels (Geräts) keine Zündgefahr besteht (z. B. Defekt einer Lampe).
  In der Regel handelt es sich hierbei um ein Betriebsmittel der Zündschutzart „n" (s. Abschn. 14.9.6.9).

Geräteschutzniveaus (EPLs) elektrischer Betriebsmittel (Geräte) für *staubexplosionsgefährdete Bereiche*:

- *EPL Da:*
  Betriebsmittel mit „sehr hohem" Schutzniveau für die Bereiche, bei denen bei bestimmungsgemäßem Betrieb, vorhersehbaren oder seltenen Fehlern bzw. Fehlfunktionen keine Zündgefahr besteht;
- *EPL Db:*
  Betriebsmittel mit „hohem" Schutzniveau zur Verwendung für die Bereiche, in denen bei bestimmungsgemäßem Betrieb oder vorhersehbaren Fehlern bzw. Fehlfunktionen keine Zündgefahr besteht;
- *EPL Dc:*
  Betriebsmittel mit „erweitertem" Schutzniveau für die Bereiche, bei denen bei bestimmungsgemäßem Betrieb keine Zündgefahr besteht und die einige zusätzliche Schutzmaßnahmen aufweisen, die gewährleisten, dass bei üblicherweise zu erwartenden Störungen des Betriebsmittels keine Zündgefahr besteht, z. B. Defekt einer Lampe).

In **Tabelle 14.8** ist dargestellt, wie die in VDE 0170-1 definierten Geräteschutzniveaus (EPLs) in Beziehung zu den dazugehörigen Gruppen sowie zu den Gerätegruppen und Gerätekategorien nach der EU-Richtlinie 94/9/EG (ATEX 95) und zu den Zonen nach VDE 0165-101 (Gasexplosionsgefährdete Bereiche) bzw. VDE 0165-102 (Staubexplosionsgefährdete Bereiche) stehen.

***Tabelle 14.8:*** *Zuordnung von Geräten (Betriebsmitteln) entsprechend ihrer Gerätekategorie bzw. ihrem Geräteschutzniveau (EPL) mit zugeordneter Zoneneinteilung nach VDE 0170-1:2014-06, Anhang ZY*

| VDE 0170-1 | | EU-RL 94/9/EG (ATEX) | | VDE 0165-101/102 |
|---|---|---|---|---|
| EPL | Gruppe | Gerätegruppe | Gerätekategorie | Zone |
| Ma | I | I | M1 | – |
| Mb | | | M2 | |
| Ga | II | II | 1G | 0 |
| Gb | | | 2G | 1 |
| Gc | | | 3G | 2 |
| Da | III | | 1D | 20 |
| Db | | | 2D | 21 |
| Dc | | | 3D | 22 |

***Tabelle 14.9:*** *Beziehung zwischen Zündschutzarten und Geräteschutzniveaus (ELPs) nach VDE 0165-1*

| Geräteschutzniveau (EPL) | Zündschutzart | Kurzbezeichnung |
|---|---|---|
| „Ga“ | Eigensicherheit | „ia“ |
| | Vergusskapselung | „ma“ |
| | zwei unabhängige Zündschutzarten, die jeweils EPL „Gb“ erfüllen | – |
| „Gb“ | druckfeste Kapselung | „d“ |
| | erhöhte Sicherheit | „e“ |
| | Eigensicherheit | „ib“ |
| | Vergusskapselung | „m“, „mb“ |
| | Ölkapselung | „o“ |
| | Überdruckkapselungen | „p“, „px“ oder „py“ |
| | Sandkapselung | „q“ |
| „Gc“ | Eigensicherheit | „ic“ |
| | Vergusskapselung | „mc“ |
| | nicht funkend | „n“ oder „nA“ |
| | schwadensicher | „nR“ |
| | funkenerzeugende Betriebsmittel | „nC“ |
| | Überdruckkapselungen | „pz“ |
| „Da“ | Eigensicherheit | „iD“ |
| | Vergusskapselung | „m“ (bisher: „mD“) |
| | Schutz durch Gehäuse | „t“ (bisher: „tD“) |
| „Db“ | Eigensicherheit | „iD“ |
| | Vergusskapselung | „m“ (bisher: „mD“) |
| | Schutz durch Gehäuse | „t“ (bisher: „tD“) |
| | Überdruckkapselungen | „pD“ |
| „Dc“ | Eigensicherheit | „iD“ |
| | Vergusskapselung | „m“ (bisher: „mD“) |
| | Schutz durch Gehäuse | „t“ (bisher: „tD“) |
| | Überdruckkapselungen | „pD“ |

## 14.9.7 Zündschutzarten elektrischer Betriebsmittel

Die Normen für explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel und Systeme trugen bisher bzw. tragen noch in wenigen Fällen die Bezeichnung der VDE-Klassifikation „VDE 0170/0171". Nun ist die Bezeichnung für neu inkraftgetretene Normen nur noch „VDE 0170", also ohne die zweite Bezeichnung „0171". Noch gültige, ältere Normen tragen natürlich noch die Doppelnummerierung „VDE 0170/0171".

In VDE 0170-1 mit zahlreichen Teilen sind die Anforderungen an die Bauausführung der elektrischen Betriebsmittel (Geräte im Sinne der EU-Richtlinie 94/9/EG und Explosionsschutzverordnung/11. ProdSV) in den verschiedenen Zündschutzarten zum Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen enthalten. Diese Zündschutzarten für gasexplosionsgefährdete Bereiche sind:

| | |
|---|---|
| Ölkapselung „o", | druckfeste Kapselung „d", |
| Sandkapselung „q", | Eigensicherheit „i", |
| erhöhte Sicherheit „e", | eigensichere elektrische Systeme „i-syst", |
| Vergusskapselung „m", | Zündschutzart „n" (ohne beschreibende Bezeichnung), |
| Überdruckkapselung „p", | Geräteschutzniveau (EPL) Ga. |

Zündschutzarten für Bereiche mit brennbarem Staub sind:

Staubexplosionsschutz durch Gehäuse „t" (bisher: „tD"),
Staubexplosionsschutz durch Überdruckkapselung „pD",
Staubexplosionsschutz Eigensicherheit „iD",
Staubexplosionsschutz Vergusskapselung „m" (bisher: „mD").

In **Tabelle 14.9** ist die Beziehung zwischen Zündschutzarten und Geräteschutzniveaus (EPLs) (s. Abschn. 14.9.6) mit den jeweils zugehörigen Produktnormen explosionsgeschützter elektrischer Betriebsmittel (Geräte) dargestellt.

### 14.9.7.1 Ölkapselung „o"

Bei der Ölkapselung (VDE 0170-2) sind alle Teile der Geräte, die zu einer Zündung Anlass geben könnten, in Öl eingeschlossen (**Bild 14.11**). Diese Schutzart wird überwiegend bei großen Betriebsmitteln angewendet, die normalerweise mit Öl gefüllt sind, wie Ölumspanner, Ölschalter, Ölanlasser. Sonst findet sie wenig Anwendung, weil auch ihre Wirksamkeit weitgehend vom Einhalten der für das Betriebsmittel vorgeschriebenen Betriebslage abhängig ist. Sie kann somit nur für ortsfeste Anlagenteile verwendet werden. Der Ölstand muss während des Betriebs regelmäßig überwacht werden. Die Zündschutzart Ölkapselung „o" bietet das Geräteschutzniveau (EPL) Gb (s. Abschn. 14.9.6).

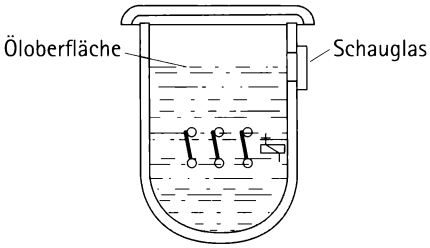



***Bild 14.11:*** *Ölkapselung*

### 14.9.7.2 Überdruckkapselung „p"

Bei der Überdruckkapselung (VDE 0170-3) wird das Eindringen explosionsfähiger Atmosphäre ins Innere von elektrischen Betriebsmitteln in nicht explosionsgeschützter Ausführung dadurch verhindert, dass ein Zündschutzgas (Luft, inertes Gas) das Innere der Gehäuse unter einem Überdruck gegenüber der umgebenden Atmosphäre hält (Prinzipdarstellung **Bild 14.12**). Man unterscheidet zwischen Überdruckkapselung mit ständiger Durchspülung und Überdruckkapselung mit Ausgleich der Leckverluste.

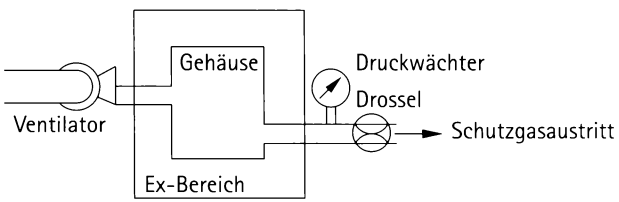



***Bild 14.12:*** *Überdruckkapselung*

Durch Sicherheitseinrichtungen (z. B. Zeitrelais, Strömungswächter) ist sicherzustellen, dass elektrische Betriebsmittel erst nach ausreichender Vorspülung (5-facher Durchsatz) eingeschaltet werden können. Sinkt der Überdruck unter den vorgeschriebenen Mindestwert von 0,5 mbar, so muss die Anlage automatisch abgeschaltet oder Alarm ausgelöst werden. Anforderungen an Gehäuse und Rohrleitungen bez. Druckfestigkeit, Brennbarkeit, Verschluss u. dgl. sind in der zugehörigen Norm enthalten.

Die Überdruckkapselung wird insbesondere bei Schaltanlagen, Schaltschränken und großen Kommutatormotoren angewendet. Der große Vorteil liegt darin, dass die elektrischen Betriebsmittel, die z. B. in das durchspülte Gehäuse einer Schaltanlage eingebaut werden, keiner Zündschutzart entsprechen müssen. Die Überdruckkapselung eignet sich auch bei brennbaren Gasen und Dämpfen mit niedrigen Zündtemperaturen und hohen Explosionsgruppen.

Die Zündschutzart wird unterteilt in Typ px (Einsatz in Zone 1 oder 2), Typ py (Einsatz in Zone 1 oder 2) und Typ pz (Einsatz in Zone 1 oder 2). Der jeweilige Typ der Überdruckkapselung reduziert das Geräteschutzniveau (EPL) (s. Abschn. 14.9.6) innerhalb des überdruckgekapselten Gehäuses und zwar bei

- Typ px von Gb auf „nicht explosionsgefährdet" oder von Mb auf „nicht explosionsgefährdet",
- Typ py von Gb auf Gc und
- Typ pz von Gc auf „nicht explosionsgefährdet".

### 14.9.7.3 Sandkapselung „q"

Bei der Sandkapselung (VDE 0170-4) wird durch die Füllung des Gehäuses eines elektrischen Betriebsmittels mit einem feinkörnigen Füllgut (z. B. Quarzsand) erreicht, dass ein in seinem Gehäuse entstehender Lichtbogen eine das Gehäuse umgebende explosionsfähige Atmosphäre nicht zündet. Sandkapselung wird nur in seltenen Fällen, z. B. für kleine Transformatoren, elektronische Vorschaltgeräte, Sensoren, angewendet.

### 14.9.7.4 Druckfeste Kapselung „d"

Bei der druckfesten Kapselung (VDE 0170-5) sind die Teile, die eine explosionsfähige Atmosphäre zünden können, in ein Gehäuse eingebaut, das bei der Explosion eines eingedrungenen explosionsfähigen Gemischs deren Druck standhält und eine Übertragung der Explosion auf die das Gehäuse umgebende explosionsfähige Atmosphäre verhindert. Druckfest gekapselte Gehäuse müssen somit über einen zünddurchschlagsicheren *Spalt* verfügen (**Bild 14.13**). Dieser ist abhängig von der Zünddurchschlagfähigkeit (Explosionsgruppe der Gase und Dämpfe, die eine explosionsfähige Atmosphäre bilden können (s. Abschn. 14.9.5).

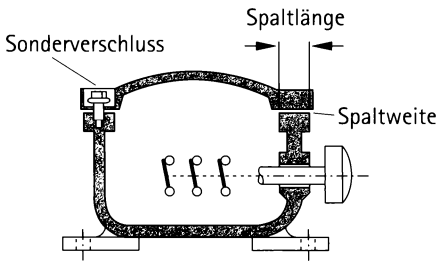



***Bild 14.13:*** *Druckfeste Kapselung*

Druckfest gekapselte Betriebsmittel müssen deshalb mit der Explosionsgruppe (IIA, IIB oder IIC) gekennzeichnet sein, für die sie geeignet sind. Betriebsmittel der Gruppe IIC sind auch für IIB- und IIA-Bereiche, die der Gruppe IIB auch für IIA-Bereiche geeignet.

Die bisher in Deutschland übliche Technik sah für druckfest gekapselte Gehäuse einen Anschlussraum in der Zündschutzart erhöhte Sicherheit vor (**Bild 14.14** links). Der Errichter brauchte deshalb beim Anschließen das druckfest gekapselte Gehäuse nicht zu öffnen. Für die Einführung der Leitung in den Anschlussraum genügt die Schutzart IP54, sodass eine Einführungsverschraubung in erhöhter Sicherheit verwendet werden kann.

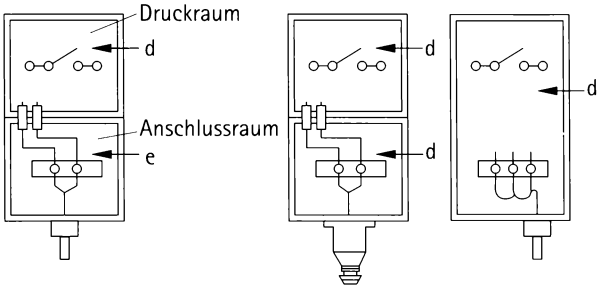



***Bild 14.14:*** *Durchlass und Einführung in das Gehäuse bei der Zündschutzart druckfeste Kapselung (d); e: erhöhte Sicherheit*

Durch die Harmonisierung der deutschen Normen wurde die Ausschließlichkeit dieses Prinzips verlassen. Seitdem gibt es Betriebsmittel mit getrennten druckfest gekapselten Anschlussräumen und mit direkter Leitungseinführung in den druckfesten Raum (Bild 14.14 Mitte u. rechts). Der Elektrofachmann muss dabei darauf achten, dass die Leitungseinführung der entsprechenden Zündschutzart genügt und auf den jeweiligen Kabeltyp abgestimmt ist. Die Sicherheit der druckfesten Kapselung ist davon abhängig, wie zuverlässig und sorgfältig die Leitung auf der Baustelle montiert wird.

Die Zündschutzart druckfeste Kapselung wird z. B. bei Schaltgeräten, Leuchten, Motoren und ortsveränderlichen Transformatoren häufig angewendet. Sie wird auch für Schaltanlagen bevorzugt (**Bild 14.15**), da in einem druckfesten Gehäuse neben den Leistungsschaltern und Luftschützen auch die Überstrom- und Kurzschlussschutzeinrichtungen sowie Steuertransformatoren und Hilfsgeräte für alle Steuerungs- und Verriegelungsaufgaben eingebaut werden können.

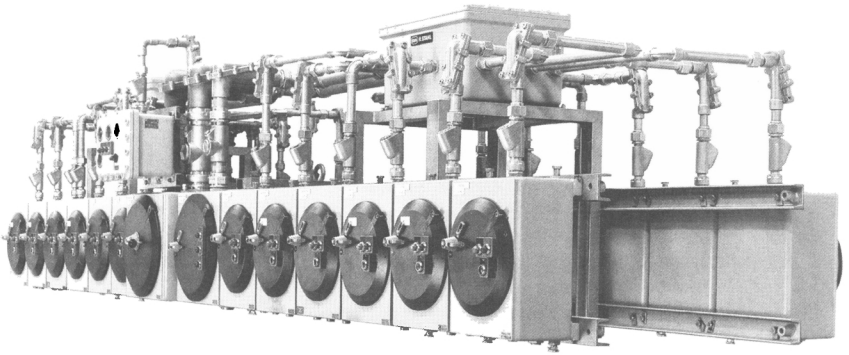
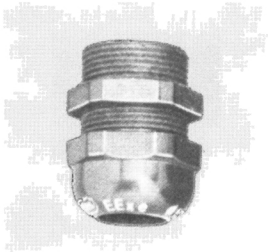


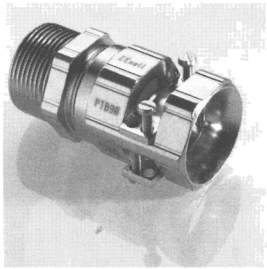
***Bild 14.15:*** *Verteiler in druckfester Rohrinstallation (Werkbild: Fa. Stahl)*

### 14.9.7.5 Erhöhte Sicherheit „e"

Die erhöhte Sicherheit (VDE 0170-6) ist eine Zündschutzart, bei der Maßnahmen getroffen sind, um mit einem erhöhten Grad an Sicherheit die Möglichkeit unzulässig hoher Temperaturen und das Entstehen von Funken oder Lichtbögen im Innern oder an äußeren Teilen elektrischer Betriebsmittel, bei denen diese im normalen Betrieb nicht auftreten, zu verhindern. Diese Zündschutzart ist deshalb nur für Betriebsmittel anwendbar, bei denen im normalen Betrieb keine Funken, Lichtbögen oder hohen Temperaturen auftreten. Schalter, Kommutatoren, Schleifringe u. dgl. können demnach grundsätzlich nicht in erhöhter Sicherheit gebaut werden. Für Klemmenkästen, Abzweigdosen, Sammelschienenkästen, Käfigläufermotoren, Leuchten, Magnetventile, Wandler u. dgl. ist diese Schutzart jedoch gut geeignet. Durch den mechanischen Aufbau ist sicherzustellen, dass durch äußere Einflüsse (Wasser, Fremdkörper) keine Kriechströme oder sogar Lichtbögen verursacht werden können. Deshalb müssen die Gehäuse, die blanke unter Spannung stehende Teile enthalten, mindestens der Schutzart IP54 genügen. Für *Leitungseinführungen* sind Verschraubungen zu verwenden, die für diese Zündschutzart geeignet und bescheinigt sind (**Bild 14.16 a**). Dies gilt auch für Verschlussstopfen zum Verschließen nicht benutzter Leitungseinführungsöffnungen sowie für evtl. verwendete Reduzierungen/Erweiterungen für Einführungsverschraubungen. Diese bescheinigten Verschraubungen gewährleisten zum einen die IP-Schutzart und zum andern die Forderung nach Zugentlastung und Verdrehungsschutz. Beim Einsatz ortsveränderlicher elektrischer Betriebsmittel sind Verschraubungen mit Knickschutz, sog. Trompetenverschraubungen, zu verwenden **(Bild 14.16 b)**.

Da DIN 46320 für Pg-Gewinde 1999 ausgelaufen ist, sind nur noch metrische Gewinde nach VDE 0619 für Stopfbuchsenverschraubungen verfügbar.


a)


b)

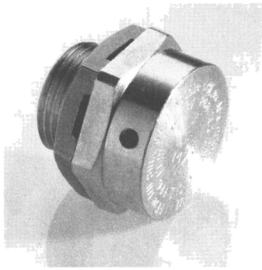

c)

***Bild 14.16:*** *Leitungsführungsteile*
a) Stopfbuchsenverschraubung;
b) Kabelverschraubung mit Knickschutz;
c) Verschlussstopfen
(b und c: Werkbilder: Pflitsch)

Alle Leiteranschlüsse, auch die von Schutz- und Potenzialausgleichsleitern, sind gegen Selbstlockern zu sichern. Bei Klemmenkästen in Zündschutzart erhöhte Sicherheit ist die vom Hersteller vorgegebene Maximalbestückung und -belastung der Klemmen zu beachten. Für Maschinen ist immer eine Überstromschutzeinrichtung erforderlich, um die maximal zulässige Oberflächen- bzw. die Grenztemperatur der Isolierstoffklasse des Betriebsmittels nicht zu überschreiten; ausgenommen sind Maschinen, die ihren Anzugsstrom dauern aushalten können, ohne dass sich ihre Wicklungen unzulässig erwärmen.

Auf den Kennzeichnungsschildern von Maschinen mit Käfigläufern sind das Anzugsstromverhältnis $I_A/I_n$ (der Anzugsstrom $I_A$ ist der höchste Effektivwert des Stroms bei festgebremstem Läufer) und die Zeit $t_E$ (Zeitspanne, innerhalb der sich die Wicklung durch den Anzugsstrom $I_A$ von der Endtemperatur im Bemessungsbetrieb bis zu ihrer Grenztemperatur erwärmt) anzugeben.

### 14.9.7.6 Eigensicherheit „i"

Die Eigensicherheit (VDE 0170-7) bezieht sich nicht auf ein einzelnes Betriebsmittel, sondern auf den gesamten eigensicheren Stromkreis. Ein Stromkreis ist eigensicher, wenn weder im normalen Betrieb noch bei bestimmten Fehlerbedingungen ein Funken oder ein thermischer Effekt die Zündung einer explosionsfähigen Atmosphäre verursachen kann.

Ein eigensicherer Stromkreis besteht mindestens aus folgenden Bestandteilen:

- ein eigensicheres elektrisches Betriebsmittel (alle internen Stromkreise sind eigensicher),

- ein zugehöriges elektrisches Betriebsmittel (es enthält sowohl eigensichere als auch nicht eigensichere Stromkreise),
- Verbindungsleitungen.

**Bild 14.17** zeigt die prinzipielle Darstellung der Zündschutzart.

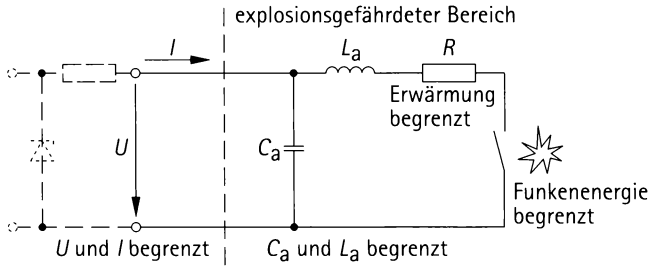



***Bild 14.17:** Prinzip der Zündschutzart Eigensicherheit*

Bei der Eigensicherheit werden die elektrischen Betriebsmittel noch in die *Schutzniveaus* (bisher: *Kategorien*[1]) ia und ib sowie – zusätzlich mit Inkrafttreten von VDE 0170-07:2007-08 – ic unterteilt. Sie unterscheiden sich in der Anwendung unterschiedlicher Sicherheitsfaktoren bei der Auslegung der Betriebsmittel.

Betriebsmittel des Schutzniveaus (bisher: Kategorie) ia sind aufgrund ihrer hohen Sicherheit für den Einsatz in der Zone 0 geeignet; sie sind selbstverständlich auch in den Zonen 1 und 2 einsetzbar. Betriebsmittel des Schutzniveaus (bisher: Kategorie) ib dürfen nur in den Zonen 1 und 2 und des Schutzniveaus ic nur in Zone 2 eingesetzt werden. Das zusätzlich eingeführte Schutzniveau ic hat das Konzept der sog. Energiebegrenzung aus VDE 0170-16 (Zündschutzart „nL", s. Abschn. 14.9.7.9) abgelöst.

Für eigensichere elektrische Betriebsmittel und zugehörige elektrische Betriebsmittel sind Prüfzertifikate erforderlich, ausgenommen sog. *einfache elektrische Betriebsmittel.* Das sind passive Bauelemente, wie Schalter, Verteilerkästen, Widerstände und einfache Halbleiterbauelemente, oder Energiespeicher aus einzelnen Bauelementen in einfachen Schaltkreisen mit genau festgelegten Kennwerten. Energiequellen, wie Thermoelemente oder Fotozellen, die nicht mehr als

1,5 V, 100 mA, 25 mW

1 „Kategorie" wurde durch den Begriff „Schutzniveau" ersetzt, da der Begriff Kategorie durch die EU-RL 94/9/EG (ATEX 95) belegt ist.

erzeugen, gehören auch zu den einfachen elektrischen Betriebsmitteln. Diese einfachen elektrischen Betriebsmittel müssen aber alle zutreffenden Anforderungen von VDE 0170-7 (Geräteschutz durch Eigensicherheit „i") erfüllen. Der Hersteller oder Planer eines eigensicheren Systems muss einen Nachweis über die Einhaltung des Abschnitts von VDE 0170-7 über „einfache elektrische Betriebsmittel" erbringen. Der Nachweis muss ggf. Werkstoffdatenblätter und Prüfberichte enthalten. Die Kennzeichnung dieser einfachen elektrischen Betriebsmittel braucht nicht der VDE 0170-7 zu entsprechen.

Der Anschluss des eigensicheren an den nicht eigensicheren Stromkreis kann über *Sicherheitsbarrieren* (**Bild 14.18**) oder *Trennstufen* (kein Normbegriff) *mit galvanischer Trennung* erfolgen. Da bei Sicherheitsbarrieren keine galvanische Trennung vorhanden ist, sind sie grundsätzlich in den Potenzialausgleich einzubeziehen, um Potenzialdifferenzen zwischen dem eigensicheren Stromkreis und leitfähigen Anlagenteilen zu verhindern.

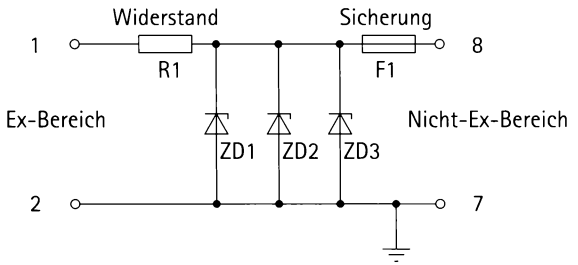



***Bild 14.18:*** *Aufbau einer Sicherheitsbarriere*

Bei Bedarf dürfen auch mehrere eigensichere Stromkreise zusammengeschaltet werden, wenn ein rechnerischer oder messtechnischer Nachweis über die Eigensicherheit der Zusammenschaltung geführt wird.

### Eigensichere Systeme

*Eigensichere elektrische Systeme* sind die Gesamtheit der miteinander verbundenen elektrischen Betriebsmittel, bei der Stromkreise ganz oder teilweise in explosionsgefährdeten Bereichen sowohl der Gruppe I (schlagwettergefährdet), Gruppe II (gasexplosionsgefährdet) als auch der Gruppe III (staubexplosionsgefährdet) eigensicher sind (s. Abschn. 14.9.5). Die Gesamtheit der elektrischen Betriebsmittel muss in einer Systembeschreibung dokumentiert sein. In dem Dokument müssen die einzelnen elektrischen Betriebsmittel und deren elektrische Kennwerte sowie die Kennwerte der Verbindungsverdrahtung festgelegt sein. Kennwerte sind

z. B. elektrische Widerstände, Induktivitäten, Kapazitäten, Leerlaufspannungen, Kurzschlussströme. Von der Verbindungsverdrahtung kann die Eigensicherheit abhängen.

*Bescheinigte* eigensichere elektrische Systeme müssen den Anforderungen von VDE 0170-10-1 entsprechen. Dies muss in einem Zertifikat bestätigt werden. VDE 0170-10-1 enthält die spezifischen Anforderungen an Aufbau und Prüfung eigensicherer elektrischer Systeme in Zündschutzart „i".

Ein *nicht bescheinigtes* eigensicheres elektrisches System stellt auch ein eigensicheres elektrisches System dar, wie es oben beschrieben ist, bei dem aufgrund der Kenntnisse der elektrischen und physikalischen Kennwerte von Betriebsmitteln und der Verbindungsverdrahtung eindeutig geschlossen werden kann, dass die Eigensicherheit sichergestellt ist.

#### 14.9.7.7 Vergusskapselung „m"

Bei der Vergusskapselung (VDE 0170-9) werden die Teile, die eine explosionsfähige Gas- oder Staubatmosphäre durch Funken oder Erwärmung zünden können, in Vergussmasse so eingebettet, dass eine Entzündung nicht möglich ist. Elektrische Betriebsmittel (Geräte) dieser Zündschutzart werden in das

- Geräteschutzniveau ma (EPL Ma, Ga, Da; Einsatz in Zone 0, 1 oder 2),
- Geräteschutzniveau mb (EPL Mb, Gb, Db; Einsatz in Zone 1 oder 2) oder
- Geräteschutzniveau mc (EPL Gc, Dc; Einsatz in Zone 2)

unterteilt (s. Abschn. 14.9.6). Für das Geräteschutzniveau ma müssen zusätzliche Anforderungen eingehalten werden.

#### 14.9.7.8 Zündschutzart „n"

Diese erst im Jahre 2000 genormte Zündschutzart nach VDE 0170-16 hat im Gegensatz zu den anderen Zündschutzarten außer dem Buchstaben „n" keine weitere beschreibende Bezeichnung. Sie heißt einfach Zündschutzart n. Als Eselsbrücke kann der Ausdruck „nicht zündend" dienen. Die Zündschutzart ist für Betriebsmittel, z. B. für Gehäuse, Motoren, Leuchten, Elektronik, zur Verwendung speziell in der Zone 2 vorgesehen. Bei diesen Betriebsmitteln handelt es sich sowohl um nicht funkende elektrische Betriebsmittel als auch um elektrische Betriebsmittel, die nach der Norm so gebaut sind, dass Teile oder Stromkreise, die Lichtbögen, Funken oder heiße Oberflächen hervorrufen können, nicht in der Lage sind, eine umgebende explosionsfähige Atmosphäre zu zünden. Bei dieser Zündschutzart werden folgende Gerätekategorien unterschieden:

- *nicht funkende Einrichtung „nA"* (Risiko des Auftretens von Lichtbögen oder Funken, die eine Zündgefahr während des Normalbetriebs entstehen lassen können, wird minimiert),
- *schwadensicheres Gehäuse „nR"* (Gehäuse ist so konstruiert, dass das Eindringen von Gas, Dämpfen und Nebeln beschränkt wird);
- *Einrichtungen und Bauteile „nC"*, werden unterteilt in
  - *umschlossene Schalteinrichtung „nC"* (Einrichtung, die schließende und öffnende elektrische Kontakte enthält und die einer internen Explosion eines eventuell eingedrungenen brennbaren Gases oder Dampfes standhält, ohne Schäden zu nehmen und ohne die interne Explosion auf das äußere umgebende brennbare Gas oder den Dampf zu übertragen; Unterschied zu druckfester Kapselung „d" (s. Abschn. 14.9.7.4): keine Überprüfung der Maße und keine Ergänzung von Sicherheitsfaktoren,
  - *hermetisch verschlossene Einrichtung „nC"* (Einrichtung ist so konstruiert, dass die äußere Atmosphäre nicht in das Innere eindringen kann, und in der die Abdichtung durch einen Schmelzprozess hergestellt worden ist, z. B. durch Weichlöten, Hartlöten, Schweißen oder Verschmelzen von Glas mit Metall),
  - *nichtzündfähiges Bauteil „nC"* (Bauteil mit Kontakten, die einen möglicherweise zündfähigen Stromkreis schließen und öffnen, bei dem der Kontaktmechanismus aber so konstruiert ist, dass das Bauteil nicht in der Lage ist, die Zündung einer bestimmten explosionsfähigen Atmosphäre herbeizuführen),
  - *abgedichtete Einrichtung „nC"* (Einrichtung ist so konstruiert, dass sie bei normalem Betrieb nicht geöffnet werden kann, und die so wirksam abgedichtet ist, dass das Eindringen von äußerer Atmosphäre verhindert wird).

Folgende bisher gebräuchliche Zündschutzarten „n" sind entfallen:

- energiebegrenzte Betriebsmittel und Stromkreise „nL" (eingegangen in die Zündschutzart Eigensicherheit „i" (s. Abschn. 14.9.7.6)),
- vereinfachte Überdruckkapselung „nP" (entfallen seit Mai 2006, eingegangen in die Zündschutzart Überdruckkapselung „p" (s. Abschn. 14.9.7.2)),
- gekapselte Einrichtungen „nC".

### 14.9.7.9 Elektrische Betriebsmittel mit Geräteschutzniveau (EPL) Ga

Elektrische Betriebsmittel mit Geräteschutzniveau (EPL) (s. Abschn. 14.9.6) nach VDE 0170-12-1 sind für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen der Zone 0 vorgesehen. Solche elektrischen Betriebsmittel gewährleisten bei bestimmungs-

gemäßem Gebrauch auch beim Auftreten von seltenen Fehlern oder beim Auftreten von zwei unabhängigen Fehlern ein sehr hohes Maß an Sicherheit.

### 14.9.8 Kennzeichnung elektrischer Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche

Elektrische Betriebsmittel, die einer oder mehreren Zündschutzarten entsprechen, müssen an sichtbarer Stelle auf dem Hauptteil des Betriebsmittels bez. des Explosionsschutzes gekennzeichnet sein. Dabei ist zu unterscheiden zwischen der Kennzeichnung nach den alten VDE-Bestimmungen, nach den aktuellen VDE-Bestimmungen und der zusätzlichen Kennzeichnung gemäß der neuen EG-Ex-Richtlinie. Die Kennzeichnung, die für explosionsgefährdete elektrische Betriebsmittel nach VDE 0170 (aktueller Stand: 2014-06) verwendet werden muss, ist in VDE 0170-1 festgelegt.

Sie muss folgende Angaben enthalten:

1. Namen des Herstellers oder sein eingetragenes Warenzeichen,
2. vom Hersteller festgelegte Typbezeichnung,
3. eine Seriennummer (außer für Anschlussteile (Kabel-/Leitungseinführungen, Verschlussstopfen, Gewindeadapter, Leitungsdurchführungen), sehr kleine elektrische Betriebsmittel, bei denen der Platz begrenzt ist),
4. Namen oder Zeichen der Stelle, die das Zertifikat herausgibt, Zertifikatkennnummer in der Form: letzten beiden Ziffern des Jahrs der Erteilung, gefolgt von „." oder durch anderen Hinweis, z. B. „ATEX", gefolgt von einer eindeutigen vierstelligen Zeichenfolge des Zertifikats in jenem Jahr,
5. bei erforderlichen Hinweis auf besondere Bedingungen für die Anwendung: hinter der Zertifikatkennnummer das Symbol „X", alternativ auch eine hinweisende Kennzeichnung. Anforderungen der besonderen Bedingungen für den Betrieb sollten zusammen mit weiteren wichtigen Informationen vom Hersteller zur Verfügung gestellt werden;
6. Ex-Kennzeichnungen für explosionsfähige Gasatmosphären (s. u.) oder für explosionsfähige Staubatmosphären (s. u.). Ex-Kennzeichnung für explosionsfähige Gasatmosphären und explosionsfähige Staubatmosphären darf nicht kombiniert werden, sondern muss separat erfolgen;
7. alle zusätzlichen Angaben, die nach den für die betreffenden Zündschutzarten (s. Abschn. 14.9.7) geltenden besonderen Teilen der Reihe VDE 0170 gefordert sind; zusätzliche Kennzeichnungen nach Industrie-Sicherheitsnormen für den Bau elektrischer Betriebsmittel (Geräte) müssen berücksichtigt werden;

Ex-Kennzeichnungen für explosionsfähige Gasatmosphären oder Staubatmosphären nach Ziff. 6 (s. o.).

Die Ex-Kennzeichnung muss enthalten:

8. das der Norm entsprechende Symbol „Ex" (früher und auf Altgeräten noch zu finden: „EEx"), das anzeigt, dass das elektrische Betriebsmittel (Gerät) einer oder mehreren Zündschutzarten entspricht,
9. das Symbol jeder verwendeten Zündschutzart (s. Abschn. 14.9.7), z. B. im Falle von explosionsfähige *Gasatmosphären*
   - „d" für druckfeste Kapselung (für Geräteschutzniveau (EPL) Gb oder Mb),
   - „ia" für Eigensicherheit (für Geräteschutzniveau (EPL) Ga oder Ma),
   - „mb" für Vergusskapelung (für Geräteschutzniveau (EPL) Gb oder Mb),
   - „nR" für Typ n, Zündschutzart nR (für Geräteschutzniveau (EPL) Gc),
   - „pz" für Überdruckkapselung, Kategorie „py" (für Geräteschutzniveau (EPL) Gc),

   z. B. im Falle von explosionsfähige *Staubatmosphären*
   - „ta" für Schutz durch Gehäuse (für Geräteschutzniveau (EPL) Da),
   - „tc" für Schutz durch Gehäuse (für Geräteschutzniveau (EPL) Db),
   - „ib" für Eigensicherheit (für Geräteschutzniveau (EPL) Db),
   - „ma" für Vergusskapselung (für Geräteschutzniveau (EPL) Da),
   - „p" für Überdruckkapselung (für Geräteschutzniveau (EPL) Db oder Dc),
10. das Symbol für die Gruppe (s. Abschn. 14.9.5)
    - I = Schlagwetterschutz,
    - IIA, IIB oder IIC = Gasexplosionsschutz (bei bestimmten Gas muss nach Symbol II in Klammern entweder die chemische Formel oder der Name des Gases angegeben sein),
    - IIIA, IIIB oder IIIC = Staubexplosionsschutz,
11. im Falle des Gasexplosionsschutzes die Temperaturklasse (T1 bis T6) oder die maximale Oberflächentemperatur in °C oder beides, im Falle des Staubexplosionsschutzes die maximale Oberflächentemperatur in °C mit einem vorangestellten „T", z. B. T 90 °C),
12. das zutreffende Geräteschutzniveau (EPL) „Ga", „Gb" oder „Gc" (Gasexplosionsschutz), „Ma" oder „Mb" (Schlagwetterschutz), „Da", „Db" oder „DC" (Staubexplosionsschutz),
13. die Schutzart (z. B. IP 54) im Falle des Staubexplosionsschutzes.

Zugehörigen elektrischen Betriebsmitteln, die in gefährdeten Bereichen installiert werden sollen und bei denen die Energiebegrenzung innerhalb des im gefährdeten Bereich montierten Betriebsmittels vorgenommen wird, werden die Symbole für die Zündschutzart in eckigen Klammern angegeben, z. B. Ex d [ia] IIC T4 Gb. Wenn sich die Gerätegruppe des zugehörigen Betriebsmittels von der des Betriebsmittels (Gerät) unterscheidet, wird die Gerätegruppe des zugehörigen Betriebsmittels auch in eckigen Klammern angegeben, z. B. Ex d [ia IIC Ga] IIB T4 Gb.

Betriebsmittel, die bis zum 1. Mai 1988 gebaut wurden, durften daneben noch entsprechend VDE 0170/0171 (alt) gekennzeichnet werden. Man muss deshalb die alte Kennzeichnung kennen und wissen, welche Bezeichnungen einander entsprechen. Aus Tabelle 14.5 geht die Zuordnung der neuen Temperaturklassen zu den „alten" Zündgruppen hervor. Tabelle 14.6 zeigt die Gegenüberstellung der Explosionsgruppen A, B, C zu den früher verwendeten Explosionsklassen 1, 2, 3. Betriebsmittel der Gruppe I, d. h. für schlagwettergefährdete Grubenbaue, wurden mit dem Symbol Sch gekennzeichnet, solche der Gruppe II mit dem Symbol Ex.

Die folgende Übersicht zeigt einige Kennzeichnungsbeispiele:

| **Beispiel** | **ATEX 95** | **Reihe VDE 0170** | **frühere Kennzeichnung** | **alte Kennzeichnung** |
|---|---|---|---|---|
| Betriebsmittel für Bergbau, Zündschutzart „Druckfeste Kapselung" d | Ex I M2 | Ex d I Mb | EEx d I | Sch d |
| gasexplosionsgeschütztes Betriebsmittel, Zündschutzart „Erhöhte Sicherheit" e | Ex II 2G | Ex e IIB T4 Gb | EEx de IIB T4 | Ex d2 G4 |
| staubexplosionsgeschütztes Betriebsmittel, Zündschutzart „Vergusskapselung" | Ex II 1D | Ex ma IIIC 120 °C Da | EEx e II T2 | Ex e G2 |

Abweichend von den Normen müssen nach der EU-Richtlinie 94/9/EG (ATEX 95) auf elektrischen Betriebsmitteln (Geräten) deutlich und dauerhaft folgende Mindestangaben angebracht sein:

- Name und Anschrift des Herstellers,
- CE-Kennzeichen und Kennnummer der benannten Stelle,
- Bezeichnung der Serie und des Typs,
- ggf. die Seriennummer,
- das Baujahr,
- das Zeichen Ex in Verbindung mit den Kennzeichen der Gerätegruppe und der Gerätekategorie.

Bei der Gerätegruppe II sind zusätzlich der Buchstabe G (für Bereiche, in denen explosionsfähige Gas-, Dampf- und Nebel-Luftgemische vorhanden sein können) und/oder der Buchstabe D (für Bereiche, in denen durch Stäube explosionsgefährliche Atmosphäre vorhanden ist) anzugeben.

Mit der Umsetzung der EU-Richtlinie 94/9/EG (ATEX 95) werden *Prüfstellen* für den Explosionsschutz benannt („benannte Stellen", auch gemeldete oder notifizierte Stellen genannt), die explosionsgeschützte Betriebsmittel zertifizieren, d. h. prüfen und eine Bescheinigung ausstellen. Die einzelnen Prüfstellen zertifizieren in der Regel nicht alle Arten von explosionsgeschützten Betriebsmitteln oder -geräten, sondern haben sich auf bestimmte Arten spezialisiert. Solche benannte Stellen gibt es viel mehr, als es bisher anerkannte Prüfstellen gab Allerdings sind nach der neuen gesetzlichen Regelung auch nichtelektrische Geräte und Betriebsmittel zu prüfen. Jede gemeldete Stelle hat eine Kennnummer, die dann auch Bestandteil der Kennzeichnung des Ex-Betriebsmittels zusammen mit dem CE-Zeichen ist, z. B. „Kenn-Nr. 0123" (TÜV Product Service, München) oder „Kenn-Nr. 0102" (PTB, Braunschweig).

## 14.9.9 Elektrische Betriebsmittel in explosionsgefährdeten Bereichen

### Leuchten

Leuchten sind in den Zündschutzarten d, e und n erhältlich. Welche Zündschutzart angewendet wird, kann vom Errichter/Betreiber entschieden werden. In Glühlampenleuchten der Zündschutzart e dürfen nur Allgebrauchslampen verwendet werden, die mit dem Zeichen ⩛ gekennzeichnet sind.

### Motoren

Motoren können in nachstehenden Zündschutzarten eingesetzt werden:

- druckfeste Kapselung (d),
- erhöhte Sicherheit (e),
- Überdruckkapselung (p).

Alle Motoren sind zum Schutz gegen Überlastung und daraus evtl. entstehende unzulässige Oberflächentemperaturen mit *Überstromschutzeinrichtungen* zu versehen. Diese sind auf den Bemessungsstrom des Motors einzustellen und müssen mit Phasenausfallschutz versehen sein. Besonders bei Motoren in Zündschutzart e ist für den Explosionsschutz das Vorhandensein einer Schutzeinrichtung

zwingend notwendig, denn die Überstromschutzeinrichtung muss den Antrieb bei Überlastung innerhalb der auf dem Typenschild des Motors angegebenen Zeit $t_E$ abschalten, um eine unzulässige Erwärmung des Motors zu verhindern. Zur Kontrolle ist die Kennlinie der Überstromschutzeinrichtung heranzuziehen. Dabei ist zu überprüfen, ob sich bei dem auf dem Typenschild des Motors angegebenen Anlaufstromverhältnis $I_A/I_n$ eine Auslösezeit ergibt, die kleiner ist als die $t_E$-Zeit für die jeweilige Temperaturklasse.

Seit sich mit Frequenzumrichtern die Drehzahl von *Asynchronmotoren mit Käfigläufer* stufenlos und verlustarm ändern lässt, kommen derartige Antriebe immer häufiger zum Einsatz. In explosionsgefährdeten Bereichen können sie mit Motoren in Zündschutzart e und d betrieben werden. Bei Verwendung von Motoren in Zündschutzart e müssen der Motor, der Umrichter und die zugehörige Schutzeinrichtung gemeinsam geprüft und als zusammengehörig gekennzeichnet und bescheinigt sein.

Einfacher ist die Verwendung von Motoren in der Zündschutzart d. Hier muss lediglich der Motorhersteller bescheinigen, dass der Motor für die Betriebsarten S 1 bis S 7 (S 8) mit *thermischem Motorschutz* (TMS) als Alleinschutz ausgelegt und für den Betrieb am Umrichter geeignet ist. Die Überwachungsgeräte für den thermischen Motorschutz (TMS) müssen mit einem in **Bild 14.19** dargestellten Prüfzeichen versehen sein.

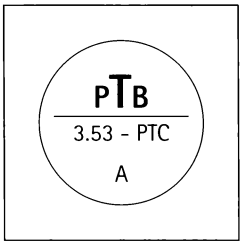



***Bild 14.19:*** *Prüfzeichen der PTB für TMS-Auslösegeräte*

**Schalt- und Steuergeräte**

Für Geräte dieser Art wird in weitem Umfang die Zündschutzart d vorgesehen (s. Abschn. 14.9.7.4). Empfehlenswert sind *Schalter der Schutzklasse II* (früher: schutzisoliert) oder gleichwertiger Isolierung mit Kunststoffgehäusen, die keinen Schutzleiter brauchen. Solche Schalter gibt es z. B. als Befehlsschalter, Doppeldruckknopf-Taster, auch mit Meldeleuchte in Ex de IIC T5 (früher: Ex d 3 n G 5) und in IP54 gekapselt. Bei fernbetätigten Schaltgeräten muss verhindert werden, dass sie beim Öffnen des Geräts geschaltet werden. Dies kann durch die Bauart oder durch eine vorgeschaltete Schalteinrichtung zum Freischalten geschehen. Ein Warnschild „Nicht unter Spannung öffnen" ist erforderlich.

*Trennschalter* müssen ein Schild „Nicht unter Last betätigen" erhalten. Wenn Schaltgeräte einen Trennschalter enthalten, muss dieser allpolig trennen und so eingerichtet sein, dass seine Aus-Stellung zuverlässig angezeigt ist.

Gehäuse, in die *Sicherungen* eingebaut sind, müssen so verriegelt sein, dass das Einsetzen und Herausnehmen der Sicherungseinsätze nur in spannungslosem Zustand möglich ist. Auch ein Schild „Nicht unter Spannung öffnen" genügt.

*Steckvorrichtungen* müssen entweder mechanisch oder elektrisch so verriegelt sein, dass sie nur spannungslos gezogen werden können und dass die Kontakte nicht unter Spannung gesetzt werden können, wenn sie getrennt sind.

**Messgeräte**

Bei Messstromkreisen wird fast immer die Zündschutzart i verwendet (s. Abschn. 14.9.7.6), Messgeräte gibt es aber auch in der Zündschutzart e.

## 14.9.10 Errichten elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen

### 14.9.10.1 Allgemeine Anforderungen

In allen explosionsgefährdeten Bereichen gelten für das Errichten elektrischer Anlagen Reihe VDE 0100, VDE 0101, Reihe VDE 0113 usw. Zusätzlich sind für das Planen und Errichten elektrischer Anlagen in gasexplosionsgefährdeten Bereichen anzuwenden:

Planen und Errichten:

| | |
|---|---|
| VDE 0165-1:2014-10 | *Explosionsgefährdete Bereiche* – Teil 14: Projektierung, Auswahl und Errichtung *elektrischer Anlagen* |
| VDE 0165-101:2009-10 | *Explosionsgefährdete Atmosphäre* – Teil 10-1: *Einteilung der Bereiche – Gasexplosionsgefährdete Bereiche* |
| VDE 0165-102:2015-10 | *Explosionsfähige Bereiche* – Teil 10-2: *Einteilung der Bereiche – Staubexplosionsgefährdete Bereiche* |

In explosionsgefährdeten Bereichen sollen, soweit möglich, nur die für den Betrieb der elektrischen Anlage erforderlichen elektrischen Betriebsmittel angebracht werden. Geräte, die nicht außerhalb der explosionsgefährdeten Bereiche installiert werden können, sind dann entsprechend den Anforderungen für die festgelegten Gefahrenbereiche (Zoneneinteilungen), den Temperaturklassen und Explosionsgruppen der brennbaren Stoffe auszuwählen. Die Temperaturklassen und Explosionsgruppen von brennbaren Stoffen können einschlägigen Tabellenbüchern, z. B. [6], entnommen werden.

Für elektrische Anlagen in gasexplosionsgefährdeten Bereichen ist eine *Dokumentation* zu erstellen, die, soweit zutreffend, folgende Informationen enthalten muss:

- Unterlagen zur Zoneneinteilung mit Plänen, die die Einteilung und Ausdehnung der explosionsgefährdeten Bereiche einschließlich der Zonenzuordnung und die maximal zulässige Dicke der Staubschicht bei Staubexplosionsgefahr zeigen,
- es kann auch die Bewertung der Folgen einer Zündung vorgenommen werden,
- Anweisungen für die Errichtung und den Anschluss,
- Dokumente für elektrische Betriebsmittel mit besonderen Bedingungen (Betriebsmittel mit Zusatz „X" in der Bescheinigungsnummer),
- Systembeschreibung für das eigensichere System,
- Erklärung des Herstellers oder der dafür qualifizierten Person,
- erforderliche Angaben, um die ordnungsgemäße Installation von Geräten sicherzustellen,
- für die Prüfung erforderliche Angaben (z. B. Verzeichnis und Ort von elektrischen Betriebsmitteln, Ersatzteilen, technischen Angaben),
- Einzelheiten zu Berechnungen,
- erforderliche Angaben für die Reparatur elektrischer Betriebsmittel (falls Reparaturen vom Betreiber oder in dessen Auftrag ausgeführt werden),
- Gas- oder Dampfeinteilung hinsichtlich der Gruppe oder Teilgruppe der elektrischen Betriebsmittel,
- Temperaturklasse oder Zündtemperatur des betreffenden Gases oder Dampfes,
- äußere Einflüsse und Umgebungstemperatur.

Im Falle von Staubexplosionsschutz werden zusätzlich Angaben bzw. Unterlagen benötigt.

Betriebsmittel müssen in Übereinstimmung mit ihrer Dokumentation installiert werden.

Betriebsmittel für Zone 0 sind auch in den Zonen 1 und 2, Betriebsmittel für Zone 1 auch in der Zone 2 zulässig. Betriebsmittel für die Zone 20 dürfen auch in den Zonen 21 und 22, Betriebsmittel für die Zone 21 in Zone 22 verwendet werden.

Darüber hinaus sind elektrische Betriebsmittel durch ihre Anordnung, durch die Auswahl ihrer Bauart oder durch zusätzliche Maßnahmen gegen Wasser, elektrische, chemische, thermische und mechanische Einflüsse so zu schützen, dass der Explosionsschutz gewahrt bleibt. Elektrische Betriebsmittel mit Ausnahme von Kabeln und Leitungen dürfen allgemein bei Umgebungstemperaturen bis 40 °C verwendet werden. Der Einfluss benachbarter Wärmequellen ist zu berücksichtigen.

Über 40 °C dürfen nur dafür ausgelegte und gekennzeichnete Betriebsmittel verwendet werden. Zur Vermeidung zündfähiger Funken dürfen in allen Spannungsbereichen nur Betriebsmittel mit Schutz gegen direktes Berühren von aktiven Teilen verwendet werden.

Im *TN-System* muss von der letzten Verteilung außerhalb des explosionsgefährdeten Bereichs an ein besonderer Schutzleiter (TN-S-System) vorgesehen werden. Ein Messen des Isolationswiderstands aller Leiter gegen Erde muss ohne Abklemmen des Neutralleiters möglich sein. An jeder Übergangsstelle vom TN-C- zum TN-S-System muss der Schutzleiter im nicht explosionsgefährdeten Bereich mit dem Potenzialausgleichssystem verbunden werden. In einem *TT-System* (getrennte Erdung für Versorgungsnetz und Körper elektrischer Betriebsmittel) ist in Zone 1 nur die Abschaltung durch eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) zulässig. Bei einem *IT-System* (Sternpunkt gegen Erde isoliert oder über eine Impedanz geerdet) sollte der erste Fehler so schnell wie möglich beseitigt sein, bevor der zweite Fehler eintritt.

Für elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen aller Zonen ist ein *Potenzialausgleich* erforderlich. In TN-, TT- und IT-Systemen müssen alle metallenen Körper elektrischer Betriebsmittel und fremde leitfähige Teile an das Potenzialausgleichssystem angeschlossen werden.

Schutz- und Überwachungseinrichtungen, z. B. Überstromauslöser, Sicherheitstemperaturbegrenzer, Überdruckschalter, müssen den Anlagenteil in allen Außenleitern abschalten und dürfen ihn nicht selbsttätig wieder einschalten. Des Weiteren müssen elektrische Betriebsmittel, deren Weiterbetrieb bei Störungen zu Gefahren Anlass gibt, z. B. Ausweiten von Bränden, von einer nicht gefährdeten Stelle aus unverzüglich abgeschaltet werden können (Not-Abschaltung). Damit Arbeiten sicher ausgeführt werden können, müssen geeignete Einrichtungen zum *Freischalten* für jeden Stromkreis bzw. jede Stromkreisgruppe vorgesehen werden. Diese Einrichtungen sind für jeden Stromkreis bzw. jede Stromkreisgruppe zugehörig zu kennzeichnen.

### Verlegen von Kabeln und Leitungen

Kabel und Leitungen sind gegen thermische, mechanische oder chemische Einflüsse zu schützen, z. B. durch Verlegen in Schutzrohren, Kunststoff- oder Metallschläuchen mit Endtüllen oder durch Abdeckungen. Auch die Verlegung von geschlossenen Rohrsystemen, sog. *Conduits*, ist seit Einführung der Europanormen zulässig, jedoch wird diese Verlegeart wegen des höheren Installations- und Wartungsaufwands in Deutschland bisher selten praktiziert.

Kabel und Leitungen, die nicht im Erdreich oder in sandgefüllten Kanälen verlegt sind, müssen flammwidrige äußere Mäntel nach Reihe VDE 0482 haben. Für festes Verlegen dürfen Kabel und Leitungen mit Metall-, Kunststoff- oder Gummimänteln

verwendet werden. Hierzu gehören z. B. Bleimantelleitungen, ummantelte Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) und flexible Schlauchleitungen für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung (frühere Bezeichnung: flexible Gummileitungen) H07RN-F. Kabel und Leitungen mit einem Schirm oder einer Bewehrung aus Drahtgeflecht müssen zusätzlich einen äußeren Mantel aus Gummi oder Kunststoff haben. Mineralisolierte Leitungen dürfen verwendet werden, wenn die Leitungsenden außerhalb explosionsgefährdeter Bereiche liegen oder das Zubehör für Verwendung in der entsprechenden Zone geprüft und bescheinigt ist. In Schalt- und Verteilungsanlagen dürfen auch Kunststoffaderleitungen verlegt werden.

Bei *ortsveränderlichen Betriebsmitteln* bis 750 V müssen zum Anschluss flexible Schlauchleitungen für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung (frühere Bezeichnung: flexible Gummileitungen) H07RN-F oder solche mindestens gleichwertiger Bauart gewählt werden. Die Leiter müssen einen Mindestquerschnitt von 1,0 $mm^2$ haben. Als Anschlussleitungen von beweglichen Geräten mit einem Bemessungsstrom bis 6 A und bis 250 V gegen Erde, bei denen keine starke mechanische Beanspruchung und keine Öleinwirkung zu erwarten ist, z. B. Mess- und Regelgeräte, dürfen auch flexible Schlauchleitungen für mittlere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung H05RN-F, Schlauchleitungen für mittlere Beanspruchung mit vernetzter Elastomer-Isolierung H05RR-F oder Leitungen mit gleichwertigem synthetischem Elastomer verwendet werden. Diese Ausnahme gilt nicht für ortsveränderliche elektrische Betriebsmittel, die starken mechanischen Belastungen ausgesetzt sind, z. B. Handleuchten, Fasspumpen, Fußschalter. Als Leiterwerkstoff darf Kupfer oder Aluminium verwendet werden, Aluminium aber nur ab 16 $mm^2$ und nur mit geeigneten Anschlussvorrichtungen.

*Durchführungsöffnungen* für Kabel und Leitungen in den Wänden zu nicht explosionsgefährdeten Bereichen müssen ausreichend dicht verschlossen sein, z. B. durch Sandtassen oder Mörtelverschluss (**Bild 14.20**).

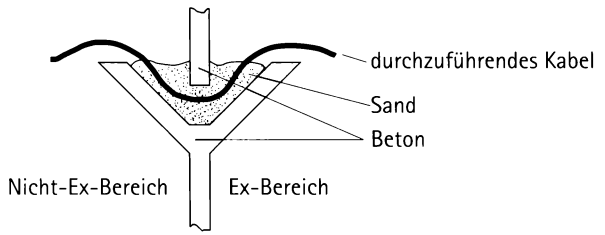



***Bild 14.20:*** *Leitungsdurchführung durch eine Trennwand zwischen Ex-Bereich und Nicht-Ex-Bereich mittels einer „Sandtasse"*

*Leitungsverbindungen* dürfen nur durch Pressverbindungen, gesicherte Schraubverbindungen, durch Schweißen oder Hartlöten hergestellt werden. Weichlöten ist nur zulässig, wenn die zu verbindenden Leiter zusätzlich mechanisch zusammengehalten werden. Leuchtenklemmen (Lüsterklemmen) u. dgl. dürfen nicht verwendet werden. Zum Schutz der Leiterverbindungen dürfen auch Gießharzgarnituren nach VDE 0278-393 und -631-1 und Schrumpfschlauchmuffen nach DIN V 47640 verwendet werden, wenn sie nicht mechanisch beansprucht sind.

**Explosionsschutz bei Gasen und Stäuben**

In Betriebsstätten, die sowohl durch Gase oder Dämpfe als auch durch Stäube explosionsgefährdet sind, müssen die verwendeten elektrischen Betriebsmittel den Anforderungen sowohl für gasexplosionsgefährdete als auch für staubexplosionsgefährdete Bereiche entsprechen.

Es sind also nicht nur die Explosionsgruppen und Temperaturklassen der Gase oder Dämpfe, sondern auch die Glimm- und Zündtemperaturen der Stäube zu berücksichtigen.

### 14.9.10.2 Errichten von eigensicheren Stromkreisen

(s. auch Abschn. 14.9.7.6)

In eigensicheren Stromkreisen dürfen nur isolierte Kabel und Leitungen verwendet werden, deren Prüfspannung zwischen Leiter–Erde, Leiter–Schirm und Schirm–Erde mindestens AC 500 V beträgt. Bei feindrähtigen Leitern müssen die Leiterenden gegen Aufspleißen geschützt sein, und der Durchmesser eines Einzelleiters bzw. des Einzeldrahts einer feindrähtigen Leitung darf innerhalb des explosionsgefährdeten Bereichs 0,1 mm nicht unterschreiten.

Anlagen mit eigensicheren Stromkreisen sind so zu errichten, dass die Eigensicherheit nicht durch äußere elektrische oder magnetische Felder beeinträchtigt wird. Dies kann z. B. durch Verwenden abgeschirmter und/oder verdrillter Leitungen oder durch Einhalten eines ausreichenden Abstands zu den diese Felder verursachenden Quellen erreicht werden.

Kabel und Leitungen für eigensichere Stromkreise sind zu kennzeichnen. Werden Mäntel oder Umhüllungen durch Farbe gekennzeichnet, so ist als Farbe *hellblau* zu wählen. Die so gekennzeichneten Kabel und Leitungen dürfen nicht für andere Zwecke verwendet werden. Wenn die eigensicheren oder alle nicht eigensicheren Kabel und Leitungen bewehrt, metallummantelt oder geschirmt sind, ist eine Kennzeichnung nicht erforderlich. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit wird aber die Verwendung blauer Kabel und Leitungen empfohlen.

Leiter oder Aderleitungen von eigensicheren Stromkreisen und nicht eigensicheren Stromkreisen dürfen in Kabeln, Leitungen, Rohren oder Leiterbündeln nicht gemeinsam geführt werden. In Leitungskanälen müssen bei Verwendung von Aderleitungen die eigensicheren von den nicht eigensicheren durch eine Zwischenlage aus Isolierstoff getrennt sein. In Anlagen mit eigensicheren und nicht eigensicheren Stromkreisen, z. B. in Mess- und Steuerschränken, müssen die Anschlussteile der eigensicheren Stromkreise zuverlässig von denen der nicht eigensicheren Stromkreise getrennt sein, z. B. durch eine Zwischenwand (Fadenmaß mindestens 50 mm) oder einen Abstand von mindestens 50 mm. Die Anschlüsse der eigensicheren Stromkreise müssen gekennzeichnet sein. Eigensichere Stromkreise können gegen Erde isoliert oder an einer Stelle an das Potenzialausgleichssystem angeschlossen sein, wenn es aus Sicherheitsgründen erforderlich ist, z. B. bei Anlagen mit Sicherheitsbarrieren ohne galvanische Trennung.

Für die in einer Anlage verlegten eigensicheren Stromkreise ist ein Nachweis darüber zu erbringen, dass sie die Bedingungen der VDE 0165-1:2009-05, Abschnitt 12, erfüllen. Die Eigensicherheit eines einfachen Stromkreises ist erfüllt, wenn folgende Gegenüberstellung der einzelnen Grenzwerte eingehalten ist:

| eigensicheres Betriebsmittel + Kabel | Nachweis der Eigensicherheit | zugehöriges Betriebsmittel |
|---|---|---|
| $U_i$ | ≥ | $U_0$ |
| $I_i$ | ≥ | $I_0$ |
| $P_i$ | ≥ | $P_0$ |
| $L_i + L_c$ | ≤ | $L_0$ |
| $C_i + C_c$ | ≤ | $C_0$ |

Hierbei steht der Index i für intern wirksame Werte und der Index 0 für Höchstwerte des zugehörigen Betriebsmittels. Bei eigensicheren Stromkreisen mit mehreren zugehörigen Betriebsmitteln ist ein rechnerischer Nachweis der Eigensicherheit zu führen, für den Berechnungsverfahren vorhanden sind.

### 14.9.10.3 Errichten in gasexplosionsgefährdeten Bereichen

#### Anforderungen für die Zone 1

Es dürfen nur elektrische Betriebsmittel in Betrieb genommen werden, die für die Verwendung in der Zone 1 zugelassen sind. Die Betriebsmittel müssen einer der im Abschnitt 14.9.7 beschriebenen Zündschutzarten entsprechen und gemäß Abschnitt 14.9.8 gekennzeichnet sein.

Für die Auswahl elektrischer Betriebsmittel ist die Temperaturklasse und für druckfest gekapselte und eigensichere Betriebsmittel zusätzlich die Gruppe bzw. Untergruppe (bisher: Explosionsgruppe) der in der Anlage verarbeiteten brennbaren Flüssigkeiten bzw. Gase erforderlich. So ist z. B. für Ottokraftstoffe die Temperaturklasse T3 und die Untergruppe (bisher: Explosionsgruppe) IIA gefordert (s. Tabelle 14.7). In deren Zonen dürfen somit nur Betriebsmittel der Temperaturklasse T3 oder höher (T4 bis T6) eingesetzt werden. Gleiches gilt für druckfest gekapselte oder eigensichere Betriebsmittel bez. der Gruppe bzw. Untergruppe (bisher: Explosionsgruppe). Da die Untergruppe (bisher: Explosionsgruppe) IIA die niedrigste Stufe ist, können auch Betriebsmittel höherer Explosionsgruppen verwendet werden. Eigensichere Betriebsmittel und Stromkreise dürfen verwendet werden, wenn sie dem Schutzniveau (bisher: Kategorie) ib entsprechen.

**Anforderungen für die Zone 0**

In der Zone 0 dürfen nur noch elektrische Betriebsmittel und Stromkreise eingesetzt werden, wenn sie der Zündschutzart Eigensicherheit, Schutzniveau (bisher: Kategorie) ia entsprechen.

Zur Trennung zwischen eigensicheren und nicht eigensicheren Stromkreisen wird der Einsatz von *galvanisch getrennten* zugehörigen Betriebsmittel (Trennstufen) im Gegensatz zu früheren Normen nur noch empfohlen. Aber aufgrund der Tatsache, dass bereits ein einziger Fehler im Potenzialausgleichssystem eine Zündgefahr hervorrufen kann, ist die Verwendung galvanisch getrennter zugehöriger Betriebsmittel dringend zu empfehlen.

In eigensicheren Stromkreisen dürfen nur isolierte Kabel und Leitungen verwendet werden, deren Prüfspannung zwischen Leiter–Erde, Leiter–Schirm und Schirm–Erde mindestens AC 500 V beträgt. Bei feindrähtigen Leitern müssen die Leiterenden gegen Aufspleißen geschützt sein, und der Mindestdurchmesser einzelner Drähte darf nicht weniger als 0,1 mm betragen.

Wenn eine Erdung des eigensicheren Stromkreises aus Funktionsgründen erforderlich ist, muss die Erdverbindung außerhalb der Zone 0, jedoch so nahe wie möglich am Zone-0-Betriebsmittel erfolgen. Wenn ein Teil eines eigensicheren Stromkreises in Zone 0 so errichtet ist, dass die Gefahr besteht, innerhalb der Zone 0 gefährliche Potenzialdifferenzen aufzubauen, z. B. beim Auftreten von atmosphärischen Ladungen (Blitzschlag), muss eine Überspannungsschutzeinrichtung installiert werden, die so nahe wie möglich – Abstand max. 1,0 m – an der Einführung in die Zone 0 liegt.

Für die eigensicheren Stromkreise in der Zone 0 gelten, soweit zutreffend, auch alle Anforderungen nach Abschnitt 14.9.10.2.

### Anforderungen für die Zone 2

Gemäß der Definition der Zone 2 (s. Abschn. 14.9.3) tritt eine explosionsfähige Atmosphäre nur selten und dann auch nur kurzzeitig auf. Deshalb liegen in Zone 2 die Forderungen an die elektrischen Anlagen in einigen Fällen wesentlich niedriger. In Zone 2 dürfen selbstverständlich auch elektrische Betriebsmittel betrieben werden, die für die Zonen 0 oder 1 zugelassen und entsprechend gekennzeichnet sind. Es gelten auch alle Forderungen aus Abschnitt 14.9.10.1.

Elektrische Betriebsmittel für die Zone 2 in Zündschutzart n nach VDE 0170-16 benötigen Gerätezertifikate und eine spezielle „Ex-Kennzeichnung". Die Anforderungen, die elektrische Betriebsmittel beim Einsatz in Zone 2 erfüllen müssen, sind in der Errichtungsbestimmung VDE 0165-1 festgelegt. Man unterscheidet hierbei:

1. Betriebsmittel, die speziell für den Einsatz in Zone 2 gebaut sind (z. B. Zündschutzart n nach VDE 0170-16),
2. Betriebsmittel, die den Anforderungen einer anerkannten Norm für industrielle elektrische Betriebsmittel entsprechen, die im ungestörten Betrieb keine heißen Oberflächen haben, die zu einer Zündung führen können und
   - bei denen *betriebsmäßig* keine Funken oder Lichtbögen entstehen,
   - bei denen *betriebsmäßig* im Innern Funken oder Lichtbögen entstehen. Dabei dürfen aber die Werte der elektrischen Parameter $U$, $I$, $L$ und $C$ im gesamten Stromkreis (einschl. Kabel oder Leitungen) bei ungestörtem Betrieb die in VDE 0170-7 (Geräteschutz durch Eigensicherheit „i") festgelegten Werte mit einem Sicherheitsfaktor von 1,0 nicht überschreiten.
     Eine Oberfläche wird als *zündfähig* angesehen, wenn ihre Temperatur die Zündtemperatur der entsprechenden explosionsfähigen Atmosphäre überschreitet und wenn nicht durch Versuche die Sicherheit nachgewiesen wird. Das elektrische Betriebsmittel muss in ein Gehäuse eingebaut sein, dessen IP-Schutzart und mechanische Festigkeit mindestens für nicht explosionsgefährdete Bereiche mit einer ähnlichen Umgebung geeignet sind. Eine besondere Kennzeichnung ist nicht erforderlich. Es muss aber deutlich auf dem Betriebsmittel bzw. in der zugehörenden Dokumentation angegeben sein, dass das Betriebsmittel von einer mit den Anforderungen aller zutreffenden Normen und anerkannten Regeln der Technik vertrauten Person beurteilt worden ist;
3. Betriebsmittel, für die keine internationalen Normen oder harmonisierte Normen existieren.
   Für diese Betriebsmittel sollte auf die dafür geltenden nationalen Normen und anerkannten Regeln der Technik Bezug genommen werden, um die ordnungsgemäße Auswahl und Installation sicherzustellen.

Maßgebend für die Klassifizierung ist der *normale, ungestörte Betrieb* eines Geräts. So entstehen z. B. beim Schließen oder Öffnen von Schaltkontakten „betriebsmäßig" Funken oder Lichtbögen. Im Gegensatz hierzu gelten Funken oder Lichtbögen, die durch Kurzschlüsse, Körperschlüsse, schlechte Kontaktgabe o. dgl. entstehen, als „nicht betriebsmäßig", weil sie durch Fehler verursacht sind. Temperaturen sind „unzulässig", wenn Teile elektrischer Betriebsmittel, die mit explosionsfähiger Atmosphäre in Berührung kommen können, bei ungestörtem Betrieb höhere Temperaturen annehmen als die Zündtemperatur des infrage kommenden Gases oder Dampfes.

Für elektrische Betriebsmittel müssen Angaben der Hersteller (z. B. in Herstellerlisten) über die Eignung für den Einsatz in Zone 2 und über betriebsmäßig auftretende maximale Temperaturen von Oberflächen, die mit explosionsfähiger Atmosphäre in Berührung kommen können, vorliegen. Diese Temperaturangabe ist nicht erforderlich, wenn die maximale Oberflächentemperatur 80 °C nicht überschreitet, weil die Zündtemperaturen aller bekannten brennbaren Gase und Dämpfe > 80 °C sind. Der Errichter einer elektrischen Anlage in Zone 2 muss also bei der Auswahl der Betriebsmittel darauf achten, dass die vom Hersteller angegebene maximale Temperatur nicht größer ist als die Zündtemperatur des infrage kommenden Stoffs.

Betriebsmittel, bei denen betriebsmäßig keine Funken, Lichtbögen oder unzulässige Temperaturen entstehen, müssen den für sie geltenden Normen genügen und mindestens in den Schutzarten nach **Tabelle 14.10** ausgeführt sein.

Betriebsmittel, bei denen im Inneren Funken, Lichtbögen oder unzulässige Temperaturen (Schalter, Schleifringläufer u. dgl.) entstehen, dürfen verwendet werden, wenn ihre Gehäuse mindestens der Schutzart IP54 entsprechen und ein innerer Überdruck von 300 Pa mehr als 80 s benötigt, um auf 150 Pa abzusinken (*schwadensichere Gehäuse*) oder ihre Gehäuse auf vereinfachte Art überdruckgekapselt sind. Bei der *vereinfachten Überdruckkapselung* darf auf die Vorspülung verzichtet werden, bei Absinken des Überdrucks genügt ein Alarm.

***Tabelle 14.10:*** *IP-Schutzarten für elektrische Betriebsmittel in Zone 2*

| **Betriebsmittel oder Teile** | **IP-Schutzart** | |
|---|---|---|
| | **im Freien** | **in geschlossenen Räumen** |
| blanke aktive Teile | IP54 | IP4X |
| isolierte Teile | IP44 | IP2X |
| Leuchten | IP54 | IP54 |
| Maschinen ohne betrieblich auftretende Funken oder unzulässige Temperatur | IP54 | IP20 |
| Anschlusskästen | IP54 | IP54 |

### Kabel und Leitungen

Für Kabel und Leitungen gelten die im Abschnitt 14.9.10.1 genannten Anforderungen auch in Zone 2, einschl. der Bestimmungen für das Verlegen, Einführen und Anschließen der Leitungen. Anschluss- und Verbindungsklemmen müssen VDE 0609-1 und VDE 0609-101 bzw. Reihe VDE 0611 entsprechen und fest angeordnet sein.

### Steckvorrichtungen

Es dürfen nur Steckvorrichtungen verwendet werden, die so verriegelt sind, dass das Stecken und Ziehen von Steckern nur in spannungslosem Zustand möglich ist. Eingebaute Schalter müssen schwadensichere Gehäuse haben. Auf die Verriegelung darf verzichtet werden, wenn die Steckvorrichtung einem Betriebsmittel fest zugeordnet und mit dem Warnzeichen „Warnung vor elektrischer Spannung" D-W008 nach DIN 4844-2 bzw. W012 nach DIN EN ISO 7010 bzw. W012 nach ASR A1.3 mit dem Zusatztext „Nicht unter Last betätigen" als Kombinationszeichen gekennzeichnet ist.

### Motoren

Für Motoren mit Käfigläufer genügt bei einer Aufstellung im Freien die Schutzart IP44, in geschlossenen Räumen IP20, mit Anschlusskästen in IP54. Elektromotoren sind durch einen Motorschutzschalter gegen unzulässige Erwärmung infolge Überlastung zu schützen. Es muss der Nachweis erbracht werden, dass im Motor keine unzulässigen Temperaturen auftreten. Dazu kann die für die Isolierstoffklasse der Motorwicklung geltende *Grenztemperatur* herangezogen werden. Diese muss niedriger sein als die Zündtemperaturen der brennbaren Stoffe. Da bei keiner Isolierstoffklasse die Zündtemperaturen von brennbaren Stoffen der Temperaturklassen T1 bis T3 erreicht werden, können in diesen Bereichen alle Motoren bez. ihrer maximalen Oberflächentemperaturen eingesetzt werden. In Bereichen, die durch brennbare Stoffe der Temperaturklassen T4 bis T6 explosionsgefährdet sind, können die Wicklungstemperaturen bei Bemessungsbetrieb über der Zündtemperatur liegen. Deshalb muss hier besonders darauf geachtet werden, dass die vom Hersteller angegebene maximale Oberflächentemperatur kleiner ist als die infrage kommende Zündtemperatur. Andernfalls müssen explosionsgeschützte Maschinen mit Baumuster-Prüfbescheinigungen verwendet werden. Teile von Maschinen, an denen betriebsmäßig Funken, Lichtbögen oder unzulässige Temperaturen auftreten, z. B. Schleifringe, müssen in Gehäuse eingebaut sein, die entweder schwadensicher oder auf vereinfachte Art überdruckgekapselt ausgeführt sind.

### Heizeinrichtungen

Die Oberfläche des Heizkörpers oder, wenn dieser eingebettet ist, die Oberfläche der Wärmedämmung darf keine Temperatur annehmen, die höher ist als die

Zündtemperatur. Diese Forderung gilt für den ungestörten Betrieb. Sie kann durch entsprechende Dimensionierung der Heizleistung, durch den Einbau von Temperaturwächtern oder durch Temperaturbegrenzer, die ein Warnsignal auslösen, erfüllt werden. Bei elektrischen Raumheizkörpern ist insbesondere darauf zu achten, dass sie die Wärme ungehindert abgeben können.

**Mess-, Steuer-, Regel- und Fernmeldegeräte**

Diese Geräte müssen den gleichen Anforderungen wie Betriebsmittel von Starkstromanlagen entsprechen. Auch für sie, gleichgültig ob sie Funken erzeugende Teile enthalten oder nicht, gelten die oben unter Ziffer 1 und 2 genannten Festlegungen.

*Eigensichere Stromkreise* müssen dem Schutzniveau (bisher: Kategorie) ib entsprechen. Stromkreise solcher Betriebsmittel dürfen nicht gemeinsam mit Starkstromkreisen in Kabeln, Leitungen, Rohren oder Leiterbündeln geführt werden. Außerdem sind die Festlegungen über das Errichten eigensicherer Stromkreise zu erfüllen. Wer sich diese sehr komplizierten Überlegungen ersparen möchte, sollte folgende Geräte verwenden:

- betriebsmäßig nicht Funken erzeugende Geräte in Gehäuse, die den für Zone 2 vorgeschriebenen IP-Schutzarten entsprechen,
- betriebsmäßig Funken erzeugende Geräte in schwadensicherer oder explosionsgeschützter Ausführung bzw. Betriebsmittel in eigensicheren Stromkreisen.

### 14.9.10.4 Errichten in staubexplosionsgefährdeten Bereichen

**Staubexplosionsschutz**

Für elektrische Betriebsmittel zur Verwendung in Bereichen mit brennbarem Staub gelten VDE 0170-1 (bisher: VDE 0170-15-0) und VDE 0165-1 (Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 14: Projektierung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen) und VDE 0165-102 (Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 10-2: Einteilung der Bereiche – Staubexplosionsgefährdete Bereiche) (bisher: VDE 0165-2 (Elektrische Betriebsmittel zur Verwendung in Bereichen mit brennbarem Staub – Auswahl und Errichten)).

Ein weiteres wichtiges Merkmal bei der Auswahl von Betriebsmitteln für den staubexplosionsgefährdeten Bereich ist die *maximal zulässige Oberflächentemperatur*. Sie wird bestimmt, indem von der niedrigsten Zündtemperatur des betreffenden Staubs ein Sicherheitsabstand abgezogen wird. Die *Zündtemperatur* einer Staubwolke und die *Glimmtemperatur* einer Staubschicht bis zu 5 mm Dicke bzw. 12,5 mm Dicke (für die Zündschutzart „tD" (neu: „t") werden durch ein festgelegtes Verfahren ermittelt (**Tabelle 14.11**).

*Tabelle 14.11: Glimmtemperaturen brennbarer Stäube*

| Stoff | Glimmtemperatur einer 5 mm dicken Schicht °C | Zündtemperatur des Staub-Luft-Gemischs °C |
|---|---|---|
| Ruß | 545 | > 690 |
| Magnesium | 340 | 470 |
| Polystyrol | schmilzt | 475 |
| PVC | verkohlt | 595 |
| Gummi | verschmort | 425 |
| Roggengetreidestaub | 305 | 430...500 |
| Roggenmehl | 325 | 415...470 |
| Weizengetreidestaub | 290 | 420...485 |
| Weizenmehl | verkohlt | 410...430 |
| Klee | 280 | 480 |
| Baumwollstaub | 385 | wirbelt kaum |
| Zellwollstaub | 305 | wirbelt kaum |
| Papier | 360 | wirbelt kaum |
| Hartholz | 315 | 420...430 |
| Fichte | 325 | 440...450 |
| Torf | 260 | 450 |
| Brikettabrieb | 230 | 485 |
| Kokskohle | 280 | 610 |
| Steinkohle | 260 | 590 |
| Zucker (Rübenzucker)* | schmilzt | 470 |
| Zuckerstäube*/** | 420...460 | 350...360 |

* Quelle: GESTIS-STAUB-EX-Datenbank des IFA/DGUV (s. A2, A3)
** Zuckerstäube durch Silo-/Silostation-, Sichter-/Versandbereich-Entstaubung

Die maximale Oberflächentemperatur in °C des Betriebsmittels darf höchstens 2/3 der Zündtemperatur in °C des betreffenden Staub-Luft-Gemischs betragen.

Beim Vorhandensein von Staubschichten bis zu 5 mm Dicke muss die maximale Oberflächentemperatur des Betriebsmittels mindestens 75 K unter der Glimmtemperatur einer Schicht von 5 mm Dicke des betreffenden Staubs liegen. Für Staubschichten > 5 mm Dicke ist die zulässige Oberflächentemperatur entsprechend zu verringern (s. VDE 0165-2). Von dieser Forderung sind Kabel und Leitungen ausgenommen.

*Beispiel:* Ein Motor der Schutzart IP65 und der Isolierklasse E soll in einer Mühle eingesetzt werden, in der Weizengetreidestaub anfällt. Die maximale Oberflächentemperatur des Motors kann bei Isolierstoffklasse E mit 120 °C angesetzt werden, da der Motor durch einen Motorschutzschalter gegen übermäßige Erwärmung geschützt wird. Nun ist zu überprüfen, ob diese maximale Oberflächentemperatur unter der um 75 K verminderten Glimmtemperatur bzw. unter 2/3 der Zündtemperatur des Weizengetreidestaubs liegt. Nach Tabelle 14.11 beträgt die Glimmtemperatur des Weizenstaubs 290 °C, die Zündtemperatur 420 °C. Die maximal erlaubte Oberflächentemperatur des Motors muss somit unter 290 °C – 75 K = 215 °C bzw. 2/3 · 420 °C = 280 °C liegen. Dies ist mit 120 °C gegeben. Beide Forderungen sind in unserem Beispiel eingehalten, sodass keine Einwände bestehen, den Motor in dem durch Weizengetreidestaub gefährdeten Bereich einzusetzen.

In den Normen sind für staubexplosionsgefährdete Bereiche auch Angaben vorhanden, die den Einsatz von Betriebsmitteln mit Strahlung und Ultraschall betreffen.

Bei *Laserstrahlung* (Nachrichtenübermittlung, Vermessungswesen u. a.) kann auch noch in großen Entfernungen die Energie- bzw. Leistungsdichte selbst des unfokussierten Strahls so groß sein, dass eine Zündung möglich ist. Bei besonders starker Fokussierung können im Brennpunkt Temperaturen weit über 1 000 °C auftreten. In den staubexplosionsgefährdeten Bereichen dürfen deshalb nur Betriebsmittel eingesetzt werden, die für die betreffende Zone geprüft und zugelassen sind.

Bei der Anwendung von *Ultraschall* werden große Anteile der vom Schallwandler abgegebenen Energie von festen und flüssigen Stoffen absorbiert. Dabei tritt eine Erwärmung auf, die in Extremfällen bis über die Zündtemperatur reichen kann. Ultraschallgeräte, deren Unbedenklichkeit des Arbeitsverfahrens aufgrund der geringen Schallleistung sichergestellt ist, dürfen in den Zonen 20, 21 und 22 verwendet werden, wenn bestimmte Energiegrenzwerte nicht überschritten werden (s. VDE 0165-1).

Von jeder Anlage in staubexplosionsgefährdeten Bereichen sind *Pläne* und *Aufzeichnungen* mit folgenden Angaben zu führen:

- Einteilung und Ausdehnung der Gefahrenbereiche einschl. Angaben über die Dicke der Staubschicht, wenn diese > 5 mm ist,
- Aufzeichnung der Bauarten staubexplosionsgeschützter Betriebsmittel und ihrer Kennzeichnung mit Angaben für ihre angemessene Instandhaltung,
- Art, Wegführung und Einzelheiten der Leitungssysteme.

Außerdem ist eine wirksame Wartung, Instandsetzung und Prüfung von elektrischen Betriebsmitteln und Anlagen sicherzustellen. Diese Arbeiten sind nach einem Zeitplan regelmäßig durchzuführen und dürfen nur von Fachpersonal vorgenommen werden, das Kenntnisse über das Konzept der entsprechenden Zündschutzart hat.

Bevor ein elektrisches Betriebsmittel im staubexplosionsgefährdeten Bereich geöffnet wird, ist es einschl. des Neutralleiters freizuschalten und gegen unbeabsichtigtes Wiedereinschalten zu sichern.

Elektrische Betriebsmittel sind gegen äußere Einflüsse (z. B. chemische, mechanische oder thermische Beanspruchungen) zu schützen. Durch solche Schutzmaßnahmen darf die übliche Wärmeabfuhr des Betriebsmittels nicht beeinträchtigt werden. Die Anschlüsse elektrischer Betriebsmittel müssen ausreichend gegen Korrosion geschützt und so gegen Lockern und Verdrehen gesichert sein, dass der Kontaktdruck dauernd aufrechterhalten wird.

Für die *Kabel und Leitungen* gilt Abschnitt 14.9.10.1 unverändert. Es sind Vorkehrungen zu treffen, um elektrostatische Aufladungen an ihrer Oberfläche zu verhindern. Kabel und Leitungen sind so zu verlegen, dass sich möglichst wenig Staub auf ihnen ansammeln kann und dass sie für die Reinigung zugänglich sind.

**Anforderungen für Zonen 20 und 21 (Gerätekategorien 1D und 2D)**

In staubexplosionsgefährdeten Betrieben der Zonen 20 und 21 müssen Betriebsmittel verwendet werden, die den Bestimmungen o. a. Normen genügen, von einer benannten Prüfstelle geprüft sind, mindestens der Schutzart IP6X entsprechen und in Übereinstimmung mit den Grundregeln guter Ingenieurtätigkeit im Hinblick auf die Sicherheit konstruiert sind. Der Hersteller muss dies in eigener Verantwortung durch Kennzeichnung des elektrischen Betriebsmittels bestätigen.

Verriegelungen, die zur Aufrechterhaltung der Zündschutzart dienen, müssen so ausgeführt sein, dass sie nicht auf einfache Weise, z. B. mit Schraubendreher oder Zange, aufgehoben werden können (Sonderverschlüsse).

**Ergänzende Anforderungen für Zone 21 (Gerätekategorie 2D)**

*Maschinen*

Bei Maschinen mit senkrechter Welle muss das Hineinfallen von Fremdkörpern in die Belüftungsöffnungen verhindert sein.

*Schaltgeräte*

Türen und Deckel von Gehäusen mit fernbetätigten Stromkreisen müssen entweder mit einem Trennschalter verriegelt sein, oder es ist ein Warnschild „Nicht unter Spannung öffnen" anzubringen. Für Gehäuse mit eingebauten Sicherungen gilt die gleiche Forderung. Trennschalter müssen ein Schild „Nicht unter Last betätigen" erhalten. Wenn Schaltgeräte einen Trennschalter enthalten, muss dieser allpolig trennen und so eingerichtet sein, dass seine Aus-Stellung zuverlässig angezeigt ist.

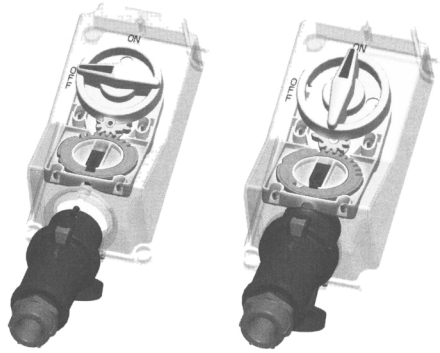


***Bild 14.21:*** *Abschalt- und verriegelbare Schutzkontaktsteckdose für Zonen 21 und 22 (Werkbild: Mennekes)*

*Steckvorrichtungen*

Es sind verriegelbare Steckvorrichtungen zu verwenden (**Bild 14.21**), bei denen das Einstecken und Ausziehen des Steckers nur im spannungslosen Zustand möglich ist und die Einführungsöffnung für den Stecker nach unten weist. Außerdem muss ein selbsttätig wirkender Verschluss (Klappdeckel) vorhanden sein, der gegen das Eindringen von Staub und Flüssigkeit schützt. Die üblichen Kupplungen für Verlängerungsleitungen sind unzulässig.

Für Steckvorrichtungen bis 10 A und AC 250 V oder DC 60 V gelten die vorherigen Anforderungen nicht, wenn alle folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Das unter Spannung verbleibende Teil ist die Steckdose, und
- die Steckvorrichtung unterbricht den Strom mit einer Verzögerungseinrichtung, die eine Lichtbogenlöschung vor der Trennung bewirkt, und
- die Verbindung zwischen Stecker und Steckdose ist so gestaltet, dass sie staubdicht (IP6X) bleibt und den Durchtritt einer internen Zündung während der Lichtbogenlöschung verhindert.

**Anforderungen für Zone 22 (Gerätekategorie 3D)**

Auch für elektrische Betriebsmittel für die Zone 22 gelten die in Abschnitt 14.9.10.1 aufgeführten Anforderungen. Die Betriebsmittel müssen mindestens der Schutzart IP5X genügen, den Bestimmungen der einschlägigen Normen entsprechen und in Übereinstimmung mit den Grundregeln guter Ingenieurtätigkeit im Hinblick auf die Sicherheit konstruiert sein. Der Hersteller muss dies in eigener Verantwortung durch Kennzeichnung des elektrischen Betriebsmittels bestätigen.

Verriegelungen, die zur Aufrechterhaltung der Zündschutzart dienen, müssen so ausgeführt sein, dass sie nicht auf einfache Weise, z. B. mit Schraubendreher oder Zange, aufgehoben werden können (Sonderverschlüsse).

Für einzelne Betriebsmittel, wie Steckvorrichtungen und Leuchten, gelten die gleichen Bedingungen wie für Zone 21 (Gerätekategorie 2D).

### 14.9.11 Instandhalten, Instandsetzen und Prüfen explosionsgeschützter elektrischer Betriebsmittel und Anlagen

Für die Prüfung sowie Wartung und Instandhaltung elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen gilt:

VDE 0165-10-1:2014-10 Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 17: *Prüfung und Instandhaltung elektrischer Anlagen*

Für die Prüfung gilt diese VDE-Bestimmung ergänzend zu VDE 0100-600 (s. Kap. 15), für die *Instandhaltung* ergänzend zu VDE 0105-100. Instandhaltung beinhaltet *Wartung* (vorbeugende Instandhaltung) und *Instandsetzung* (Reparatur, Austausch eines fehlerhaften Teils). Dagegen gilt für die Reparatur, Überholung. Regenerierung und Veränderung eines für das Verwenden in explosionsgefährdeten Bereichen hergestellten elektrischen *Betriebsmittels* (in der VDE-Bestimmung nicht ganz normgerecht *Gerät* genannt) die Bestimmung:

VDE 0165-20-1:2015-09 Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 19: *Gerätereparatur, Überholung und Regenerierung*

Beide VDE-Bestimmungen richten sich auch an den Betreiber solcher Anlagen und behandeln die Anforderungen an die betreffenden Tätigkeiten und auch die Qualifikation (Kenntnisse, Fachkunde und Kompetenzen) des Personals. Das betrifft sowohl – wie es in der VDE-Bestimmung heißt – die *verantwortlichen Personen*, die *fachkundige Person mit leitender Funktion* und das *ausführende Personal.* Das ausführende Personal kann je nach Art der Anlage und Betriebsmittel wie auch der Tätigkeit aus Technikern oder Handwerkern bestehen. Die Eigenschaften, Fähigkeiten, Kompetenzen, Kenntnisse (z. B. Fachkenntnisse, Kenntnisse der technischen Gesetzeslage und der einschlägigen Vorschriften, Normen, Richtlinien, Kenntnisse über die Anlagen und Geräte), Anforderungen an das Verständnis sind in den normativen Anhängen der beiden oben genannten VDE-Bestimmungen eingehend beschrieben.

Nach der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) (s. Abschnitte 1.2.5.3 u. 1.2.5.4) sind elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen erstmalig und wiederkehrend zu prüfen. Wiederkehrende Prüfungen unterliegen je nach Art der Prüfungen unterschiedlichen Prüfzyklen.

Im Einzelnen sind elektrische Anlagen und Betriebsmittel in explosionsgefährdeten Bereichen vor der Inbetriebnahme, nach prüfpflichtigen Änderungen und nach Instandsetzung zu prüfen. Vor der erstmaligen Inbetriebnahme und nach prüfpflichtigen Änderungen sind die Anlagen auf *Explosionssicherheit* zu prüfen. Dies ist eine übergeordnete Prüfung, die die Prüfung einer elektrischen Anlage im üblichen Umfang übersteigt. Dazu sind das im sog. *Explosionsschutzdokument* (Begriff nach BetrSichV und GefStoffV) festgelegte *Explosionsschutzkonzept* und die Zoneneinteilung (s. Abschn. 14.9.3 u. 14.9.10.3) zu berücksichtigen. Zu der Prüfung gehört die Überprüfung der Vollständigkeit der technischen Unterlagen, ob die Anlage entsprechend der BetrSichV errichtet worden ist und sich in einem sicheren Zustand befindet und ob die festgelegten technischen und organisatorischen Maßnahmen wirksam sind.

Elektrische Betriebsmittel (nach BetrSichV Geräte genannt), Schutzsysteme und Sicherheits-, Kontroll- oder Regelvorrichtungen müssen nach einer Instandsetzung bevor sie wieder in Betrieb genommen werden hinsichtlich eines Teils, von dem der Explosionsschutz abhängt (Prüfen des Explosionsschutzes), von einer zur Prüfung befähigten Person geprüft werden.

*Wiederkehrend* zu prüfen sind mindestens

- alle 6 Jahre die *Explosionssicherheit* und
- alle 3 Jahre elektrische Betriebsmittel (nach BetrSichV Geräte genannt), Schutzsysteme, Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen mit ihren Verbindungseinrichtungen als Bestandteil einer Anlage in einem explosionsgefährdeten Bereich und deren Wechselwirkungen mit anderen Anlagenteilen.

Unter bestimmten Bedingungen (s. BetrSichV vom 03.02.2015, Anhang 2, Abschnitt 3, 5.4) kann auf diese wiederkehrenden Prüfungen verzichtet werden.

Hinsichtlich explosionsgefährdeter Bereiche sind im Zusammenhang mit Prüfungen insbesondere BetrSichV § 3 (6) (Gefährdungsbeurteilung) und Anhang 2 (Prüfvorschriften für überwachungsbedürftige Anlagen), Abschnitt 3 (Explosionsgefährdungen), 4. (Prüfung vor Inbetriebnahme, nach prüfpflichtigen Änderungen und nach Instandsetzung), 5. (Wiederkehrende Prüfungen) zu beachten.

Prüfungen können von einer sog. *zugelassenen Überwachungsstelle* (Begriff nach BetrSichV, in Fachkreisen verwendete Abkürzung: *ZÜS*) oder in bestimmten Fällen von einer sog. *zur Prüfung befähigten Person* (Begriff nach BetrSichV, in

Fachkreisen verwendete Abkürzung: *zPbP*, vorher: befähigte Person) durchgeführt werden. Bei erlaubnispflichtigen Anlagen nach BetrSichV darf die Prüfung der Explosionssicherheit nur von einer zugelassenen Überwachungsstelle vorgenommen werden. Erlaubnispflichtige Anlagen im Zusammenhang mit dem Explosionsschutz sind Gasfüllanlagen (Befüllen mit entzündbaren Gasen von Land-, Wasser- oder Luftfahrzeugen), Lageranlagen für entzündbare Flüssigkeiten > 10 000 l, Füllstellen > 1 000 l/h Umschlagkapazität für entzündbare Flüssigkeiten, Tankstellen für entzündbare Flüssigkeiten, Flugfeldbetankungsanlagen für entzündbare Flüssigkeiten. Entzündbare Flüssigkeiten sind solche mit einem Flammpunkt <23 °C. Die zugelassene Überwachungsstelle ist in der Regel eine außen stehende, neutrale Organisation, z. B. TÜV, es kann aber in bestimmten Fällen auch eine betriebliche Stelle sein, die aber u. a. vom Betrieb organisatorisch abgegrenzt und überparteilich sein muss. Details über zugelassene Überwachungsstellen und Zulassung von Prüfstellen von Unternehmen und Unternehmensgruppen können der BetrSichV 2013, Anhang 2, Abschnitt 1 , Ziff. 1 und 2 entnommen werden.

An *eine zur Prüfung befähigte Person* werden vielfältige Anforderungen gestellt hinsichtlich einschlägiger Berufsausbildung, erforderlicher Kenntnis des Fachgebiets (Explosionsschutz), einer mindestens einjährigen Erfahrung auf dem Gebiet des Explosionsschutzes, aktueller Kenntnisse über Explosionsgefährdungen durch Teilnahme an Schulungen oder Unterweisungen, behördlicher Anerkennung für die Prüfung nach einer Instandsetzung eines Teils, von dem der Explosionsschutz abhängt, eines erforderlichen Studiums oder vergleichbarer Qualifikation für besondere und höher qualifiziertere Prüfungen. Details und Umfang über die Anforderungen an eine *zur Prüfung befähigte Person* sind der BetrSichV (Febr. 2015, Änd. Juli 2015) § 2 Abs. 6 und Anhang 2, Abschnitt 3, Ziff. 3 zu entnehmen. Befähigungen müssen für alle Verfahren zum Explosionsschutz gelten, an denen die Person beteiligt ist. Z. B. ist es für eine Person möglich, für die Reparatur und Instandhaltung (Überholung) von Ex-Motoren der Zündschutzart „d" befähigt zu sein, aber nicht voll befähigt für die Reparatur von Ex-Schaltgeräten der Zündschutzart „d" oder Ex-Motoren der Zündschutzart „e".

## 14.9.12 Anwendungsbeispiele

Auf die „Explosionsschutz-Regeln (EX-RL) – Sammlung technischer Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung zur Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche in Zonen", DGUV Regel 113-001 (bisher: BGR 104 (frühere Bezeichnung: ZH 1/10)) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) wird verwiesen. Der Textteil der EX-RL wird gegenwärtig in die Technischen Regeln Betriebssicherheit (TRBS) eingearbeitet.

### Brennräume von Kleinbrennereien

Entsprechend den Begriffsbestimmungen des Branntweinmonopolgesetzes – BranntwMonG sind Kleinbrennereien durch geringe Durchlaufmengen und geringen Alkoholgehalt des Rohbranntweins gekennzeichnet (≤ 10 hl). Meist werden in ihnen nicht mehr als 3 hl Weingeist im Jahr hergestellt. Bei einwandfreier Be- und Entlüftung der Räume brauchen die elektrischen Anlagen nicht explosionsgeschützt ausgeführt zu werden; es genügt eine Feuchtrauminstallation. Muss jedoch mit der Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre gerechnet werden, so sind unter Hinzuziehen der EX-RL die Gefahrenbereiche (Zonen) festzulegen. Meist wird im Umkreis von 5 m um die Gefahrenstelle die Zone 2 festgelegt. Die Anlage ist in diesem Bereich dann wie im Abschnitt 14.9.10.3 beschrieben zu installieren. Außerhalb des 5-m-Umkreises besteht keine Explosionsgefahr mehr; hier genügt eine Installation für feuergefährdete Räume.

### Lackier- und Spritzarbeiten

DGUV Information 209-046, DGUV Regel 113-001, DGUV Regel 109-013

Wird ausschließlich verarbeitungsfertiger Lack verwendet, d. h. werden alle Mischungen, Zusammenstellungen oder Verdünnungen des Lackes in einem besonderen Lackzubereitungsraum vorgenommen oder kommt der fertige Lack direkt vom Hersteller, dann ist für die Einrichtung des Lackierraums der Flammpunkt des verarbeitungsfertigen Lackes maßgebend. Wird dagegen der verarbeitungsfertige Lack im Lackierraum selbst zubereitet, d. h. werden in den Lackierraum außer dem Lack auch Löse- und Verdünnungsmittel eingebracht, dann ist für die Einrichtung des Lackierraums der niedrigste Flammpunkt maßgebend, der bei dem Lack, dem Lösemittel oder dem Verdünnungsmittel vorliegt.

In Lackierräumen, in denen Lacke und Lösemittel mit einem Flammpunkt < 21 °C oder Lacke und Lösemittel mit einem Flammpunkt ≥ 21 °C unter zusätzlicher Erwärmung durch Spritzen, Lackauftragemaschinen, Tauchen oder ähnliche Verfahren aufgetragen werden, gilt für das Innere von Ständen und Kabinen die Zone 1. Des Weiteren gilt sie 2,5 m um die Standöffnung. Der daran anschließende Bereich muss nur noch als feuergefährdeter Raum betrachtet werden (**Bild 14.22**).

Für elektrische Betriebsmittel in Zone 1 genügt in der Regel die Temperaturklasse T3. Für die Lüftermotoren empfiehlt sich die Zündschutzart e. Unabhängig von der Zündschutzart müssen alle Motoren mindestens in Schutzart IP44, deren Anschlusskästen in IP54 ausgeführt sein.

In Lackierräumen, in denen entzündliche Lacke und Lösemittel (R 10 nach GefStoffV, bisher Gefahrklasse A II) verarbeitet werden, gilt die Zone 2 für das Innere von Ständen und Kabinen sowie für einen Umkreis von 1 m um die Standöffnung.

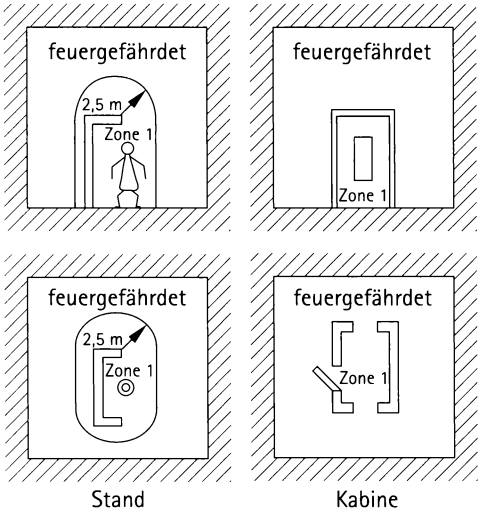



***Bild 14.22:*** *Zoneneinteilung von Spritzständen und -kabinen für hochentzündliche Flüssigkeiten (Gefahrklasse A I)*

Die elektrischen Anlagen müssen ebenso ausgeführt werden wie im Abschnitt 14.9.10.3 beschrieben.

In Lackierräumen, in denen brennbare Gegenstände von Hand gestrichen, poliert oder bearbeitet werden, müssen die elektrischen Anlagen 2 m um die Verarbeitungsstelle nach Zone 2 installiert werden. Im Innern: Motoren IP44 mit Anschlusskästen in IP54. In die Abluft- und Umluftleitungen der Spritzstände, Spritzkabinen, Lackauftragemaschinen, Tauchbehälter, Trockenräume u. dgl. dürfen Elektromotoren nicht eingebaut werden. Leuchten müssen mindestens Schutzart IP54 haben.

In den letzten Jahren sind verschiedentlich Brände dadurch entstanden, dass die Kühlschlitze der vorschriftsmäßig nach IP44 ausgeführten Elektromotoren durch Farbrückstände verstopft waren. Dadurch wurden die Motoren zu warm, und infolge dieser Wärme gerieten die Lackrückstände in Brand.

Die elektrische Anlage (ausgenommen Sicherheitsbeleuchtung) im Lackierraum muss allpolig spannungslos gemacht werden können (Hauptschalter). Die Schalteinrichtung muss auch im Brandfall leicht und gefahrlos erreichbar sein und eine eindeutige Schaltstellungsanzeige haben.

Zum Ableiten elektrostatischer Ladungen müssen die Metallteile der Spritzstände, Spritzkabinen und Absaugeleitungen geerdet sein. Hierfür genügt i. Allg. eine Verbindung mit den metallenen Konstruktionsteilen des Gebäudes. Aus dem gleichen Grunde müssen für das Spritzen größerer metallener Werkstücke (etwa ab 1 $m^2$

Spritzfläche) Erdungseinrichtungen vorgesehen sein, wenn die Anlage durch ihre Einrichtungen nicht ohnehin geerdet ist.

Werden Anstrichstoffe und Lösemittel mit einem Flammpunkt < 40 °C z. T. aus offenen Behältern abgefüllt, so fällt der gesamte dafür vorgesehene Raum unter die Zone 1. Verfügt der Raum über eine mechanische Lüftungsanlage, so gilt die Zone 1 im Umkreis von 5 m um die Abfüllstelle. Der daran anschließende Bereich des Raums fällt unter die Zone 2. Für Räume zum Trocknen der mit Anstrichstoffen oder Lösemitteln beschichteten Güter gilt Zone 2.

Stationäre Ausrüstungen zum elektrostatischen Beschichten mit entzündbaren flüssigen Beschichtungsstoffen, z. B. Sprühsysteme zum Lackieren oder Pulverbeschichten, müssen der Reihe VDE 0147 entsprechen.

**Einstellräume für gasbetriebene Kraftfahrzeuge (s. auch Abschn. 14.5)**

In zunehmendem Maße werden Kraftfahrzeuge mit Gas, d. h. mit Propan, Butan oder einem Gemisch aus beiden, betrieben (s. Tabelle 14.7). Da Propan und Butan schwerer als Luft sind, fordert das Baurecht, dass gasbetriebene Kraftfahrzeuge nicht in Räumen unterhalb der Erdgleiche abgestellt werden dürfen, es sei denn, es werden mechanische Lüftungseinrichtungen installiert, die dauernd sicherstellen, dass auch das schwere Gas abgesaugt wird.

Privat genutzte Garagen sind in der Regel *Kleingaragen* (Nutzfläche ≤ 100 $m^2$) nach der Mustergaragenverordnung. In dieser Verordnung werden keine Anforderungen an die elektrische Ausrüstung gestellt. Das bedeutet, dass die allgemeinen Anforderungen nach der Reihe VDE 0100 gelten. Je nach Ausführung, Nutzung und Betrieb der Kleingarage sind ggf. die besonderen Anforderungen der Reihe VDE 0100 zu beachten. Zu empfehlen ist, die Anforderungen des Teils 420 (feuergefährdete Betriebsstätten, s. Abschn. 14.7) oder des Teils 737 (feuchte und nasse Bereiche, s. Abschn. 14.1) heranzuziehen. In seltenen Fällen wird die VDE 0165-1 (explosionsgefährdete Bereiche) anzuwenden sein.

Anders ist es für *gewerblich genutzte Garagen*. Diese fallen unter den Geltungsbereich der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV). Es gelten die Explosionsschutz-Regeln (EX-RL) DGUV Regel 113-001 (bisher: BGR 104). Die EX-RL legen für die gesamte Garage, in der gasbetriebene Kraftfahrzeuge abgestellt werden, die Zone 1 fest, sofern keine mechanische Lüftungsanlage vorhanden ist. Ist eine ausreichende und ständige Durchspülung der Garage durch eine mechanische Lüftungsanlage gewährleistet, so erübrigt sich die explosionsgeschützte Ausführung der elektrischen Anlage. Aufgrund der Widersprüche zwischen Baurecht und Gewerberecht sollte grundsätzlich mit den zuständigen Behörden geklärt werden, ob und in welchem Umfang ein Explosionsschutz erforderlich ist. Sollte er gefordert werden, so müssen die elektrischen Betriebsmittel mindestens der Temperaturklasse T2 entsprechen.

## 14.9.13 Elektrostatische Aufladungen

TRBS 2153 (bisher: BGR 132 (frühere Bezeichnung: ZH1/200))

Wenn feste oder flüssige Stoffe voneinander getrennt oder innig aneinander gerieben werden, laden sich die einzelnen Teile elektrisch auf. Ist wenigstens eines der Teile ein Isolator, dann hält er die Elektrizitätsmenge mehr oder weniger lange fest. Er gibt sie wieder ab, wenn er in die Nähe eines entgegengesetzt geladenen Körpers oder auch eines geerdeten Gegenstands kommt. Die mögliche Spannung (Funkenüberschlag) hängt von der Größe der Ladung und von der Kapazität der Körper ab. Solche Reibungselektrizität entsteht z. B. beim Abwickeln von Papier, Geweben, Gummi und Kunststoffen von Walzen oder Rollen, beim Abziehen einer Folie von ihrer Unterlage, beim Reiben, Sieben oder Mahlen fester Körper, beim Strömen von Flüssigkeiten in Rohren und Behältern.

Eine Explosionsgefahr kann bestehen, wenn die sich über einen Funken ausgleichende Energie $W$ groß genug ist, um ein Gas- oder Dampf-Luft-Gemisch entzünden zu können.

Es gilt die Formel

$$W = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} Q U;$$

$W$ Energie,
$C$ Kapazität,
$U$ Spannung,
$Q$ Ladung.

Die Energie kann einige µWs (µJ) bis mWs (mJ) betragen. Das kann genügen, um Gas- oder Staub-Luft-Gemische zu zünden, wie **Tabelle 14.12** zeigt.

Die Explosionsgefahr ist beseitigt, wenn es gelingt, die Ladungen zu entfernen. Dies ist bei metallenen Teilen sehr leicht durch Erden zu erreichen. Dabei genügt ein *Ableitwiderstand* von 1 MΩ. Auch bei Fußböden gilt dieser Wert als Grenzwert. Bei besonderer Zündempfindlichkeit explosionsfähiger Stoffe kann es angebracht sein, den Ableitwiderstand von Personen und Gegenständen auf 100…10 kΩ zu senken.

Ortsveränderliche leitfähige Gefäße oder Geräte müssen bei leitfähigem Fußboden z. B. Rollen aus leitfähigem Gummi erhalten. Ist dies nicht möglich, dann müssen sie über eine Kupferlitze geerdet werden. Bei den Lagern rotierender Maschinen ist zu beachten, dass Öl isoliert. Nötigenfalls sind daher leitfähige Schmiermittel zu verwenden, oder es sind Schleifbürsten zur Erdung anzubringen.

*Tabelle 14.12: Mindestzündenergie*

| Stoff | Mindestzündenergie mWs |
|---|---|
| Schwefelkohlenstoff | 0,009 |
| Wasserstoff | 0,016 |
| Acetylen | 0,019 |
| Benzol | 0,20 |
| Propan | 0,25 |
| Methan | 0,28 |
| Ethanol | 0,28 |
| Phenolharz | 10 |
| Holzmehl | 20 |
| Baumwollflocken | 25 |
| Kohle | 40 |
| Aluminium | 20 |
| Magnesium | 80 |

Schwieriger ist es, Fußböden leitfähig zu machen. Wenn der Boden nicht von Anfang an elektrostatisch leitend hergestellt wurde, z. B. leitfähiger Schaumbeton, Steinholz, leitfähiger Gummi, und auch nach dem Austrocknen so bleibt, dann lässt sich meist nichts mehr ändern. Manchmal gelingt es, durch dauerndes Erhöhen der relativen Luftfeuchtigkeit auf über 70 % eine leitfähige Feuchtigkeitsschicht auf dem Boden zu erhalten. Dieser Zustand muss dann stets bestehen bleiben. Häufiger wird es notwendig sein, den Fußbodenbelag zu ändern. Ist es gelungen, den Fußboden elektrostatisch leitfähig zu machen, dann muss noch das Aufladen von Personen verhindert werden. Dazu sind Schuhe mit Ledersohlen oder Sohlen aus leitfähigem Gummi nötig. Kleidung aus Seide, Nylon oder Perlon ist zu vermeiden. In besonders kritischen Fällen muss am Handgelenk eine Metallschelle angebracht und mit der Arbeitsmaschine oder dem Behälter verbunden werden. Schmuck darf nicht getragen werden.

Am schwierigsten sind naturgemäß Isolatoren zu behandeln. Oft kann man Glasrohre oder Gummischläuche durch leitende Rohre ersetzen. Leder, Pappe, Gewebe o. ä. Stoffe können durch Bestreichen mit Graphit, Glyzerin oder durch Einflechten von Drähten oder Umwickeln mit Blechbändern leitfähig gemacht werden. Dem Benzin zur chemischen Reinigung kann man 3...4 % Alkohol, 0,1 % Essigsäure oder ölsaures Magnesium zusetzen, um es leitfähig zu machen. Im Einzelnen ist die Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie zu befragen.

*Beispiele:* Flüssigkeiten laden sich beim Strömen längs der Wände, beim Versprühen und beim Aufprallen auf den Behälter auf. Dies gilt besonders bei Ether und Schwefelkohlenstoff, aber auch bei Benzol, Benzin, Kerosin und chlorierten Kohlenwasserstoffen. In geringerem Maße trifft es noch bei Estern, Ketonen und Alkohol zu. Zur Abhilfe sind alle Metallteile miteinander zu verbinden und zu erden. Die Strömungsgeschwindigkeit muss so gering wie möglich sein. Füllrohre müssen aus Metall sein und bis zum Boden des Behälters reichen.

Bei Spritzlackierereien sind die Lacke mit sehr viel Luft zu versprühen, wobei auf ausreichendes Absaugen zu achten ist. Die Spritzpistole und alle metallenen Anlagenteile, auch das Werkstück, sind zu erden.

Ebenso sind in chemischen Reinigungsanlagen die Maschinen, Behälter und Metallbeschläge der Arbeitstische zu erden. Dem Benzin sind Mittel zuzusetzen, die seine Leitfähigkeit erhöhen. An der Kleidung sind Metallknöpfe, Schnallen u. dgl. zu entfernen. Ruckweises Herausnehmen des Reinigungsguts aus den Spülgefäßen ist zu unterlassen. Treibriemen sind zu nähen oder zu leimen.

## 14.10 Medizinisch genutzte Bereiche

VDE 0100-710 u. Beiblatt 1

### 14.10.1 Anwendungsbereich

Im Oktober 2012 trat die neue VDE-Bestimmung 0100-710 für das Errichten von Niederspannungsanlagen in „medizinisch genutzten Bereichen" – wie ihr Untertitel lautet – als Ersatz für die Ausgabe von Nov. 2002 in Kraft (zurückgezogen am 01.10.2012, Übergangsfrist bis 09.01.2015). Die Vorgängernorm VDE 0107 von Okt. 1994 mit dem Titel „Starkstromanlagen in Krankenhäusern und medizinisch genutzten Räumen außerhalb von Krankenhäusern", die noch eine Norm außerhalb der VDE-0100-Reihe war, durfte noch bis zum 31.05.2003 angewendet werden. Im Juni 2014 erschien zu der Norm von Okt. 2012 ein Beiblatt mit dem Untertitel „Medizinisch genutzte Bereiche; Beiblatt 1: Erläuterungen zur Anwendung der normativen Anforderungen aus DIN VDE 0100-710 (VDE 0100-710):2012-10". Beiblätter des VDE-Vorschriftenwerks enthalten Informationen, jedoch keine zusätzlichen Festlegungen mit normativem Charakter (s. Abschn. 1.3). Es wird in dem Beiblatt auf die Verantwortung der Planer und Errichter hingewiesen, trotz der knappen Formulierungen, auf die man sich einigen konnte, eine Stromversorgung zu planen und zu errichten, die die Sicherheit der Patienten sicherstellt. Einige der knappen Formulierungen in der Norm und die dahinter stehende Normenphilosophie sind besser verständlich, wenn man die Vorgängernormen hinzuzieht.

Wie bei allen Betriebsstätten, Räumen und Anlagen besonderer Art, die unter die Normenteile der Gruppe 700 fallen, gelten für das Errichten von Niederspannungsanlagen auch in medizinisch genutzten Bereichen die Anforderungen des Teils 710 ergänzend zu den Anforderungen der Normenreihe VDE 0100-100 bis -600.

Über die VDE-Normen als anerkannte Regeln der Technik hinaus gelten gegebenenfalls länderspezifische, baurechtliche Anforderungen. Speziell für Krankenhäuser und vergleichbare bauliche Anlagen gab es ein Muster einer Verordnung über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern, in Kurzform Krankenhausbauverordnung genannt, abgekürzt KhBauVO vom Dez. 1976. Diese Musterverordnung wurde inzwischen ersatzlos als gegenstandslos zurückgezogen. Nach jetzigem Stand gibt es in zwei Bundesländern eine Verordnung (Brandenburg) bzw. eine Richtlinie (Saarland). In jedem Fall sind die nach der Musterleitungsanlagenrichtlinie (MLAR) in jedem Bundesland erlassene länderspezifische Leitungsanlagenrichtlinie (s. Abschn. 12.2.3) und die Anforderungen für jeden Sonderbau z. B. aus dem einzelnen Brandschutznachweis und der Baugenehmigung zu beachten.

Ein *medizinisch genutzter Bereich* ist ein Bereich, eine Raumgruppe oder ein Raum, der für Zwecke der Diagnose, Behandlung einschl. kosmetischer Behandlung, Überwachung und Pflege von Patienten und auch Tieren vorgesehen ist, d. h., der Anwendungsbereich ist bereits 2002 gegenüber der früheren VDE 0107 wesentlich erweitert worden. Er umfasst seitdem nicht mehr nur Krankenhäuser bzw. Kliniken und medizinisch genutzte Räume außerhalb von Krankenhäusern, sondern auch andere mögliche stationäre und ambulante medizinisch genutzte Bereiche, wie Krankenhäuser in Containerbauweise, Sanatorien, Kurkliniken, Senioren- und Pflegeheime, Ärztehäuser, Polikliniken, Ambulatorien, Arztpraxen und Dentalpraxen sowie ambulante Einrichtungen von Betriebs- und Sportärzten und zweckbestimmte medizinisch genutzte Räume in Arbeitsstätten, wie Sanitäts- und Erste-Hilfe-Räume. Mit dem Teil 710 der VDE 0100 werden Anforderungen an alle medizinisch genutzten Bereiche gestellt; darunter fallen auch Räume für Heimdialyse, die in der nicht mehr geltenden VDE 0107 gesondert behandelt wurden. Die neue VDE-Bestimmung kann auch auf veterinärmedizinische Kliniken und Praxen angewendet werden. Auch elektrische Anlagen, die nicht unmittelbar für den sicheren Betrieb der medizinisch genutzten Bereiche notwendig sind, z. B. die Sicherheitsbeleuchtung in Rettungswegen oder die Stromversorgung eines Labors in einer Klinik, gehören zum Anwendungsbereich des Teils 710. Die VDE-Bestimmung gilt – wie die frühere VDE 0107 – sinngemäß die Stromversorgung betreffend, auch für elektrische Anlagen mit Nennspannungen über AC 1 000 V und DC 1 500 V, obwohl die VDE 0100 generell nur für Niederspannungsanlagen gilt. Zusätzlich ist u. U. die VDE 0101 (Starkstromanlagen über 1 000 V) heranzuziehen. Die Anforderungen des Teils 710 gelten dagegen nicht für medizinische

elektrische Geräte, für die VDE 0750 mit ihren Teilen gilt. Bestehende elektrische Anlagen müssen den Anforderungen der VDE 0100-710 angepasst werden, wenn sich die Nutzung von medizinischen Bereichen ändert.

## 14.10.2 Arten von medizinisch genutzten Bereichen

Die medizinisch genutzten Bereiche werden nach VDE 0100-710 zum einen danach unterschieden, ob die Stromversorgung gefahrlos ausfallen darf oder nicht, und zum anderen nach den eingesetzten medizinischen Geräten. Nach der früheren, im Nov. 2002 zurückgezogenen Norm VDE 0107 wurden Raumarten nach Anwendungen unterschieden. Nach den neuen Normenteilen 710 der VDE 0100 wird nach medizinisch genutzten Bereichen unterschieden. Der in den früheren Ausgaben der VDE 0107 gebräuchliche Ausdruck *Anwendungsgruppe* oder *Gefährdungsgrad*, der sich auf die angewendeten medizinischen Geräte innerhalb von Räumen oder Raumgruppen bezog, wurde durch den Begriff *Gruppe* ersetzt. Folgende Gruppen werden unterschieden:

Gruppe 0 ist ein medizinisch genutzter Bereich, in dem die elektrische Anlage bei Auftreten eines ersten Körper- oder Erdschlusses oder bei Ausfall des allgemeinen Netzes abgeschaltet werden kann und Untersuchungen oder Behandlungen von Patienten abgebrochen und wiederholt werden können. In diesem Bereich werden keine Teile eines medizinischen elektrischen Geräts angewendet, d. h., Patienten kommen nicht in körperlichen Kontakt mit Teilen von medizinischen elektrischen Geräten.

*Beispiel:* Massageraum (auch Gruppe 1)

Gruppe 1 ist wie bei der Gruppe 0 ein medizinisch genutzter Bereich, in dem die elektrische Anlage bei Auftreten eines ersten Körper- und Erdschlusses oder bei Ausfall des allgemeinen Netzes abgeschaltet werden kann und Untersuchungen oder Behandlungen von Patienten abgebrochen und wiederholt werden können. Hier erfordern jedoch die Untersuchungs- und/oder Behandlungsmethoden zusätzliche Maßnahmen, und in diesem medizinisch genutzten Bereich können Teile eines medizinischen elektrischen Geräts entweder äußerlich angewendet oder in jeden beliebigen Teil des Körpers eingeführt werden (invasiv), ausgenommen bei Anwendungen wie unter Gruppe 2 beschrieben.

*Beispiele:* Massageraum (auch Gruppe 0), Bettenraum, Entbindungsraum, ECG-, EEG-, EHG-Raum, Endoskopieraum, Untersuchungs- und Behandlungsraum, Urologieraum, radiologischer Diagnostik- und Behandlungsraum außer Nuklearmedizinraum, Hydrotherapieraum, Physiotherapieraum, Operations-Vorbereitungsraum (auch Gruppe 2), Operations-Gipsraum (auch Gruppe 2), Operations-Aufwachraum (auch Gruppe 2), Hämodialyseraum, Magnetfeld-Behandlungsraum (MRT), Nuklearmedizinraum

Gruppe 2 ist ein medizinisch genutzter Bereich, in dem die elektrische Anlage bei Auftreten eines ersten Körper- oder Erdschlusses oder bei Ausfall des allgemeinen Netzes nicht abgeschaltet werden darf. Die Untersuchung oder die Behandlung ist für den Patienten gefährlich, eine Wiederholung ist unzumutbar oder die Beschaffung von Untersuchungsergebnissen nicht erneut möglich. In diesem medizinisch genutzten Bereich werden Teile eines medizinischen elektrischen Geräts für intrakardiale Verfahren in Operationssälen oder lebenswichtige Behandlungen eingesetzt, bei denen eine Unregelmäßigkeit (ein Fehler) in der Stromversorgung Lebensgefahr verursachen kann. Auch eine medizinisch genutzte Einrichtung, die nur gelegentlich für diese Anwendungen genutzt wird, ist dieser Gruppe zuzuordnen. Unter einem intrakardialen Verfahren versteht man ein Verfahren, bei dem ein elektrischer Leiter – von außen zugänglich – innerhalb der Kardialzone eines Patienten untergebracht wird oder in Kontakt mit dem Herzen kommt. Als elektrische Leiter gelten hier auch isolierte Leiter, wie Schrittmacherelektroden, EKG-Elektroden oder isolierte Schläuche, die mit leitender Flüssigkeit gefüllt sind.

*Beispiele:* Anästhesieraum, Operationsraum, Operations-Vorbereitungsraum (auch Gruppe 1), Operations-Gipsraum (auch Gruppe 1), Operations-Aufwachraum (auch Gruppe 1), Herzkatheterraum, Intensivpflegeraum, Angiografieraum, Frühgeborenenraum

Die Einteilung der medizinisch genutzten Bereiche in die Gruppe 0, 1 oder 2, *Klassifikation* genannt, muss nun nach dem Teil 710 mit dem medizinischen Personal, der zuständigen Gesundheitsorganisation (ärztliche Direktion, leitende Ärzte), dem Verantwortlichen für die Arbeitssicherheit und dem technischen Leiter vereinbart und festgelegt werden. Der technische Leiter wird die verantwortliche Elektrofachkraft hinzuziehen müssen. Die Einteilung muss mit den geltenden Vorschriften sowie den gesetzlichen Regelungen übereinstimmen. Die festgelegte Einteilung sollte immer protokolliert (Festlegungsprotokoll) und bei Wiederholungsprüfungen auf ihre Richtigkeit überprüft werden. Die im informativen Anhang B der Norm VDE 0100-710:2012-10 genannten und oben unter den Gruppen kleingedruckt aufgeführten Beispiele dienen nur der Veranschaulichung. Mit dem Begriff Endoskopie beispielsweise können harmlose ungefährliche Untersuchungen genauso gemeint sein wie komplexe Operationen mit Hochfrequenzchirurgiegeräten und Videoendoskopen, bei denen der Endoskopieeinheit die gleiche Funktion zukommt wie einer OP-Leuchte: Sie dient der Visualisierung des OP-Felds. Ein Bildausfall, der länger als 0,5 s dauert, kann hier für den Patienten lebensbedrohlich sein.

## 14.10.3 Stromversorgung

### Begriffe

Der in den folgenden Ausführungen gebrauchte Begriff *Sicherheitsstromversorgung* müsste eigentlich heißen *Elektrische Anlage für Sicherheitszwecke*, denn mit dem Inkrafttreten der VDE 0100-200 (Begriffe) von Juni 2006 und VDE 0100-560 (Einrichtungen für Sicherheitszwecke) von Okt. 2013 gilt nur noch der Begriff *Elektrische Anlage für Sicherheitszwecke*. Die elektrische Anlage für Sicherheitszwecke schließt die Stromquelle und die Stromkreise bis zu den Klemmen der elektrischen Betriebsmittel ein, kann aber in bestimmten Fällen auch die Betriebsmittel einschließen. Der Begriff *Sicherheitsstromversorgung* wird in den Verordnungen nach Baurecht verwendet und auch noch in älteren und auch fälschlicherweise in neueren VDE-Bestimmungen gebraucht. Mit dem in den folgenden Ausführungen auftauchenden Begriff *Sicherheitsstromversorgung* ist der gültige Begriff *Elektrische Anlage für Sicherheitszwecke* gemeint.

Leider ist durch das Fehlen einer einheitlichen Verordnung für den Bau und Betrieb von Krankenhäusern die baurechtliche Betrachtung der Stromversorgung in diesen Gebäuden von den konkreten Bauauflagen (Brandschutznachweis), die häufig nur den Brandfall berücksichtigen, oder von den Prüfverordnungen der einzelnen Bundesländer abhängig. Unabhängig davon ergibt sich aus der Abhängigkeit der Patienten von einer verfügbaren Stromversorgung eine hohe Verantwortung für Planer, Errichter und Betreiber.

### Netzarten

In medizinisch genutzten Bereichen können als Netzarten mit Erdverbindung grundsätzlich das TN-, TT- oder IT-System angewendet werden (s. Abschn. 5.3.2). In den nicht medizinisch genutzten Bereichen (Flure, Labore, auch Küche etc.) und den Bereichen der Gruppe 0 und 1 ist das TN-System oder TT-System möglich. Das TT-System ist in Bereichen der Gruppe 2 ausdrücklich nicht erlaubt. In den Bereichen der Gruppe 2 sind – mit wenigen Ausnahmen – die Endstromkreise über ein nach Norm sogenanntes *medizinisches IT-System* mit speziellen Trenntransformatoren zu versorgen (*medizinisches IT-System*: nach VDE 0100-710:2012-10 ein elektrisches IT-System, das die spezifischen Anforderungen für medizinische Anwendungen erfüllt; diese Stromversorgung ist auch als *isoliertes Stromversorgungssystem* bekannt).

Ist in medizinisch genutzten Gebäuden eine zentrale Stromversorgung vorhanden, d. h. Stromquellen für Sicherheitszwecke und Transformatorenstationen, so muss ab dem dieser zentralen Stromversorgung nachgeschalteten Hauptverteiler das *TN-S-System* angewendet werden (s. Abschn. 5.6.1). Sind in medizinisch genutzten Gebäu-

den jedoch Bereiche der Gruppe 2 ohne zentrale Stromversorgung vorhanden, wie dies in ambulanten medizinischen Bereichen (z. B. bei Arztpraxen) anzutreffen ist, so ist das TN-S-System ab dem Hauptverteiler des Gebäudes auszuführen. Obwohl das TN-S-System aus Gründen des Schutzes gegen elektromagnetische Störungen immer – also auch außerhalb medizinisch genutzter Bereiche – angewendet werden soll (s. Abschn. 10.4), wird es in der Praxis vorkommen, dass diese dringende Empfehlung nicht umgesetzt wird oder nur mit großen Schwierigkeiten umgesetzt werden kann und stattdessen ab dem Hauptverteiler des Gebäudes nur ein TN-C- oder TN-C-S-System angewendet wird. Die Forderung nach einem TN-S-System kann nämlich zu großen technischen Aufwendungen führen, wenn z. B. in einem bestehenden Gebäude nachträglich Arztpraxen mit Bereichen der Gruppe 2 untergebracht werden sollen. Hier müssen alle am Bau Beteiligten (Architekten, Planer, Fachplaner, Errichter der elektrischen Anlagen) rechtzeitig tätig werden.

Die Stromversorgung für medizinisch genutzte Bereiche besteht aus einer allgemeinen Stromversorgung und einer *Stromversorgung für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgung)* (s. auch Kap. 12). Die Komponenten und Anlagen der Stromversorgung müssen in jeweils eigenen abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten untergebracht werden. Dabei handelt es sich um Netztransformatoren, Schaltanlagen mit Nennspannungen > 1 kV, Hauptverteiler für die allgemeine Stromversorgung, Hauptverteiler für die Sicherheitsstromversorgung, ortsfeste Stromerzeugungsaggregate für die Sicherheitsstromversorgung und die Anlagen der sogenannten Batteriegestützten zentralen Stromversorgungssysteme (BSV) nach VDE 0558-507. Hierbei sind auch die in allen Bundesländern eingeführte Leitungsanlagenrichtlinie (s. Abschn. 12.2.3) und die EltBauV (s. Abschn. 1.2.8), ggf. in einzelnen Bundesländern erlassene Baurechtsregelungen für Krankenhäuser und die Arbeitsstättenverordnung zu beachten. Die Unterbringung der Zentralbatterien kann auch anders erfolgen, wenn deren Bauart die Unterbringung in einer abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätte nicht erfordert und wenn der Geltungsbereich der genannten Verordnungen nicht berührt wird. Die Forderung nach konsequenter Unterbringung der genannten Komponenten in getrennten abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten ist neu gegenüber der nicht mehr geltenden VDE 0107. Nach dieser VDE-Bestimmung durften die Hauptverteiler sowohl der allgemeinen Stromversorgung als auch der Sicherheitsstromversorgung und auch der Hauptverteiler der allgemeinen Stromversorgung mit den Schaltanlagen > 1 kV zusammen untergebracht werden.

**Transformatoren für medizinische IT-Systeme**

Die Leerlaufspannung auf der Sekundärseite von Transformatoren für IT-Systeme für medizinisch genutzte Bereiche darf AC 250 V nicht überschreiten. Die Trans-

formatoren müssen die besonderen Anforderungen an Trenntransformatoren zur Versorgung medizinischer Räume nach VDE 0570-2-15 erfüllen. Wenn unbelastet gemessen und der Transformator mit Nennspannung sowie Nennfrequenz betrieben wird, dürfen der Ableitstrom der Sekundärwicklung zur Erde und der Ableitstrom des Gehäuses zur Erde jeweils nicht > 0,5 mA sein. Einphasentransformatoren müssen für den Aufbau von IT-Systemen geeignet sein, und die Nennausgangsleistung der Transformatoren darf nicht < 3,15 kVA und nicht > 8 kVA sein. Wenn die Einspeisung eines dreiphasigen Verbrauchers über ein IT-System vorgeschrieben ist, muss für diesen Zweck ein separater Dreiphasentransformator mit einer Ausgangsspannung ≤ 250 V verwendet werden. Wird ein Drehstromtransformator auch für die Versorgung von Einphasenverbrauchern eingesetzt, so muss durch die Bauart oder die Schaltungsart sichergestellt sein, dass auch bei Schieflast und denkbaren Fehlern auf der Primärseite auf der Verbraucherseite keine Spannungserhöhung auftreten kann.

Für Trenntransformatoren sind Überwachungseinrichtungen vorzusehen, die Überlast und Übertemperatur melden. Das „oder" in der Norm VDE 0100-710:2012-10 wurde im Beiblatt VDE 0100-710 Beiblatt 1:2014-06 korrigiert. Die primärseitige Zuleitung darf nur gegen Kurzschluss mit Überstrom-Schutzeinrichtungen versehen werden. Die Endstromkreise sind gegen Kurzschluss und Überlast zu schützen.

Die Anforderungen an den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) für IT-Netz-Transformatoren können gewährleistet werden durch Schutz durch eine besondere Aufstellung (Schutzklasse-I-Ausführung isoliert gegen Erde, nicht mit PE verbunden, nicht berührbar wegen nur mit Werkzeug oder Schlüssel zu öffnender Abdeckung, auf Abdeckung und Transformator Warnhinweis auf mögliche Fehlerspannung mit Pflicht der Messung).

**Verteiler**

Elektrische Verteiler müssen wie bisher der Reihe VDE 0660-600 (bisher: VDE 0660-500) entsprechen. Gegenüber der früheren, nicht mehr geltenden Norm VDE 0107 müssen alle Verteilerverkleidungen aus Stahlblech bestehen. Früher war auch stoßfester flammwidriger Isolierstoff nach der inzwischen zurückgezogenen Norm VDE 0304-3, Stufe BH1 zulässig. Auch bei der Unterbringung in Verteilerräumen und der Aufstellung von Verteilern sind die o. g. Verordnungen zu beachten. Vorzugsweise sollten Verteiler insbesondere dann, wenn der Zugang zu ihnen während der medizinischen Nutzung nicht möglich oder störend ist, entgegen der früher geltenden Norm VDE 0107 nun außerhalb der medizinisch genutzten Bereiche aufgestellt und gegen den Zugriff Unbefugter gesichert werden. Hierbei ist aber hinsichtlich der Brandlastaspekte auch die Muster-Leitungsanlagenrichtlinie (MLAR) zu beachten (s. Abschn. 13.5).

Überstromschutzeinrichtungen und Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) der Endstromkreise müssen den Elektrofachkräften und sollten dem medizinischen Personal leicht zugänglich sein.

Auch wenn nach der Leitungsanlagenrichtlinie nur die Stromversorgungen notwendiger Bettenaufzüge und der Sicherheitsbeleuchtung besondere Anforderungen an den Funktionserhalt erfüllen müssen, sind nach VDE 0100-560 auch sonstige wichtige Verbraucher, die im Brandfall weiter betrieben werden müssen (vgl. Abschn. 14.10.2, Begriff Gruppe 2) zu berücksichtigen. Dies betrifft den Aufstellungsort der Verteiler ebenso wie die Kabel- und Leitungsanlagen (vgl. auch Abschn. 12.2.3).

**Kabel- und Leitungsanlagen**
VDE 0100-710, -718, MLAR

Ab dem Hauptverteiler der Sicherheitsstromversorgung zur Versorgung der notwendigen Einrichtungen ist ein eigenes, von der allgemeinen Stromversorgung getrennt zu führendes Verteilungsnetz erforderlich.

Mit dem Anwendungsbeginn der Norm VDE 0100-710:2012-10 wird Selektivität für Endstromkreise gegenüber vorgelagerten Überstromschutzeinrichtungen gefordert. Dabei wird nicht unterschieden, ob es sich um die allgemeine Stromversorgung (Netz) oder die Stromversorgung für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgung) handelt. Damit wird zum Ausdruck gebracht, dass die Stromversorgung in medizinisch genutzten Bereichen nicht ein „sicheres" und ein „unsicheres" Netz kennt, sondern zwei redundante Netze. Die Selektivität ist im vorgelagerten Bereich der Hauptverteiler und Unterverteiler natürlich von noch größerer Bedeutung.

Die Kabel der allgemeinen Stromversorgung und die der Sicherheitsstromversorgung sind bei Verlegen in Erde in getrennten Trassen mit einem Mindestabstand von 2 m zu verlegen. Im Nahbereich einer Gebäudeeinführung darf der Abstand unterschritten werden, wenn ein besonderer mechanischer Schutz gegen Beschädigung bei Tiefbauarbeiten vorhanden ist. Jede Kabel- und Leitungsanlage, die sich innerhalb von medizinisch genutzten Bereichen der Gruppe 2 befindet, darf nur für die Versorgung der Geräte und des Zubehörs in diesem Bereich benutzt werden.

**Selbsttätige Umschalteinrichtungen**

In medizinisch genutzten Gebäuden ist eine *Sicherheitsstromversorgung* erforderlich, die bei Störung der allgemeinen Stromversorgung (z. B. Netzausfall, Ausfall von Teilen der Stromversorgungsanlage) die notwendigen Sicherheitseinrichtungen für eine bestimmte Zeit und innerhalb einer bestimmten Umschaltzeit mit elektrischer Energie versorgt, d. h., wenn die Spannung am Hauptverteiler in einem

oder mehreren Außenleitern ausfällt, muss die Sicherheitsstromversorgung den Weiterbetrieb automatisch übernehmen. Dazu werden selbsttätige Umschalteinrichtungen benötigt.

In medizinisch genutzten Bereichen gibt es verschiedene Einsatzbereiche von selbsttätigen Umschalteinrichtungen, und zwar die selbsttätige Umschaltung

- des Hauptverteilers der Stromversorgung für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgung) auf eine Sicherheitsstromquelle innerhalb von 15 s,
- von bevorzugter Einspeisung auf die zweite Leitung (Einspeisung der IT-Netze zur Versorgung der lebenswichtigen medizinischen Einrichtungen über zwei unabhängige Zuleitungen),
- des OP-Lichts in dem Batteriegestützten zentralen Stromversorgungssystem (BSV) innerhalb von 0,5 s.

Zwischen den verschiedenen elektrischen Versorgungssystemen muss eine sichere Trennung gegeben sein. Die Umschaltverzögerung muss größer sein als die Fehlerlöschzeit der Überstromschutzeinrichtungen: Ein Kurzschluss hinter der Umschalteinrichtung führt zwangsläufig zum Spannungseinbruch auf der überwachten Zuleitung. Würde jetzt umgeschaltet, bevor die nachgeordnete Schutzeinrichtung den Kurzschluss abgeschaltet hätte, schaltete der gesamte Kurzschlussstrom auf die sog. zweite Zuleitung um, deren Spannung unter der Last des Kurzschlusses wiederum einbräche. Ein unkontrolliertes Hin- und Herschalten wäre die Folge.

Leider sind durch die Verknappung der Formulierungen in der Norm viele Anforderungen an Umschalteinrichtungen entfallen, die zum besseren Verständnis beigetragen hatten, wie

- die Weiterleitung von Betriebs- und Störungsmeldungen,
- die allpolige Überwachung der Zuleitungen,
- die Anordnung der Umschalteinrichtung im Hauptverteiler der Stromversorgung für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgung (SV)), damit z. B. bei Brand im Raum des Hauptverteilers der allgemeinen Stromversorgung (allgemeinen Versorgung (AV)) die der Stromversorgung für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgung (SV)) unabhängig weiterbetrieben werden kann.

Ein Vergleich mit den Vorgängernormen und deren Schutzzielen sowie die Berücksichtigung der Abhängigkeit des Wohls der Patienten von einer weitestgehenden Einfehlersicherheit der Stromversorgung verdeutlicht die hohen Anforderungen, die an die Umschalteinrichtungen bei der Planung und Errichtung gestellt werden müssen.

## 14.10.4 Elektrische Anlagen für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgung)

In medizinisch genutzten Gebäuden sind elektrische Anlagen für Sicherheitszwecke (bisher auch noch Sicherheitsstromversorgung oder Stromversorgung für Sicherheitszwecke genannt) erforderlich, die bei Störung des allgemeinen Netzes die notwendigen Einrichtungen weiterversorgen müssen. Je nach zu versorgender Einrichtung sind die Anforderungen an die Dauer der Versorgung aus Sicherheitsstromquellen und die zulässige Umschaltzeit unterschiedlich. Zu den *notwendigen Einrichtungen* gehören die Sicherheitsbeleuchtung und andere Verbrauchsmittel von Sicherheitseinrichtungen (s. Abschn. 14.10.8). Sie müssen aus Sicherheitsstromquellen entweder innerhalb von 0,5 s, von 15 s oder nach längerer Zeit weiterbetrieben werden können, wenn die Spannung eines oder mehrerer Außenleiter am Hauptverteiler der allgemeinen Stromversorgung über einen Zeitraum von mehr als 0,5 s um mehr als 10 % – bezogen auf die Nennspannung – gesunken ist.

Für Bereiche der Gruppen 1 und 2 muss bei einem Fehler der normalen Stromversorgung die Sicherheitsbeleuchtung mit einer Umschaltzeit von ≤ 15 s weiterversorgt werden (s. auch Abschn. 14.10.8).

Die Notwendigkeit, auch andere Verbraucher innerhalb 15 s weiterzuversorgen, kann sich z. B. aus der Hygiene (OP-Lüftung) oder aus dem Baurecht (z. B. Sprinkler, Entrauchung) oder aufgrund von Anforderungen anderer Normen ergeben (z. B. in VDE 0834-1 für Lichtrufanlagen).

Im Allgemeinen sind Anlagen der Sicherheitstechnik nach spätestens 15 s weiterzuversorgen.

Lebenserhaltende medizinisch elektrische Geräte (ME-Geräte) müssen innerhalb von 0,5 s weiterversorgt werden können. Hier ist zu prüfen, ob das BSV-System (**B**atteriegestützte zentrale **S**tromversorgungssysteme (BSV) für Sicherheitszwecke zur Versorgung medizinisch genutzter Bereiche (VDE 0558-507)) bereits direkt dem ME-Gerät zugeordnet ist. Auch hier wird deutlich, dass eine enge Abstimmung zwischen dem medizinischen Personal, evtl. dem Medizintechnik-Planer und dem Elektro-Planer nötig ist.

Operationsleuchten und andere unentbehrliche Leuchten (z. B. Lichtquellen für die endoskopische OP-Feldbeleuchtung) müssen – sofern sie zu Bereichen der Gruppe 2 gehören – von einem „BSV für Sicherheitszwecke zur Versorgung medizinisch genutzter Bereiche" mit einer Umschaltzeit ≤ 0,5 s versorgt werden. Die BSV muss für eine Versorgungsdauer von mindestens 3 h bemessen sein. Sie braucht allerdings für nur 1 h bemessen zu werden, wenn die Mindestbetriebsdauer der Operationsleuchte von 3 h in Verbindung mit der Sicherheitsstromquelle insgesamt sichergestellt ist.

Es kann erforderlich sein, bestimmte ortsfest errichtete elektrische Verbraucher bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung *unterbrechungsfrei* weiter zu versorgen. Dies muss u. U. mit dem medizinischen Personal abgesprochen werden, oder der Hersteller von medizinischen elektrischen Geräten gibt vor, ob ein Gerät unterbrechungsfrei weiterversorgt werden muss. In der Regel ist in solchen Geräten eine eigene Stromquelle eingebaut.

Andere als die o. g. Verbrauchsmittel für Bereiche der Gruppe 1 und 2, die nicht sofort oder in kürzester Zeit an die *elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke* (Sicherheitsstromversorgung) angeschlossen und weiterbetrieben werden müssen, die aber mittelfristig für die Aufrechterhaltung des Betriebs in einem medizinisch genutzten Gebäude erforderlich sind, können automatisch oder manuell an eine Stromversorgungsquelle angeschlossen sein. Ihr Betrieb ist von verschiedenen Kriterien abhängig, die sich aus ihrem technischen Aufbau (Druckluftspeicher), der Tageszeit (Tages- oder Nachtbetrieb) oder der Witterung (Heizung oder Kühlung) ergeben können. Solche Einrichtungen sind z. B. Sterilisationseinrichtungen, haustechnische Anlagen, insbesondere Heizungs-, Lüftungs-, Versorgungs- und Entsorgungsanlagen, Kühlanlagen, Kocheinrichtungen, Ladeeinrichtungen für Akkumulatoren und Aufzüge.

**Sicherheitsstromquellen**

Als Stromquellen kommen vor allem Akkumulatoren und Generatoren, deren Antriebsmaschine unabhängig von der allgemeinen Stromversorgung ist, infrage (s. Abschn. 12.1.1). Primärelemente oder eine zusätzliche Einspeisung aus der allgemeinen Stromversorgung, auch wenn sie von der normalen Einspeisung aus dem Netz unabhängig ist, sind als Sicherheitsstromquellen nicht zulässig. Hubkolben-Verbrennungsmotoren müssen DIN 6280-13 und Blockheizkraftwerke mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren DIN 6280-14 entsprechen. Die Betriebsbereitschaft von Sicherheitsstromquellen ist zu überwachen und an einer geeigneten, ständig besetzten Stelle anzuzeigen.

Anlagen und Verbraucher, die nicht Sicherheitszwecken dienen, dürfen aus Stromquellen für Sicherheitszwecke nur dann mitversorgt werden, wenn die Umschaltzeiten zur Versorgung der Anlagen für Sicherheitszwecke und deren Betrieb nicht beeinträchtigt werden. Das bedeutet insbesondere, dass das Verteilungsnetz selektiv aufgebaut wird (vgl. Abschn. 12.2.4), d. h. bei allen vorkommenden Netzbetriebsarten (nur Generator, normales Netz, Generator und Netz parallel) nur die der Fehlerstelle direkt vorgeordnete Schutzeinrichtung abschaltet und die Stromquellen für die benötigte Leistung bemessen werden. Dazu ist eine sorgfältige Planung mit ausreichender Leistungsreserve notwendig. Insbesondere motorische Verbraucher mit hohen Anlaufströmen und auch in Wartung befindliche Stromquellen sind zu

berücksichtigen. Ist eine Stromquelle einer *Ersatzstromversorgung* (d. h. einer nicht für sicherheitstechnische Zwecke vorgesehenen Versorgung) vorhanden, so sollte eine Möglichkeit geschaffen werden, dass diese Ersatzstromquelle bei einer Störung oder Wartung der Sicherheitsstromquelle die Versorgung übernimmt.

Stromquellen, die lediglich Verbrauchsmittel innerhalb eines Brandabschnitts versorgen, dürfen im selben Brandabschnitt wie das Verbrauchsmittel aufgestellt werden. Das kommt vor allem für BSV-Anlagen infrage, die Bestandteile von Baugruppen oder Geräten sind, um diese Sicherheitsstromquellen so dicht wie möglich an dem zu schützenden Bereich zu installieren, z. B. OP-Lichtgeräte oder kleine kompakte BSV-Anlagen für einen abgegrenzten Bereich der Gruppe 2. Von diesen zusätzlichen Stromquellen darf keine Gefahr für Personen und die Umgebung ausgehen, ggf. ist ihre Leistung zu begrenzen. Zu den Aufstellungsbedingungen ist ein Herstellernachweis zu fordern.

Stromquellen für Sicherheitszwecke müssen eine Versorgung von mindestens 24 h sicherstellen. Die Betriebsdauer kann allerdings bis auf 3 h verringert werden, wenn die medizinischen Anforderungen erfüllt, die Verwendung des Bereichs für die Behandlung oder Untersuchung sichergestellt und jegliche Evakuierung des Gebäudes komplett innerhalb von 3 h durchgeführt werden können. Dazu sind Absprachen mit der zuständigen Brandschutzbehörde und der Feuerwehr zu führen. Bei ambulanten Einrichtungen (Polikliniken und Ärztehäuser) können 3 h ausreichend sein.

## 14.10.5 Schutz gegen elektrischen Schlag

**Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren)**

Kleinspannung FELV (frühere Bezeichnung: Funktionskleinspannung ohne sichere Trennung) ist in keinem medizinisch genutzten Bereich zulässig. Nach der noch bis Mai 2003 anwendbaren VDE 0107 war FELV in den meisten Fällen zulässig. Wird in medizinisch genutzten Bereichen der Gruppe 1 und 2 der Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV für Verbrauchsmittel angewendet, so müssen die Spannungen oberschwingungsfrei sein und dürfen AC 25 V oder DC 60 V nicht übersteigen. Der Schutz durch *Schutztrennung* mit mehr als einem Verbrauchsmittel ist nicht zulässig.

Bei Anwendung von PELV müssen OP-Leuchten in jedem Fall in den zusätzlichen Schutzpotenzialausgleich einbezogen werden.

Grundsätzlich wird zum Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) ein Schutz durch Isolierung der aktiven Teile oder durch Abdeckung oder Umhüllung gefordert. Unzulässig ist der Schutz durch Hindernisse oder durch Abstand für alle allgemein zugänglichen Bereiche innerhalb und außerhalb des medizinisch genutzten Gebäudes.

**Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren)**

In medizinisch genutzten Gebäuden mit Bereichen der Gruppe 0 und 1 dürfen alle Maßnahmen zum Schutz durch automatisches Abschalten angewendet werden (s. Abschn. 5.4). Bei TN-, IT- und TT-Systemen darf die dauernd zulässige Berührungsspannung AC 25 V oder DC 60 V nicht überschreiten. In TN-Systemen kann AC 25 V oder DC 60 V unter Einhaltung der Abschaltzeiten (s. Abschn. 5.8) durch zusätzlichen Schutzpotenzialausgleich erfüllt werden.

Bei *TN-Systemen* in medizinisch genutzten Bereichen der Gruppe 1 müssen in Endstromkreisen (Steckdosen, Leuchten, fest angeschlossene Betriebsmittel) bis 32 A Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) des Typs A oder B (s. Abschn. 5.3.8) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA eingesetzt werden. Dies darf jedoch nicht bei OP-Leuchten und anderen unentbehrlichen Leuchten erfolgen, um deren Verfügbarkeit nicht durch die technisch bedingte, aber sicherheitstechnisch gewünschte Ansprechempfindlichkeit einer Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) einzuschränken.

In medizinisch genutzten Bereichen der Gruppe 2 darf in Endstromkreisen der Schutz durch automatisches Abschalten für folgende Stromkreise nur mit Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) des Typs A oder B (s. Abschn. 5.3.8) nur für folgende Stromkreise angewendet werden für

- die Versorgung von OP-Tischen,
- Röntgengeräte,
- Verbrauchmittel mit einer Nennleistung > 5 kVA und
- die Beleuchtung (s. Abschn. 14.10.4), wobei hier ein Stromkreis aus der allgemeinen Stromversorgung (AV) gespeist werden muss und die von der Stromversorgung für Sicherheitszwecke versorgten Beleuchtungsstromkreise auf zwei verschiedene Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) aufzuteilen sind.

*TT-Systeme* sind in medizinischen Einrichtungen der Gruppe 2 u n z u l ä s s i g. Bietet der Versorgungsnetzbetreiber, z. B. in ländlichen Gebieten, nur ein TT-System an, so muss für die Bereiche der Gruppe 2 ein Transformator installiert werden, damit ein TN- oder ein IT-System gebildet werden kann.

**Schutzpotenzialausgleich**

Die Schutzpotenzialausgleichsleiter des Schutzpotenzialausgleichs über die Haupterdungsschiene (bisherige Bezeichnung: Hauptpotenzialausgleich) (s. Abschn. 5.6.11.1) und des zusätzlichen Schutzpotenzialausgleichs (s. Abschn. 5.6.11.2) müssen isoliert und mindestens an den Anschlussstellen grün-gelb gekennzeichnet sein.

In medizinisch genutzten Bereichen der Gruppe 1 oder Gruppe 2 ist ein *zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich* auszuführen, um Potenzialdifferenzen zwischen Schutzleitern, fremden leitfähigen Teilen (s. Kap. 2), Abschirmungen gegen elektrische Störfelder, Verbindungen zu ableitfähigen Fußböden und auch ortsfesten, nicht elektrisch betriebenen Operationstischen, die üblicherweise nicht mit dem Schutzleiter verbunden sind, auszugleichen. Zusätzlich ist nun – sofern vorhanden – auch der Metallschirm des Transformators für das IT-System auf kürzestem Weg mit dem PE zu verbinden.

In medizinisch genutzten Bereichen der Gruppe 2 sind in der Nähe der Patientenposition Anschlussbolzen für Schutzpotenzialausgleichsleiter nach DIN 42801-2 anzubringen, über die ortsveränderliche medizinische elektrische Geräte und ortsveränderliche Operationsleuchten in den zusätzlichen Schutzpotenzialausgleich einzubeziehen.

Die Schutzpotenzialausgleichsschiene für den zusätzlichen Schutzpotenzialausgleich, die ständig zugänglich sein sollte, muss in dem medizinisch genutzten Raum oder der medizinisch genutzten Raumgruppe oder in deren Nähe angeordnet sein. In jedem zugeordneten Verteiler oder in dessen Nähe ist eine Schutzpotenzialausgleichsschiene anzuordnen, an die der Schutzpotenzialausgleichsleiter und der Schutzleiter angeschlossen werden müssen. Die Verbindungen sind so auszuführen, dass die beiden Leiter klar unterscheidbar und leicht trennbar sind. Alle Schutzpotenzialausgleichsleiter des zu schützenden Bereichs und die Verbindungen zu den Schutzleitern sollten sternförmig und mit möglichst kurzen Leitungen angeschlossen sein.

### 14.10.6 IT-System für medizinisch genutzte Bereiche der Gruppe 2

In medizinisch genutzten Bereichen der Gruppe 2 muss für bestimmte Stromkreise das *IT-System* angewendet werden, damit beim ersten Körper- oder Erdschluss ein Weiterbetrieb möglich ist. Dies betrifft Steckdosenstromkreise, die medizinische elektrische Geräte versorgen, und Stromkreise mit Operationsleuchten sowie mit vergleichbaren Leuchten, die mit Nennspannungen > AC 25 V oder > DC 60 V betrieben werden. Für jede Raumgruppe ist mindestens ein separates IT-System erforderlich.

Jedes IT-System ist auf Isolationsfehler zu überwachen. Die Isolationsüberwachungsgeräte (**Bild 14.23**) müssen VDE 0413-8 mit folgenden zusätzlichen Anforderungen entsprechen:

- Wechselstrominnenwiderstand ≥ 100 kΩ,
- Messspannung ≤ DC 25 V,
- Messstrom auch im Fehlerfall ≤ DC 1 mA,
- Anzeige bei Isolationswiderstand < 50 kΩ,
- Testeinrichtung,
- Anzeige bei Unterbrechung des Schutzleiter oder des Netzanschlusses des Isolationsüberwachungsgeräts.




***Bild 14.23:*** *Isolationsüberwachungseinrichtung (Werkbild: Bender)*

Für jedes IT-System und die dazugehörige Umschalteinrichtung ist eine akustische und optische *Alarmierungseinrichtung* an einem Platz vorzusehen, der dauernd mit medizinischem Personal besetzt ist, das in der Lage ist, die akustischen und optischen Signale der Alarmierungseinrichtung wahrzunehmen. Eine grüne Lampe dient zur Anzeige des Normalbetriebs, und eine gelbe Lampe leuchtet auf, wenn der Minimalwert des Isolationswiderstands oder der Maximalwert der Transformatorlast erreicht ist oder ein erster Fehler in der Umschalteinrichtung auftritt. Es darf nicht möglich sein, dieses Signal zu löschen oder auszuschalten. Ein akustischer Alarm muss ertönen, wenn der minimale Wert des Isolationswiderstands oder der Maximalwert der Transformatorlast oder der Transformatortemperatur erreicht ist oder ein erster Fehler in der Umschalteinrichtung eintritt. Das akustische Signal darf nach dem Ansprechen stumm geschaltet werden können. Die Funktion der Alarmierungseinrichtung muss derart sein, dass nach Beseitigen des Fehlers das optische und akustische Signal automatisch erlischt; dann muss die grüne Signallampe wieder den Normalbetrieb anzeigen.

Für den IT-System-Transformator ist eine Überlast- und Übertemperaturanzeigeeinrichtung vorzusehen. Deren Meldungen müssen unverzögert und so erfolgen, dass sie während der medizinischen Nutzung an einer ständig besetzten Stelle vom medizinischen Personal wahrgenommen werden können. Um Störungen schnell beseitigen und die Anlage prüfen zu können, ist eine Meldung vor Ort notwendig.

Zusätzlich wird seit Okt. 2012 auch eine Weiterleitung an das technische Personal gefordert.

**Steckdosenstromkreise**

An jedem Patientenplatz (z. B. Bettenversorgungsschiene) müssen die Steckdosen entweder auf mindestens zwei separate Stromkreise aufgeteilt werden, oder jede Steckdose muss einzeln gegen Überstrom geschützt werden.

Werden Stromkreise von anderen Systemen (TN-S-System) im selben medizinisch genutzten Bereich gespeist, so müssen die im IT-System vorhandenen Steckdosen entweder durch ihre Konstruktion gegen die Verwendung in anderen Systemen geschützt oder deutlich und dauerhaft gekennzeichnet sein. Steckdosen, die für den Anschluss medizinischer elektrischer Geräte vorgesehen sind, müssen mit einer Spannungsanzeige (Anzeigeleuchte, bevorzugt grün) versehen sein.

## 14.10.7 Zusätzliche Anforderungen an medizinisch genutzte Bereiche der Gruppe 2

Mit dem Anwendungsbeginn der VDE 0100-710:2012-10 sind die Anforderungen an die Stromversorgung der Bereiche der Gruppe 2 nur noch als Schutzziel definiert: Beim Auftreten eines ersten Fehlers muss ein Totalausfall verhindert werden.

Die bisher in VDE 0107 bzw. VDE 0100-710:2002-11 detailliert beschriebene Versorgung über zwei unabhängige Zuleitungen und eine Umschalteinrichtung erfüllt diese Anforderungen. Als alternative Möglichkeiten sind in der Norm zusätzliche Stromversorgungen (örtlich oder für Bereiche der Gruppe 2) genannt, ohne die Anforderungen genauer zu beschreiben.

Bewährt haben sich zwei Zuleitungen, die direkt von den Gebäudehauptverteilern her versorgen sollen. Mit Verwendung der Stromquelle mit der kürzeren Unterbrechungszeit als bevorzugte Einspeisung werden unnötige Umschaltvorgänge und damit Unterbrechungen reduziert. Somit ergeben sich Kombinationen SV/AV, BSV/SV und BSV/AV. Ein Funktionserhalt dieser Zuleitungen im Brandfall ist zwar in der Musterleitungsanlagenrichtlinie nicht beschrieben, ist aber wegen der Versorgung lebenserhaltender Geräte und Einrichtungen gerechtfertigt und im hohen Maße begründet.

Es ist nicht zwingend notwendig, für jede Umschalteinrichtung eigene Zuleitungen direkt vom Hauptverteiler zu verwenden. Es ist aber sicherzustellen, dass die Selektivität gewährleistet ist und der Funktionserhalt im Brandfall nicht dadurch beeinträchtigt wird, dass ein Zwischenverteiler in einem anderen Bereich angeordnet wird.

Es ist in jedem Fall – auch in kleinen baulichen Einheiten – zu vermeiden, alle IT-Systeme in einem Gebäude hinter nur einer Umschalteinrichtung anzuordnen. Bei mehr als einem IT-System hinter einer Umschalteinrichtung ist in jeder Transformatorzuleitung eine Kurzschlussschutzeinrichtung vorzusehen. Diese Schutzeinrichtungen dürfen nicht bei Überlast, sondern nur bei nahezu widerstandslosem Kurzschluss im oder am Transformator oder bei Kurzschluss im Verteiler vor den Schutzeinrichtungen der Endstromkreise auslösen.

Die Führung der zwei Einspeisungen ist auf mindestens zwei getrennten Kabeltragsystemen vorzunehmen. Da die zwei Zuleitungen die Versorgung des entsprechenden Bereichs sicherstellen sollen, ist zu beachten, dass es ggf. notwendig ist, auch Einrichtungen von anderen Systemen (z. B. Beleuchtung) über die zwei Zuleitungen zu versorgen.

Verteiler von medizinisch genutzten Bereichen der Gruppe 2 – dazugehörige Trenntransformatoren und die erforderlichen Kabel- und Leitungsverbindungen – sollten sich für den Funktionserhalt im Brandfall im selben Geschoss und Brandabschnitt wie die zu versorgenden medizinisch genutzten Bereiche der Gruppe 2 befinden. Sie dürfen aber auch in unmittelbar darüber oder darunter liegenden Räumen liegen, die zum selben Brandabschnitt gehören oder einen eigenen direkt angrenzenden Brandabschnitt bilden. Die erforderliche räumliche Nähe des IT-Verteilers zu den Gruppe-2-Räumen ergibt sich auch aus der Verdoppelung der Fehlerschleife im IT-System gegenüber einem TN-System: Beim Erdschluss in zwei verschiedenen Endstromkreisen müssen die vorgeordneten Schutzeinrichtungen auslösen. Die Transformatorenzuleitung ab der Umschalteinrichtung und die Transformatorenableitung bis zu dem nachfolgenden Verteilerabschnitt sind kurzschluss- und erdschlusssicher zu verlegen (s. Abschn. 8.2.6).

## 14.10.8 Verbrauchs- und Betriebsmittel

### Steckdosenstromkreise

An allen Steckdosen muss leicht erkennbar sein, aus welcher Stromquelle sie versorgt werden, ob sie also aus dem Netz der allgemeinen Stromversorgung (üblicherweise weiße Abdeckung) oder dem Netz der Stromversorgung für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgung) (15 s, meist grüne Abdeckung) oder einer BSV (0,5 s, meist orange Abdeckung) gespeist werden.

Sind explosionsgefährdete Bereiche infolge brennbarer Gase und Dämpfe zu unterstellen (s. Abschn. 14.9), so müssen elektrische Betriebsmittel, wie Steckdosen und Schalter, die unterhalb von Anschlüssen für oxidierende oder entflammbare Gase angebracht sind, in einem Abstand $\geq 0{,}2$ m zum Auslass installiert werden.

### Motoren

Motoren mit einer Nennleistung über 500 W, die nicht ständig beaufsichtigt werden, müssen gegen Überhitzung geschützt oder blockierungssicher sein.

### Sicherheitsbeleuchtung/Beleuchtung (s. auch Abschn. 12.3)

Bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung muss die Mindestbeleuchtungsstärke durch eine Sicherheitsbeleuchtung für folgende Bereiche gegeben sein:

- Rettungswege,
- Räume der Hauptverteiler und der Stromversorgung für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgung),
- Bereiche, in denen lebenswichtige Dienste vorgesehen sind, und Räume der Gruppe 1 (mindestens eine Leuchte),
- Räume der Gruppe 2 (mindestens 50 % der Beleuchtung).

Für die Sicherheitsbeleuchtung sind nach dem Beiblatt zur Norm (VDE 0100-710 Beiblatt 1:2014-06) auch die Forderungen aus der Norm VDE 0100-560 zu beachten, so dass zumindest in Fluren, Treppenräumen und Bereichen der Gruppe 2 die Beleuchtung auf das Netz der allgemeinen Stromversorgung (AV-Netz) und je zwei Stromkreise auf das Netz der Stromversorgung für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgung (SV)) aufzuteilen ist. Selbstverständlich muss auch die Beleuchtungssteuerung so aufgebaut sein, dass nicht durch einen Fehler die gesamte Beleuchtung eines Fluchtwegs oder Gruppe-2-Raums vollständig ausfällt.

Außerhalb von Kliniken ist eine Sicherheitsbeleuchtung – außer in Bereichen der Gruppe 2 – nicht zwingend erforderlich, wenn die Beendigung der medizinischen Behandlung und die Evakuierung trotzdem möglich ist.

Zusätzlich zur Sicherheitsbeleuchtung (s. Abschn. 14.10.4) ist bei Krankenhäusern auch ein Weiterbetrieb über mind. 24 h zu ermöglichen. Sinnvollerweise wird deshalb in allen Räumen, die zum Betrieb erforderlich sind, die Beleuchtung auf die allgemeine Stromversorgung (AV) und die Stromversorgung für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgung (SV)) aufgeteilt.

Bei der Konzeption der Sicherheitsbeleuchtung sind auch die Forderungen aus dem Brandschutznachweis und der Baugenehmigung, ggf. spezielle Landes-Krankenhausbauverordnungen (KhBauVO) der jeweiligen Bundesländer und die Technischen Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.4/3 „Sicherheitsbeleuchtung, optische Sicherheitsleitsysteme“ zu beachten.

## 14.10.9 Schutz gegen elektromagnetische Störungen in Anlagen von Gebäuden

Über die in Kapitel 10 gemachten Aussagen hinaus sind Maßnahmen gegen Störungen durch *netzfrequente magnetische Felder* zu ergreifen, um am Patientenplatz folgende Richtwerte für die magnetische Flussdichte (Induktion) einzuhalten: $B = 0{,}2\ \mu T$ für EEG und $B = 0{,}4\ \mu T$ für EKG. Diese Grenzwerte werden i. Allg. nicht überschritten, wenn zwischen elektrischen Betriebsmitteln, die magnetische Störungen hervorrufen können, und den für die Untersuchung von Patienten vorgesehenen Plätzen folgende Mindestabstände in allen Richtungen eingehalten werden:

- > 6 m zu induktiven Betriebsmitteln großer Leistung (Transformatoren der Starkstromanlage, z. B. des IT-Systems, Motoren mit Nennleistungen > 3 kW, aber je nach Motorart und -ausführung auch kleinerer Leistung),
- zwischen mehradrigen Kabeln und Leitungen der Starkstromanlage und den zu schützenden Patientenplätzen in Abhängigkeit vom Leiterquerschnitt:

| Leiterquerschnitt $mm^2$ | Mindestabstand m |
|---|---|
| 10...70 | 3 |
| 95...185 | 6 |
| > 185 | 9 |

Bei einadrigen Kabeln und Leitungen sowie Stromschienensystemen können größere Abstände notwendig sein. Besteht die Notwendigkeit, die Einhaltung der Grenzwerte genau zu überprüfen, so wird empfohlen, Messungen durch Sachverständige oder Prüfinstitute durchführen zu lassen.

*Elektrische Felder* können durch Abschirmen des Starkstromleitungsnetzes im betreffenden Bereich auf unbedenkliche Werte reduziert werden.

## 14.10.10 Schutz gegen Auswirkungen elektrostatischer Aufladungen

TRBS 2153

Durch das Verwenden brennbarer Desinfektionsmittel und durch die Sauerstoffanreicherung kann z. B. im OP-Bereich die Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre nicht vollständig ausgeschlossen werden. Zusätzlich ist auch an Schreckreaktionen des OP-Personals oder die Beeinflussung medizinischer Geräte

bei Entladungen elektrostatischer Aufladungen zu denken. Um in gefährdeten Bereichen diese zu vermeiden, darf der *Ableitwiderstand des Fußbodens* nach Verlegen höchstens 10 MΩ und nach 4 Jahren höchstens 100 MΩ betragen. Die Messung wird nach VDE 0300-4-1 mit einer kreisförmigen Messsonde von 2,5 kg Masse (harte, unnachgiebige Oberfläche) oder 5,0 kg Masse (alle anderen Oberflächen) und 65 mm Durchmesser und einer Messspannung von DC 100 V vorgenommen. Die Kontaktfläche zwischen Sonde und Belag muss aus leitfähigem Gummi und trocken sein. Die elektrostatische Erdung von Menschen und Geräten muss über den Fußbodenbelag gewährleistet sein. Ortsfeste und bewegliche Einrichtungsgegenstände müssen in allen ihren Teilen untereinander und mit dem Fußboden leitend verbunden sein.

Tritte, Hocker, Narkosegeräte, Krankentragen müssen Rollen oder Fußkappen aus elektrostatisch leitfähigem Werkstoff haben. Es dürfen nur Baumwolldecken, Gummitücher, Gummimatratzen, Sitzflächen, Schläuche usw. aus elektrostatisch leitfähigen Werkstoffen verwendet werden. Die Oberflächen des OP-Tischs, der Krankentrage, die Sitzflächen von Hockern sowie die Fußbekleidung soll zwar leitfähig sein (< 100 MΩ), aber auch einen Mindestwiderstand von 50 kΩ haben (Messweise s. Abschn. 15.9). Das Schuhwerk sollte VDE 0300-4-3 „Elektrostatik-Standardprüfverfahren für spezielle Anwendungen; Schuhwerk" entsprechen.

## 14.10.11 Dokumentation

Dem Betreiber müssen Schaltpläne der elektrischen Anlage, Protokolle, Zeichnungen, Verdrahtungs- und Schaltpläne mit Änderungen sowie Bedienungs- und Wartungsanleitungen zur Verfügung gestellt werden. Im Wesentlichen sind dies Blockschaltbilder mit Darstellung der Verteilungssysteme und Informationen über die Anordnung der Unterverteiler im Gebäude und über Stromart, Nennspannung, Anzahl und Leistung der Transformatoren und Stromquellen für Sicherheitszwecke. An den Standorten der Haupt- und Unterverteiler sind Blockschaltbilder der Schalt- und Steuergeräte sowie Verteiler zu hinterlegen. Die Installationspläne müssen die Bezeichnung der Stromkreise, den Nennstrom bzw. die Einstellwerte der Überstromschutzeinrichtungen, die Leiterquerschnitte, Leiterwerkstoffe und Leitungslängen ausweisen.

Als weitere Dokumente müssen dem Betreiber vorgelegt werden:

- die schematische Darstellung der Steuerungen,
- die Liste der dauernd an die sichere Stromversorgung angeschlossenen Verbraucher mit Angabe der Betriebsströme und der Anlaufströme von motorgetriebenen Verbrauchern,

- ein Prüfbuch, das Aufzeichnungen über alle Prüfungen und Inspektionen enthält, die vor der Inbetriebnahme durchgeführt sein müssen,
- Anleitungen für den Betrieb, die Inspektion, die Prüfung sowie die Wartung der Akkumulatoren und der sicheren Stromversorgung,
- die rechnerische Überprüfung der Erfüllung der Anforderungen der Normen (z. B. des Schutzes durch automatisches Abschalten) mit dem Nachweis des selektiven Abschaltens sowie der Erhaltung der Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag und zu hohe Erwärmung, einschließlich der Einstellwerte der Schutzeinrichtungen. Insbesondere bei Generatoren und Wechselrichtern als Stromquellen ist ein Nachweis nur durch Berechnung möglich,
- die Berechnung der minimalen und maximalen Kurzschlussströme nach VDE 0102 für alle Verteilerstromkreise und für ausgewählte Endstromkreise der Stromkreise für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgung) und
- die Festlegung von speziellen Prüffristen.

## 14.10.12 Prüfungen

Zusätzlich zu den *Erstprüfungen* von elektrischen Anlagen (s. Kap. 15) müssen die nachfolgend aufgeführten Prüfungen vor der Inbetriebnahme und nach Änderungen oder Reparaturen vor der Wiederinbetriebnahme durchgeführt werden:

- Funktionstest der Isolationsüberwachungsgeräte des IT-Systems in medizinischen Bereichen und der akustischen und optischen Alarmsysteme,
- Prüfung des zusätzlichen Schutzpotenzialausgleichs (s. Abschn. 14.10.5),
- Prüfung der Anforderungen an die elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgung) einschl. der Funktion der Verbrauchsmittel von Sicherheitseinrichtungen,
- Messung des Ableitstroms der Ausgangswicklung und des Gehäuses der medizinischen IT-Netz-Transformatoren in unbelastetem Zustand,
- Prüfung der richtigen Auswahl der Betriebsmittel zur Einhaltung der Selektivität der elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgung) entsprechend den Planungsunterlagen der Berechnung,
- Prüfung der gleichmäßigen Belastung des Netzes,
- Prüfung des angewendeten Schutzes gegen elektrischen Schlag auf Übereinstimmung mit den Anforderungen für Bereiche der Gruppe 1 oder 2,
- lichttechnische Überprüfung nach DIN 5035-6.

Zusätzlich zu den *wiederkehrenden Prüfungen* von elektrischen Anlagen (s. Abschn. 15.14.1) sind wiederkehrend zu prüfen:

- Funktionstest der Umschalteinrichtungen: jährlich,
- Funktionstest des Isolationsüberwachungssystems: jährlich,
- Prüfung der Wirksamkeit des zusätzlichen Schutzpotenzialausgleichs: 3-jährlich,
- monatlicher Funktionstest:
  - sichere Versorgung mit Batterien (Dauer: 15 min),
  - sichere Versorgung mit Verbrennungsmaschinen: 60 min,
- jährlicher Test „Dauerbetrieb":
  - sichere Versorgung mit Batterien: Kapazitätstest,
  - sichere Versorgung mit Verbrennungsmaschinen: bis die Nennbetriebstemperatur erreicht ist.

  In allen Fällen sollen 80...100 % der Bemessungsleistungen der Sicherheitsstromquellen übernommen werden;
- Nachweis der Wirksamkeit des Schutzes gegen elektrischen Schlag durch Sichtprüfung der Einstellwerte der Schutzeinrichtungen und Messung: 3-jährlich,
- Nachweis des Auslösens der Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) bei Bemessungsfehlerstrom: jährlich,
- Funktionstest der Beleuchtung der Fluchtwege und Rettungszeichen sowie deren Steuerung: jährlich.

Falls ein Hersteller für seine Geräte kürzere Fristen vorgibt, sind diese zu beachten.

Darüber hinaus sind Anforderungen an Prüfungen vor Inbetriebnahme, nach Änderungen und wiederkehrend zu beachten, die sich aus baurechtlichen Anforderungen (individuell je Gebäude und je nach Bundesland), Verordnungen sowie Vorschriften, Regeln, Grundsätzen, Informationen der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) u. Ä. ergeben.

Hersteller und Errichter müssen in der Betriebsanleitung den Betreiber auf die notwendigen wiederkehrenden Nachweise hinweisen. Daten und Ergebnisse der Prüfungen müssen dokumentiert werden.

# 14.11 Öffentliche Einrichtungen und Arbeitsstätten

VDE 0100-560, -718, EltBauV

## 14.11.1 Allgemeine Anforderungen

Der Titel dieses Abschnitts 14.11 ist gegenüber den Titeln der Vorauflagen dieses Buchs geändert worden. Bisher lautete der Titel wie der Untertitel bzw. der Teiltitel der VDE-Bestimmung 0100-718:2005-10 und deren Vorgängerbestimmung VDE 0108 mit ihren Teilen *Bauliche Anlagen für Menschenansammlungen*. Der Untertitel des am 01.06.2014 in Kraft getretenen neuen Teils 718 lautet nun *Öffentliche Einrichtungen und Arbeitsstätten*. Der Titel dieses Buchabschnitts wurde wortgleich umbenannt, um den direkten Bezug zu der entsprechenden, für diesen Abschnitt wichtigen VDE-Bestimmung herzustellen. Eine Begründung für die Umbenennung wird in der VDE-Bestimmung nicht gegeben, weder im Abschnitt Änderungen noch im Vorwort oder in der Einleitung. Der Titel des neuen Teils 718 entspricht nun dem des (europäischen) Harmonisierungsdokuments (HD), das mit VDE 0100-718:2014-06 übernommen wurde, und der (internationalen) Norm IEC, beide mit derselben Klassifizierung 60364-7-718. Inhaltlich und sachlich hat sich bezogen auf den neuen Titel grundsätzlich nichts geändert, allerdings sind Anforderungen an Einrichtungen für Sicherheitszwecke nicht mehr enthalten, da diese Anforderungen in VDE 0100-560:2011-03 (Untertitel: *Einrichtungen für Sicherheitszwecke*) überführt wurden. Dass es sich nur um eine formelle Änderung des Titels handelt, erkennt man auch daran, dass die beispielhaften Aufzählungen in den VDE-Bestimmungen sowohl für den vorherigen Begriff *bauliche Anlagen für Menschenansammlungen* als auch für den aktuellen Begriff *öffentliche Einrichtungen und Arbeitsstätten* dieselben sind.

Öffentliche Einrichtungen und Arbeitsstätten im Sinne von VDE 0100-718 sind bauliche Anlagen oder Teile von baulichen Anlagen wie Hochhäuser, Verkaufsstätten, Versammlungsstätten und Versammlungsräume, Theater, Kinos, Ausstellungshallen, Gaststätten, Hotels, Gästehäuser, Beherbergungsstätten, Heime und sonstige Einrichtungen zur Unterbringung oder Pflege von Personen (Alten- und Pflegeheime), Schulen, Hochschulen und ähnliche Einrichtungen, Begegnungsstätten, Sportstätten, Schwimmhallen, Parkhäuser, Tiefgaragen, Flughäfen, Bahnhöfe, Arbeitsstätten und Fabriken. Dies sind Gebäude und Einrichtungen, die nach dem Baurecht gemäß Musterbauordnung (MBO) als sog. Sonderbauten gelten (*Sonderbauten* sind danach Anlagen und Räume besonderer Art oder Nutzung, die bestimmte Tatbestände nach MBO erfüllen). Zugänge sowie Flucht- und Rettungswege gehören zu den aufgezählten Beispielen. Krankenhäuser fallen in den Geltungsbereich von VDE 0100-710 (s. Abschn. 14.10). Die genannten baulichen Anlagen können Einrichtungen für Sicherheitszwecke besitzen wie Notbeleuchtung

(Sicherheitsbeleuchtung) (s. Abschn. 12.3), Feuerlöschanlagen und Druckerhöhungsanlagen zur Löschwasserversorgung, Feuerwehraufzüge, Personenaufzüge mit Brandfallsteuerung, Einrichtungen zur Alarmierung und zur Erteilung von Anweisungen (s. Abschn. 18.5), Brandmeldeanlagen (s. Abschn. 18.5), Einbruchmeldeanlagen, maschinelle Rauch- und Wärmeabzugsanlagen, Anlagen zur Rauch- und Wärmefreihaltung, – CO-, $CO_2$- und CH-Warnanlagen, Einrichtungen zum selbsttätigen Schließen von Rauch- und Feuerschutzabschlüssen.

Die am 01.10.2005 zurückgezogene Reihe VDE 0108 (Titel: Starkstromanlagen und Sicherheitsstromversorgung in baulichen Anlagen für Menschenansammlungen) mit ihren Teilen 1 bis 8 (Versammlungsstätten, Ausstellungshallen, Verkaufsstätten, Gaststätten, geschlossene Großgaragen, Hochhäuser, Arbeitsstätten) durfte noch bis zum 01.03.2007 angewendet werden und wurde durch die am 01.10.2005 in Kraft getretene VDE 0100-718 (Untertitel: Bauliche Anlagen für Menschenansammlungen) und durch die schon bestehende Norm VDE 0100-560 (Untertitel: Einrichtungen für Sicherheitszwecke, bisher: Elektrische Anlagen für Sicherheitszwecke) ersetzt. Wie oben bereits erwähnt, ist am 01.06.2014 die VDE-Bestimmung 0100-718 mit neuem Titel in Kraft getreten.

In baurechtlichen und arbeitsschutzrechtlichen Vorschriften und Genehmigungsbescheiden wird für diese baulichen Anlagen meist die Forderung nach der Errichtung einer Sicherheitsbeleuchtung und einer elektrischen Anlage für Sicherheitszwecke (bisher und auch jetzt noch nach Baurecht Sicherheitsstromversorgung genannt; s. Abschn. 12.2) erhoben. Beim Errichten der elektrischen Anlagen ist VDE 0100-718 zugrunde zu legen. Da die Rechtslage im Baurecht von Bundesland zu Bundesland unterschiedlich ist, wurde der Anwendungsbereich der VDE 0100-718 der bundeseinheitlichen Mustervorschrift (Musterbauordnung) angepasst. Dies soll dem Anwender der VDE 0100-718 im konkreten Einzelfall das Heranziehen der jeweiligen Vorschriften nach Möglichkeit ersparen. In Zweifelsfällen sollte bei der endgültigen Klärung der Frage, ob eine bestimmte bauliche Anlage in den Anwendungsbereich der VDE 0100-718 fällt, die jeweils zuständige Bauaufsichtsbehörde eingeschaltet werden.

Zu vorbeugender Brandschutz und Funktionserhalt der elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke (bisher und auch nach Baurecht genannt: Sicherheitsstromversorgung) bei äußerer Brandeinwirkung siehe Abschnitt 12.2.3 und Kapitel 13.

Zentrales Stromversorgungssysteme (Batterieanlagen) und Stromerzeugungsaggregate müssen in Gebäuden, die unter den Geltungsbereich der EltBauV (s. Abschn. 1.2.8) fallen (neben Waren- und Geschäftshäusern bzw. Verkaufsstätten, Versammlungsstätten, Beherbergungsstätten, Gaststätten und geschlossenen Großgaragen auch Büro- und Verwaltungsgebäude, Krankenhäuser, Altenpflegeheime, Entbindungs- und Säuglingsheime, Schulen und Sportstätten sowie Wohn-

gebäude), in eigenen elektrischen Betriebsräumen untergebracht werden und von Räumen mit erhöhter Brandgefahr feuerbeständig (Feuerwiderstandsklasse F 90), von anderen Räumen mindestens feuerhemmend (Feuerwiderstandsklasse F 30), getrennt sein. Dies gilt sinngemäß auch für Batterieschränke, auch für solche mit angebauter Schalttafel.

Für die allgemeine Stromversorgung sind neben VDE 0100 und VDE 0101 die folgenden Anforderungen aus VDE 0100-718 zu beachten:

*Transformatoren* und *Schaltanlagen* mit Nennspannungen > 1 kV sind innerhalb von Gebäuden öffentlicher Einrichtungen und Arbeitsstätten entsprechend der EltBauV in jeweils eigenen elektrischen Betriebsräumen unterzubringen und als abgeschlossene elektrische Betriebsstätten auszubilden. Die Transformatoren sind mit selbsttätig wirkenden Schutzeinrichtungen auszurüsten, die einen Schutz sowohl bei Überlast als auch bei inneren und äußeren Fehlern sicherstellen.

Für Anlagen bis 1 000 V gilt: Der *Hausanschlusskasten* muss von Räumen erhöhter Brandgefahr – das sind i. Allg. feuergefährdete Betriebsstätten, wie Lagerräume oder Schaufenster –, aber auch von Versammlungsräumen feuerbeständig, also z. B. durch Ziegelmauerwerk, Beton- oder Stahlbetonwände, getrennt sein. Für die Türen genügt feuerhemmende Ausführung.

Zu den Verteilern gehören Haupt- und Unterverteiler, Schaltanlagen, Schalttafeln, Schalt- und Ladegeräte, Stromkreisabgangsfelder in Zentralen Stromversorgungssystemen. Verteiler elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke müssen von anderen elektrischen Anlagen so getrennt sein, dass eine gegenseitige Gefährdung durch Lichtbögen vermieden wird. Zur Erfüllung dieser Forderung sind eigene Verteiler zu verwenden. Die früher zulässige Unterbringung in Verteilern der allgemeinen Stromversorgung mit einer sog. lichtbogensicheren Trennung durch ein Blech ist nicht mehr zulässig. Auch Unterverteiler oder Zwischenverteiler müssen als eigene Verteiler ausgeführt und baulich getrennt von der allgemeinen Stromversorgung sein.

Verteiler der elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke müssen dem Zugriff Unbefugter entzogen sein. Sie müssen eine allseitige Verkleidung aus Blech oder stoßfestem, flammwidrigem Isolierstoff haben.

In elektrischen Betriebsräumen mit Anlagen über 1 000 V (Hochspannungsanlagen) und Aufstellungsräumen von ortsfesten Stromerzeugungsaggregaten dürfen keine Verteiler und sonstige Einrichtungen der elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke – ausgenommen Sicherheitsleuchten und zugehörige Leitungen – untergebracht werden. Hauptverteiler der elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke sind in eigenen Räumen unterzubringen, die von anderen Räumen feuerbeständig getrennt sind (Feuerwiderstandsklasse F 90). Für Türen genügt feuerhemmende

Ausführung (Feuerwiderstandsklasse T 30). Die Räume sind als abgeschlossene elektrische Betriebsstätten auszubilden.

Der Hauptverteiler der elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke darf auch gemeinsam mit dem Hauptverteiler der allgemeinen Stromversorgung in einem Raum untergebracht sein, wenn dieser Raum ebenfalls feuerbeständig von anderen Räumen getrennt ist und nicht für andere Zwecke, auch nicht für andere Starkstromanlagen, benutzt wird. Die Hauptverteiler müssen dann gegeneinander lichtbogensicher getrennt sein.

Auch *Hauptverteiler* bedürfen einer solchen Trennung. Sie müssen leicht zugänglich und auch bei Feuer und Verqualmung möglichst ungefährdet erreichbar sein. Es ist ein Schaltplan auszuhängen, auf dem u. a. die Stromkreise mit Querschnitt und Sicherungen bezeichnet sowie Maßnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag aufgeführt sind. Die Lage der Unterverteiler und Bereichsschalter ist anzugeben. Die Verteiler sind übereinstimmend mit dem Schaltplan zu beschriften.

Verteiler, die außerhalb elektrischer Betriebsstätten untergebracht sind, müssen eine allseitige Verkleidung aus Blech oder stoßfestem, schwer entflammbarem Isolierstoff haben.

Für sämtliche Abgänge am Hauptverteiler sind *Last-* oder *Leistungsschalter* vorzusehen. Wenn durch deren Ausschalten Gefahren entstehen können, sind sie auffällig gelb zu kennzeichnen.

Bei jedem Stromkreis mit einem Leiterquerschnitt < 10 $mm^2$ muss eine Isolationsprüfung ohne Abklemmen der Neutralleiter von den einzelnen Klemmen, z. B. durch Trennklemmen (s. Bild 7.30), möglich sein.

Die Verteiler sind so auszuführen, dass eine einfache Messung des Isolationswiderstands aller Leiter gegen Erde jedes einzelnen abgehenden Stromkreises möglich ist.

Im TN-System muss vom letzten Verteiler ab das TN-S-System angewendet werden. Steckvorrichtungen für verschiedene Spannungen und Stromarten müssen unverwechselbar sein.

**Kabel- und Leitungsverlegung**

Als Leitungsmaterial sind die für die jeweiligen Betriebsstätten allgemein zulässigen Bauarten zu verwenden. In der Regel sind Kabel (NYY) und ummantelte Installationsleitung NYM (auch Mantelleitung, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) erforderlich. Innerhalb elektrischer Betriebsstätten sind auch blanke Leiter zulässig.

Bei Anlagen mit zentralem batteriebetriebenem Stromversorgungssystem (bisherige Bezeichnung: Zentral- oder Gruppenbatterie), bei denen das Schalt- und Ladegerät und die Batterie keine baulich Einheit bilden, dürfen die Kabel und Leitungen

zwischen Batterie und Schalt- bzw. Ladegerät nicht in Kanälen aus brennbaren Baustoffen und nicht in der Nähe brennbarer Materialien verlegt werden. Diese Kabel und Leitungen müssen erdschluss- und kurzschlusssicher verlegt werden (s. Abschn. 8.2.6). Die Verbindungsleitungen zwischen den Batteriezellen können blank ausgeführt sein.

Stromkreise von Sicherheitseinrichtungen sind in getrennten Kabeln und Leitungen und räumlich getrennt von anderen Leitungstrassen zu führen. Bei gemeinsamen Tragesystemen sind die Kabel und Leitungen der Sicherheitsbeleuchtung wenigstens auf einer eigenen Kabelpritsche oder -wanne zu verlegen. Für Endstromkreise der Sicherheitseinrichtungen gilt diese Forderung nach getrennter Leitungstrasse nicht.

Kabel und Leitungen der elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke müssen bei äußerer Brandeinwirkung für eine Dauer je nach Sicherheitseinrichtung von mindestens 30 min oder 90 min funktionsfähig bleiben („Funktionserhalt", s. dazu Abschn. 12.2.3). Ausgenommen sind davon Leitungsanlagen, die der Stromversorgung nur innerhalb eines Brandabschnitts bestimmter Grundfläche (s. Abschn. 12.2.3) in einem Geschoss oder nur innerhalb eines Treppenraums dienen.

*Zusammenfassen von Stromkreisen:* In einer mehradrigen Leitung oder in einem mehradrigen Kabel dürfen nur die Leitungen eines Stromkreises der Sicherheitsbeleuchtung einschl. zugehöriger Hilfsstromkreise zusammengefasst werden. Die Anforderung bezieht sich auf mehradrige Leitungen, damit sind sowohl Mehraderleitungen, z. B. NYM, als auch mehrere Einaderleitungen in Installationsrohren gemeint. Es ist also nicht zulässig, in einer Mehraderleitung oder in einem Rohr mehreren Stromkreisen zu führen, z. B. Endstromkreise der elektrischen Anlage für Sicherheitszwecke mit einem gemeinsamen Neutralleiter,

In *Hohlräumen*, die ganz oder zum Teil von brennbaren Stoffen umgeben sind, dürfen nur Kabel und Leitungen mit nicht leitfähigen flammwidrigen Umhüllungen oder Mänteln, z. B. NYY oder NYM, verlegt werden. PVC-Aderleitungen H07V-U müssen in flammwidrigen Kunststoffrohren, z. B. ACF-Installationsrohren (s. Abschn. 8.2.10), verlegt werden.

Leitungen, bei denen durch Überstromschutzeinrichtungen ein hinreichender Schutz nicht zu erreichen ist, wie Leitungen zwischen Gleichrichter und Bogenlampen oder Xenon-Hochdrucklampen, sind entweder von brennbaren Stoffen getrennt so anzubringen, dass sie bei Lichtbogenschluss für die Umgebung gefahrlos ausbrennen können, oder sie sind als einadrige Leitungen voneinander und von leitfähigen Teilen getrennt zu verlegen. Diese Forderung gilt für nicht fest verlegte Leitungen als erfüllt, wenn einadrige Leitungen mindestens der Leitungsart H07RN-F (flexible Schlauchleitungen für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung) verwendet werden.

Die *Leuchten* der Allgemeinbeleuchtung in Rettungswegen und in Räumen, in denen Sicherheitsbeleuchtung erforderlich ist, sollten abwechselnd auf zwei getrennt gesicherte Stromkreise verteilt werden. Wenn Sicherheitsbeleuchtung in Bereitschaftsbetrieb vorgesehen ist, ist dies zwingend vorgeschrieben. Neu ist, dass die Verfügbarkeit einer ausreichenden Beleuchtung im Rahmen einer Risikobeurteilung der Räumlichkeiten festgelegt werden muss. Dabei müssen äußere Einflüssen nach VDE 0100-510 Anhang A bzw. ZA berücksichtigt werden. Nach VDE 0100-718 bestehen je nach Risiko folgende Möglichkeiten:

- *Örtlichkeiten mit geringem Risiko* (geringe Personendichte/einfache Evakuierung): ein Endstromkreis der allgemeinen Beleuchtung,
- *übrige Örtlichkeiten* (geringe Personendichte/schwierige Evakuierung, hohe Personendichte/einfache Evakuierung und hohe Personendichte/schwierige Evakuierung nach VDE 0100-510:2011-03, Anhang A und Anhang ZA): mindestens zwei Endstromkreise der allgemeinen Beleuchtung; dabei werden die Leuchten so versorgt, dass ein Fehler eines Stromkreises nicht zu einer unzureichenden Beleuchtung eines Bereichs führt. Werden Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) eingesetzt, darf eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) nicht mehr als einen Endstromkreis versorgen.

Stromkreise der Notbeleuchtung (Sicherheitsbeleuchtung) dürfen zu jeder der Möglichkeiten (Örtlichkeiten mit geringem Risiko und übrige Örtlichkeiten) hinzugefügt werden.

Ist die *Allgemeinbeleuchtung* eines öffentlich zugänglichen Bereichs mit einer Dimmeinrichtung ausgestattet, muss von einer geeigneten Stelle aus die volle Beleuchtungsstärke wieder hergestellt werden können.

In Bereichen, in denen z. B. Veranstaltungen durchgeführt werden, sind Schaltstellen für die Beleuchtung gegen den Zugriff Unbefugter zu sichern.

*Motoren*, die selbsttätig geschaltet oder nicht ständig beaufsichtigt werden, sind durch Motorschutzschalter oder gleichwertige Einrichtungen zu schützen. Nach Ansprechen der Schutzeinrichtungen muss ein selbsttätiges Wiedereinschalten der Motoren verhindert werden. Diese Anforderung gilt nicht für Motoren < 500 W, die in Arbeitsstätten betrieben werden, und für Motoren, die beim Blockieren keine Temperaturen gefährlicher Höhe erreichen, die zu einem Brand oder sonstigem Schaden führen können.

Zur Versorgung der baurechtlich notwendigen Sicherheitseinrichtungen dient die *elektrische Anlage für Sicherheitszwecke (Sicherheitsstromversorgung)*. Dazu ist ab dem Hauptverteiler ein eigenes, getrennt von der allgemeinen Stromversorgung zu führendes Verteilungsnetz erforderlich. Bei Ausfall der allgemeinen Stromver-

sorgung müssen die Sicherheitseinrichtungen durch Stromquellen für Sicherheitszwecke selbsttätig versorgt werden (s. dazu Kap. 12).

Elektrische Anlagen, die nicht benötigte Betriebsmittel in *ungenutzten Bereichen* der Gebäude versorgen (z. B. Pausenräume, Kantinen, Umkleideräume, Verkaufsräume, Ausstellungsräume), müssen mit geeigneten Schalteinrichtungen ausgeschaltet werden können.

## 14.11.2 Versammlungsstätten

Zu den Versammlungsstätten gehören z. B. Kinos und Theater mit einem Fassungsvermögen von mehr als 100 Personen, Hörsäle, Aulen, Mehrzweckhallen mit einem Fassungsvermögen von mehr als 200 Personen. Nicht überdachte Szenenflächen gelten ab 1 000 Besucher, nicht überdachte Sportstätten ab 5 000 Besucher als Versammlungsstätten. Hinsichtlich spezieller Anforderungen an die Kabel- und Leitungsverlegung im Bühnenbereich wird auf VDE 0100-718 verwiesen. Für sonstige Versammlungsstätten gilt neben den allgemeinen Anforderungen (s. Abschn. 14.11.1) Folgendes:

In den Versammlungsräumen müssen Beleuchtung und sonstige elektrische Verbrauchsmittel von einer zentralen, dem Zugriff von Besuchern entzogenen Stelle aus geschaltet werden können. Die allgemeine Beleuchtung des Raums ist dabei auf mindestens 2 Stromkreise aufzuteilen. Wird der Raum betriebsmäßig verdunkelt, z. B. in Kinos, so muss ein Teil der allgemeinen Beleuchtung als *Sonderbeleuchtung* ausgeführt werden. Diese soll bei Panikgefahr oder Betriebsstörungen durch das Aufsichtspersonal oder durch Besucher leicht und schnell eingeschaltet werden können. Deshalb müssen die Schaltstellen beleuchtet und in der Nähe von mindestens einem Ausgang des Raums angeordnet sein. Ein unbeabsichtigtes Betätigen des Schalters muss verhindert sein. Die Beleuchtungsstärke der Sonderbeleuchtung muss im Mittel mindestens 1 lx betragen. Sie ersetzt nicht die *Sicherheitsbeleuchtung*. Eine solche ist in allen Versammlungsstätten erforderlich (s. Abschn. 12.2).

Für Versammlungsstätten mit *nicht überdachten Spielflächen* gilt zudem:

An Masten oder Mastkonstruktionen hochgeführte Leitungen müssen in ihrem ganzen Verlauf einen zusätzlichen mechanischen Schutz haben; dafür eignet sich z. B. verzinktes Stahlrohr. Innerhalb von Stahlkonstruktionen liegende Leitungen gelten als geschützt. Bei freier Aufhängung müssen sie mit einem Tragseil (z. B. PVC-Installationsleitung mit Tragseil NYMT) versehen sein.

Als bewegliche Leitungen sind flexible Schlauchleitungen für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung H07RN-F oder Leitungen gleichwertiger Bauart zu verwenden. Außerhalb des

Handbereichs dürfen auch Schlauchleitungen für Lichterketten mit vernetzter Elastomer-Isolierung H05RNH2-F (frühere Bezeichnung: gummiisolierte Illuminationsleitung; nicht mehr genormte Leitung: Illuminations-Flachleitung NIFLÖU für Lichterketten) verwendet werden. Die Abstände der Aufhängepunkte dürfen höchstens 5 m betragen. Zwischen den Aufhängepunkten dürfen sich höchstens 15 Fassungen befinden. Blanke Leitungen, mit Ausnahme von Freileitungen nach VDE 0211, dürfen nicht über Spielflächen, Verkehrswege und Platzflächen für Besucher geführt werden, ein seitlicher Abstand von 5 m ist einzuhalten.

*Leuchten* in Lager- und Umkleideräumen müssen durch Schutzgitter geschützt werden, wenn mit einer Beschädigung zu rechnen ist. Es dürfen nur fest angebrachte und fest angeschlossene Leuchten montiert werden, die im Handbereich mit Schutzgläsern ausgerüstet sein müssen.

Elektrische Betriebsmittel, die im Freien verwendet werden, müssen mindestens „regengeschützt" (IP23) gekapselt sein.

Werden in Versammlungsstätten vorübergehende Einbauten für *Messen, Ausstellungen* usw. vorgenommen, so muss jeder Ausstellungsstand durch einen Hauptschalter vom Netz freigeschaltet werden können. Bei Bemessungsströmen ≤ 16 A genügt dafür eine Steckvorrichtung. Für festes Verlegen von beweglichen Leitungen müssen mindestens flexible Schlauchleitungen für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung (frühere Bezeichnung: flexible Gummileitungen) H07RN-F verwendet werden. Der Bemessungsstrom der Überstromschutzeinrichtung für die allgemeine Beleuchtung darf in Stromkreisen mit Fassungen E 40 nicht größer als 16 A sein. Lampen von Bühnenleuchten müssen mit einem Schutz gegen Bruch durch mechanische Beanspruchung versehen sein, z. B. Schutzkorb. Dies gilt nicht für Leuchten, die Teil des szenischen Geschehens sind. Fassungen in Lichtleisten und Lichterketten sowie in offenen Leuchten müssen aus Isolierstoff bestehen. Auf mögliche Brandgefahr durch nicht fachgerechtes Anbringen von Strahlerleuchten ist zu achten. Hierzu sind unbedingt die Angaben des Leuchtenherstellers zu beachten.

Als Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) ist Schutz durch automatisches Abschalten mit Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA zu empfehlen (s. Abschn. 5.6).

## 14.11.3 Geschäftshäuser, Verkaufsstätten

VDE 0100-718 gilt für Verkaufsstätten (auch Geschäftshäuser genannt). Nach der Musterbauordnung (MBO) ist eine Verkaufsstätte, deren Verkaufsräume und Ladenstraßen eine Grundfläche von > 800 $m^2$ haben, ein Sonderbau. Die Muster-Verkaufsstättenverordnung (MVKVO) gilt jedoch für jede Verkaufsstätte, deren

Verkaufsräume und Ladenstraßen einschließlich ihrer Bauteile eine Fläche von insgesamt > 2 000 $m^2$ hat. In der VDE-Bestimmung 0100-718 ist keine Fläche angegeben. Die VDE-Bestimmung gilt also für jede Verkaufsstätte, unabhängig von der Fläche. Bei einer Fläche unter 2 000 $m^2$ oder unter 800 $m^2$ muss ggf. im privatrechtlichen Vertragsverhältnis zwischen Bauherrn und Errichter vereinbart werden, ob die VDE-Bestimmung 0100-718 herangezogen werden soll. Einkaufscenter mit kleineren Läden fallen darunter, wenn die Summe ihrer Verkaufsflächen 2 000 $m^2$ überschreitet und die Läden über gemeinsame Rettungswege verfügen. Nach den allgemeinen Anforderungen (s. Abschn. 14.11.1) sind für elektrische Anlagen, die in ungenutzten Bereichen nicht benötigte Betriebsmitteln versorgen (z. B. Pausenräume, Kantinen, Umkleideräume, Verkaufsräume, Ausstellungsräume), geeignete Schalteinrichtungen vorzusehen, mit der die jeweilige elektrische Anlage ausgeschaltet werden kann. Dies gilt natürlich auch für Verkaufsstätten. Früher wurde solch ein Schaltgerät unter der Bezeichnung *Bereichsschalter* nach der nicht mehr geltenden Reihe VDE 0108 verlangt. Ausgenommen von dieser Forderung waren die Stromkreise für die Kühlanlagen, die Nachtbeleuchtung und die Sicherheitsbeleuchtung. Diese Ausnahme ist durch die jetzige Forderung eines Schaltgeräts nur für „ungenutzte" Bereiche erfüllt. Die Bereichsschalter mussten dem Zugriff Unbefugter zu entzogen sein, was selbstverständlich ist und auch für das jetzt geforderte Schaltgerät gilt. Die Kenntlichmachung der Einschaltstellung durch eine weiß leuchtende Signallampe wird jetzt nicht mehr gefordert.

Als fest verlegte Kabel und Leitungen sind insbesondere NYY und NYM (flammwidrige Kunststoffumhüllung) zu verlegen. Stegleitungen sind nicht zulässig. Als bewegliche Leitungen sind mindestens Schlauchleitungen für mittlere Beanspruchung mit Isolierhülle und Mantel aus EPR H05RR-F oder Schlauchleitungen mit thermoplastischer PVC-Isolierung für mittlere Beanspruchung H05VV-F zu verwenden. Ortsfest angebrachte Wärmegeräte, die eine wärmebeständige Anschlussleitung erfordern, z. B. Silikonisolierung, müssen eine höchstens 1 m lange, mechanisch geschützte Zuleitung erhalten.

Maschinen, ausgenommen Elektrowerkzeuge, müssen in Verkaufsräumen, Schaufenstern, Schneidereien, Tischlereien, Dekorationsarbeitsräumen und Lagerräumen mindestens in Schutzart IP4X ausgeführt sein.

Die elektrische Anlage der Schaufenster muss durch einen jederzeit leicht erreichbaren Schalter ausgeschaltet werden können. Ortsveränderliche Steckvorrichtungen sind in Schaufenstern unzulässig. Strahlerleuchten sind so anzuordnen, dass Brandgefahren durch zu nahe liegende, leicht brennbare Stoffe ausgeschlossen sind. Hierzu sind unbedingt die Angaben des Leuchtenherstellers zu beachten.

Schalter und Steckdosen sind besonders gegen mechanische Beschädigung zu schützen, z. B. Unterputzschalter, Einbau in Nischen.

*Vorführstände* für elektrische Betriebsmittel sollten isolierenden Fußboden haben. Die Zuleitungen zu den Vorführständen müssen durch einen allpoligen Schalter mit gekennzeichneter Schaltstellung abschaltbar sein. Größere Vorführstände dürfen in mehrere getrennt ausschaltbare Einzelfelder unterteilt werden. Behelfs-Installationen sind unzulässig. An einen Stecker darf nur eine Leitung angeschlossen werden. Bewegliche Leitungen sind so zu führen, dass Personen darüber nicht zu Fall kommen können.

Elektrische Heizungsanlagen müssen unverrückbar befestigt sein und fest verlegte Leitungen haben. Elektrische Wärmestrahlgeräte sind unzulässig. Heizkörper, die eine Oberflächentemperatur > 110 °C erreichen können, müssen Schutzvorrichtungen aus nicht brennbaren Baustoffen haben, die unverrückbar befestigt und so ausgebildet sein müssen, dass auf ihnen Gegenstände nicht abgelegt werden können.

Für die Verkaufsräume und die zugehörigen Rettungswege ist eine *Sicherheitsbeleuchtung* vorzusehen (s. Abschn. 12.3).

Für Geschäftshäuser mit einer Verkaufsfläche < 2 000 $m^2$ gelten keine besonderen Anforderungen, sofern nicht die Aufsichtsbehörde, z. B. aufgrund der langen dunklen Rettungswege, eine Sicherheitsbeleuchtung oder andere Sicherheitseinrichtungen fordert. In einem kleineren Geschäftshaus brauchen somit nur die allgemeinen Anforderungen von VDE 0100 beachtet zu werden.

## 14.12 Räume elektrischer Anlagen

### 14.12.1 Elektrische Betriebsstätten

VDE 0100-731, VDE 0105-100

Als *Betriebsstätte* schlechthin bezeichnet man Räume und Stätten der allgemeinen Fertigung und Lagerhaltung, also i. Allg. „Werkstätten". *Elektrische Betriebsstätten* dagegen dienen im Wesentlichen zum Betrieb elektrischer Anlagen und werden in der Regel nur von Elektrofachkräften oder unterwiesenen Personen betreten. Hierzu gehören Maschinenräume von Kraftwerken, Schaltwarten, Akkumulatorenräume mit Batterien bis 230 V Nennspannung, Laboratorien, abgetrennte elektrische Prüffelder, Justierräume, Verteileranlagen in abgetrennten Räumen, galvanische Betriebsstätten. Sie können Teile eines anderen Raums, z. B. einer Fabrikhalle, sein, wenn der Zutritt zu ihnen durch Türen, Schranken, Gitter oder auch Seile beschränkt ist. Bei Türen genügt ein einfaches Schnappschloss, ein Drehknopf oder auch nur eine Klinke.

Bei elektrischen Prüffeldern und Prüfplätzen sind die „Sicherheitsregeln" der Berufsgenossenschaft „Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse" (BG ETEM) zu

beachten (s. auch Abschn. 5.10.1 u. 14.14). Insbesondere sind zu berücksichtigen die DGUV Information 203-034 (bisher: BGI 891) „Errichten und Betreiben von elektrischen Prüfanlagen" und VDE 0105-100, Abschnitt 6.2, Arbeiten im spannungsfreien Zustand (die „fünf Sicherheitsregeln").

Eine elektrische Betriebsstätte muss nicht ausschließlich elektrische Betriebsmittel enthalten; es kann dort z. B. auch eine Turbine, eine Aufzugswinde, eine Pumpe oder ein Ventilator stehen. Jedoch sollte sie nur unterwiesenem Personal zugänglich sein. Sie darf also nicht etwa gleichzeitig ein Lager für irgendwelche Stoffe sein (s. auch „Verordnung über den Bau von Betriebsräumen für elektrische Anlagen", EltBauV, Abschn. 1.2.9).

Abgrenzungen müssen mindestens 1,8 m hoch sein. Gitter dürfen eine Maschenweite von höchstens 40 mm haben.

An den Zugängen sind *Warnzeichen* D-W008 nach DIN 4844-2 bzw. W012 nach DIN EN ISO 7010 bzw. W012 nach ASR A1.3 „Warnung vor elektrischer Spannung" (gelbes, schwarz umrandetes Dreieck mit schwarzem Blitzpfeil) und ggf. Zusatzzeichen ZS 2 nach Reihe DIN 4844 „Hochspannung Lebensgefahr" (gelbes, schwarz umrandetes liegendes Rechteck mit schwarzem Schriftbild) anzubringen. An leicht entfernbaren Abgrenzungen sind sie in ausreichender Anzahl zu wiederholen.

*Ausgänge* sind so anzuordnen, dass der Rettungsweg innerhalb des Raums nicht mehr als 40 m beträgt. Fenster müssen gegen Einstieg gesichert sein. Sie sind also zu vergittern, oder die Unterkante des Fensters muss mindestens 1,8 m über der Zugangsebene liegen. Für Anordnung und Abmessung der Gänge gilt VDE 0100-729 (s. Abschn. 7.1.3). Steckdosen, Leuchten und andere Einrichtungen sind so anzubringen, dass bei Tätigkeiten an diesen ein Berühren aktiver Teile der Anlage vermieden wird.

*Der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) und der Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren)* ist erst bei Nennspannungen > AC 50 V oder > DC 120 V anzuwenden (VDE 0100-410). Ist aus technischen Gründen der Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) für Betriebsmittel nicht anwendbar, so sind diese besonders zu kennzeichnen. Bei Betriebsmitteln, die nur im spannungsfreien Zustand der Anlage zugänglich sind, darf der Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) entfallen. Der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) durch Isolierung, Abdeckung oder Umhüllung aktiver Teile ist entbehrlich; der Schutz durch Hindernisse oder Abstände reicht aus. Hindernisse sind zuverlässig zu befestigen. Sie müssen gegen Verformung ausreichend widerstandsfähig sein. Hindernisse aus nicht leitfähigen Werkstoffen dürfen ohne Schlüssel oder Werkzeug entfernbar sein.

Schutzleisten, Geländer, Ketten, Seile sind in 1,1...1,3 m Höhe über der Zugangsebene anzubringen. Der Abstand zwischen Hindernissen und aktiven Teilen muss mindestens 0,2 m betragen.

Wird der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) durch Abstand realisiert, so dürfen sich im Handbereich keine gleichzeitig berührbaren Teile gefährlichen unterschiedlichen Potenzials befinden (s. auch VDE 0140-1).

Aktuelle *Schaltpläne* und Unterlagen für die elektrischen Anlagen müssen verfügbar sein. In Schaltanlagen über 1 000 V (Hochspannungsanlagen) müssen entsprechende Übersichtsschaltpläne vorhanden sein – also nicht nur verfügbar. Als Schaltpläne und Unterlagen gelten auch Übersichtsschaltpläne nach VDE 0040-1 (DIN EN 61082-1) in vereinfachter einpoliger Darstellung der Schaltung ohne Hilfsleitungen, Blind- und Steckschaltbilder. In den Betriebsstätten ist die Zuordnung der Anlagenteile nach den Schaltplänen zu kennzeichnen. Arbeits- und Anlagenverantwortlichen sowie Personen, die unter eigener Verantwortung arbeiten, ist die VDE 0105-100 zugänglich zu machen. Für das Vorgehen bei Bränden ist an geeigneter Stelle die Leitlinie VDE 0132 (erweiterter Titel: „Brandbekämpfung und Hilfeleistung im Bereich elektrischer Anlagen") auszulegen.

## 14.12.2 Abgeschlossene elektrische Betriebsstätten

VDE 0100-731, VDE 0105-100

Abgeschlossene elektrische Betriebsstätten sind Räume, die ausschließlich zum Betrieb elektrischer Anlagen dienen. Der Verschluss darf nur von beauftragten Personen geöffnet werden, und der Zutritt ist nur Fachleuten oder unterwiesenen Personen gestattet. Der Verschluss muss vorhanden sein und darf nicht etwa durch eine Kette, Schranke oder durch ein Eintrittsverbot ersetzt werden. Es müssen also von außen mit Bart- oder Sicherheitsschlüssel (nicht Steckschlüssel) abschließbare Türen oder besondere Zugänge, z. B. Zementdeckel mit darunter liegender verschließbarer Abdeckung für Unterflurstationen, bestehen. Schlüssel dazu dürfen nur an wenige Personen ausgegeben werden, die sie selbst verwahren. Reserveschlüssel sind unter Verschluss oder unter Aufsicht (Schaltwart, Pförtner) aufzubewahren.

Abgeschlossene elektrische Betriebsstätten sind z. B. Transformatorzellen, abgeschlossene Schalt- und Verteileranlagen, Maststationen, Akkumulatorenräume mit Batterien über 120 V Nennspannung. Verschließbare Verteileranlagen u. Ä., die nicht zum Betreten des abgeschlossenen Raums eingerichtet sind, fallen zwar nach VDE 0100-200 unter den Begriff abgeschlossene elektrische Betriebsstätte, gelten jedoch nicht als abgeschlossene elektrische Betriebsstätten nach VDE 0100-731.

Enthält eine abgeschlossene elektrische Betriebsstätte außer Niederspannungs- auch Hochspannungsanlagen gelten vorrangig die Anforderungen nach VDE 0101-1 („Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV"). Für „fabrikfertige Stationen" ist zusätzlich DIN EN 62271-202 (VDE 0671-202) zu beachten.

Im Übrigen gilt Abschnitt 14.12.1, ausgenommen: Fenster müssen gegen Einstieg nicht gesichert sein, wenn die Betriebsstätte sich in einem umschlossenen Betriebsbereich oder gesichertem Gelände befindet.

Vom Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) darf abgesehen werden, wenn er nach den örtlichen Verhältnissen entbehrlich oder der Bedienung und Beaufsichtigung hinderlich ist. Hier gilt dann ggf. Basisschutz unter besonderen Bedingungen (Schutz durch Hindernisse und Anordnung außerhalb des Handbereichs; frühere Bezeichnung: Schutz durch Abstand) (s. Abschn. 5.3.2).

Mit Inkrafttreten der neuen Ausgabe von VDE 0100-731:2014-10 sind gegenüber der alten Ausgabe von Febr. 1986 verschiedene Anforderungen zusätzlich aufgenommen worden. Diese betreffen vor allem die gemeinsame Installation von Hochspannungs- und Niederspannungsanlagen, den Schutz bei Lichtbögen und die Dokumentation.

Enthält eine abgeschlossene elektrische Betriebsstätte außer Niederspannungs- auch Hochspannungsanlagen, gelten vorrangig die Anforderungen nach VDE 0101-1 („Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV"). Für *fabrikfertige Stationen* (Hochspannungs-/Niederspannungsstationen) ist zusätzlich VDE 0671-202 zu beachten. Hierbei geht es um begehbare, über Kabel angeschlossene Stationen bis 52 kV Bemessungsspannung.

Personen dürfen durch *Störlichtbögen* nicht gefährdet werden. Das gilt auch für indirekt auftretende Folgen von Störlichtbögen. So dürfen Abdeckplatten von Kabelböden durch Druckbeanspruchung infolge von Störlichtbögen nicht zu einer Gefährdung führen (z. B. Versperren des Fluchtwegs, Verletzung durch fliegende Teile). Dies gilt auch für den Fall, dass aus Niederspannungsanlagen und -verteilern der Druck von Störlichtbögen in den Kabelzwischenboden abgeleitet wird. Daher ist das Verwenden von Gitterrosten als Abdeckung nicht zulässig.

In abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten müssen alle elektrischen Betriebsmittel einschließlich Hilfseinrichtungen, wie Servicesteckdosen, Telefonanlagen, Beleuchtungsanlagen, Schalter für Beleuchtung, mittels *Anordnungsplänen* nach VDE 0040-1 identifizierbar sein. Alle Anlagenteile müssen mit einem Gerätekennzeichen nach der Reihe DIN EN 81346 versehen sein und mit den Angaben in den Anordnungsplänen übereinstimmen. In übersichtlichen elektrischen Betriebsstätten darf auf einen Anordnungsplan verzichtet werden.

## 14.12.3 Batterieräume und Ladestationen für Akkumulatoren

VDE 0510-1 u. -2, EltBauV

Batterieräume, in denen die aktiven Teile nicht vollständig isoliert abgedeckt oder umhüllt sind, gelten als elektrische Betriebsstätten; wenn die Nennspannung der Batterien mehr als 120 V beträgt, gelten sie als abgeschlossene elektrische Betriebsstätten. Während aller Phasen der Ladung (Aufladung, Erhaltungsladung, Überladung) treten aufgrund der Elektrolyse von Wasser Gase aus allen Zellen und Batterien aus. Die Gase bestehen aus Wasserstoff und Sauerstoff ($H_2$ + O). Es kann zu der bekannten Knallgasbildung kommen ($H_2$-Konzentration > 4 % Volumenanteil $H_2$ in Luft). In einem sog. Nahbereich von Batterien ist die Verdünnung der brennbaren Gase nicht immer sichergestellt, sodass es zu einer explosionsfähigen Atmosphäre kommen kann. Deshalb ist ein ausreichender Sicherheitsabstand *d* von den Batteriezellen einzuhalten. Innerhalb des durch den Sicherheitsabstand gegebenen Bereichs dürfen sich keine betriebsmäßig Funken erzeugenden Betriebsmittel (z. B. Schalter, Steckdosen, Leuchten) und keine Betriebsmittel befinden, deren Oberflächentemperatur 300 °C überschreitet. Ansonsten müssen die elektrischen Betriebsmittel explosionsgeschützt ausgeführt sein (s. Abschnitt 14.9). Bis zum Inkrafttreten von VDE 0510-2:2001-12 war ein Abstand von mindestens 0,5 m einzuhalten. Da die Ausbreitung des brennbaren Gases von der freigesetzten Gasmenge und von der Lüftung in der Nähe der Gasungsquelle abhängt, ist der Sicherheitsabstand genauer zu bestimmen. Dazu ist in VDE 0510-2:2001-12, Abschnitt 8.7, ein Berechnungsverfahren angegeben, womit der Sicherheitsabstand (in mm) in Abhängigkeit von der Höhe des Ladestroms (in mA/Ah) und der Nennkapazität der Batterie (in Ah) mit einer empirischen Formel berechnet werden kann. Je nach Art der Gasungsquelle muss die Anzahl der Zellen pro Blockbatterie oder die Anzahl der Öffnungen je Zelle durch einen Faktor berücksichtigt werden. Der Sicherheitsabstand kann auch aus einem Diagramm abgelesen werden, das in der bereits angegebenen VDE-Bestimmung 0510-2:2001-12, Anhang B, Bild B.1, dargestellt ist. Darin wird der Sicherheitsabstand *d* als Funktion der Nennkapazität der Batterie bei verschiedenen Ladeströmen wiedergegeben.

### Belüftung

Räume für Batterien sind so zu belüften, dass das beim Laden und Entladen entstehende Gasgemisch mit Sicherheit seine Explosionsfähigkeit verliert. Die größte Gasentwicklung tritt beim Laden über die Gasungsspannung hinaus auf. Mit den üblichen Ladeeinrichtungen, deren Ladeschlussstrom so begrenzt ist, dass die Gasungsspannung der Batterie nicht überschritten wird, lässt sich die Gasentwicklung in Grenzen halten. Trotzdem ist grundsätzlich eine Belüftung erforderlich, es sei denn, es kommen gasdichte Akkumulatoren zum Einsatz.

*Batterieräume* sollten so gebaut werden, dass eine ausreichende *natürliche Belüftung* gegeben ist. Ist dies aus baulichen Gründen nicht möglich, so muss der Batterieraum *technisch belüftet* werden. Grundsätzlich ist die Belüftung nach VDE 0510-2 (aktueller Stand: 2001-12) zu dimensionieren. Der Luftbedarf $Q$ (abzusaugende Luftmenge) wird nach folgender Formel berechnet:

$$Q = v \cdot q \cdot s \cdot n \cdot I_{gas} \cdot C_N \cdot 10^{-3} \quad \text{in m}^3\text{/h mit}$$

Q Luftvolumenstrom in $m^3/h$,

$v$ erforderlicher Verdünnungsfaktor von Wasserstoff,

$q$ Faktor freigesetzten Wasserstoffs in $m^3/Ah$,

s allgemeiner Sicherheitsfaktor,

$n$ Anzahl der Zellen,

$I_{gas}$ Strom, der die Gasentwicklung verursacht, in mA pro Ah Nennkapazität,

$C_N$ Kapazität je nach Batterieart, z. B. von Bleibatterien, NiCd-Zellen.

Mit

$$v \cdot q \cdot s = 0{,}05\ \text{m}^3/\text{Ah}$$

ergibt sich die Formel in vereinfachter Form als Zahlenwertgleichung:

$$Q = 0{,}05 \cdot n \cdot I_{gas} \cdot C_N \cdot 10^{-3} \quad \text{in m}^3\text{/h.}$$

Die Formel ist damit gegenüber der vereinfachten, nicht mehr anzuwendenden Formel $Q = 0{,}05 \cdot n \cdot I$ (mit $I$ = maximal möglicher Strom, wenn die Batterie nahezu wieder aufgeladen und die Gasungsspannung erreicht bzw. überschritten ist) aus VDE 0510-2:1986-07 detaillierter geworden, wodurch der Luftvolumenstrom gegenüber früher genauer ermittelt werden kann. Einzelheiten zur Anwendung der detaillierten Formel, Erläuterung der einzelnen Formelgrößen bzw. Ermittlung des Luftvolumenstroms können VDE 0510-2:2001-12, Abschnitt 8.2, entnommen werden.

Die technische Belüftung muss vor Beginn des Ladens durch eine besondere Einrichtung eingeschaltet werden. Sie sollte erst einige Zeit nach beendeter Ladung abgeschaltet werden, abhängig von der Auslegung der Lüftungsanlage und den örtlichen Verhältnissen. Bei Erhaltungsladen braucht die technische Belüftung nicht ständig in Betrieb zu sein. Das Ladegerät muss mit dem Lüftungssystem gekoppelt sein, um je nach Ladebetrieb den erforderlichen Luftvolumenstrom für den momentanen Betriebszustand sicherzustellen. Bei einer Funktionsstörung muss ein Alarm ausgelöst werden.

Durch die Belüftung muss sichergestellt sein, dass die Frischluft über die Zellen streicht. Deshalb sollte die Zuluft möglichst in Bodennähe eintreten und möglichst hoch auf der gegenüberliegenden Seite entweichen. Wenn sich die Öffnungen in derselben Wand befinden, ist ein Trennabstand von ≥ 2 m einzuhalten. Es ist darauf zu achten, dass die Luft, die aus dem Batterieraum heraus gefördert wird, in die Umgebungsluft außerhalb des Gebäudes entlüftet werden muss.

Der Batterieraum selbst benötigt eine natürliche oder technische Belüftung, wenn nicht durch häufiges Begehen ein regelmäßiger Luftaustausch sichergestellt ist. Es ist anzustreben, die Größe des Luftvolumenstroms vorzugsweise durch natürliche Lüftung sicherzustellen.

Die *natürliche Lüftung* ist ausreichend, wenn die Zu- und Abluftöffnungen folgenden Mindestquerschnitt haben:

$$A \geq 28\,Q;$$

$A$ Fläche der Zuluft- und Abluftöffnung in $cm^2$,

$Q$ nach oben beschriebenem Verfahren berechneter Volumenstrom der Frischluft in $m^3/h$.

Lüftungsöffnungen und Abzugsrohre dürfen nicht in Schornsteine oder Feuerungen münden.

Für *Batterieladestationen* und *-laderäume* gelten die gleichen Anforderungen, wenn die Leerlaufspannung der Ladeeinrichtung 50 V und die Bemessungsleistung der gesamten Ladeeinrichtung 2 kW übersteigt.

**Sonstige Anforderungen**

Die umfangreichen und detaillierten Anforderungen an die Unterbringung von Batterieanlagen und die Räumlichkeiten mit speziellen Anforderungen u. a. an besondere, abgetrennte Betriebsbereiche in elektrischen Betriebsstätten, an Batterieschränke, an das Arbeiten an oder in der Nähe von Batterien sowie an die Unterbringung von Blei- und NiCd-Batterien im gleichen Raum können VDE 0510-2 (aktueller Stand: 2001-12) entnommen werden. *Batterien* müssen gegen herabfallende Gegenstände, gegen Eindringen von Tropfwasser sowie gegen Verschmutzung geschützt sein. Schädliche Gase, z. B. Ammoniak, müssen von ihnen fern gehalten werden. Batterien müssen so aufgestellt werden, dass Elektrolytnebel oder verspritzter Elektrolyt keinen Schaden anrichten kann. Das Bedienungspersonal ist, wenn die Nennspannung der Batterie mehr als 120 V beträgt, durch Schutzmittel oder Schutzeinrichtungen zu schützen, z. B. durch Isolieren des Standorts (Holzrost) oder durch isolierende Schutzkleidung.

Bei *Ladegeräten* muss die Gleichstromseite vom Wechselstromnetz galvanisch getrennt sein, wenn im Gleichstromkreis eine Schutzmaßnahme nach VDE 0100 nicht anwendbar ist. Bei galvanisch nicht getrennten Geräten dürfen Wartungsarbeiten nur bei freigeschalteten Batterien durchgeführt werden. Diese Maßnahmen gelten auch, wenn die Batterien zum Laden von ihrem betriebsmäßigen Unterbringungsort, z. B. Fahrzeug, entfernt werden.

Allgemein müssen *Batterieräume* trocken, gut lüftbar, möglichst kühl, aber frostfrei sowie möglichst frei von Erschütterungen und vor extremen Umwelteinflüssen, wie Temperatur, Luftfeuchte, Luftverschmutzung, geschützt sein. Batterieraumfenster, die von außen leicht zugänglich sind, sollten durch engmaschiges Geflecht geschützt werden oder aus Drahtglas bestehen. Türen müssen nach außen aufschlagen.

Türen von Batterieräumen und Batterieschränken – auf jeden Fall außerhalb von Batterieräumen – müssen das *Verbotszeichen* D-P002 nach DIN 4844-2 bzw. P003 nach DIN EN ISO 7010 bzw. P003 nach ASR A1.3 („Keine offene Flamme, Feuer, offene Zündquelle und Rauchen verboten") tragen (rundes rot umrandetes Schild mit quer durchgestrichenem, symbolisch dargestelltem brennendem Streichholz). Zudem sind Batterieräume durch den Hinweis „Batterieraum" und durch das Warnzeichen D-W020 nach DIN 4844-2 bzw. W026 nach DIN EN ISO 7010 bzw. W026 nach ASR A1.3 („Warnung vor Gefahren durch das Aufladen von Batterien") (gelbes, schwarz umrandetes Dreieck mit symbolisch dargestellter gasender und auslaufender Batterie) zu kennzeichnen. Wenn die Batteriespannung höher als DC 60 V ist, ist das Warnzeichen „Gefährliche Spannung" D-W008 nach DIN 4844-2 bzw. W012 nach DIN EN ISO 7010 bzw. W012 nach ASR A1.3 (gelbes, schwarz umrandetes Dreieck mit schwarzem Blitzpfeil) zusätzlich anzubringen. Alle genannten Warn- und Verbotszeichen sind je nach örtlicher Situation auch in der Nähe der Batterie anzubringen.

Die *Verbindungsleitungen* zwischen einzelnen Batteriegruppen und der Schalttafel sind kurzschlusssicher (s. Abschn. 8.2.6) herzustellen.

Zur Aufstellung von Batterieanlagen für bauordnungsrechtlich vorgeschriebene sicherheitstechnische Anlagen und Einrichtungen in Gebäuden siehe auch die „Verordnung über den Bau von Betriebsräumen für elektrische Anlagen" (EltBauV), Abschn. 1.2.8.

## 14.13 Prüfanlagen

VDE 0104

Die Prüfanlagen werden grob unterteilt in Prüfplätze, Prüffelder und Versuchsfelder sowie in nichtstationäre Anlagen.

Unter *Prüfplatz* versteht man eine räumlich begrenzte und gekennzeichnete Prüfanlage, beispielsweise innerhalb einer Fertigungshalle. Ein *Prüffeld* ist dagegen ein fest abgegrenzter Bereich oder Raum, in dem in der Regel mehrere Personen überwiegend mit Prüfungen beschäftigt sind. Wird ein derartiger Bereich für Versuche im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsaufgaben genutzt, so spricht man auch von einem *Versuchsfeld*.

Für das Errichten und Betreiben elektrischer Prüfanlagen ist VDE 0104 zu beachten. Diese VDE-Bestimmung braucht nur dann nicht eingehalten zu werden, wenn das Berühren unter Spannung stehender Teile ungefährlich ist, wenn beispielsweise Kleinspannungen mittels SELV oder PELV mit ≤ 500 Hz, sowie AC ≤ 25 V oder DC ≤ 60 V betragen oder der Strom bei Spannungen AC > 25 V oder DC > 60 V auf AC 3 mA bzw. DC 12 mA begrenzt ist.

### Prüfplätze

Es sollten nur Prüfplätze *mit zwangsläufigem Berührungsschutz* errichtet werden. Ausnahmen davon sind erlaubt, wenn dies wegen häufig wechselnder Prüfaufgaben oder erheblicher Schwierigkeiten im Arbeitsablauf nicht möglich ist. In einem Prüffeld mit zwangsläufigem Berührungsschutz sind das Prüfobjekt und die aktiven Teile der Prüfeinrichtung während der Prüfung durch eine mechanische Schutzeinrichtung (mindestens IPX3) gegen direktes Berühren geschützt (Basisschutz). Unter bestimmten Umständen darf auf die Schutzart IPX3 verzichtet werden, z. B., wenn Teile des Gehäuses auf der Bedienseite durch eine elektrooptische Sicherheitseinrichtung (Lichtvorhang) mit einem Strahlabstand nicht größer als 14 mm ersetzt werden (s. VDE 0104). Das Einschalten des Prüfstromkreises darf erst bei geschlossener Schutzeinrichtung möglich sein. Meldeleuchten müssen den Schaltzustand anzeigen.

Prüfplätze *ohne zwangsläufigen Berührungsschutz* dürfen nur dann eingerichtet werden, wenn Prüfplätze mit zwangsläufigem Berührungsschutz nicht möglich sind. Sie sind dann beispielsweise durch Wände, Gitter, Seile oder Ketten abzugrenzen. Rote und grüne Signalleuchten in ausreichender Anzahl müssen den Betriebszustand anzeigen.

### Prüffelder und Versuchsfelder

Bei Prüffeldern und Versuchsfeldern ist wegen unterschiedlicher Versuchsanordnungen mit örtlich und zeitlich wechselnden Gefährdungsmöglichkeiten zu rechnen. Deswegen werden unterschiedliche Anforderungen an Abgrenzungen (Art, Mindesthöhe, Zugangsbeschilderung), Signalgebung und -leuchten, Türen von Notausgängen und Erdungsmöglichkeiten bei Spannungen > 1 000 V gestellt.

Weitere Hinweise zu Prüfplätzen, Prüffeldern und Versuchsfeldern sowie Anforderungen an nichtstationäre Prüfanlagen, Prüfanlagen ohne ständige Anwesenheit von Prüfpersonal, an die detaillierte Ausführung von Prüfanlagen und an das Betreiben von Prüfanlagen finden sich ebenfalls in VDE 0104. Ebenso sind dort für Prüfanlagen allgemein gültige Anforderungen an den Schutz gegen elektrischen Schlag, gegen unbefugtes, unbeabsichtigtes automatisches Einschalten sowie gegen Restspannungen und Spannungsverschleppungen und an notwendige Einrichtungen wie Meldeleuchten, Signalleuchten und Kennzeichen sowie Not-Aus-Einrichtungen zu finden. Darüber hinaus werden Schutzmaßnahmen gegen Gefährdungen durch Lichtbögen und nichtelektrische Gefährdungen wie Lärm, Gefahrstoffe, Feuer, Explosion, Strahlung oder umherfliegende Teile beschrieben.

## 14.14 Schulen, Kindergärten und Unterrichtsräume mit Experimentiereinrichtungen

VDE 0100-723, DGUV Vorschrift 81 u. 82, DGUV Regel 102-002 u. 113-018

Für Schulen und Kindergärten enthalten die VDE-Bestimmungen keine besonderen Anforderungen. Es gelten somit die allgemeinen Anforderungen von VDE 0100. Ausgenommen sind Unterrichtsräume mit Experimentiereinrichtungen (bisherige Bezeichnung: Experimentierstände), für die VDE 0100-723 besondere Anforderungen nennt, und Vortragssäle mit einem Fassungsvermögen von mindestens 200 Personen, die damit in den Geltungsbereich der Versammlungsstättenverordnung fallen und somit in den Anwendungsbereich von VDE 0100-718 (s. Abschn. 14.11). Auch Sporthallen, in denen Aufführungen stattfinden, zählen zu den Versammlungsstätten, wenn den Aufführungen mindestens 200 Personen beiwohnen können.

Zur Planung und Ausführung von Sporthallen siehe auch DIN 18032-1. In verschiedenen Vorschriften, Richtlinien und Regeln für Schulen (UVV DGUV Vorschrift 81 (bisher: GUV-V S1)), Kindertageseinrichtungen (DGUV Vorschrift 82 (bisher: GUV-SR S2)) und Kindertagesstätten (DGUV Regel 102-002 (bisher: BG/GUV-SR S2)) wird darauf verwiesen, dass Steckdosen in Kindergärten und Kindertagesstätten mit selbsttätiger 2-poliger Verriegelung, einer sog. Kindersicherung oder Kindersteckdosen, versehen sein müssen. In Kindergärten müssen

sog. Energieschalter für Elektroherde in Gruppenräumen in einer Höhe von ca. 1,7 m angebracht sein. In allen Vorschriften, Richtlinien und Regel für Schulen, Kindertagesstätten und Kindergärten wird für Steckdosenstromkreise eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA empfohlen, auch als zusätzlicher Schutz bei direktem Berühren, was aber zumindest für neu zu errichtende Bauten mit VDE 0100-410 sowieso vorgeschrieben ist. Für Kindertagesstätten ist vorgeschrieben, dass elektrische Dekorationen (z. B. Lichterketten) in Reichweite der Kinder mit Schutz durch Kleinspannung mittels SELV ausgeführt sein müssen.

Für Schulen wird auf VDE 0100-723 verwiesen. Zudem müssen Arbeitstische mit elektrischen Einrichtungen befestigt sein, wenn sonst die Gefahr besteht, dass die elektrischen Versorgungsleitungen durch Verrücken der Tische beschädigt werden können. Nach VDE 0100-723 gilt für Unterrichtsräume mit Experimentierständen:

So weit wie möglich sollte mit Schutz durch Kleinspannung mittels SELV (frühere Bezeichnung: Schutzkleinspannung) oder PELV (frühere Bezeichnung: Funktionskleinspannung mit sicherer Trennung) gearbeitet werden. Bei höheren Spannungen empfiehlt sich Schutztrennung. Wird die Netzspannung verwendet, so muss eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom von 30 mA oder 10 mA vorgeschaltet werden. Bei größeren Anlagen, z. B. bei mehr als 5 Übungsplätzen, sollten mehrere Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) installiert werden. Für bestimmte Experimente, z. B. Schleifenwiderstandsmessung zum Überprüfen der Schutzmaßnahme im TN-Netz, ist eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) hinderlich. Der betreffende Stromkreis muss dann so ausgeführt sein, dass das Zuschalten der Stromversorgung nur über eine Trenneinrichtung möglich ist, die gegen unbefugtes Einschalten gesichert werden kann.

Die Experimentiereinrichtungen dürfen nur über allpolige Trenneinrichtungen einschließlich des N-Leiters getrennt werden können. Dazu kann die geforderte Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) verwendet werden. Die Zu- und Abschaltung der Stromversorgung darf dabei einzeln, in Gruppen oder zentral erfolgen. Darüber hinaus muss für Handlungen im Notfall jede Experimentiereinrichtung mit einer Einrichtung für das Ausschalten im Notfall ausgerüstet werden, durch deren Betätigung sämtliche Stromkreise an allen Experimentierständen des betreffenden Raums im Gefahrenfall spannungsfrei gemacht werden können. Zusätzlich muss mindestens an jedem Ausgang eine Ausschalteinrichtung vorgesehen werden. Wenn zum Ausschalten im Notfall ein Not-Aus-Befehlsgerät (z. B. Pilztaster) eingesetzt wird, muss dieser Not-Aus-Taster auf eine oder mehrere Trenneinrichtungen wirken.

Die Einrichtung für Notausschaltung muss nach dem Ruhestromprinzip arbeiten, d. h., der Auslöser muss bei $U \leq 0{,}35\ U_n$ selbsttätig abschalten. Die Betätigungseinrichtungen (dies können Griffe oder Druckknöpfe sein) müssen eindeutig ge-

kennzeichnet sein, vorzugsweise rot mit kontrastierendem Untergrund. Zusätzliche Warnleuchten in den Übungstischen sind zweckmäßig.

Netzsteckdosen sind als Schutzkontaktsteckdosen in ausreichender Zahl vorzusehen. Sind mehrere 2-polige Wechselstromsteckdosen an einem Experimentierstand angebracht, so müssen diese an denselben Außenleiter angeschlossen sein. Für Schutz durch Kleinspannung mittels SELV ist die Industriesteckvorrichtung nach VDE 0623-1 und -2 (frühere Bezeichnung: CEE-Steckvorrichtung) zu verwenden. Leitungen für Netz- und Kleinspannung oder Schutztrennung dürfen in keinem Fall gemeinsam in einem Rohr verlegt werden.

Prüfleitungen, Prüfspitzen und -taster müssen den VDE-Bestimmungen entsprechen, also z. B. unfallsichere versenkbare Prüfspitzen, Prüfspitzen mit Schutzkragen haben. Einpolige Anschlussstellen sind als berührungssichere Steckbuchsen (Laborsteckbuchsen, Sicherheitsbuchsen) mit vollständigem Berührungsschutz auszuführen.

Für elektrische Betriebsmittel ist die Schutzmaßnahme doppelte oder verstärkte Isolierung (Schutzklasse-II-Geräte, frühere Bezeichnung: Schutzisolierung) zu bevorzugen.

Schulräume sind in der Regel trockene Räume; daher genügt die Schutzart IP40. Wenn mit Dampf oder Wasser zu rechnen ist, wäre z. B. die Schutzart IP54 zu wählen.

Nach dem früher geltenden Teil 723 sollte der Fußboden isolieren. Diese Empfehlung wird im neuen Teil nicht mehr gegeben. Verkehrt war die Empfehlung aber nicht. Die elektrostatische Ableitfähigkeit des Fußbodenbelags sollte aber gegeben sein, damit keine elektrostatischen Aufladungen auftreten. Der Standortübergangswiderstand soll daher mindestens 50 kΩ (bei $U_n \leq$ AC 500 V oder $\leq$ DC 750 V), der Ableitwiderstand zwischen 10 kΩ und 1 MΩ betragen. Dazu empfiehlt sich ein PVC-Fußbodenbelag, der unter der Oberfläche eine netzartige Folie aus Kupfer oder Messing enthält, die in den Schutzpotenzialausgleich einbezogen wird. Bisher bestand die Forderung, Heizkörper, Gas- und Wasserrohre im Handbereich um die Experimentiereinrichtung zu verkleiden oder Kunststoffrohre zu verlegen. Wenn das nicht möglich war, bestand die Forderung einen zusätzlichen Schutzpotenzialausgleich (bisherige Bezeichnung: Potenzialausgleich) durchzuführen. Nun müssen in Unterrichtsräumen mit Experimentiereinrichtungen generell alle berührbaren fremden leitfähigen Teile mit Schutzpotenzialausgleichsleitern untereinander und mit dem Schutzleiter der Stromversorgung verbunden werden. Der Querschnitt muss mindestens 4 $mm^2$ Cu betragen. Die Schutzpotenzialausgleichsleiter müssen einen Mindestquerschnitt von 4 $mm^2$ Cu haben. Das Verbinden mit dem Schutzleiter ist an zentraler Stelle vorzunehmen, z. B. an einem Verteiler, an dem der Schutzleiter einen Querschnitt $\geq$ 4 $mm^2$ Cu hat.

## 14.15 Räume für EDV-Anlagen

Empfehlungen für die elektrische Installation von Räumen, in denen große EDV-Anlagen untergebracht werden, enthält das „Merkblatt zur Schadenverhütung – Anlagen der Informationstechnologie (IT-Anlagen)" (VdS 2007), herausgegeben von VdS Schadenverhütung, einem Unternehmen des Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV).

Nach dem Merkblatt sollten

- im Gebäudehauptverteiler eine dauernde Fehlerstromüberwachung mit Meldung der Grenzwertüberschreitungen vorgesehen werden, um den Vorteil eines TN-S-Netzes dauerhaft zu gewährleisten,
- eine trassenredundante Verlegung wichtiger Kabel und Leitungen vorgenommen werden, um den Ausfall der elektrischen Energieversorgung gering zu halten,
- die elektrische Installation in den IT-Räumen nach den Bestimmungen für feuergefährdete Räume (s. Abschn. 14.7) ausgeführt werden,
- handbetätigte Not-Aus-Schalteinrichtungen gegen unbeabsichtigte Betätigung und gegen Missbrauch geschützt werden,
- die Ausfallwahrscheinlichkeit der Netzeinspeisung vom NB durch eine zweite Einspeisung von einem anderen Umspannwerk oder durch eine Netzersatzanlage mit einer USV-Anlage verringert werden,
- Störungen innerhalb der elektrischen Anlage im Gebäude durch Einsatz hochwertiger USV-Anlagen vermieden werden,
- bei kleinen IT-Systemen in Büroräumen die einzelnen Büroräume mit getrennten Stromkreisen versorgt werden und
- Schäden durch Oberschwingungsspannungen und -ströme durch entsprechende Installation (s. Kap. 10 und die Publikation der deutschen Versicherungswirtschaft zur Schadenverhütung VdS 2349-2 „EMV-gerechte Errichtung von Niederspannungsanlagen") vermieden werden.

## 14.16 Galvanische Anlagen

Galvanische Anlagen zählen zu den nassen Räumen. Verbrauchsmittel, z. B. Badwärmer, Thermostate, Pumpen, die direkt oder über leitende Teile mit dem Elektrolyten in Verbindung stehen, müssen erdschlussfrei aufgestellt werden. Dies ist notwendig, weil durch vagabundierende Gleichströme Wannen oder Rohrleitungen zerstört werden und die Vorgänge beim Metallabscheiden ungünstig beeinflusst werden können.

Als Maßnahmen zum Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) können uneingeschränkt Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung von Betriebsmitteln (Betriebsmittel der Schutzklasse II; alte Bezeichnung: Schutzisolierung), Schutz durch Kleinspannung mittels SELV (frühere Bezeichnung: Schutzkleinspannung) oder Schutztrennung für die Versorgung eines Verbrauchsmittels empfohlen werden. Als Schutzmaßnahme Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung eignen sich die TN- und TT-Systeme mit Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD), wenn in den Schutzleiter ein Kondensator zur Abriegelung von Gleichströmen eingebaut wird (s. Abschn. 5.6). Der Schutzleiter zwischen Verbrauchsmittel und Kondensator muss gegen Erde isoliert sein.

## 14.17 Leitfähige Bereiche mit begrenzter Bewegungsfreiheit

VDE 0100-706

Leitfähige Bereiche mit begrenzter Bewegungsfreiheit sind Räume, deren Wände im Wesentlichen aus Metallteilen oder leitfähigen Teilen bestehen, in denen eine Person mit ihrem Körper großflächig mit der umgebenden Begrenzung in Berührung stehen kann und in denen die Möglichkeit der Unterbrechung dieser Berührung eingeschränkt ist. Begrenzte leitfähige Räume im Sinne der VDE-Bestimmungen sind somit Kessel, Behälter oder Rohrleitungen aus leitfähigem Material, in denen sich, z. B. zu Revisionszwecken, Menschen in sitzender, kniender oder liegender Haltung vorübergehend aufhalten.

Die VDE-Bestimmung gilt nicht für Bereiche, in denen normale Bewegungsfreiheit gegeben ist und die eine Person ohne große physische Anstrengungen betreten und verlassen kann. Dies trifft z. B. bei Arbeiten in Werften und in großen Kesseln zu.

Werden in einen leitfähigen Raum mit begrenzter Bewegungsfreiheit ortsveränderliche Leuchten und Messgeräte oder handgeführte Elektrowerkzeuge eingeführt, dann sind aufgrund der erhöhten Gefährdung der Bedienenden besondere Schutzmaßnahmen zu beachten. Die erhöhte Gefährdung ergibt sich durch die niedrige Körperimpedanz bei großflächiger Berührung der leitfähigen Wände (s. Abschn. 5.1.5). Bei der im Normalfall dauernd zulässigen Berührungsspannung von AC 50 V kann es bereits zu einer lebensgefährlichen Körperdurchströmung kommen. Deshalb sind handgeführte Elektrowerkzeuge, tragbare Messgeräte und Handleuchten mit Schutz durch *Kleinspannung mittels SELV* (frühere Bezeichnung: *Schutzkleinspannung*) oder mit *Schutztrennung* zu betreiben, wobei jede Sekundärwicklung des Trenntransformators nur ein Verbrauchsmittel versorgen darf. Ein Transformator darf jedoch mehrere Sekundärwicklungen haben.

Leuchtstofflampen-Leuchten mit eingebauten Transformatoren, die mit Schutz durch Kleinspannung mittels SELV gespeist werden, aber eine höhere Ausgangsspannung haben, sind erlaubt.

Für ortsfest angebrachte Betriebsmittel kann als Schutzmaßnahme neben Schutz durch Kleinspannung mittels SELV und der Schutztrennung mit der Versorgung nur eines elektrischen Verbrauchsmittels auch der *Schutz durch automatisches Abschalten der Stromversorgung* gewählt werden, wobei ein zusätzlicher Schutzpotenzialausgleich (bisherige Bezeichnung: Potenzialausgleich) zwischen den Körpern der fest angebrachten Betriebsmittel und den leitfähigen Teilen des Raums hergestellt werden muss. Darüber hinaus können solche Betriebsmittel in *Schutzklasse II* ausgeführt sein. Bedingung ist, dass die Stromkreise dieser Betriebsmittel durch eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA geschützt sind und dass die Betriebsmittel der angemessenen IP-Schutzart entsprechen. Neu ist, dass nun auch Schutz durch *Kleinspannung mittels PELV* angewendet werden kann. Es muss aber ein Schutzpotenzialausgleich zwischen allen Körpern, allen fremden leitfähigen Teilen innerhalb des Bereichs mit begrenzter Bewegungsfreiheit und eine Verbindung des PELV-Systems mit Erde vorgesehen werden.

Die Stromquellen müssen außerhalb des leitfähigen Raums aufgestellt werden, es sei denn, sie sind Teil einer ortsfesten Anlage innerhalb des Raums wie oben.

In allen Fällen muss bei Anwendung von Schutz durch Kleinspannung mittels SELV unabhängig von der Bemessungsspannung der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren spannungsführender Teile) verwirklicht werden, entweder durch Abdeckungen oder Umhüllungen mindestens in IP2X oder durch eine Isolierung, die einer Prüfspannung von 500 V mindestens 1 min standhält.

Bei Geräten, bei denen eine Betriebserdung (Erdung für Funktionszwecke) notwendig ist, z. B. bei Messgeräten und Steuereinrichtungen, müssen alle Körper der Betriebsmittel, die fremden leitfähigen Teile innerhalb des Raums und die Betriebserdung in einen Schutzpotenzialausgleich einbezogen werden.

Früher war bei Anwenden der Schutztrennung nach VDE 0100-410 ein „besonderer Leiter" gefordert, der den Körper des zu schützenden Verbrauchsmittels mit dem metallisch leitenden Standort zu verbinden hatte. Dieser besondere Leiter wird nicht mehr gefordert. Umso wichtiger ist der Einsatz von Betriebsmitteln mit der Schutzmaßnahme doppelte oder verstärkte Isolierung oder Betriebsmittel der Schutzklasse II (bisherige Bezeichnung: Betriebsmittel mit gleichwertiger Isolierung, frühere Bezeichnung: Schutzisolierung).

*Leitungen* und elektrische Betriebsmittel müssen so ausgewählt und errichtet werden, dass sie auch den zu erwartenden äußeren Einflüssen standhalten. Deshalb sollten Leitungen mindestens der Bauart H07RN-F (flexible Schlauchleitung für

schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung (frühere Bezeichnung: schwere Gummischlauchleitung)) entsprechen. Stecker und Kupplungsdosen müssen ein Isolierstoffgehäuse haben. Die genannten Empfehlungen gelten auch für Leuchten, die z. B. für Revisionsarbeiten vorübergehend ortsfest angebracht und über bewegliche Zuleitungen angeschlossen werden.

## 14.18 Kfz-Werkstätten und Montagegruben

DGUV Regel 109-008

Je nach Art der betrieblichen Beanspruchung, z. B. durch Schlag, Stoß, Druck, Staub, Nässe, Wärme, aggressive Stoffe, ergeben sich bestimmte Anforderungen für die elektrischen Betriebsmittel. Die VDE-Bestimmungen enthalten keine speziellen Anforderungen an Werkstätten oder Montagegruben. Anforderungen ergeben sich jedoch aus der jeweiligen Nutzung. So sind z. B. Räume, in denen leicht entzündliche Flüssigkeiten nach der Gefahrstoffverordnung bzw. brennbare Flüssigkeiten der Gefahrklasse AI nach der zurückgezogenen VbF verwendet werden, explosionsgefährdet; für sie gilt Abschnitt 14.9. Für Montagegruben, Arbeitsgruben und Unterfluranlagen enthalten die berufsgenossenschaftlichen Regeln DGUV Regel 109-008 (bisher: BGR 157; alte Bezeichnung: ZH 1/454) *Fahrzeuginstandhaltung* und die Explosionsschutz-Regeln (EX-RL), DGUV Regel 113-001 (bisher: BGR 104; alte Bezeichnung: ZH 1/10), lfd. Nr. 2.2, Anforderungen. Danach gelten Arbeitsgruben und Unterfluranlagen nicht als explosionsgefährdet. Wenn jedoch mit dem Auftreten brennbarer Gase und Dämpfe in gefährlichen Mengen zu rechnen ist, muss ein ausreichender natürlicher Luftwechsel sichergestellt sein; andernfalls ist eine technische Lüftung vorzusehen.

Des Weiteren gilt:

In Montagegruben und Unterfluranlagen sollen Schalter, Steckdosen und Leuchten mindestens 1 m über der Grubensohle angeordnet werden. Auf einen besonderen mechanischen Schutz ist zu achten. Leuchten müssen mindestens der Schutzart IP54 entsprechen, Handleuchten IP55. Im Übrigen gelten die Bestimmungen für feuchte und nasse Räume.

Motoren, die im Luftstrom von Absaugleitungen liegen, müssen über einen Motorschutzschalter geschützt werden, da sie für Zone 2 ausgelegt sein müssen (s. Abschn. 14.9.10.3).

# 14.19 Heiße Bereiche

Zu den heißen Bereichen zählen solche mit Temperaturen > 30 °C, also z. B. Räume oder Orte in Kesselhäusern, an Glüh-, Schmelz- und Trockenöfen, in Gaswerken, Kokereien, Glas- und Hüttenwerken sowie in Saunaanlagen. Diese Räume können außerdem gleichzeitig feucht oder nass sein. Hohe Temperaturen führen zu einer erheblich schnelleren Alterung von Isolierstoffen aus Gummi oder Kunststoff. Man rechnet mit einer Halbierung der Isolierungs-Lebensdauer, wenn die Temperatur dauernd nur rund 8 K höher liegt als bei einer anderen vergleichbaren Leitung.

**Leitungen und Kabel**

Auf die rasche Alterung des Isolierstoffs in heißen Räumen muss bei der Auswahl und Belastung Rücksicht genommen werden. So gibt es Sonderleitungen mit erhöhter Wärmebeständigkeit für Räume mit Temperaturen > 55 °C (**Tabelle 14.13**, s. auch Tabellen 8.6 und 8.7).

Auch Leitungen mit erhöhter Wärmebeständigkeit haben bei höheren Temperaturen eine verminderte Belastbarkeit (s. Abschn. 8.3).

In Räumen mit Temperaturen zwischen 30 °C und 55 °C können die üblichen ummantelten Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) verwendet werden, wobei allerdings die sonst zulässige Belastung der Leitungen herabgesetzt werden muss (s. Abschn. 8.3). Während also z. B. eine ummantelte Installationsleitung NYM (auch Mantelleitung, früher auch Feuchtraumleitung genannt) von 25 $mm^2$ auf Putz bei normalen Temperaturen eine Strombelastbarkeit von 96 A hat, wären dies in einem Raum mit 50 °C nur mehr 71 % von 96 A = 68 A.

Die *Motoren* erhalten meist eine Isolierung nach Klasse E oder B, für besonders schwierige Fälle nach Klasse H. Silikonisolierung ist angezeigt bei hohen Umgebungstemperaturen, schwerem Anlauf bei hohem Gegenmoment, starken zeitweiligen Überlastungen, hoher Schalthäufigkeit und häufigem elektrischem Bremsen.

*Tabelle 14.13: Sonderleitungen mit erhöhter Wärmebeständigkeit*

| Bauartkurzzeichen | Bedeutung |
|---|---|
| mineralisolierte Leitung (nach VDE 0284-1; zz. kein Bauartkurzzeichen, nur Herstellerkennzeichnung) | bis 90 °C Umgebungstemperatur (Betriebstemperatur am Leiter); hitzebeständige Mehrfachleitung, mineralisoliert mit Kupfermantel; in trockenen und feuchten Räumen auf, über und unter Putz sowie im Freien; zulässige Manteltemperatur von Kabeln und Leitungen bis 105 °C. |
| N4GAF* | ein- oder mehrdrähtige, einadrige isolierte Leitung aus Ethylenvinyl-Acetat (EVA) bis 120 °C Grenztemperatur; nicht in feuchten Räumen |
| H05SJ-K | wärmebeständige Silikonaderleitung für feste Verlegung in und an Leuchten und in Geräten; Leitungen ≥ 1,5 mm$^2$ für Verlegung in Rohren auf oder unter Putz, für innere Verdrahtung bei hohen Umgebungstemperaturen und in geschützten Räumen; zulässige Betriebstemperatur am Leiter 180 °C |
| H05V2V2D3-F (Ersatz für NYPLYW*) | wärmebeständige Schlauchleitung mit thermoplastischer PVC-Isolierung und mit Zugentlastungselementen für mittlere Beanspruchung (90 °C) (ersetzte Leitung: Kunststoff-Pendelschnur mit erhöhter Wärmebeständigkeit bis 105 °C) |
| N2GSA* | zwei- und dreiadrige Gummiaderschnur bis 180 °C Grenztemperatur; nicht in feuchten Räumen |
| N2GMH2G* | zwei- bis fünfadrige wärmebeständige Silikon-Schlauchleitung mit feindrähtigen Kupferleitern von 0,75...2,5 mm$^2$; bis 180 °C Grenztemperatur |
| H05S-K H05S-K/U | einadrige wärmebeständige Silikon-Aderleitung ohne Beflechtung für innere Verdrahtung bei hohen Umgebungstemperaturen und bei geschützter Verlegung von 0,5...2,5 mm$^2$; bis 180 °C, empfindlich gegen mechanische Belastung |
| H05/07G-K/U | einadrige wärmebeständige Gummi-Verdrahtungsleitung für innere Verdrahtung von Elektrowärmegeräten von 0,5...1,0 mm$^2$, bis 110 °C |

* Norm zurückgezogen

## 14.20 Räume und Kabinen mit Saunaheizungen

VDE 0100-703

Bei der Errichtung der elektrischen Einrichtungen von Saunaanlagen ist zu unterscheiden, ob es sich um Heißluft-Saunaräume mit in der Regel elektrischen Saunaheizgeräten, Dampfsaunen (Dampfbäder) oder fabrikfertige Saunaeinrichtungen handelt. Zu den Saunaanlagen gehören auch Räume (z. B. Kellerräume), in denen Saunaheizgeräte betrieben werden. In diesem Falle wird der ganze Raum als Sauna betrachtet.

Heißluft-Saunen gelten als trockene und heiße Räume, falls sie nicht abgespritzt werden, Dampfbäder dagegen als feuchte und nasse Räume nach Abschnitt 14.1. Saunaheizgeräte müssen VDE 0700-53 entsprechen.

In Heißluft-Saunen ist innen unterhalb der Decke mit einer Temperatur von maximal 140 °C zu rechnen. Außen direkt an der Decke können maximal 75 °C und außen direkt an den Wänden maximal 60 °C erreicht werden. Dementsprechend dürfen nur wärmebeständige Leitungen verwendet werden (s. Abschn. 14.20 und Tab. 8.1). Saunaöfen sollen mindestens 20 cm von den Kabinenwänden entfernt angeordnet werden. Als *Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren)* dürfen in Heißluft-Saunaräumen Schutz durch Kleinspannung mittels SELV (frühere Bezeichnung: Schutzkleinspannung), Schutz durch automatisches Abschalten der Stromversorgung, Schutz durch Verwenden elektrischer Betriebsmittel der Schutzklasse II oder gleichwertiger Isolierung (Schutzisolierung) und Schutztrennung verwendet werden (s. Kap. 5). Wird Schutz durch Kleinspannung mittels SELV angewendet, so muss der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) durch Abdeckungen oder Umhüllungen oder durch Isolierung zusätzlich sichergestellt sein. Bei Schutz durch Abdeckung oder Umhüllung muss mindestens die Schutzart IP2X gegeben sein. Die Isolierung muss so ausgelegt sein, dass sie einer Prüfspannung von 500 V mindestens 1 min lang standhält. Mit Inkrafttreten des neuen Teils 703 der VDE 0100 im Febr. 2006 wurde die Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) wieder verpflichtend. Als zusätzlicher Schutz gegen elektrischen Schlag müssen alle Stromkreise einer Saunaanlage durch eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) oder mehrere Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA geschützt werden. Ausgenommen von dieser Forderung ist der Stromkreis, der direkt die Saunaheizungen versorgt.

Der Anschlusswert von Saunaanlagen beträgt etwa 1 kW/m$^3$, wobei der Wert mit zunehmender Raumgröße sinkt. Gewerbliche Großanlagen benötigen Ventilatoren.

*Betriebsmittel* in der Saunakabine müssen mindestens der Schutzart IP24 entsprechen, auch Betriebsmittel für Kleinspannung SELV.

In VDE 0700-53 sind besondere Bestimmungen für Saunaheizgeräte bis 20 kW Heizleistung festgelegt. Demnach müssen auf den Heizgeräten der Mindestabstand von Decke, Fußboden und anderen brennbaren Teilen sowie das Maß für Nischen, in die Saunaheizgeräte eingebaut werden sollen, angegeben sein. Warnschilder vor Bedecken des Heizgeräts und vor Brandgefahren sind anzubringen. Die Steuertafel muss mit einem Anschlussschema versehen sein, Montage- und Gebrauchsanweisungen sind beizulegen. Saunaeinrichtungen dürfen nur über festen Anschluss mit dem Netz verbunden werden. Im Übrigen müssen sie die in VDE 0700-53 festgelegten Prüfungen bestehen.

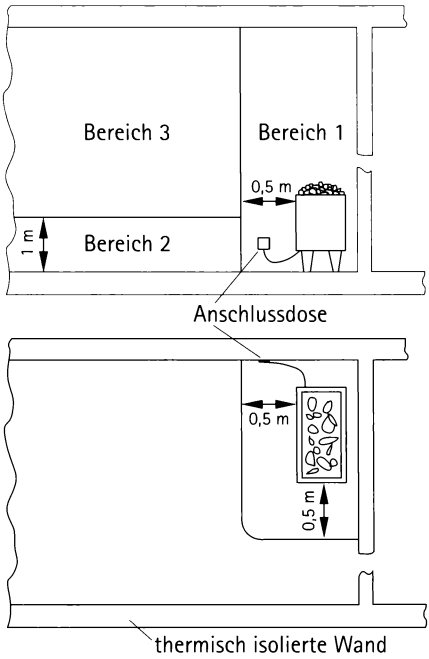



***Bild 14.24:*** *Bereichseinteilung von Räumen und Kabinen mit Saunaheizungen nach der Umgebungstemperatur*

Eine weitere wichtige Neuerung mit Inkrafttreten des neuen Teils 703 ist, dass der Raum oder die Kabine statt bisher in 4 nur noch in 3 Bereiche unterteilt wird (**Bild 14.24**):

*Bereich 1:* Der Bereich 1 umfasst das Volumen um die Saunaheizung, begrenzt durch den Fußboden und die kalte Seite der Wärmeisolierung der Decke und eine senkrechte Fläche um die Saunaheizung im Abstand von 0,5 m um die Oberfläche der Saunaheizung. Wenn die Saunaheizung näher an der Wand errichtet wird, ist der Bereich 1 durch die kalte Seite der Wärmeisolierung der Wand begrenzt. Es dürfen nur elektrische Betriebsmittel, die zu den Saunaheizgeräten gehören, angebracht werden, jedoch nicht die Steuertafel für den Heizofen.

*Bereich 2:* Der Bereich 2 umfasst das Volumen außerhalb von Bereich 1, begrenzt durch den Fußboden, die kalte Seite der Wärmeisolierung der Wände und durch eine waagerechte Fläche 1 m über dem Fußboden. Innerhalb dieses Bereichs bestehen keine besonderen Anforderungen hinsichtlich der Wärmefestigkeit der elektrischen Betriebsmittel. Die besonderen thermischen Einflüsse müssen jedoch beachtet werden.

*Bereich 3:* Der Bereich 3 ist das Volumen außerhalb von Bereich 1, begrenzt durch die kalte Seite der Wärmeisolierung der Decke und der Wände und durch eine waagerechte Fläche 1 m über dem Fußboden. Elektrische Betriebsmittel müssen einer Mindesttemperatur von 125 °C und die Isolierung der Leitungen einer Mindesttemperatur von 170 °C standhalten.

Steckdosen und Schaltgeräte dürfen innerhalb von Räumen oder Kabinen, die Saunaheizungen enthalten, nicht angeordnet werden. Ausgenommen davon sind Schaltgeräte, die in die Saunaheizgeräte eingebaut sind, sowie Regel- und Steuereinrichtungen. Saunaheizgerät, Regel- und Steuereinrichtungen, die innerhalb der Kabine montiert werden, und elektrische Einzelteile vorgefertigter Saunen, die außerhalb der Kabine montiert werden, müssen spritzwassergeschützt ausgeführt sein (IPX4) und das Symbol ⚠ tragen. In jedem Fall sind bei der Errichtung die Angaben der Hersteller zu beachten.

Metallene Umhüllungen von Kabel und Leitungen sowie metallene Elektroinstallationsrohre müssen so errichtet werden, dass sie im üblichen Betrieb nicht berührt werden können.

## 14.21 Holzhäuser, Baracken, Baubuden sowie Installationen in Hohlwänden, Holzdecken und Holzwänden

Holzhäuser und Baracken ohne leicht entzündlichen Inhalt gelten nicht als feuergefährdete Betriebsstätten (s. Abschn. 14.7), aber als Räume mit vorwiegend brennbaren Baustoffen (VDE 0100-420:2013-02, Abschn. 422.4)).

Für das Verlegen von Leitungen und Kabeln und das Installieren elektrischer Betriebsmittel in Gebäuden aus vorwiegend brennbaren Baustoffen ist VDE 0100-420:2013-02, Abschn. 422.4 und VDE 0100-520:2013-06, Abschn. 521.14 (Verlegen von Kabeln und Leitungen in Räumen oder an Orten mit u. a. brennbaren Baustoffen) anzuwenden.

Für die Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel in Hohlwänden gilt VDE 0100-520:2013-06, Abschn. 521.15.

*Brennbare Baustoffe* sind nach DIN 4102-1 u. a.:

- Holz,
- Polystyrol,
- Gipskarton-Verbundplatten nach DIN 18184,

- Hartschaum-Mehrschicht-Leichtbauplatten,
- Tafeln aus weichmacherfreiem PVC,
- genormte Dachpappe,
- hochpolymere Dach- und Dichtungsbahnen,
- mit mineralischen Bindemitteln gebundene Holzwolle-Leichtbauplatten nach DIN 4108-10,
- Gipskartonplatten nach DIN 18180 mit gelochter Oberfläche,
- Kunstharzputze nach DIN EN 998-1,
- Wärmedämmputzsysteme nach DIN EN 998-1,
- Spanplatten oder
- Hartfaserplatten.

Die Einspeisung in solche Bauten sollte in jedem Fall – also auch in Freileitungsnetzen – durch Kabel geschehen. Zählerschränke und Verteiler müssen u. U. auf einer lichtbogenfesten Unterlage angebracht werden (s. u.).

Bei vorgefertigten Installationen, z. B. für Fertigbauten, müssen die Leitungen und Kabel einen besonderen Schutzleiter enthalten, damit der Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) unabhängig von der Art des Verteilernetzes ist.

*Elektrische Betriebsmittel* dürfen keine Entzündung von brennbaren Wänden, Fußböden und Decken verursachen. Feuer aufgrund von Isolationsfehlern muss verhindert werden. Dies kann – wie bei feuergefährdeten Betriebsstätten – nur erreicht werden, wenn Kabel und Leitungen und das zugehörige Installationsmaterial bei Isolationsfehlern durch Einsatz von Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA geschützt werden (s. Abschn. 14.7). Dieser maximale Bemessungsdifferenzstrom von 300 mA ist für den Brandschutz in der Regel ausreichend. Aus Gründen des Personenschutzes sollten aber möglichst Fehlerstromschutzeinrichtungen mit einem Bemessungsdifferenzstrom ≤ 30 mA eingesetzt werden, die auch einen höheren Brandschutz bieten.

Es dürfen nur *Leitungen* und *Kabel* verlegt werden, die mindestens eine äußere flammwidrige Kunststoffumhüllung, z. B. PVC, haben. Dies sind ummantelte Installationsleitungen (auch Mantelleitungen, früher auch Feuchtraumleitungen genannt) oder Kunststoffkabel NYY, nicht jedoch Stegleitungen. Nicht flammwidrige Leitungen können auch in flammwidrigen Installationsrohren aus Kunststoff nach Reihe VDE 0605 mit verschiedenen Teilen oder zu öffnenden Elektroinstallationskanälen nach VDE 0604-1, -2-1 und -2-2 mit verschiedenen Teilen verlegt werden (s. Abschn. 8.2.10), z. B. mit der alten Bezeichnung ACF oder mit der neuen Bezeichnung „1" an der elften Stelle des mehrstelligen Klassifizierungscodes für

„nicht flammenausbreitend". Die Hersteller der Rohre bzw. Kanäle müssen in ihren technischen Unterlagen Hinweise darauf geben, dass diese Bauteile den Prüfanforderungen hinsichtlich der Feuersicherheit entsprechen. Leitungen und Kabel nach den Tabellen 14.2 und 14.3 (Leitungen und Kabel mit verbessertem Brandverhalten) erfüllen die speziellen Anforderungen. In Hohlwänden dürfen Kabel und Leitungen fest oder beweglich angebracht werden. In trockenen Holzgebäuden können auch PVC-isolierte Aderleitungen für feste Verlegung der Bauart H07 V-U in flammwidrigen Isolierstoffrohren ACF (flammwidrig für mittlere Druckbeanspruchung) oder entsprechender neuer Bezeichnung verlegt werden.

Installationsgeräte wie Abzweig- und Schalterdosen zum Einbau von Abzweigklemmen, Steckdosen oder Schaltern und ihre Deckel müssen allseitig geschlossen sein und aus schwer entflammbaren Werkstoffen bestehen. Steckdosen und Schalter sollen ein Isolierstoffgehäuse haben oder auf einer 12 mm dicken Platte aus Fibersilikat oder entsprechendem nicht entflammbarem Material angebracht werden. In Aussparungen von Wänden oder Decken und in Hohlwänden dürfen Abzweigklemmen, Steckdosen, Schalter o. ä. Betriebsmittel ohne Dosen nicht eingebaut werden. Geräte- und Verbindungsdosen müssen VDE 0606-1, -21 und -22 und Kleinverteiler VDE 0603-1/-102 oder sog. Installationsverteiler VDE 0660-600-3 (s. Abschn. 7.9) entsprechen und mit ⩛ gekennzeichnet sein (*Hohlwanddosen*). Steckdosen und Schalter dürfen in Hohlwanddosen nicht mit Krallen befestigt werden. Die Leitungen können wahlweise durch die Boden- oder Seitenmarkierungen eingeführt werden. Die 45 mm hohe Dose wird z. B. durch zwei in ihr liegende, nach außen aufklappbare Laschen befestigt. Die Klemmen dürfen nicht auf Zug beansprucht werden können. Das ist ein Unterschied. Werden Kabel und Leitungen nicht fest verlegt, so sind die elektrischen Anschlüsse und Verbindungen von Zug und Schub zu entlasten.

Werden Hohlwanddosen, Kleinverteiler oder Zählerschränke ohne Kennzeichnung ⩛ in brennbare Hohlwände eingebaut oder befinden sich in den Hohlwänden zur Wärme- und Schalldämmung leicht entzündliche Stoffe, z. B. aufgeschäumte Kunststoffe mit Entzündungstemperaturen < 200 °C, so müssen die Betriebsmittel mit einer 12 mm dicken Silikatfaserplatte oder entsprechendem nicht entflammbarem Material umhüllt oder in eine 100 mm dicke Schicht aus Glas- oder Steinwolle eingebettet werden (**Bild 14.25**). Dabei muss der Einfluss des Materials auf die Ableitung der Wärme vom elektrischen Betriebsmittel berücksichtigt werden.

Für bestimmte Gebäude aus Holz muss die *Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise – M-HFHHolzR* (aktueller Stand: Juli 2004, erlassen von und herausgegeben im Informationssystem der Bauministerkonferenz (IS-ARGEBAU)) auch für das Verlegen von Kabeln und Leitungen im Gebäude beachtet werden, vorausgesetzt,

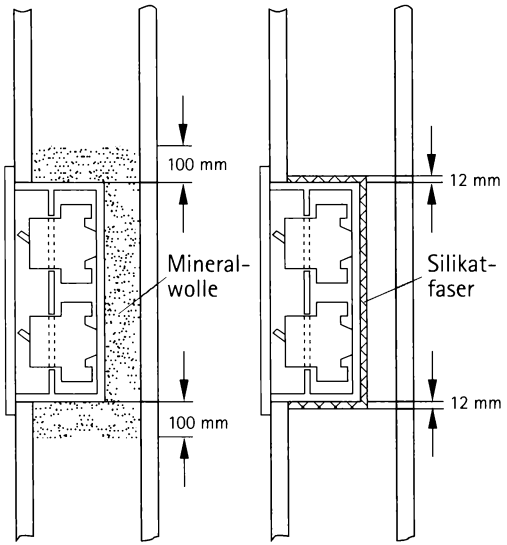



***Bild 14.25:*** *Feuersichere Trennung*

die M-HFHHolzR ist im betreffenden Bundesland umgesetzt worden. Die Richtlinie gilt für Gebäude aus Holz, deren – wie es heißt – tragende, aussteifende oder raumabschließende Teile aus Holz oder aus Holzwerkstoffen bestehen. An die Holzwerkstoffe werden bestimmte brandschutztechnische Anforderungen gestellt. Weiter gilt die Richtlinie für Holzbauweisen wie Holztafel-, Holzrahmen- und Fachwerkbauweise. Kabel- und Leitungsanlagen dürfen in solchen Bauten nicht in hochfeuerhemmenden Bauteilen (Feuerwiderstandsdauer 60 min) geführt werden. Sie müssen vor Wänden oder unterhalb von Decken oder in Schächten und Kanälen geführt werden. Jedoch dürfen einzelne Leitungen oder einzelne Installationsrohre aus nichtbrennbaren Baustoffen mit bis zu drei Leitungen, die zur Versorgung des angrenzenden Raums innerhalb derselben Nutzungseinheit dienen, in Wänden und Decken geführt werden. Verbleibende Hohlräume in der Brandschutzbekleidung sind mit nichtbrennbaren Baustoffen zu schließen oder aufzufüllen. Zu Leitungsanlagen im Sinne dieser Richtlinie gehören wie nach der Leitungsanlagenrichtlinie (s. Abschn. 12.2.3) z. B. auch zugehörige Hausanschlusseinrichtungen, Verteiler, Installationsdosen oder Befestigungselemente.

Einzelne Hohlwanddosen (▽) zum Einbau von Steckdosen, Schaltern und elektrischen Verteilern dürfen nur eingebaut werden, wenn der Abstand zum nächsten Holzständer ≥ 150 mm beträgt. Gegenüberliegende Hohlwanddosen müssen „ge-

fachversetzt" eingebaut werden, d. h., sie dürfen nicht direkt gegenüber eingebaut werden. Sie müssen innerhalb des Wandhohlraums vollständig von Dämmstoffen aus nicht brennbaren Baustoffen mit einer Schmelztemperatur > 1 000 °C umhüllt werden. Der den Hohlraum füllende Dämmstoff darf im Bereich der Hohlwanddosen auf eine Mindestdicke von 30 mm gestaucht werden. In Wänden, die anstelle von Brandwänden zulässig sind, und in Wänden notwendiger Treppenräume (s. Abschn. 13.5) sind Installationsführungen nicht zulässig, außer Leitungen und Installationsrohre, die ausschließlich der Versorgung des Treppenraums dienen, aber auch nicht für hochfeuerhemmende Stützen, Träger und Wände, die als Brandwände gelten.

## 14.22 Installationen in Möbeln und ähnlichen Einrichtungsgegenständen

In zunehmendem Maße werden Leuchten und Steckdosen in Möbel eingebaut. Die Bestimmungen hierfür sind in VDE 0100-724 festgelegt. Demnach müssen die Netzanschlussstellen (Steckdosen, Geräteanschlussdosen) ohne Schwierigkeiten zugänglich sein. Als *Leitungen* sind

- PVC-Installationsleitungen NYM (auch Mantelleitungen),
- Schlauchleitungen mit thermoplastischer PVC-Isolierung für mittlere Beanspruchung H05VV-F (alte Bauart: NYMHY),
- flexible Schlauchleitungen für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung (frühere Bezeichnung: flexible Gummileitungen) H07RN-F oder
- Aderleitungen mit thermoplastischer PVC-Isolierung H07V-U (alte Bauart: NYA), die durch Isolierstoffrohre mit der Kennzeichnung ACF bzw. der entsprechenden Klassifizierung nach Abschnitt 8.2.10 geführt werden,

zu verwenden. Sie sind mit Isolierstoffschellen so zu verlegen, dass Beschädigungen nicht zu erwarten sind.

*Installationsgeräte* (Abzweigdosen, Schalter und Steckdosen) sind in *Hohlwanddosen* mit Kennzeichen ▽ nach VDE 0606-1 bzw. nach DIN 30600 Reg.-Nr. 1656 mit verschiedenen Teilen einzubauen. Die Installationsgeräte dürfen nicht mit Krallen befestigt werden. Wird Installationsmaterial für Aufputzmontage auf brennbarer Unterlage befestigt, so ist es davon feuersicher zu trennen, z. B. durch eine Unterlage von mindestens 1,5 mm Dicke aus Schichtpressstoffen auf Phenolharzbasis, Epoxidharzbasis, und Polyesterbasis nach Reihe VDE 0318.

*Leuchten* müssen mit Gehäusen aus schwer entflammbaren Werkstoffen versehen sein. Durch Luftabstand, Wärmedämmstoffe oder Wärmebleche ist zu gewährleisten, dass brennbare Stoffe der Umgebung, z. B. Holz, Vorhänge, keine Temperatur > 95 °C annehmen können. Diese Forderung gilt auch für den z. B. mit Büchern oder Kleidern gefüllten Schrank und für das Fach für das Fernsehgerät sowie beim Einbau von Elektrowärmegeräten.

In Schränken mit Klappbetten sind *Tastschalter* einzubauen, die die Beleuchtung abschalten, wenn das Bett eingeklappt wird. In Schreibfächern, Barfächern, Phonoschränken dürfen nur Leuchten eingebaut werden, die dafür ausgelegt sind. Wenn Leuchten oder Fassungen zu *Lichtbändern* zusammengeschaltet werden sollen, müssen entweder Steckverbindungen oder Verbindungsklemmen in Verbindungsdosen vorhanden sein. Die höchstzulässige Bemessungsleistung, die auf jeder Leuchte oder auf einem gut sichtbaren Hinweisschild angegeben sein muss, ist zu beachten. Allen Verbrauchsmitteln, z. B. Leuchten, die in Möbel eingebaut werden sollen, muss eine Montageanleitung beigefügt sein. Für Leuchten in und an Einrichtungsgegenständen (Möbeln) gilt VDE 0100-724 und VDE 0710-14. Demnach brauchen Glühlampen stets das Kennzeichen $\overline{\text{W}}\,\overline{\text{W}}$; Leuchtstofflampen auf schwer oder normal entflammbaren Baustoffen im Sinne von DIN 4102-1, z. B. Holz oder Holzwerkstoffen, müssen mit $\overline{\text{W}}$ oder $\overline{\text{W}}\,\overline{\text{W}}$ gekennzeichnet sein. Auf Werkstoffen, deren Brandverhalten nicht bekannt ist, sind nur Leuchten mit dem Kennzeichen $\overline{\text{W}}\,\overline{\text{W}}$ zulässig.

Der *Querschnitt* darf 0,75 mm$^2$ Cu betragen, wenn die Gesamtlänge der Leitung 10 m nicht überschreitet und keine Steckdosen zum Anschließen weiterer Verbrauchsmittel vorhanden sind. Andernfalls muss der Querschnitt ≥ 1,5 mm$^2$ betragen. Am Verbrauchsmittel und an der Einführungsstelle in das Möbelstück muss eine Zugentlastungsvorrichtung vorhanden sein. Die Leitung muss zwischen der Leitungseinführung und dem Verbrauchsmittel fest verlegt werden, wobei Isolierstoffschellen verwendet werden können. Ein Verlegen in Hohlräumen mit ausreichendem Platz ist zulässig, der Schutz gegen mechanische Beschädigung notwendig.

## 14.23 Liegeplätze für Wassersportfahrzeuge und Hausboote und ähnliche Bereiche

VDE 0100-709

Unter Liegeplätzen werden nach VDE 0100-709 die Einrichtungen zum Festmachen und Versorgen von Wassersportfahrzeugen mit festem Landeplatz, Anlegestellen, Piers oder Pontonanordnung zum Anlegen von einem Wassersportfahrzeug oder mehreren Wassersportfahrzeugen verstanden. Diese Begriffsbeschreibung wird in

der VDE-Bestimmung unter dem Begriff *Marina* zusammengefasst. Wassersportfahrzeuge im Sinne der VDE 0100-709 sind Boote, Schiffe, Yachten, Motorbarkassen oder jedes andere schwimmende Fahrzeug, das ausschließlich für Sport aber auch für Freizeit genutzt wird. Ebenfalls werden im Sinne der VDE 0100-709 Hausboote (schwimmender Bau mit Deck zum Verbleib an einer Stelle) dazu gezählt, die für Sport oder Freizeit genutzt werden. Falls ein Hausboot als ständiger Wohnsitz gebaut und gestaltet ist und auch genutzt wird, ist davon auszugehen, dass es direkt von einem NB versorgt wird.

**Netzversorgung, Schutzleiterbehandlung**

Die Spannung der Netzversorgung von Liegeplätzen darf Einphasenwechselstrom ≤ 230 V oder Drehstrom ≤ 400 V betragen. Endstromkreise für die Versorgung von Wassersportfahrzeugen und Hausbooten müssen unabhängig vom Leiterquerschnitt des Versorgungskabels oder der Versorgungsleitung als TN-S-System ausgeführt sein, d. h. der PE und N muss getrennt sein. Nicht alle Schutzmaßnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag sind für Liegeplätze zulässig. Wird die Schutzmaßnahme Schutztrennung (s. Abschn. 5.8) für die Versorgung von Wassersportfahrzeugen angewendet, muss der Stromkreis von einem fest errichteten Trenntransformator nach VDE 0570-2-4 versorgt werden. Der Schutzleiter der Stromversorgung zum Trenntransformator darf nicht mit dem Schutzleiteranschluss der Steckdose verbunden werden, die das Wassersportfahrzeug versorgt. Auch der Schutzpotenzialausgleich des Wassersportfahrzeugs darf nicht mit dem Schutzleiter der landseitigen Versorgung verbunden werden.

**Kabel und Leitungsanlagen**

Für die Verteilungsstromkreise von Liegeplätzen dürfen sowohl unterirdisch verlegte Kabel und Leitungen in zulässigen Installationsrohren als auch oberirdische verlegte Kabel, Leitungen und isolierte Leiter genutzt werden. Die Kabel- und Leitungsanlagen müssen für ihre Umgebungsbedingungen im Freien geeignet sein, z. B. Gezeiten, Bewegungen von schwimmenden Bauten. Als Leitungen sind z. B. flexible Schlauchleitungen für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung (frühere Bezeichnung: schwere Gummischlauchleitungen) H07RN-F zulässig. Es ist darauf zu achten, dass Wasser durch ein Gefälle und/oder über Drainageöffnungen herauslaufen kann.

An oder über einer Anlegestelle, einem Landeplatz, Pier oder Ponton dürfen oberirdisch verlegte Kabel, Leitungen und Leiter frei in Luft, an einem Seil hängend oder mit integriertem Tragseil, isolierte Leiter in Elektroinstallationsrohren, Elektroinstallationskanälen und ähnliches, Kabel und Leitungen mit Aluminiumleitern und mineralisolierte Kabel nicht verwendet werden.

Unterirdisch verlegte Leitungen und Kabel von Verteilungsstromkreisen müssen, soweit sie nicht mit einem zusätzlichen mechanischen Schutz versehen sind, in ausreichender Tiefe verlegt sein (≥ 0,5 m), um Beschädigungen, z. B. durch Fahrzeuge, zu vermeiden. Unterirdisch verlegte Installationsrohre müssen VDE 0605-24 (erdverlegte Elektroinstallationsrohrsysteme) entsprechen.

Oberirdisch verlegte Leiter müssen ≥ 3,5 m über dem Boden angeordnet werden. Fahren im Bereich von Liegeplätzen Fahrzeuge, muss die Höhe ≥ 6 m über dem Boden betragen. Es dürfen keine Leitungen ohne Isolierung eingesetzt werden. Masten und andere Unterstützungen für oberirdisch verlegte Kabel und Leitungen müssen so angeordnet oder so geschützt sein, dass sie durch Fahrzeugbewegungen nicht beschädigt werden können.

**Verteiler/Steckdosen**

In jedem Verteiler muss wenigstens eine Einrichtung zum Trennen vorgesehen werden, die alle aktiven Leiter – auch den Neutralleiter – trennen muss.

Die Versorgung der Wasserfahrzeuge und Hausboote erfolgt über geeignete flexible Anschlussleitungen und Steckdosen. Steckdosen müssen in einem Verteiler oder in einem separaten Gehäuse eingebaut werden. Damit Gefahren durch lange Verlängerungsleitungen vermeiden werden, dürfen höchstens vier Steckdosen in einem Gehäuse zusammengefasst werden. Für jedes Wassersportfahrzeug oder jedes Hausboot muss eine separate Steckdose vorgesehen werden. Die Steckdosen müssen so nahe wie möglich am Liegeplatz, der versorgt werden soll, angeordnet sein. Nach VDE 0100-709 wird empfohlen, dass der Betreiber der Liegeplätze (Marina) jedem Wassersportfahrzeug-Betreiber, der einen Anschluss eines Wassersportfahrzeugs an die elektrische Landversorgung wünscht, eine aktuelle Kopie eines Hinweistexts zur Verfügung stellt. Außerdem muss eine aktuelle Kopie dieses Hinweistexts gut sichtbar und wettergeschützt an jedem Stromversorgungspunkt angebracht sein. Ein Beispiel solch eines Hinweistexts kann VDE 0100-709:2013-10, Anhang B, entnommen werden.

Im Allgemeinen müssen einpolige Steckdosen mit einer Bemessungsspannung von 200 V bis 250 V und einem Bemessungsstrom von 16 A vorgesehen werden. Es dürfen aber auch Steckdosen mit höheren Werten vorgesehen werden. Steckdosen mit einem Bemessungsstrom ≤ 63 A müssen VDE 0623-2 (früher: VDE 0623-20), mit einem Bemessungsstrom > 63 A VDE 0623-1 entsprechen. Ein Beispiel einer Steckdose zeigt Bild 14.26 (s. Abschn. 14.25).

Steckdosen, die sowohl auf festen Anlegestellen oder Piers als auch an schwimmenden Pontons angebracht werden, müssen so positioniert werden, dass die Wirkung von Spritzwasser und/oder Überflutung vermieden wird. Es können auch entspre-

chende Maßnahmen dagegen vorgesehen werden. Steckdosen müssen mindestens in IP44 ausgeführt sein oder sie werden in einem Gehäuse untergebracht, das einen entsprechenden Schutz gewährleistet. Bei Strahl- oder Schwallwasser muss mindestens jeweils die Schutzart IPX5 oder IPX6 gegeben sein.

**Schutz gegen elektrischen Schlag**

Mit Inkrafttreten des neuen Teils 709 von VDE 0100 im Okt. 2013 hat es eine Differenzierung oder, wie es in der neuen VDE-Bestimmung heißt, eine Konkretisierung der Anforderungen an den Einsatz von Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) zum Schutz von Steckdosen in Marinas und ähnlichen Bereichen gegeben. Bisher musste jede einzelne Steckdose unabhängig vom Bemessungsstrom der einzelnen Steckdose durch eine eigene Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom ≤ 30 mA geschützt sein. Nun muss jede einzelne Steckdose mit einem Bemessungsstrom ≤ 32 A durch eine eigene Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom ≤ 30 mA geschützt sein. Jede Steckdose mit einem höheren Bemessungsstrom > 32 A muss ebenfalls durch eine eigene Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) geschützt sein, allerdings kann der Bemessungsdifferenzstrom höher sein und zwar ≤ 300 mA. Geblieben ist, dass unabhängig von der Höhe des Bemessungsdifferenzstroms der einzelnen Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD), die jeweilige Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) alle aktiven Leiter – auch den Neutralleiter – abschalten muss.

Jeder Endstromkreis, der für den festen Anschluss zur Versorgung von Hausbooten vorgesehen ist, muss durch eine eigene Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom nicht größer als 30 mA geschützt sein. Die ausgewählte Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) muss alle aktiven Leiter einschließlich des Neutralleiters abschalten.

**Überstromschutz**

Jede einzelne Steckdose muss einzeln durch eine eigene Überstromschutzeinrichtung geschützt sein (s. Abschn. 8.4). Das gilt auch für alle Endstromkreise, die für den festen Anschluss zur Versorgung von Hausbooten vorgesehen sind.

**Versorgung durch einen öffentlichen Netzbetreiber**

Erfolgt die Stromversorgung von Hausbooten direkt von einem öffentlichen Netzbetreiber und nicht von einem Liegeplatzbetreiber, gelten die Ausführungen dieses Abschnitts nicht.

**Elektrische Anlagen von Wassersportfahrzeugen und Hausbooten**

Für das Errichten der internen elektrischen Anlagen von Wassersportfahrzeugen ist nicht die Reihe VDE 0100, sondern in der Regel VDE 0129-507 (Elektrischen Anlagen auf Schiffen – Yachten) anzuwenden. Für das Errichten der elektrischen Anlage von Hausbooten gilt generell die Reihe VDE 0100. Es wird auf die entsprechenden Abschnitte dieses Buchs verwiesen.

## 14.24 Campingplätze, Caravanplätze und ähnliche Bereiche

VDE 0100-708

In VDE 0100-708:2006-02 wurden bisher die Anforderungen an elektrische Anlagen alleine von Campingplätzen behandelt. Mit Inkrafttreten der aktuellen VDE 0100-708:2010-02 ist der Geltungsbereich erweitert worden und umfasst nun zusätzlich auch Caravanplätze und ähnliche Bereiche.

Unter einem Camping- und Caravanplatz wird der Teil eines Geländes verstanden, das für zwei oder mehr Caravan-/Zeltstellplätze vorgesehen ist. Die sicherheitstechnischen Anforderungen an die elektrischen Anlagen für Camping- und Caravanplätze gelten nicht für innere elektrische Anlage von bewohnbaren Freizeitfahrzeugen bzw. Caravans (s. Abschn. 14.25).

Die Nennversorgungsspannung darf max. AC 230 V bei Wechselstromversorgung und max. 400 V bei Drehstrom betragen. Bei Anwendung des TN-Systems ist nur das TN-S-System erlaubt.

Die elektrischen Stromversorgungseinrichtungen (vorher *Speisepunkt* genannt) für jeden Caravan-/Zeltstellplatz müssen neben dem Stellplatz angeordnet werden. Für jedes bewohnbare Freizeitfahrzeug muss mindestens eine Steckdose nach VDE 0623-2 (früher: VDE 0623-20) vorgesehen werden. In jedem Verteiler muss wenigstens eine Einrichtung zum Trennen vorgesehen werden, die alle aktiven Leiter – auch den Neutralleiter – trennen muss.

Jede Steckdose muss so nahe wie möglich am Caravan-/Zeltstellplatz angeordnet sein. Steckdosen müssen in einem Verteiler oder in einem separaten Gehäuse eingebaut werden. Damit Gefahren durch lange Verlängerungsleitungen vermeiden werden, dürfen höchstens vier Steckdosen in einem Gehäuse zusammengefasst werden. Im Allgemeinen müssen einpolige Steckdosen mit einer Bemessungsspannung von 200 V bis 250 V und einem Bemessungsstrom von 16 A vorgesehen werden. Es dürfen aber auch Steckdosen mit höheren Werten vorgesehen werden.

Die Steckdosen für die Versorgung der Caravans müssen VDE 0623-1 und 0623-2 (früher: VDE 0623-20) entsprechen (Bild 14.26). Sie sind in einer Höhe von 0,5...1,5 m anzubringen (früher war das untere Maß 0,8 m). In besonderen Fällen (Überflutung, starker Schneefall) darf die Höhe von 1,5 m überschritten werden. Die Schutzart muss den Umgebungsbedingungen entsprechen; sie muss wenigstens IP44 sein (Spritzwasserschutz) oder die Steckdosen werden in einem Gehäuse untergebracht, das einen entsprechenden Schutz gewährleistet.

Die Steckdosen müssen durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA geschützt werden, die auch den N-Leiter mitabschaltet. Neu ist, dass für jede einzelne Steckdose eine Fehlerstromschutzeinrichtung vorgesehen werden muss (früher waren drei Steckdosen je Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) erlaubt). Jeder Endstromkreis, der für die feste Verbindung zur Versorgung eines Mobilheimes oder eines Parkwohnheimes vorgesehen ist, muss ebenfalls durch eine eigene Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom nicht größer als 30 mA geschützt sein und den N-Leiter abschalten. Gegen Überstrom ist jede Steckdose einzeln zu sichern (s. Abschn. 8.4). Das gilt auch für alle Endstromkreise, die für den festen Anschluss zur Versorgung eines Mobilheimes oder Parkwohnheimes vorgesehen sind. Unter einem Mobilheim wird im Sinne von VDE 0100-708 ein transportables bewohnbares Freizeitfahrzeug mit Einrichtungen zum Fortbewegen verstanden, das aber die Anforderungen für die Konstruktion und die Verwendung als Straßenfahrzeug nicht erfüllt. Ein Parkwohnheim ist eine in der Fabrik gefertigte verschiebbare bzw. bewegliche Unterkunft.

Die Verteiler können über Leitungen und Kabel versorgt werden. Kabel sollten im Erdreich verlegt werden, jedoch nicht im Bereich der eigentlichen Stellplätze und nicht dort, wo üblicherweise Zeltpflöcke oder Heringe (Spieße) eingeschlagen werden. Deshalb müssen die Kabel in einer Tiefe von mindestens 0,6 m verlegt werden, es sei denn, sie werden zusätzlich mit einem ausreichenden mechanischen Schutz versehen und außerhalb jedes Caravanstellplatzes oder außerhalb jeder Oberfläche verlegt, wo Zeltpflöcke oder Heringe zu erwarten sind. Werden Leitungen frei gespannt, so müssen sie isoliert sein. Auf die Eignung der Isolierung gegen dauernde Sonneneinstrahlung der Leitungen ist zu achten. Maste und sonstige Stützen für die frei gespannten Leitungen müssen so aufgestellt werden, dass Beschädigungen durch Fahrzeuge ausgeschlossen werden. In den Bereichen, in denen Fahrzeuge fahren und rangieren, müssen frei gespannte Leitungen in einer Höhe von mindestens 6 m über dem Boden aufgehängt sein, in den anderen Bereichen 3,50 m.

Andere elektrische Betriebsmittel im Freien müssen mindestens in IP44 ausgeführt sein und zum Schutz gegen mechanische Beanspruchung (mittlere Schläge) AG2 entsprechen.

**Anschlussvorrichtungen**

Die elektrische Verbindung zwischen der Steckdose des Stellplatzes und dem Fahrzeug muss aus einem Stecker und einer Kupplungssteckdose mit Schutzkontakt nach VDE 0623-1 und -2 (Bild 14.26) sowie einer 3-adrigen flexiblen Schlauchleitung für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung (frühere Bezeichnung: schwere Gummischlauchleitung) mindestens des Typs H07RN-F oder einer gleichwertigen Leitung bestehen. Die Leitung sollte nicht länger als 25 m sein und einen Mindestquerschnitt von 2,5 $mm^2$ haben. Die Steckvorrichtung sollte spritzwassergeschützt ⚠ sein.

## 14.25 Caravans

VDE 0100-721

Unter Caravans werden hier sowohl Fahrzeuge in Anhängerbauweise (Campingfahrzeuge) als auch Fahrzeuge mit eigenem Motorantrieb (Motorcaravans) verstanden. Bei einem Motorcaravan kann es sich um ein umgearbeitetes Serienfahrzeug handeln oder um eine Einzelanfertigung unter Verwendung eines vorhandenen Fahrzeugrahmens, mit oder ohne Führerhaus, der Wohnteil kann fest angebracht oder demontierbar sein. Für elektrische Anlagen innerhalb von Caravans und Motorcaravans, die mit max. DC 12 V betrieben werden, gelten die Normen DIN EN 1648-1 und -2. Hierzu ist als sicherheitstechnische Anforderung der Überstromschutz zu beachten. Der Schutz gegen elektrischen Schlag ist aufgrund der Höhe der elektrischen Spannung gegeben. Die im folgenden beschriebenen sicherheitstechnischen Anforderungen an die elektrischen Anlagen von Caravans gelten nicht für die inneren elektrischen Anlagen von Freizeit- und Mobilheimen, fest abgestellten bewohnbaren Ferien- und Freizeitfahrzeugen, transportablen Behelfsunterkünften und vergleichbaren, vorübergehend benutzten Einrichtungen oder Aufbauten. Dafür gelten die allgemeinen und gegebenenfalls andere besondere Anforderungen der Reihe VDE 0100. Ein bewohnbares Freizeitfahrzeug ist Wohneinheit, die vorübergehend oder jahreszeitlich zu Freizeitzwecken genutzt wird und die für den Einsatz im Straßenverkehr geeignet sein kann. Ein Mobilheim ist ein transportables bewohnbares Freizeitfahrzeug mit Einrichtungen zum Fortbewegen, das aber weder den Konstruktions-noch Anwendungsvorschriften von Straßenverkehrsmitteln entspricht.

### Anschluss

Die Fahrzeuge müssen über eine Gerätesteckvorrichtung nach VDE 0623-2 (früher: VDE 0623-20) angeschlossen werden (**Bild 14.26**); sie sollte wenigstens IPX4 entsprechen oder spritzwassergeschützt sein. Die Steckvorrichtung muss so hoch wie möglich, jedoch nicht höher als 1,8 m über dem Erdboden und leicht zugänglich angebracht werden. Sie muss an der Außenseite des Caravans in einer Nische untergebracht werden, die durch einen Deckel verschlossen werden kann. Bei mehreren voneinander unabhängigen Teilen der elektrischen Anlagen muss jeder Anlagenteil über einen eigenen Anschluss versorgt werden. In der Nähe des Anschlusses müssen die Bemessungsspannung, der Bemessungsstrom und die Bemessungsfrequenz angegeben werden.

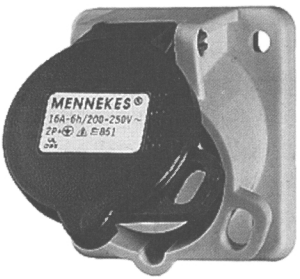



***Bild 14.26:*** *Anbausteckdose mit Öse für ein Schloss; geeignet für Caravans und Boote (Werkbild: Mennekes)*

Die gesamte elektrische Anlage des Caravans muss durch einen *Hauptschalter* abgeschaltet werden können. Dabei müssen alle aktiven Leiter, also auch der Neutralleiter, unterbrochen werden. Der Schalter muss an einer leicht zugänglichen Stelle innerhalb des Fahrzeuges installiert werden. Ist in dem Caravan nur ein Endstromkreis vorhanden, so kann die Überstromschutzeinrichtung als Hauptschalter dienen. Neben dem Hauptschalter muss an gut sichtbarer Stelle ein Hinweisschild mit folgenden Angaben und Informationen angebracht werden:

- Anschluss- und Abtrennvorgang nach der Ankunft oder vor dem Verlassen des Platzes,
- Maßnahmen für den Fehlerfall,
- Anweisung für das Wechseln von Sicherungen,
- Empfehlung einer regelmäßigen Prüfung.

Die Aufschrift muss in der Landessprache sein, in der das Fahrzeug zum ersten Verkauf angeboten wird.

Jeder Endstromkreis bzw. Verbraucherabgang muss eine eigene Überstromschutzeinrichtung haben, die alle Außenleiter unterbricht.

### Schutz gegen elektrischen Schlag

Als Schutz gegen elektrischen Schlag darf Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV mit den Kleinspannungen 12 V, 24 V und 48 V DC oder 12 V, 24 V, 42 V und 48 V AC und automatische Abschaltung der Stromversorgung angewendet werden, Schutz durch Schutztrennung nur bei Rasiersteckdosen. Als zusätzlicher Schutz muss bei Schutz durch automatisches Abschalten der Stromversorgung eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom – und das ist neu seit Inkrafttreten des neuen Teils 721 am 01.02.2010 – ≤ 30 mA vorgesehen werden. Bei der Abschaltung müssen alle aktiven Leiter abgeschaltet werden. Jede Einspeisestelle für die Stromversorgung muss direkt mit der zugeordneten Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) verbunden werden, was bedeutet, dass es vor der Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) keine Abzweig- oder Verbindungsstellen geben darf. Neu ist auch, dass jeder Endstromkreis – mit oder ohne Steckdosen – durch eine Überstromschutzeinrichtung (RCD) ≤ 30 mA geschützt werden muss. Der Schutzleiter des Kabel- und Leitungsnetzes muss mit dem Schutzkontakt der Anschlussdose (Gerätestecker) und den Steckdosen des Caravans sowie mit allen Körpern der elektrischen Betriebsmittel verbunden sein. Es muss ein *Schutzpotenzialausgleich* dadurch hergestellt werden, dass alle berührbaren leitfähigen Teile des Caravans mit dem Schutzleiter der elektrischen Anlage verbunden werden.

Wenn in dem Caravan ein Raum mit Badewanne oder Dusche mit elektrischen Anlagen vorhanden ist, sind die Anforderungen nach Abschnitt 14.3 einzuhalten.

### Kabel und Leitungen

Es dürfen PVC-Aderleitungen mit feindrähtigen Leitern (H07 V-K) in Isolierrohren, mehrdrähtige Leiter (H07 V-R) in Isolierrohren und flexible Schlauchleitungen für mittlere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung (H05RN-F) oder gleichwertige verwendet werden. Die Isolierrohre müssen Reihe VDE 0605 entsprechen (s. Abschn. 8.2.10). Polyethylenrohre dürfen nicht verwendet werden. Ein Mindestquerschnitt von 1,5 $mm^2$ der Leiter darf nicht unterschritten werden. Es ist zu berücksichtigen, dass je nach der Verlegeart der Leitungen Wärmestaus entstehen können, wodurch eine Reduzierung der Belastbarkeit der Leitungen notwendig werden kann; ggf. werden größere Leiterquerschnitte erforderlich. Einadrige Schutzleiter müssen isoliert sein. Wegen der Erschütterung müssen Leitungen zusätzlich gegen mechanische Beschädigung geschützt werden. Leitungen, die durch Metallteile geführt werden, müssen durch Überzüge oder Tüllen geschützt und so verlegt werden, dass scharfkantige Teile keinen Abrieb hervorrufen.

Nicht in Rohren oder Kanälen verlegte Leitungen müssen mit Isolierschellen befestigt werden. Der Abstand der Schellen darf bei senkrechter Leitungsführung höchstens 40 cm und bei waagerechter höchstens 25 cm sein. Leitungsanschlüsse und -verbindungen müssen in Dosen vorgenommen werden. Wenn die Abdeckung der Dosen ohne Werkzeug entfernt werden kann, müssen die Klemmstellen isoliert sein, damit ein zufälliges Berühren spannungsführender Teile ausgeschlossen werden kann. Leitungsrohre und -kanäle sowie Verbindungsdosen müssen aus nicht brennbarem Werkstoff bestehen. Leitungen, die unzugänglich verlegt sind, müssen aus einem Stück bestehen.

Leitungen von SELV-Stromkreisen (frühere Bezeichnung: Schutzkleinspannung) sind getrennt von anderen Leitungen zu verlegen und so anzuordnen, dass sich die unterschiedlichen Leitungen nicht berühren. In Gasflaschen-Fächern dürfen keine Kabel und Leitungen vorhanden sein und auch nicht hindurchgeführt werden.

**Betriebsmittel**

*Installationsgeräte* (Schalter, Lampenfassung u. Ä.) dürfen keine berührbaren Metallteile enthalten. Es dürfen nur Schutzkontaktsteckdosen eingebaut werden. Dies gilt nicht für Steckdosen, die über Trenntransformatoren gespeist werden. Steckdosen für Kleinspannung müssen so ausgeführt sein, dass die Stecker für Kleinspannung nicht in Steckdosen höherer Spannungen eingeführt werden können. Außen angebrachte Steckdosen und andere Betriebsmittel müssen IP55 entsprechen, es sei denn, sie sind entsprechend geschützt untergebracht. Fest mit dem Netz verbundene Verbraucher, die keinen eigenen Schalter haben, müssen über einen Schalter in der Nähe des Verbrauchers geschaltet werden können.

*Leuchten* sollten möglichst fest mit der Konstruktion oder der Auskleidung des Caravans verbunden sein. Hängeleuchten und deren Anschlussleitungen dürfen durch Fahrbewegungen nicht beschädigt werden. Die Aufhängeeinrichtungen müssen für die tragende Masse bemessen sein. Leuchten für Lampen mit zwei verschiedenen Spannungen (Netzspannung, Bordkleinspannung) müssen

- verschiedene Lampenfassungen für die unterschiedlichen Spannungen enthalten,
- ein dauerhaft angebrachtes Schild auf den Lampenfassungen mit Angabe der Lampenleistung und -spannung tragen,
- so ausgeführt sein, dass die Kleinspannungsstromkreise einschl. der Anschlussklemmen von den anderen sicher getrennt („sichere Trennung") sind,
- so ausgeführt sein, dass die Lampen nicht in die Fassungen der anderen Spannungsebenen eingesetzt werden können.

Auf allen Steckdosen, die mit Kleinspannung betrieben werden, muss gut sichtbar die Spannungshöhe angegeben sein. Die Stecker der Kleinspannungsstromkreise dürfen sich nicht in Steckdosen anderer Spannungsebenen einführen lassen.

*Caravans* müssen zum Anschluss an das Netz eine spritzwassergeschützte Steckvorrichtung mit Schutzkontakt und Isolierstoffgehäuse nach VDE 0623-2 (s. Abschn. 11.2.3) haben, die gegen mechanische Beschädigung geschützt angebracht ist (Schutzart mindestens IP44). Als Anschlussleitungen kommen flexible Schlauchleitungen für schwere Beanspruchung mit vernetzter oder gleichwertiger synthetischer Elastomer-Isolierung (frühere Bezeichnung: schwere Gummischlauchleitungen) der Bauart H07RN-F oder gleichwertige Schlauchleitungen wie NSSHÖU mit mindestens $3 \times 2{,}5$ mm$^2$ Cu infrage. Maßgebend für den Leiterquerschnitt ist der Bemessungsstrom. Der Anschluss darf nicht mehr als 1,8 m über dem Boden, muss in gut erreichbarer Position und darf – wie es in VDE 0100-721 heißt – nicht wesentlich über die Hülle des Caravans hinausragen.

Eine *Verlängerungsleitung* für die Verbindung zur Steckdose am Caravan-Stellplatz, die den Caravan versorgt, muss bestehen aus:

- einem Stecker nach VDE 0623-2 (z. B. Bild 14.26) und
- einer flexiblen Leitung
  - von 25 m (±2 m) Länge,
  - versehen mit dem Leitungs-Bauartkurzzeichen H07RN-F oder gleichwertig,
  - die einen Schutzleiter enthält,
  - mit einem Querschnitt nach unten stehender Tabelle enthält, und
- einer Kupplung, kompatibel mit der Wechselstrom-Steckvorrichtung des Caravans nach VDE 0623-2 (z. B. Bild 14.26).

| **Bemessungsstrom** A | **Mindestquerschnitt flexible Verlängerungsleitung** mm$^2$ |
|---|---|
| 16 | 2,5 |
| 25 | 4 |
| 32 | 6 |
| 63 | 16 |
| 100 | 35 |

## 14.26 Räume und Orte mit unersetzbaren Gütern von hohem Wert; Baudenkmäler; Museen

VDE 0100-420, VdS 3511

Für Räume oder Gebäude mit unersetzbaren Gütern von hohem Wert, wie Museen, Baudenkmäler, gibt es zz. keine speziellen Anforderungen. Darunter fallen Gebäude, die unter Denkmalschutz stehen oder die Einrichtungen enthalten, die einen hohen ideellen und damit in der Regel einen hohen materiellen Wert haben. Die baulichen Einrichtungen und auch die ausgestellten Gegenstände sind in der Regel unersetzbar. Wegen fehlender spezieller Anforderungen werden in VDE 0100-420, Abschn. 422.6 Anforderungen an diese elektrischen Anlagen *empfohlen*. Es sollten folgende Anforderungen erfüllt werden.

- Es dürfen nur Kabel und Leitungen mit verbessertem Verhalten im Brandfall verwendet werden (s. Tabellen 14.2 und 14.3), außer sie werden vollständig in nicht brennbaren Materialien verlegt oder gleichwertig gegen Feuer geschützt.
- Kabel- und Leitungsanlagen müssen bei Isolationsfehlern besonders geschützt werden, z. B. durch Verwenden mineralisolierter Kabel und Leitungen.
- Verlegen von Kabeln und Leitungen in nichtbrennbare feste Wände, Decken und Fußböden.
- Verlegen von Kabeln und Leitungen in Bereichen mit konstruktionsbedingten Abschnitten, die eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min oder 90 min besitzen, letztere in Betriebsstätten mit Treppen, die im Rettungsfall benutzt werden.
- Verbindungen oder Klemmen von Kabel- und Leitungsanlagen sind in Umhüllungen unterzubringen, die den Anforderungen nach Reihe VDE 0606 entsprechen.
- PEN- und PEM-Leiter sind nicht zulässig.
- Neutralleiter müssen Einrichtungen zum Trennen nach VDE 0100-530 haben, um eine vereinfachte Isolationsmessung als vorbeugende Maßnahme für den Brandschutz durchführen zu können, z. B. durch den Einsatz von Neutralleiter-Trennklemmen, Schalt- oder Schutzschaltgeräten, die in der Lage sind, den Neutralleiter zu trennen.
- Motoren, die automatisch gesteuert oder fernbedient oder nicht dauernd beaufsichtigt werden, müssen Einrichtungen zum Schutz bei Überlast haben.
- Für Heizgeräte gelten die o. g. Festlegungen ebenfalls.
- Stegleitungen dürfen nicht verwendet werden.
- Elektrische Betriebsmittel müssen mindestens der Schutzart IP4X entsprechen.

- Elektrische Anlagen in unbewohnten Gebäuden und Gebäudeteilen müssen außerhalb der Nutzungszeit, z. B. nachts, ganz oder teilweise abgeschaltet werden können. Die Schalter sind dem Zugriff Unbefugter zu entziehen und an einer für die Brandbekämpfung geeigneten Stelle anzubringen. Ausgenommen von der Abschaltung sind Stromkreise, die auch außerhalb der Nutzungszeit benötigt werden, wie Stromkreise notwendiger Sicherheitseinrichtungen, Kühlanlagen, wichtiger EDV-Anlagen und bestimmter Teile der Beleuchtung.
- Insbesondere für nachts betriebene Leuchten gelten die o. g. Anforderungen hinsichtlich begrenzter Oberflächentemperatur.
- Für die Errichtung von Beleuchtungsanlagen gelten die Anforderungen nach Abschn. 14.7. Es muss verhindert sein, dass Bestandteile von Leuchten, wie Lampen oder heiße Teile, aus der Leuchte herausfallen können.
- Heizungssysteme müssen durch einen Schutztemperaturbegrenzer gegen übermäßige Temperatur geschützt werden.

# 15 Prüfungen von Anlagen und Verbrauchsmitteln

## 15.1 Grundsätzliche Anforderungen

VDE 0100-600, VDE 0105-100, VDE 0701-0702, DGUV Vorschriften 3 u. 4

Die Durchführungen von Prüfungen elektrischer Anlagen wird innerhalb des VDE-Vorschriftenwerks in zwei unterschiedlichen Reihen der VDE-Bestimmungen behandelt.

Anforderungen an *Erstprüfungen* elektrischer Anlagen sind innerhalb der Reihe VDE 0100 im Teil 600, Abschnitt 61, enthalten (aktuell VDE 0100-600:2008-06). *Wiederkehrende Prüfungen* werden zwar auch in VDE 0100-600 genannt, allerdings nur in einer Abschnittsüberschrift (Abschnitt 62 Wiederkehrende Prüfungen). Inhaltlich werden wiederkehrende Prüfungen in der Reihe VDE 0105 im Teil 100 abgehandelt (aktuell VDE 0105-100:2015-10) und zwar im Abschnitt 5.3 *Erhalten des ordnungsgemäßen Zustands* im Unterabschnitt 5.3.3 *Prüfen* als Abschnitt 5.3.3.101 *Wiederkehrende Prüfungen.*

Für das Prüfen der elektrischen Sicherheit nach Instandsetzung und Änderung elektrischer Geräte (ortveränderlicher elektrischen Betriebsmittel) sowie bei Wiederholungsprüfungen elektrischer Geräte hat sich die Norm formell geändert. Bis Mai 2008 wurden Prüfungen nach Instandsetzung und Änderung elektrischer Geräte in VDE 0701 mit verschiedenen Teilen und Wiederholungsprüfungen in VDE 0702-1 abgehandelt. Die beiden Normen sind dann in einer Norm mit der etwas ungewöhnlichen Bezeichnung VDE 0701-0702 (aktuelle Ausgabe Juni 2008) zusammengefasst worden.

Der Untertitel „Allgemeine Anforderungen" wurde in der neuen Norm VDE 0701-0702 gegenüber der bisherigen Fassung um den Zusatz „... für die elektrische Sicherheit" ergänzt: Dies soll ausdrücken, dass die Norm gegenüber einer kompletten Wiederholungsprüfung einen eingeschränkten Anwendungsbereich hat, nämlich den der elektrischen Sicherheit.

Prüfungen elektrischer Anlagen sind vor der ersten Inbetriebnahme (nach VDE 0100-100, -600 und Internationalem Elektrotechnischen Wörterbuch auch in Kurzform „Erstprüfung" genannt), vor der Wiederinbetriebnahme, nach einer Änderung oder Instandsetzung und in wiederkehrenden Zeitabständen erforderlich. Die Prüfungen dienen in erster Linie der Feststellung, ob der Schutz von Personen und Sachen sichergestellt ist. Sie sollen Mängel aufdecken, die beim Errichten oder im Betrieb entstanden sind. Geprüft wird durch Besichtigen sowie Erproben und Messen des Zustands der Anlagen und Betriebsmittel. Prüfungen dürfen nur von Elektrofachkräften vorgenommen werden, die über Erfahrungen beim Prüfen elektrischer Anlagen verfügen und zur Durchführung solcher Prüfungen befähigt sind. Nach Beendigung der Erstprüfung nach Errichtung, Erweiterung und Änderung muss ein Prüfprotokoll erstellt werden.

### 15.1.1 Besichtigen

Besichtigen nach VDE 0100-600 ist die Untersuchung einer elektrischen Anlage – wie es in der Norm heißt – mit allen Sinnen, um die richtige Auswahl und die ordnungsgemäße Errichtung der elektrischen Betriebsmittel nachzuweisen. Das Besichtigen, das vor dem Erproben, Messen und bevor die Anlage in Betrieb genommen wird durchgeführt werden muss, als wesentlicher Teil der Prüfung der elektrischen Anlagen und Betriebsmittel erfordert vom Prüfer eine hohe Fachkenntnis. Soll er doch durch das Besichtigen kontrollieren, ob die Ausführung der elektrischen Anlagen den Errichtungsbestimmungen genügt. Sind Errichter und Prüfer ein- und dieselbe Person, so beginnt das Besichtigen als Prüfung bereits bei der richtigen Auswahl des Materials und begleitet die gesamten Arbeiten.

Durch *Besichtigen* ist z. B. zu prüfen, ob

a) *der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) sichergestellt ist:*
   - Sind alle aktiven Teile durch Isolierung oder Abdeckung gegen direktes Berühren geschützt?
   - Weisen Isolierung oder Abdeckung Beschädigungen auf?
   - Sind die Abdeckungen ordnungsgemäß befestigt?
   - Ist der Schutz durch Hindernisse oder Abstand erfüllt?

b) *der Schutz bei Überlast und Kurzschluss erfüllt ist:*
   - Sind die Überstrom- und Kurzschlussschutzeinrichtungen den Leiterquerschnitten und der Strombelastbarkeit richtig zugeordnet?
   - Ist die Motorschutzeinrichtung, bezogen auf den Motor, richtig eingestellt?
   - Sind die Schutzeinrichtungen selektiv gestaffelt?
   - Ist das Ausschaltvermögen der Schutzeinrichtungen ausreichend?
   - Ist der Neutralleiter durch Oberschwingungsströme überlastet?

c) *Leitung, Leitungsart, -isolierung, -querschnitt, -verlegung und -kennzeichnung den Anforderungen entsprechen:*
   - Ist die Leitung für den verwendeten Zweck geeignet?
   - Sind insbesondere Neutral- und Schutzleiter ordnungsgemäß gekennzeichnet?
   - Weist die Leitung Beschädigungen oder Zeichen thermischer Überbeanspruchung an ihrer Isolierung auf?
   - Ist der Querschnitt unter Berücksichtigung der Verlegebedingungen, z. B. Häufung, für den Betriebsstrom und hinsichtlich des Spannungsfalls ausreichend dimensioniert?
   - Ist die Leitung ordnungsgemäß verlegt, führt sie über scharfe Kanten, ist sie geknickt, ist sie richtig befestigt, ist sie zugentlastet?
   - Sind Leitungs- und Kabeldurchführungen fachgerecht geschottet und andere Vorkehrungen gegen die Ausbreitung von Feuer sowie Maßnahmen zum Schutz gegen thermische Einflüsse vorgenommen worden?

d) *die Betriebsmittel den örtlichen Anforderungen an Schutzart und Brandschutz genügen:*
   - Sind die Betriebsmittel ausreichend gegen mögliche Einwirkungen von Feuchte und Staub geschützt?
   - Sind die Abstände von Wärme erzeugenden Betriebsmitteln gegenüber entzündlichen Stoffen ausreichend?
   - Sind die Betriebsmittel für die Betriebsstätten geeignet und zulässig?

e) *Betriebsmittel äußerlich erkennbare Schäden und Mängel aufweisen:*
   - Sind die Betriebsmittel stark verschmutzt oder verrostet?
   - Sind Abdeckungen locker oder beschädigt?
   - Sind nicht benutzte Leitungseinführungen verschlossen?
   - Sind die Betriebsmittel fachgerecht befestigt?

f) *die eingesetzten Betriebsmittel richtig ausgewählt sind:*
   - Erfüllen die Betriebsmittel die Bedingungen des Fehlerschutzes (Schutz bei indirektem Berühren), z. B. für Schutzmaßnahme doppelte oder verstärkte Isolierung, Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV, Schutztrennung, den zusätzlichen Schutz?
   - Sind die für unterschiedliche Spannungen verwendeten Steckvorrichtungen unverwechselbar?

g) *die leichte Zugänglichkeit der elektrischen Betriebsmittel zur Bedienung, Kennzeichnung und Instandhaltung gegeben ist;*

h) *Schutzleiter, PEN-Leiter, Schutzpotenzialausgleichsleiter und Erdungsleiter richtig verlegt, bemessen und gekennzeichnet sind:*
   - Sind die Leiter in den Verteilern einzeln angeschlossen?
   - Sind die Anschluss- und Verbindungsstellen gegen Selbstlockern gesichert?
   - Sind die Schutzkontakte der Steckvorrichtungen nicht verbogen oder verschmutzt?
   - Befinden sich keine Überstromschutzeinrichtungen im Leitungszug?
   - Sind Schutzleiter und PEN-Leiter für sich allein nicht schaltbar?
   - Sind die Leiter nicht verwechselt?
   - Ist der Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene (Hauptpotenzialausgleich) wirksam hergestellt?

i) *Schaltpläne, Betriebsanleitungen und Kennzeichnungen vorhanden und richtig sind:*
   - Stimmen Schalt- und Bestandspläne mit dem tatsächlichen Anlagenaufbau und der Stromkreiskennzeichnung überein?
   - Sind Sicherheitszeichen (Verbots-, Warn-, Gebots-, Rettungszeichen) vorhanden?

j) *Schutzabstände, Luft- und Kriechstrecken eingehalten sind:*
   - Haben die aktiven Teile einen ausreichenden Abstand von fremden leitfähigen Teilen bzw. von Körpern?
   - Sind insbesondere an den Anschlussstellen die Luft- und Kriechstrecken gegeben?

k) *alle notwendigen Sicherheitseinrichtungen vorhanden sind:*
   - Sind die erforderlichen Einrichtungen zum Stillsetzen und Ausschalten (Not-Aus-Einrichtungen), Verriegelungen, Schutzeinrichtungen, Isolationsüberwachungsgeräte, Melde- und Anzeigeeinrichtungen vollständig, richtig eingebaut und eingestellt?
   - Sind sonstige Sicherheitseinrichtungen, wie Sicherheitsbeleuchtung, Gefahrenmeldeanlagen, bau- oder arbeitsrechtlich gefordert und, wenn ja, vorhanden und richtig ausgelegt?

l) *die speziellen Anforderungen für Anlagen und Räume besonderer Art und Nutzung eingehalten sind:*
   - Sind für die Anlage besondere Schutzmaßnahmen vorgeschrieben und berücksichtigt?
   - Gelten für die Räume spezielle Bestimmungen und wurden diese eingehalten?

Den Prüfungen sind die jeweiligen Errichtungsbestimmungen zugrunde zu legen, die *zum Zeitpunkt der Errichtung* der Anlage galten. Existieren in einer neueren Errichtungsbestimmung oder in einer berufsgenossenschaftlichen Vorschrift jedoch *Anpassungsforderungen*, so müssen bestehende Anlagen daraufhin untersucht werden, ob sie diesen Anforderungen entsprechen und andernfalls entsprechend hergerichtet werden. Leitungen und Kabel, die im Handbereich liegen, müssen über den ganzen Verlauf besichtigt und ggf. durch Messungen geprüft werden.

### 15.1.2 Erproben

Im Anschluss an das Besichtigen der Anlage und der Betriebsmittel sind vorhandene Sicherheitseinrichtungen zu erproben. Durch das Erproben soll deren ordnungsgemäße Funktion festgestellt werden.

*Erprobt* werden müssen alle *der Sicherheit dienenden Einrichtungen*, z. B.

- Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs),
- Einrichtungen zum Stillsetzen im Notfall (Not-Aus-Einrichtungen),
- Schutzeinrichtungen, z. B. Schutzrelais,
- Isolationsüberwachungseinrichtungen,
- Melde- und Anzeigeeinrichtungen,
- Verriegelungen,
- Sicherheitsbeleuchtung,
- Sicherheitsstromversorgung mit Ersatzstromanlage,
- Entrauchungsanlagen,
- Gefahrenmeldeanlagen,
- Alarmierungseinrichtungen.

Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) und Isolationsüberwachungseinrichtungen werden durch Betätigen der Prüfeinrichtungen erprobt. Hierbei handelt es sich um eine reine Funktionsprüfung der Schutz- bzw. Überwachungseinrichtung; die Wirksamkeit der Schutzmaßnahme wird durch das Drücken der Prüftaste nicht festgestellt. Hierzu sind zusätzlich Messungen erforderlich. Einrichtungen zum Stillsetzen im Notfall (Not-Aus-Einrichtungen), Melde- und Anzeigeeinrichtungen sowie Verriegelungen werden durch Betätigen der entsprechenden Schalter und Taster auf ihre Wirksamkeit erprobt.

Die Sicherheitsbeleuchtungsanlagen (s. Abschn. 12.3) und die *elektrischen Anlagen für Sicherheitszwecke* (Sicherheitsstromversorgungsanlagen) (s. Abschn. 12.2) erprobt man am besten durch Simulation eines Netzausfalls, Gefahrenmeldeanlagen durch Auslösen der Melder.

### 15.1.3 Messen

Durch Besichtigen und Erproben allein ist der Zustand von elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln nicht feststellbar. Erst durch ergänzende Messungen ist eine Beurteilung möglich. Gemessen werden müssen mit Mess- und Überwachungsgeräten der Reihe VDE 0413 die Durchgängigkeit der Leiter, der Isolationswiderstand von Leitungen und Betriebsmitteln, Schutz durch SELV, PELV und Schutztrennung (Trennung Primär-/Sekundärkreise, Isolationswiderstände), die Impedanz der möglichen Fehlerschleifen, die Berührungsspannung der Schutzschaltungen, der Erdungswiderstand, die niederohmigen Schutzleiterverbindungen, das Drehfeld und u. U. die Übergangs- oder Isolationswiderstände von Fußböden und Wänden, die Spannung, der Strom, der Spannungsfall, die Temperatur, die Beleuchtungsstärke. Neu ist, dass auch die Wirksamkeit der automatischen Abschaltung der Stromversorgung durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) gemessen wird, wenn diese für den zusätzlichen Schutz nach VDE 0100-410 (s. Abschn. 5.6.6) gefordert werden. Die Messungen dienen in erster Linie zur Beurteilung der Wirksamkeit der angewendeten Schutzmaßnahmen. Die wichtigsten Messverfahren sind in den folgenden Abschnitten beschrieben.

Die in VDE 0100 vorgeschriebenen Messungen können mit einem *Universalmessgerät* durchgeführt werden (**Bild 15.1**). In begründeten Fällen kann eine Messung durch eine Berechnung ersetzt werden, z. B. wenn bei kleinen Fehlerschleifenimpedanzen die Messung zu ungenau wäre. Zu jeder Messung gehört eine Abschätzung des möglichen Fehlers, der durch Messgerät und Messverfahren bestimmt wird.




***Bild 15.1:*** *Universalmessgerät mit digitaler Anzeige (Werkbild: Fluke)*

Über alle Prüfungen muss – nach Abschluss der Prüfung einer neuen Anlage, von Erweiterungen oder Änderungen einer bestehenden Anlage – ein schriftlicher Bericht mit Aufzeichnung der Messergebnisse erstellt werden. Wichtig ist, dass der Anlagenumfang, der durch den Bericht abgedeckt ist, festgehalten wird. Nur so kann sich der beauftragte Unternehmer (z. B. Elektroinstallateur), der Anlagenbetreiber (Unternehmer oder von ihm beauftragte natürliche oder juristische Person), der Anlagenverantwortliche (z. B. Betriebsleiter, Werkstattleiter), der Arbeitsverantwortliche oder die verantwortliche Elektrofachkraft im Schadensfall entlasten. Prüfprotokolle und Übergabeberichte sind über den Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke (ZVEH) erhältlich.

## 15.2 Messen des Isolationswiderstands

VDE 0100-600, VDE 0105-100

Die Messung des Isolationswiderstands dient der Feststellung, ob kein unzulässig hoher Strom die Isolierung der Leiterbahnen überwindet. Durch Isolationsfehler hervorgerufene Fehlerströme von 100 mA können bereits Brände zünden; zu Unfällen kann es schon bei weit niedrigeren Werten kommen.

Die heute verwendeten Isolierstoffe sind so gut, dass schlechte Isolationswerte nur noch an Stellen zu erwarten sind, an denen die Isolierung beschädigt wurde. Die meisten Fehler treten daher an durch Schrauben oder Nägel beschädigten Leitungen, an Schalterdosen, in denen die Leitungen durch die Krallenklemmen eingeklemmt wurden, und an durch Feuchte oder Hitze zerstörten Isolierstoffen auf.

Zum Messen des Isolationswiderstands sind die betriebsbereiten Stromkreise durch ihre Überstromschutzeinrichtungen oder – sofern vorhanden – durch ihre Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) freizuschalten. Die Neutralleiter sind ebenfalls durch Betätigen der Fehlerstromschutzeinrichtung oder durch Abklemmen von ihrer Zuleitung zu trennen. Nun können die Isolationswiderstände zwischen den Außenleitern und dem Schutzleiter bzw. zwischen dem Neutralleiter und dem Schutzleiter gemessen werden (**Bild 15.2**). Während der Messungen dürfen Außen- und Neutralleiter auch miteinander verbunden werden. Schalterleitungen in Lichtstromkreisen müssen mitgemessen werden. In TN-Systemen darf die Messung zwischen den aktiven Leitern (Außen- und Neutralleiter) und dem PEN-Leiter erfolgen. Ist in dem zu prüfenden Stromkreis kein Schutzleiter oder geerdeter Mantel mitgeführt, dann muss auch der Isolationswiderstand Außenleiter gegen Außenleiter bzw. Außenleiter gegen Neutralleiter gemessen werden. Dazu sind alle Verbraucher abzuschalten oder herauszutrennen. Auch in feuergefährdeten Betriebsstätten ist zusätzlich der Isolationswiderstand der Außenleiter gegeneinander zu messen.

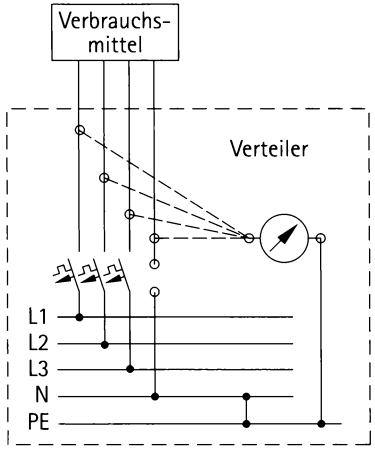



***Bild 15.2:*** *Isolationsmessung*

***Tabelle 15.1:*** *Messgleichspannung und Mindestwerte des Isolationswiderstands*

| Nenn-spannung der Stromkreise | Messgleich-spannung V | Mindestwert des Isolationswiderstands | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Erstprüfung[1] nach VDE 0100-600 MΩ | wiederkehrende Prüfungen nach VDE 0105-100 | | | |
| | | | trockene Räume | | nasse Räume oder im Freien | |
| | | | mit | ohne | mit | ohne |
| | | | angeschlossenem oder eingeschaltetem Verbraucher | | | |
| ≤ 500 V | 500 | ≥ 1,0 | 300 Ω/V | 1 000 Ω/V | 150 Ω/V | 500 Ω/V |
| > 500 V/FELV | 1 000 | ≥ 1,0 | 300 Ω/V | 1 000 Ω/V | 150 Ω/V | 500 Ω/V |
| SELV/PELV | 250 | ≥ 0,5 | 0,25 MΩ | | | |

[1] ohne angeschlossene Verbrauchsmittel

Die Messgleichspannung in Abhängigkeit von der Nennspannung des Stromkreises ist in **Tabelle 15.1** angegeben. Der Prüfstrom muss in allen Fällen mindestens 1 mA sein. Die Mindestwerte der Isolationswiderstände sind ebenfalls in Tabelle 15.1 aufgeführt. Danach ergibt sich bei Netzen 3 × 400/230 V für jeden Außenleiter und den Neutralleiter gegen Erde ein Mindestwert von 230 000 Ω = 0,23 MΩ. Bei *Erstprüfungen* dürfen die in Tabelle 15.1 angegebenen Mindestwerte auch bei angeschlossenen und eingeschalteten Verbrauchsmitteln nicht unterschritten werden. Mit Inkrafttreten des Teils 600 der VDE 0100 im Juni 2008 wurde der

geforderte Isolationswiderstand für elektrische Anlagen von statt 0,5 MΩ nun auf ≥ 1 MΩ geändert. Der Mindestwert des Isolationswiderstands für SELV- und PELV-Stromkreise wurde auf 0,5 MΩ angehoben (s. Tab. 15.1). Als Faustregel für die Mindestwerte des Isolationswiderstands bei wiederkehrenden Prüfungen kann man sich merken: mit angeschlossenen Verbrauchern betragen die Mindestwerte knapp 1/3 der Mindestwerte ohne angeschlossene Verbraucher, in nassen Räumen oder im Freien sind dabei die Mindestwerte des jeweiligen Isolationswiderstands halbiert. Liegen die Werte bei der Messung unterhalb der Mindestwerte, so ist die Messung mit abgeschalteten Verbrauchsmitteln zu wiederholen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Verbrauchsmittel auch allpolig abgeschaltet sind. Bei *wiederkehrenden Prüfungen* gelten bei angeschlossenen und eingeschalteten Verbrauchsmitteln niedrigere Werte (Tab. 15.1, rechte Spalten). Werden diese bei der Messung unterschritten, so ist die Messung bei abgeklemmten Verbrauchsmitteln zu wiederholen. Bei Anlagen im Freien sowie in Räumen oder Bereichen, deren Fußböden, Wände und Einrichtungen zu Reinigungszwecken abgespritzt werden, z. B. Schlachthöfe, Großmetzgereien, gelten halbierte Mindestwerte (s. Tab. 15.1). In IT-Systemen muss, abweichend von den Tabellenwerten, der Isolationswiderstand mindestens 50 Ω/V Nennspannung betragen. Für Schleifleitungen oder Schleifringkörper, die unter ungünstigen Umgebungsbedingungen betrieben werden, z. B. bei Krananlagen im Freien, Kokereien, Gießereien, Sinteranlagen, brauchen die Werte aus der Tabelle 15.1 nicht eingehalten zu werden, wenn durch andere Maßnahmen dafür gesorgt ist, dass der Ableitstrom nicht zu gefährlichen Berührungsspannungen

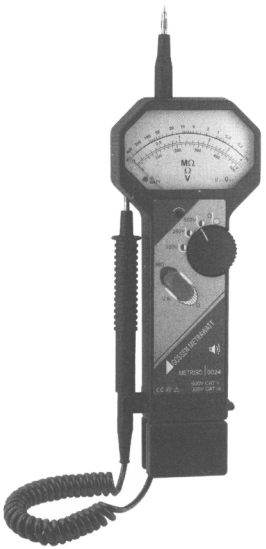


***Bild 15.3:*** *Isolations- und Widerstandsmessgerät (Werkbild: GMC-I Messtechnik)*

oder Bränden führt. Solche Maßnahmen können beispielsweise Erdung der nicht aktiven Befestigungsteile der Schleifleitung oder Fernhalten brennbarer Stoffe von Schleifleitungen sein. Bei FELV (frühere Bezeichnung: Funktionskleinspannung ohne sichere Trennung) muss überprüft und gemessen werden, ob die Körper ordnungsgemäß mit dem Schutzleiter des Stromkreises mit der höheren Spannung (Primärspannung) bzw. mit dem Schutzpotenzialausgleichsleiter des zugehörigen Stromkreises verbunden sind. Die Praxis zeigt, dass bei Neuanlagen wesentlich höhere Isolationswiderstände erzielbar sind. Deshalb fordern manche Betreiber Werte $\geq 10$ MΩ.

Die Messung der Isolationswiderstände muss mit Geräten nach VDE 0413-1 und -2 durchgeführt werden (**Bild 15.3**).

## 15.3 Messen der Fehlerschleifenimpedanz

VDE 0100-600

Das Messen der Fehlerschleifenimpedanz (bisherige Bezeichnung: Schleifenimpedanz) dient in erster Linie zum Überprüfen des Schutzes gegen elektrischen Schlag durch automatisches Abschalten der Stromversorgung.

Unter *Fehlerschleifenimpedanz* – auch Fehlerschleifenwiderstand (bisherige Bezeichnung: Schleifenwiderstand) – versteht man die Impedanz der Netzschleife bzw. Fehlerschleife, durch die im Kurzschlussfall der Kurzschlussstrom fließt. Die Fehlerschleifenimpedanz ergibt sich aus der geometrischen Summe der Wirk- und Blindwiderstände des Hochspannungsnetzes, des Transformators und der Zu- und Rückleitungen. Sie muss so klein sein, dass bei einem satten Kurzschluss am Ende einer Leitung der Abschaltstrom der vorgeschalteten Schutzeinrichtung zum Fließen kommt. Der Wert kann errechnet oder bei unter Spannung stehenden Netzen mit *Schleifenwiderstandsmessgeräten* gemessen werden. Die herkömmlichen Geräte enthalten als wesentliche Bestandteile einen Spannungsmesser und einen Prüfwiderstand (**Bild 15.4**). Beim Ein- und Ausschalten des Prüfwiderstands $R_p$ wird die Spannungsänderung $\Delta U$ gemessen. Die Fehlerschleifenimpedanz $Z_s$ ergibt sich aus

$$Z_S = \frac{\Delta U}{I_P}.$$

$I_p$ ist der durch den Festwiderstand vorgegebene Prüfstrom. Die Fehlerschleifenimpedanz ist durch das ohmsche Gesetz mit dem Kurzschlussstrom $I_k$ verknüpft:

$$I_k = \frac{U_N}{Z_S}.$$

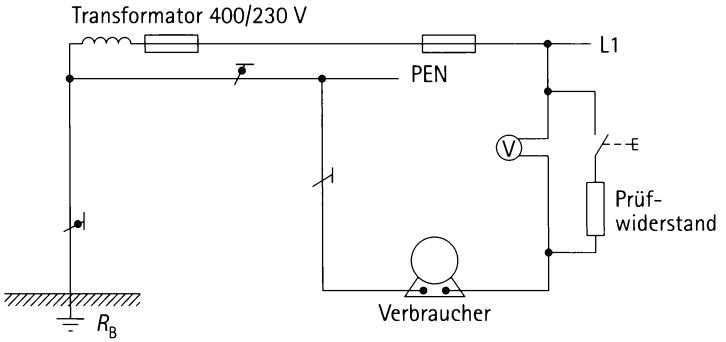



***Bild 15.4:*** *Prinzipschaltung des Schleifenwiderstandsmessgeräts*



***Bild 15.5:*** *Universalprüfgerät für Schutzmaßnahmen wie Schleifenwiderstand, Erdungswiderstand und zum Prüfen von Fehlerstromschutzeinrichtungen (Werkbild: GMC-I Messtechnik)*



***Bild 15.6:*** *Schleifenwiderstandsprüfer (Werkbild: Chauvin Arnoux)*

Dadurch lässt sich am Messgerät auch der Kurzschlussstrom angeben. Bei den heute üblichen Geräten (**Bilder 15.5** und **15.6**) wird der Prüfwiderstand $R_p$ – meist 22 Ω – mittels einer Elektronik nur wenige Halbwellen lang in die Schleife gelegt. Dadurch wird sichergestellt, dass bei einer etwaigen Schutzleiterunterbrechung die gefährliche Berührungsspannung nicht länger als 0,2 s am Schutzleiter ansteht.

Bei alten Geräten werden die Prüfwiderstände durch Drücken der Prüftaste eingeschaltet. Um bei einer Schutzleiterunterbrechung keine gefährliche Berührungsspannung zu verschleppen, ist hier durch Betätigen einer Vorprüftaste der Schutzleiterdurchgang zu prüfen. Durch die Vorprüftaste wird ein Prüfwiderstand von etwa 22 kΩ, der den Fehlerstrom auf 10 mA begrenzt, in die Schleife gelegt. Ist erkennbar, dass dieser Prüfwiderstand verringert werden darf, ohne eine gefährliche Berührungsspannung zu erzeugen, so kann der eigentliche Prüfwiderstand, z. B. 22 Ω, zugeschaltet werden. Derartige Geräte dürfen nur noch dort eingesetzt werden, wo der Prüfer den Gefahrenbereich überblicken kann.

Das Messen der Fehlerschleifenimpedanz ist mit hohen Messfehlern behaftet. Bei Messungen mit herkömmlichen Geräten werden die Blindwiderstände des Netzes nicht berücksichtigt. Ein Messfehler kann außerdem durch ein mit Blindlast vorbelastetes Netz auftreten. Während der Messung ist auf Spannungsschwankungen im Netz zu achten; ggf. sind die Messungen zu wiederholen oder es ist ein Mittelwert aus mehreren Messungen zu bilden. VDE 0413-3 lässt für Schleifwiderstandsmessgeräte einen Fehler von ±30 %, bezogen auf den angegebenen Messbereich, zu. Bei den meisten Geräten geht der Messbereich nur bis zu Kurzschlussströmen von 500 A oder 1 000 A. Bei höheren Werten ist zu rechnen oder mit *Sondergeräten* zu messen. Bei den Sondergeräten, die sehr teuer sind, gibt es zwei Arten. Das eine erfasst die Fehlerschleifenimpedanz über einen satten Kurzschluss, der zeitlich eng begrenzt durch eine Schaltautomatik verursacht wird. Der tatsächliche Kurzschlussstrom, bei dem die Induktivitäten des Netzes natürlich berücksichtigt sind, wird gemessen, gespeichert und angezeigt. Die Messung ist problematisch, so können vorgeschaltete Überstromschutzeinrichtungen mit Bemessungsströmen bis 80 A evtl. ansprechen.

Ohne diese Nachteile arbeiten mikroprozessorgesteuerte Messgeräte, die den Phasenwinkel sowie die Änderung des Phasenwinkels bei Belastung mit einem Prüfwiderstand, den Spannungsfall und den Prüfstrom messen und daraus den Kurzschlussstrom bis zu Werten von 99 kA errechnen. Diese Geräte verwendet man auch zum Messen des größten Kurzschlussstroms, um die Kurzschlussfestigkeit von Anlagen nachzuprüfen (s. Abschn. 7.3.2).

## 15.4 Prüfen des Schutzes durch automatisches Abschalten mit Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs)

Die Prüfung des Schutzes durch automatisches Abschalten beginnt mit der *Erprobung der Fehlerstromschutzeinrichtung.* Dies geschieht durch Betätigen der mit P oder T gekennzeichneten Prüftaste, wodurch ein Strom am Summenstromwandler vorbeigeführt und somit ein Fehlerstrom simuliert wird. Man erfährt dadurch aber nur, ob der Schaltmechanismus arbeitet, erhält aber keinen Aufschluss über die Beschaffenheit des Erders, des Schutzleiters und der Erdungsleiter. Das Betätigen der Prüftaste gibt auch keinen Aufschluss darüber, ob die Einrichtung spätestens beim Erreichen des Bemessungsdifferenzstroms abschaltet, da der simulierte Strom ein Mehrfaches des Bemessungsdifferenzstroms sein kann.

Die Wirksamkeit der Fehlerstromschutzeinrichtung kann nur durch eine *ergänzende Messung* geprüft werden. Die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen mit Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) muss mit Geräten nach VDE 0413-6 überprüft werden. Dabei ist durch Erzeugen eines Differenzstroms hinter der Fehlerstromschutzeinrichtung der Nachweis zu führen, dass die Fehlerstromschutzeinrichtung bei einem Differenzstrom ≤ Bemessungsdifferenzstrom auslöst und dass die beim Auslösestrom bzw. beim Bemessungsdifferenzstrom auftretende Berührungsspannung die zulässigen Werte nicht überschreitet.

Durch das Messgerät wird zwischen einen Außenleiter und den Schutzleiter ein einstellbarer Prüfwiderstand geschaltet. Bei den meisten Geräten wird der Fehlerstrom durch Verringern des Prüfwiderstands bis zum Auslösen des Schalters erhöht, wobei der Auslösestrom und die dabei auftretende Fehlerspannung ($U_F = U_0 - U_V$) gemessen werden (**Bild 15.7**).

Aus den so ermittelten Werten muss die Berührungsspannung beim Bemessungsdifferenzstrom berechnet werden. Neuere Messgeräte nehmen einem diese Arbeit ab, indem sie die auf den Bemessungsdifferenzstrom hochgerechnete Berührungsspannung direkt anzeigen (Bild 15.5).

Die Schutzmaßnahme wird bei diesen Messgeräten während des Messvorgangs nur mit einer geringen Fehlerspannung beaufschlagt, beträgt doch die tatsächliche Messspannung bei einem Prüfstrom von nur einem Drittel des Bemessungsauslösestroms auch nur ein Drittel der angezeigten Berührungsspannung. Ist die Schutzmaßnahme mit einem Vorstrom belastet, beispielsweise durch ein Elektrowerkzeug, so fälscht dieser Vorstrom die Messung nicht, wie dies bei der früher angewandten Methode des ansteigenden Stroms der Fall war.

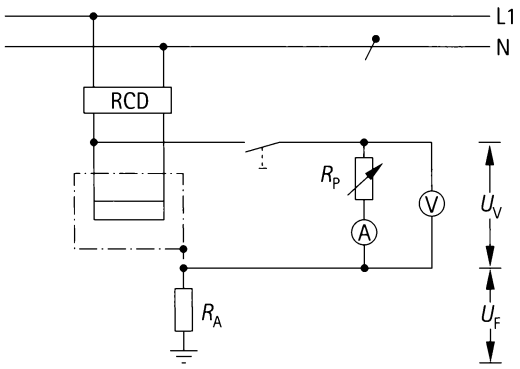



***Bild 15.7:*** *Prüfung der Fehlerstromschutzeinrichtung*

Bei der Überprüfung ist zu unterscheiden, ob die Fehlerstromschutzeinrichtung in ein TT-System oder ein TN-System eingebaut ist. In einem TT-System wird die Bedingung überprüft (s. auch Abschn. 5.6.3.1)

$$R_A = \frac{50\ \text{V bzw. } 25\ \text{V}}{I_{\Delta n}};$$

$R_A$ Erdungswiderstand der Schutzerdung,

$I_{\Delta n}$ Bemessungsdifferenzstrom der Fehlerstromschutzeinrichtung.

Im TN-System wird festgestellt, ob gilt (s. auch Abschn. 5.6.2.5)

$$Z_S \leq \frac{U_0}{I_{\Delta n}};$$

$Z_S$ Impedanz der Fehlerschleife,

$U_0$ Nennspannung gegen Erde,

$I_{\Delta n}$ Bemessungsdifferenzstrom der Fehlerstromschutzeinrichtung.

Die durch ein Fehlerstromschutzeinrichtungs-Prüfgerät angezeigte Berührungsspannung ist im TN-System nur der durch den Bemessungsdifferenzstrom bewirkte Spannungsfall am Schutzleiter. Meist ist der Wert so klein, dass es zu keiner Anzeige oder nur zu einer Anzeige von 1…2 V kommt.

Sowohl im TT- als auch im TN-System braucht die Wirksamkeit der Schutzmaßnahme mit Fehlerstromschutzeinrichtung nur an einer Stelle des angeschlossenen

Stromkreises nachgewiesen zu werden. Darüber hinaus genügt es zu überprüfen, ob alle anderen zu schützenden Anlagenteile über den Schutzleiter mit dieser Messstelle niederohmig verbunden sind.

Anstatt der beschriebenen Prüfung kann auch der Erdungswiderstand des zu schützenden Betriebsmittels, z. B. mit einer Erdungsbrücke, gemessen werden (s. Abschn. 15.7). Ein gewissenhafter Fachmann wird sich damit jedoch kaum begnügen, sondern zusätzlich die oben geschilderte Funktionsprüfung durchführen.

Eine Prüfung über *Glühlampen*, die man zwischen Außenleiter und Gerätegehäuse schaltet, ist sinnlos, da die hohen Einschaltströme eine Tauglichkeit der Schaltung vortäuschen können, die nicht vorhanden zu sein braucht. Bei Baustellenverteilern, die häufig ihren Standort wechseln, wird der Erder nicht selten durch einen elektrotechnischen Laien hergestellt. In der Regel unterbleibt dann eine Prüfung des Schutzes durch automatisches Abschalten mit Fehlerstromschutzeinrichtung. Zur Abhilfe dieses Mangels eignen sich *Erdungsprüfschalter*. Alle Baustellen und landwirtschaftlichen Betriebe sollten einen in die Verteilungstafel fest eingebauten Prüfschalter enthalten. Eine regelmäßige Überprüfung der Fehlerstromschutzeinrichtung auf ihre Wirksamkeit ist nach den berufsgenossenschaftlichen Vorschriften vorgeschrieben.

### Zusätzlicher Schutz

Das Prüfen der Wirksamkeit der Maßnahmen zum *zusätzlichen Schutz* dient in erster Linie zum Überprüfen des Schutzes gegen elektrischen Schlag durch automatisches Abschalten der Stromversorgung und erfolgt durch Besichtigen und Messen. Es müssen die Anforderungen nach Abschnitt 5.6.6.3 für den zusätzlichen Schutz erfüllt sein. Wenn eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) für den Fehlerschutz und den zusätzlichen Schutz gemeinsam eingesetzt wird, genügt es, bei der Prüfung der Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) die Anforderungen zum Fehlerschutz zu berücksichtigen (s. Abschn. 5.6.2.5 und 5.6.3.1).

## 15.5 Prüfung der Fehlerspannungsschutzeinrichtung

s. auch Abschn. 5.6.3.3

Zuerst ist durch Betätigen der durch T gekennzeichneten Prüftaste festzustellen, ob der Schaltermechanismus arbeitet. Ein positives Ergebnis besagt noch nicht, dass der K-Leiter in Ordnung ist. Deshalb wird nun der K-Leiter auf Durchgang geprüft. Dazu kann über eine 25-W-Lampe am Gerät ein künstlicher Körperschluss hergestellt werden. Löst der Schalter nicht aus, so muss eine Erdverbindung am Gerät oder am K-Leiter vermutet werden.

## 15.6 Prüfen der Verbindungen von Schutzleiter und Schutzpotenzialausgleichsleiter

VDE 0100-600

Durch Erproben und Messen ist festzustellen, ob die Verbindung von Schutzleiter, Schutzpotenzialausgleich über die Haupterdungsschiene (bisher genannt: Hauptpotenzialausgleich) und zusätzlichem Schutzpotenzialausgleich durchgängig ist. Es sollte mit einem Strom von mindestens 0,2 A gemessen werden. Die Leerlaufspannung der Stromquelle sollte zwischen 2 V und 24 V DC oder AC liegen. Für die Messung verwendet man am besten Widerstandsmessgeräte nach VDE 0413-4. Die Geräte sind in der Regel mit einem Isolationsmessgerät kombiniert (**Bild 15.8**).

Die Prüfung der niederohmigen Verbindung des Schutzleiters ergänzt die in den Abschnitten 15.3 und 15.4 beschriebenen Prüfungen der Fehlerschleifenimpedanz und des Schutzes durch automatisches Abschalten mit Fehlerstromschutzeinrichtung. Meist genügt es, die Fehlerschleifenimpedanz an der Stelle des Stromkreises zu prüfen, die am weitesten von der Verteilung entfernt ist. Alle anderen Schutzleiter brauchen dann nur noch auf ihre niederohmige Verbindung hin untersucht zu werden.




***Bild 15.8:*** *Widerstandsmessgerät nach VDE 0413-4 (Werkbild: GMC-I Messtechnik)*




***Bild 15.9:*** *Messgerät zur Erdungswiderstandsmessung nach VDE 0413-5 (Werkbild: GMC-I Messtechnik)*

Ähnliches gilt für die Prüfung des Schutzes durch automatisches Abschalten mit Fehlerstromschutzeinrichtung, die ja auch nur von einer Stelle aus mit dem FI-Gerät durchgeführt werden muss.

Die Prüfung der Verbindungen kann bereits zu einem Zeitpunkt durchgeführt werden, zu dem noch keine Netzspannung zur Verfügung steht. Sie lässt sich sehr schnell realisieren, wenn man mit einer Verlängerungsleitung von Schutzkontakt zu Schutzkontakt sowie zu den Körpern von angeschlossenen Geräten und sonstigen in den Schutzpotenzialausgleich einbezogenen Metallteilen geht. Entfernt man im TN-S-System während des Messens die Verbindung von der Neutralleiterschiene, so wird durch die Messung gleichzeitig überprüft, ob Schutzleiter und Neutralleiter in ihrem Verlauf nicht verwechselt wurden.

Während der Messungen ist darauf zu achten, ob der gemessene Widerstandswert mit dem geschätzten übereinstimmt. Üblich sind Werte um 1 Ω (in der Literatur wird ein Richtwert von 3 Ω angegeben), wobei der Widerstand der Messleitung zu berücksichtigen ist. Der Messbereich der Widerstandsmessgeräte muss 0 Ω bis 3 Ω betragen.

## 15.7 Messen des Erdungswiderstands

VDE 0100-600

Auch das Messen des Erderwiderstands dient in erster Linie zum Überprüfen des Schutzes gegen elektrischen Schlag durch automatisches Abschalten der Stromversorgung.

Durch Messen ist festzustellen, ob die Grenzwerte, die je nach Netzform und Schutzeinrichtung für die Schutz- oder Funktionserder vorgeschrieben sind, eingehalten werden. Die Erdungswiderstände können mit speziellen Messgeräten (*Messbrücken*) oder nach dem Strom-Spannungs-Verfahren ermittelt werden. Man sollte Messbrücken verwenden, die den Widerstand ohne Rechnung abzulesen gestatten. Dazu werden meist zwei Erdspieße (*Gegenerder* und *Sonde*) benötigt, die man in genügendem Abstand vom Gerät mindestens 0,5 m tief in die Erde schlägt oder schraubt. Am besten sind Messgeräte, die nach der sog. *Behrend-Schaltung* arbeiten, weil sie vom Sondenwiderstand weitgehend unabhängig sind (**Bild 15.9**). Das Verfahren ist sehr genau (±1 % Fehler); Fremdspannungen bis 15 V beeinflussen das Messergebnis nicht. Das Messgerät muss VDE 0413-5 entsprechen.

Die Ströme im Erder, im Gegenerder und in der Sonde dürfen sich gegenseitig nicht stören. Deshalb müssen diese drei Erder so weit voneinander entfernt sein, dass jeder seinen „Spannungstrichter" ungestört ausbilden kann. Ist der unbekannte Erder $R_x$ ein Staberder von vielleicht 2 m Länge, dann geht dies ohne Schwierigkeit,

wenn Sonde und Gegenerder je etwa $5\,l = 5 \cdot 2\,\text{m} = 10\,\text{m}$ voneinander und von $R_x$ entfernt sind. Ist $R_x$ ein längerer Banderder, so wird man Sonde und Gegenerder je etwa 10...20 m senkrecht zur Längsachse des Erders ausstecken. Handelt es sich bei dem zu messenden Erder aber um eine Freiluftanlage mit einem Erdernetz von 100 m × 100 m, dann muss der Gegenerder mindestens $5\,l = 500\,\text{m}$ entfernt eingebracht werden. Die Sonde wäre etwa in der Mitte zwischen $R_x$ und dem Gegenerder einzusetzen, wobei durch öfteres Umstecken zu probieren wäre, ob sich die Messungen nicht ändern.

Man muss bei der Messung stets beachten, dass sich der Erdungswiderstand in Abhängigkeit von der Witterung erheblich ändert. Er ist bei gefrorenem oder trockenem Boden am höchsten. Angenommen, es sei bei einer Anlage ein Erdungswiderstand von 2 Ω erforderlich, der an einem Junitag nach wochenlangem Regen auch tatsächlich gemessen wird. In diesem Fall ist zu bedenken, dass der Widerstand z. B. im Februar bei gefrorenem Boden vielleicht dreimal so hoch ist, also etwa 6 Ω beträgt. Der Erder sollte daher verbessert werden.

Der Erdungsmesser kann auch zum Ermitteln des spezifischen Erdwiderstands und zur Untersuchung der Bodenbeschichtung herangezogen werden. Einzelheiten vermitteln die Druckschriften der Gerätehersteller.

Der Erdungswiderstand großer Gebäude oder großer Erdungsanlagen und in dicht bebauten Gebieten ist praktisch nicht messbar. Bei durchgeführtem Schutzpotenzialausgleich spielt er auch nur eine untergeordnete Rolle und braucht daher auch nicht gemessen zu werden.

Beim *Strom-Spannungs-Messverfahren* wird der Netzstrom des TN- oder TT-Systems über einen Vorwiderstand $R_V$ in den unbekannten Erder eingeleitet und gemessen. In einem Abstand von 50...100 m zum unbekannten Erder wird im neutralen Gelände eine Sonde gesetzt, zu der der Spannungsfall am Erder mit einem hochohmigen Spannungsmesser festgestellt wird (**Bild 15.10**).

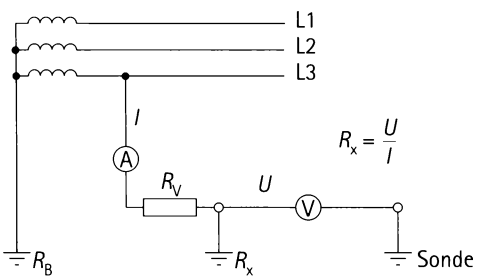



***Bild 15.10:*** *Strom-Spannungs-Messverfahren*

Nach dem ohmschen Gesetz kann dann der Erdungswiderstand errechnet werden. Zu beachten ist, dass nicht nur am zu prüfenden Erder, sondern auch am Betriebserder ein Spannungsfall auftritt. Um eine gefährliche Spannungsanhebung am Betriebserder auszuschließen, sollte der Vorwiderstand $R_V$ nie < 10 Ω gewählt werden.

## 15.8 Prüfen des Drehfelds

VDE 0100-600

An Drehstromsteckdosen ist zu prüfen, ob ein Rechtsdrehfeld vorhanden ist. Die Steckdosen werden dabei von vorn im Uhrzeigersinn betrachtet. Für die Messung verwendet man *Drehfeldrichtungsanzeiger* nach VDE 0413-7 (**Bild 15.11**). Sie zeigen Phasenfolge, Drehrichtung und Phasenausfall über Glimmlampen an. Bei anderen Geräten dreht sich eine Scheibe entsprechend dem Drehfeld. Ist die Drehrichtung verkehrt, müssen zwei Außenleiter miteinander vertauscht werden.




***Bild 15.11:*** *Drehfeldrichtungsanzeiger (Werkbild: GMC-I Messtechnik)*

## 15.9 Prüfen der Übergangswiderstände von Fußböden und Wänden

VDE 0100-600

Wenn man sich bei der Maßnahme „Schutz durch nicht leitende Räume" (s. Abschn. 5.10.1) im Unklaren ist, ob der Fußboden und die Wände zu isolieren sind oder nicht, muss man messen. Zur Wahl stehen zwei Verfahren mit etwas unterschiedlichen Elektrodenarten (s. VDE 0100-600:2008-06, Anhang A). Beim ersten

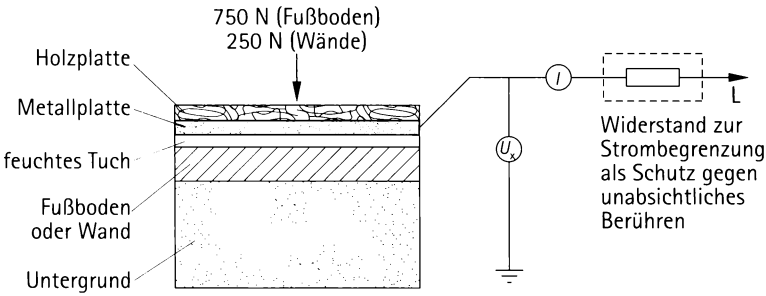



***Bild 15.12:*** *Messanordnung zum Messen des Widerstands von Fußböden und Wänden mit Wechselspannung*

Verfahren ist der Fußboden bzw. die Wand an ungünstigen Stellen, z. B. an Fugen oder Stoßstellen von Fußbodenbelägen, mit einem feuchten Tuch oder Papier von 270 mm × 270 mm zu bedecken (**Bild 15.12**). Auf das Tuch oder Papier ist eine Metallplatte von etwa 250 mm × 250 mm und 2 mm Dicke zu legen und mit einer Kraft von etwa 750 N (etwa 75 kg) bei Fußböden und etwa 250 N bei Wänden zu belasten.

Beim zweiten Verfahren besteht die Messelektrode aus einem metallenen „Dreifuß". Die eigentlichen Messelektroden, die auf einer 5 mm dicken Aluminiumplatte befestigt sind, sind die drei „Füße", die als Auflagefläche eine flexible Unterlage, z. B. aus leitfähigem Gummi, haben. Die Gummikontaktklötze bilden an der Auflagefläche jeweils einen Kreisring. Der Außendurchmesser muss 39 mm und der Innendurchmesser 21 mm betragen, sodass eine Oberfläche von ungefähr 900 $mm^2$ entsteht. Die zu untersuchende Fläche ist anzufeuchten oder ebenfalls mit einem feuchten Tuch abzudecken. Die Elektrode ist mit etwa 750 N (etwa 75 kg) bei Fußböden und etwa 250 N bei Wänden zu belasten.

Die Messung des Widerstands oder der Impedanz isolierender Fußböden und Wände muss mit der Netzspannung gegen Erde und Netzfrequenz oder mit einer niedrigeren Wechselspannung ≥ 25 V mit zusätzlicher Isolationsprüfung (Prüfspannung ≥ DC 500 V bei $U_N \leq 500$ V und ≥ DC 1 000 V bei $U_N > 500$ V) durchgeführt werden. Als Spannungsquelle können dienen:

a) das am Messort vorhandene geerdete Netz (Spannung gegen Erde),

b) die Sekundärspannung eines Transformators mit sicher getrennten Wicklungen,

c) eine unabhängige Spannungsquelle mit Netzfrequenz.

In den Fällen b) und c) ist für die Messung ein Leiter zu erden. Bei $U_N > 50$ V muss der maximale Ausgangsstrom aus Gründen der Sicherheit auf 3,5 mA begrenzt werden (s. Bild 15.12).

Die Spannung $U_x$ an der Prüfelektrode wird mit einem Spannungsmessgerät gemessen, dessen Innenwiderstand ≥ 1 MΩ gegen den Schutzleiter beträgt.

Die Impedanz $Z_x$ zwischen der belasteten Metallplatte und Erde ergibt sich aus der Gleichung

$$Z_x = \frac{U_x}{I};$$

$Z_x$ gesuchte Impedanz gegen Erde,

$I$ eingespeister Strom,

$U_x$ gemessene Spannung gegen Erde.

Beim Messen mit Gleichspannung mit einem Isolationsmessgerät ist der gesuchte Widerstand des Fußbodens oder der Wand am Messgerät abzulesen. Bis 500 V Nennspannung der elektrischen Anlage muss mit etwa DC 500 V und über 500 V Nennspannung mit etwa DC 1 000 V gemessen werden.

Die Messungen zum Feststellen des Widerstands sind an so vielen beliebig gewählten Stellen auszuführen, dass eine ausreichende Beurteilung möglich ist. Es müssen jedoch mindestens 3 Messungen je Ort gemacht werden. Wenn berührbare fremde leitfähige Teile vorhanden sind, muss eine dieser Messungen in ungefähr 1 m Abstand von diesen erfolgen.

## 15.10 Prüfen der Spannungspolarität

Wenn Normen den Einbau von einpoligen Schaltern in Neutralleitern ausdrücklich verbieten, muss festgestellt werden, dass die einpoligen Schalter in den Außenleitern eingebaut sind.

## 15.11 Prüfen auf Spannungsfestigkeit

Für vor Ort errichtete Betriebsmittel, für die keine Typprüfung durchgeführt wurde, ist neuerdings eine Prüfung auf Spannungsfestigkeit vorgeschrieben. Solche Art von Betriebsmitteln werden bei der Errichtung elektrischer Anlagen nicht häufig vorkommen; in der Regel werden typgeprüfte eingesetzt. Prüfverfahren und Prüfspannungen liegen für solche nicht typgeprüften Betriebsmittel noch nicht vor. Man sollte sich deshalb an die Vorgaben der einschlägigen VDE-Produktbestimmungen halten, insbesondere VDE 0660-505 (Hausanschluss- u. Sicherungskästen; s. Abschn. 6.2), VDE 0660-600-1 u. -4 bis -7 (Niederspannungsschaltgerätekombinationen; s. Abschn. 7.5 bis 7.11).

## 15.12 Prüfen des Spannungsfalls

Ebenfalls ausdrücklich vorgeschrieben ist die Prüfung des Spannungsfalls (s. auch Abschn. 8.6). Die Prüfung des Spannungsfalls kann durch Bestimmen des Spannungsfalls durch Messung der Impedanz des Stromkreises oder durch Anwenden von Diagrammen bestimmt werden. Mit eine Diagramm kann in Abhängigkeit der maximalen Kabel- oder Leitungslänge bei 4 % Spannungsfall, des Leiterquerschnitts der Kabel oder Leitungen und des Belastungsstroms der Spannungsfall abgeschätzt werden (s. VDE 0100-600:2008-06, Anhang D).

## 15.13 Prüfen elektrischer Geräte

VDE 0701-0702

Nachdem die bisher getrennten VDE-Bestimmungen über das Prüfen elektrischer Geräte nach Instandsetzung und Änderung (Reihe VDE 0701) sowie wiederkehrende Prüfungen elektrischer Geräte (VDE 0702) in der einen gemeinsamen VDE-Bestimmung 0701-0702 zusammengefasst worden sind, wird thematisch zwischen den beiden bisherigen Prüfungsarten in der Regel nicht mehr unterschieden.

Elektrische Geräte, vom Elektrowerkzeug bis zur Büromaschine, elektrische Geräte für den Hausgebrauch, Mess-, Steuer-und Regelgeräte, Leitungsroller, Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen, ortsveränderliche Schutzeinrichtungen, mobile Verteiler u. a. müssen nach einer Instandsetzung oder Änderung sowie regelmäßig wiederkehrend daraufhin überprüft werden, ob bei bestimmungsgemäßem Gebrauch der Geräte keine Gefahr für den Benutzer oder die Umgebung besteht. Dazu sind die Geräte einer Sicht- und Funktionsprüfung sowie einer Reihe von Messungen zu unterziehen. Für elektrische Geräte und ortsveränderliche Betriebsmittel z. B. für explosionsgefährdete Bereiche, den Bergbau oder medizinische elektrische Geräte gelten weitergehende Anforderungen nach anderen VDE-Bestimmungen als VDE 0701-0702.

Bei der *Besichtigung* - nach VDE 0701-0702 *Sichtprüfung* genannt – ist auf äußerlich erkennbare Mängel zu achten. Das Gerät braucht bei wiederkehrenden Prüfungen nicht geöffnet zu werden. Zu achten ist auf die Eignung für den Einsatzort, weiter z. B. auf

- Schäden am Gehäuse und an Isolierungen,
- äußere Mängel der Anschlussleitungen,
- Auswahl und Anwendung von Leitungen und Steckern,
- Mängel an Biegeschutz und Zugentlastung der Anschlussleitungen,

- Anzeichen von Überlastung und unsachgemäßem Gebrauch,
- unzulässige Eingriffe und Änderungen,
- ordnungsgemäßen Zustand von Schutzabdeckungen,
- Verschmutzungen und Korrosion oder Alter, die die Sicherheit beeinträchtigen können,
- Vorhandensein und Zustand erforderlicher bzw. vom Hersteller vorgeschriebener Filter,
- freie Kühlöffnungen,
- Bedienbarkeit,
- einwandfreie Lesbarkeit von Aufschriften, die der Sicherheit dienen (Warnsymbole, Angabe der Schutzklasse, Kenndaten von Sicherungen).

Nach der Sichtprüfung ist die Wirksamkeit der Schutzmaßnahme Schutz gegen elektrischen Schlag zu prüfen durch

- Überprüfen und Messen der *Schutzleiterverbindung* zu allen leitfähigen berührbaren Teilen, die zu Schutzzwecken mit dem Schutzleiter verbunden sind, bei Instandsetzung und Änderung sind zusätzlich alle Teile in die Prüfung einzubeziehen, die bei der Instandsetzung und Änderung zugänglich werden,
- Überprüfen der Isolierungen durch Messen des *Isolationswiderstands* zwischen den aktiven Teilen und leitfähigen berührbaren Teilen, die mit dem Schutzleier verbunden sind (insbesondere Geräte der Schutzklasse I) und die durch doppelte oder verstärkte Isolierung geschützt und daher nicht mit dem Schutzleiter verbunden sind (insbesondere Geräte der Schutzklasse II),
- Überprüfen der zulässigen Grenzwerte für den *Ableitstrom* und des ordnungsgemäßen Zustands der Isolierungen durch Messen des *Schutzleiterstroms* und des an den leitfähigen, berührbaren, nicht mit dem Schutzleiter verbundenen Teilen auftretenden *Berührungsstroms*,
- Nachweis, dass die Vorgaben für die Schutzmaßnahme Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV (früher: Schutzkleinspannung) eigehalten werden, sofern die Schutzmaßnahme bei berührbaren äußeren Anschlussstellen angewendet wird.

Ggf. sind Schutzeinrichtungen wie Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs), Isolationsüberwachungsgeräte und Überspannungsschutzeinrichtungen zu prüfen. Dabei sind Herstellerangaben zu berücksichtigen.

Abschließend sind die *Aufschriften*, die der Sicherheit dienen, nach Abschluss aller Einzelprüfungen zu kontrollieren.

Nach einer Instandsetzung oder Änderung ist eine Funktionsprüfung des Geräts durchzuführen. Bei der Wiederholungsprüfung ist eine Funktionsprüfung des Geräts bzw. seiner Teile nur insoweit vorzunehmen, wie es zum Nachweis der Sicherheit erforderlich ist.

Der *Schutzleiterwiderstand* ist durch Messen des niederohmigen Durchgangs des Schutzleiters zwischen dem Schutzkontakt des Netzsteckers und berührbaren Metallteilen, die mit dem Schutzleiter verbunden sein müssen, zu überprüfen. Während man misst, muss die Anschlussleitung über ihre ganze Länge, besonders in der Nähe der Anschlussstellen, bewegt werden, um beschädigte Schutzleiter oder Wackelkontakte festzustellen. Bei Geräten mit Wasser- bzw. Gasanschluss kann es beim Messen notwendig sein, den Schutzleiter an der Netzanschlussstelle abzutrennen, um eine Verfälschung des Messergebnisses zu vermeiden.

Der *Schutzleiterwiderstand* darf folgende Werte nicht überschreiten:

- 0,3 Ω für Leitungen bis 5 m Länge und bis zu einem Bemessungsstrom von 16 A,
- 0,1 Ω je 7,5 m zusätzlicher Länge für längere Leitungen bis zu einem Bemessungsstrom von 16 A bis zum Maximalwert von
- 1 Ω.

Für andere Leitungen gilt als Grenzwert der errechnete Widerstand der gesamten Leitung. Bei der Bewertung des jeweiligen Messwerts sind auch die Übergangswiderstände an den Steckkontakten zu beachten. Wenn die Grenzwerte überschritten werden, sind ggf. Grenzwerte aufgrund von Gerätenormen oder Herstellerangaben heranzuziehen.

Bei wiederkehrenden Prüfungen von Geräten ist es nicht selten, dass die Geräte in Betrieb sind und aus betrieblichen Gründen nicht außer Betrieb genommen werden können, d. h. eingesteckt bleiben müssen, sodass die Messungen nicht oder nur schwer durchgeführt werden können. Dann muss der Schutzleiterwiderstand bei Geräten der Schutzklasse I (Geräte mit Schutzleiteranschluss) zwischen einem beliebigen Schutzleiter der elektrischen Anlage (z. B. Schutzkontaktstück einer Steckdose) im selben Versorgungskreis und dem Körper des zu prüfenden, aber eingesteckten Geräts gemessen werden. Hierbei sind bei der Beurteilung des Schutzleiterwiderstands die längeren Messwege und die Kontaktstellen zu beachten.

Nach der Schutzleiterprüfung ist eine Messung des *Isolationswiderstands* durchzuführen.

Der Isolationswiderstand aller Geräte ist mit einem Isolationsmessgerät nach VDE 0413-2 zu messen. Dabei ist darauf zu achten, dass Schalter, Temperaturregler u. Ä. geschlossen sind.

Die Ausgangsgleichspannung (Messspannung) des Isolationsmessgeräts nach VDE 0413-2 muss mindestens der Bemessungsspannung des zu prüfenden Geräts gegen Erde entsprechen, jedoch ≥ DC 500 V betragen. Der Messstrom muss allgemein ≥ 1 mA sein. Wenn zu prüfende Geräte Überspannungsableiter enthalten, darf die Messspannung DC 250 V betragen. Der Isolationswiderstand ist zwischen den aktiven Leitern einschl. des Neutralleiters der Anschlussleitung und jedem berührbaren leitfähigen Teil einschließlich des Schutzleiters der Anschlussleitung (außer bei Schutz durch Kleinspannung mittels PELV) zu messen. Bei *Instandsetzung* oder *Änderung* von Geräten ist der Isolationswiderstand zusätzlich zwischen den aktiven Teilen eines SELV- oder PELV-Stromkreises und den aktiven Teilen des Primärstromkreises zu messen. Bei Geräten mit festem Anschluss ist bei offenem Schalter innen zwischen dem aktiven Teil und dem Körper des Geräts zu messen. Dabei ist der Anschluss des Neutralleiters im Gerät aufzutrennen.

Der Isolationswiderstand darf die folgenden Werte nicht unterschreiten:

- 1,0 MΩ (bisher: 0,5 MΩ) bei aktiven Teilen, die nicht zu SELV- oder PELV-Stromkreisen gehören, gegen PE und gegen die mit PE verbundenen berührbaren leitfähigen Teile außer bei Geräten mit Heizelementen,
- 0,3 MΩ bei aktiven Teilen, die nicht zu SELV- oder PELV-Stromkreisen gehören, gegen PE und gegen die mit PE verbundenen berührbaren leitfähigen Teile bei Geräten mit eingeschalteten Heizelementen,
- 0,3 MΩ bei aktiven Teilen, die nicht zu SELV- oder PELV-Stromkreisen gehören, gegen PE und gegen die mit PE verbundenen berührbaren leitfähigen Teile bei Geräten mit eingeschalteten Heizelementen > 3,5 kW (bei Nichterreichen ggf. Schutzleiterstrom überprüfen, s. u.).
- 2,0 MΩ:
  - bei aktiven Teilen gegen die nicht mit PE verbundenen berührbaren leitfähigen Teile (vornehmlich bei Schutzklasse-II-Geräten, aber auch bei Schutzklasse-I-Geräten),
  - bei aktiven Teile, die nicht zu SELV- oder PELV-Stromkreisen gehören, gegen berührbare leitfähige Teile mit Schutzmaßnahme SELV und PELV in Schutzklasse-I-oder II-Geräten,
  - bei der Instandsetzung/Änderung zwischen aktiven Teilen eines SELV-/PELV-Stromkreises und den aktiven Teilen des Primärstromkreises,
- 250 kΩ bei aktiven Teilen mit der Schutzmaßnahme SELV und PELV gegen berührbare leitfähige Teile (bei Schutzklasse-III-Geräten).

Wird bei Geräten der Schutzklasse I mit Heizelementen > 3,5 kW Gesamtleistung der o. g. Wert unterschritten, so gilt das Gerät dennoch als einwandfrei, wenn der

Schutzleiterstrom ≤ 1 mA/kW Heizleistung ist, allerdings bis zu einem Höchstwert von 10 mA.

Werden bei der Isolationsmessung die genannten Grenzwerte unterschritten, sollte zunächst überprüft werden, ob das Gerät stark verschmutzt, z. B. durch leitfähigen Staub, oder nass ist. Dann sollte das Gerät gereinigt und getrocknet und die Messung wiederholt werden.

Die Isolationsmessung darf bei bestimmten Geräten entfallen, wenn durch die Messung das Gerät beschädigt werden kann. Das betrifft Geräte der Informationstechnik, sonstige Geräte, die Mikroelektronik enthalten oder Geräte, die SELV-Stromkreise führen. Bei Geräten, die nach Herstellerangaben mit Schutzimpedanzen zwischen den aktiven Teilen und dem Schutzleiter ausgestattet sind, gilt der Wert dieser Impedanzen als Grenzwert für den Isolationswiderstand. Auch ist zu beachten, dass bei der Isolationsmessung von Geräten mit netzspannungsabhängigen Schalteinrichtungen nur der Isolationswiderstand der aktiven Teile bis zu den Klemmen der Schalteinrichtungen erfasst wird.

Bei handgeführten motorbetriebenen Elektrowerkzeugen nach Reihe VDE 0740 und transportablen motorbetriebenen Elektrowerkzeugen nach VDE 0740-Teilreihe 500 ist anstelle der Isolationswiderstandsmessung eine *Spannungsfestigkeitsprüfung* mit Prüfspannungen von AC 1 000 V für Schutzklasse-I-Geräte, AC 2 500 V für Schutzklasse-II-Geräte und AC 400 V für Schutzklasse-III-Geräte durchzuführen. Dazu ist die Wechselspannung von 50 Hz 3 s lang zwischen den aktiven Teilen und den Körpern anzulegen.

Schutzleiter, Isolationswiderstand und Ersatzableitstrom können mit einem handelsüblichen Vielfachmessgerät überprüft werden (**Bild 15.13**).



***Bild 15.13:*** *Geräteprüfer nach VDE 0701-0702 (Werkbild: GMC-I Messtechnik)*

Der *Schutzleiterstrom* ist an jedem Gerät mit Schutzleiter zu messen. Das ist der Strom, der durch den Schutzleiter fließt. Er kann auf dreierlei Art gemessen werden und zwar durch die *direkte* Messung, das Differenzstrommessverfahren oder das *Ersatz-Ableitstrommessverfahren*. Das Ersatz-Ableitstrommessverfahren lässt sich aber nur anwenden, wenn sich in dem zu prüfenden Gerät keine netzspannungsabhängigen Schalteinrichtungen befinden und vorher eine Isolationswiderstandsmessung mit positivem Ergebnis durchgeführt wurde.

Der ermittelte Schutzleierstrom darf 3,5 mA nicht überschreiten. Bei Geräten mit eingeschalteten Heizelementen mit einer Gesamtleistung > 3,5 kW darf der Grenzwert des Schutzleiterstroms 1 mA/kW bis max. 10 mA betragen. Auch hier ist bei Überschreiten von Grenzwerten des Schutzleiterstroms festzustellen, ob nach Produktnormen oder Herstellerangaben andere Grenzwerte gelten. Bei Verlängerungsleitungen, abnehmbaren Geräteanschlussleitungen und mobilen Mehrfachsteckdosen ohne elektrische Bauteile zwischen aktiven Leitern und Schutzleiter kann die Messung des Schutzleiterstroms entfallen.

Bei der *direkten Messung* des Schutzleiterstroms wird das zu prüfende Gerät isoliert aufgestellt. Außer der Netzanschlussleitung dürfen keine anderen Leitungen (z. B. Datenleitungen, Antennenleitungen) angeschlossen sein. Das Gerät wird mit Nennspannung betrieben. Mit einem speziellen Messgerät wird in der Verbindung zwischen äußerem Schutzleiter und Schutzleiteranschluss des Geräts der Strom als Schutzleiterstrom gemessen. Ist das isolierte Aufstellen oder das Lösen von allen äußeren Verbindungen bis auf die Netzanschlussleitung nicht möglich, kann ein anderes Verfahren zur Messung des Schutzleiterstroms angewandt werden, das *Differenzstromverfahren*. Hier wird nicht der Schutzleiterstrom direkt gemessen, sondern mit einem speziellen Messgerät über einen Summenstromwandler – ähnlich wie bei einer Fehlerstromschutzeinrichtung – der resultierende Strom (Differenz- bzw. Fehlerstrom) aller zu- und abfließenden Ströme einschl. des Schutzleiterstroms. In einem Gerät ohne Schutzleiterstrom ist die Summe der Ströme null. Schutzleiterströme fließen nicht durch den Summenwandler des Messgeräts zurück, sodass ein Differenzstrom entsteht, der dem Schutzleiterstrom entspricht. Die dritte Möglichkeit, den Schutzleiterstrom zu bestimmen ist, den *Ersatzableitstrom* zu messen. Hierbei handelt es sich um eine vereinfachte Messung des Ableitstroms. Ein *Ableitstrom* fließt dann, wenn zwischen den miteinander verbundenen aktiven Leitern des zu prüfenden Geräts und dem Schutzleiter (z. B. hier bei der Schutzleiterstromermittlung) bzw. den berührbaren leitfähigen Teilen (z. B bei der Berührungsstromermittlung (s. u.)) eine Spannung von 1,06-facher Nenn-Netzspannung und Nenn-Netzfrequenz angelegt wird. Die Messung wird wie eine Isolationsmessung durchgeführt, jedoch wird statt des Isolationswiderstands der Strom angezeigt. Da es in den einschlägigen VDE-Bestimmungen für Mess-

und Prüfeinrichtungen noch keine speziellen Anforderungen an die Messgeräte für die Messung des Ersatzableitstroms gibt, müssen die im Handel angebotenen Geräte bestimmte Bedingungen erfüllen. So muss im Fall von netzbetriebenen Messeinrichtungen der Messkreis von den aktiven Leitern des Netzes galvanisch getrennt sein und die Messung ist mit einer Wechselspannung von 50 Hz und einer Leerlaufspannung von mindestens 25 V und höchstens 250 V durchzuführen. Der Kurzschlussstrom darf bei Leerlaufspannungen > 50 V den Wert 3,5 mA (Effektivwert) nicht überschreiten.

Der *Berührungsstrom* ist an jedem berührbaren leitfähigen, *nicht* mit einem Schutzleiter verbundenen Teil eines Geräts zu messen. Insbesondere bei Geräten der Schutzklasse II, bei denen Bedenken gegen eine Messung des Isolationswiderstands bestehen, z. B. weil die Gefahr besteht, elektronische Bauteile zu beschädigen, kann anstelle des Isolationswiderstands der *Berührungsstrom* gemessen werden. Das ist der Strom, der über berührbare leitfähige Teile und die bedienende bzw. berührende Person zur Erde fließen kann. Genauso ist es im Fall von Geräten der Schutzklasse I (Geräte mit Schutzleiteranschluss) mit berührbaren leitfähigen Teilen, die nicht mit dem Schutzleiter verbunden sind, z. B. metallene Zierleisten. Der Berührungsstrom kann – ebenso wie bei der Bestimmung des Schutzleiterstroms (s. o.) – auf drei Arten gemessen werden, und zwar ebenfalls durch das *direkte* Messverfahren, das Differenzstrommessverfahren oder das *Ersatz-Ableitstrommessverfahren*. Das Ersatz-Ableitstrommessverfahren lässt sich aber ebenfalls nur anwenden, wenn sich in dem zu prüfenden Gerät keine netzspannungsabhängigen Schalteinrichtungen befinden und vorher eine Isolationswiderstandsmessung mit positivem Ergebnis durchgeführt wurde. Im Fall des direkten Messverfahrens wird das Gerät isoliert aufgestellt und an das Netz angeschlossen. Dann wird eine Verbindung zwischen den berührbaren leitfähigen Teilen des zu prüfenden Geräts und einem Schutzleiter des Versorgungsnetzes oder der Erde hergestellt und der Strom in dieser Verbindung gemessen. Dies ist der Berührungsstrom. Auch hier ist, wie bei der Messung des Schutzleiterstroms von Schutzklasse-I-Geräten, das *Differenzstromverfahren* möglich, falls das isolierte Aufstellen oder das Lösen von allen äußeren Verbindungen bis auf die Netzanschlussleitung nicht möglich ist. Anstelle der Schutzleiterverbindung zwischen Netzschutzleiter und Schutzleiter des zu prüfenden Geräts beim Schutzklasse-I-Gerät wird hier eine Verbindung zwischen dem speziellen Messgerät und den berührbaren leitfähigen Teilen des zu prüfenden Geräts hergestellt und dann, wie oben beschrieben, der Differenzstrom ermittelt, der dem Berührungsstrom des Schutzklasse-II-Geräts entspricht. Das dritte angeführte Verfahren der *Ersatz-Ableitstrommessung* wird bei der Schutzleiterstromermittlung beschrieben (s. o.). Der gemessene Berührungsstrom darf bei allen drei Messverfahren den Wert von 0,5 mA nicht überschreiten. Die Berührungsstrommessung darf entfallen,

wenn durch die Messung das Gerät beschädigt werden kann. Das betrifft Geräte der Informationstechnik, sonstige Geräte, die Mikroelektronik enthalten oder die SELV-Stromkreise führen. Können berührbare leitfähige Teile unterschiedlichen Potenzials gemeinsam mit einer Hand berührt werden, ist die Summe ihrer Berührungsströme als Messwert anzusehen.

In VDE 0701-0702 werden in Anhängen umfangreiche Erläuterungen, Kommentierungen und Beispiele zur Prüfung elektrischer Geräte nach Instandsetzung, Änderung und im Wiederholungsfalle gegeben. U. a. wird zur Anwendung des Ersatz-Ableitstrommessverfahrens ausgeführt bzw. darauf hingewiesen, dass diese Messmethode nicht geeignet ist, um bei den in steigender Anzahl vorhandenen Geräten mit netzspannungsabhängigen Schaltelementen ein ordnungsgemäßes Prüfergebnis zu erbringen. Da die Messmethode trotzdem unwissentlich oder versehentlich oder aus Gewohnheit vielfach angewandt würde, sei es in der Praxis oftmals zu einer falschen Bewertung des Messergebnisses (Schutzleiterstrom/Berührungsstrom) gekommen. Weiter wird ausgeführt, dass dieses Ersatz-Ableitstrommessverfahren jedoch unter der Verantwortung einer Elektrofachkraft weiterhin angewandt werden dürfe, wenn ihre Prüfergebnisse die gleiche Aussagekraft haben wie die der anderen beiden Verfahren (direkte Messung und Differenzstrommessverfahren). Dies ist z. B. der Fall beim Prüfen von Geräten, in denen sich keine netzspannungsabhängigen Schalteinrichtungen befinden und bei denen alle aktiven Teile in die Messung bzw. die dazu nötigen Messungen einbezogen werden.

Bei Geräten, die durch einen Sicherheitstransformator oder ein Schaltnetzteil eine *SELV-* oder *PELV-Spannung* erzeugen, ist zu prüfen, ob die SELV- oder PELV-Spannungen den Anforderungen entsprechen (s. Abschn. 5.9). Zusätzlich ist zum Nachweis der sicheren Trennung vom Versorgungsstromkreis der Isolationswiderstand wie in diesem Abschnitt beschrieben zu messen, und zwar zwischen Primär- und Sekundärseite der Spannungsquelle und zwischen aktiven Teilen des SELV-/PELV-Ausgangsstromkreises und berührbaren leitfähigen Teilen.

Nach der Instandsetzung oder Änderung ist eine *Funktionsprüfung* des Geräts durchzuführen. Bei der Wiederholungsprüfung ist eine Funktionsprüfung des Geräts (Betriebsmittels) bzw. seiner Teile nur vorzunehmen soweit die Sicherheit betroffen ist.

Nach Abschluss der Prüfung der ortsveränderlichen Betriebsmittel und Geräte empfiehlt sich als Nachweis über die durchgeführte Prüfung die Kennzeichnung der für in Ordnung befundenen Geräte (Betriebsmittel) und Leitungen durch einen Aufkleber, auf dem entweder das Prüfdatum oder der Zeitpunkt der nächsten Prüfung vermerkt ist. Wird die Prüfung nicht bestanden, ist das Gerät (Betriebsmittel) entsprechend zu kennzeichnen und der Betreiber zu informieren. Im Falle von Lebensgefahr, z. B. dass der Schutz gegen elektrischen Schlage nicht mehr gege-

ben ist, ist das Gerät (Betriebsmittel) sofort dem weiteren Gebrauch zu entziehen, entsprechend deutlich zu kennzeichnen und der Betreiber bzw. Verantwortliche umgehend zu informieren.

Über die Kennzeichnung z. B. durch Prüfplaketten hinaus, sind die Prüfungen in geeigneter Form zu dokumentieren (z. B. in Form eines schriftlichen Berichts in Formularform oder durch elektronische Aufzeichnung).

## 15.14 Wiederkehrende Prüfungen

DGUV Vorschrift 3 u. 4, VDE 0100-600, VDE 0105-100, VDE 0701-0702

Mit Inkrafttreten der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) und den aufgrund der BetrSichV erlassenen Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) haben sich Regelungen über durchzuführende Prüfungen und Festlegen von Prüffristen grundlegend geändert. Grundsätzlich werden Prüffristen für Wiederholungsprüfungen nicht mehr nach der UVV DGUV Vorschrift 3 bzw. 4 (bisher: BGV A3; frühere Bezeichnungen: BGV A2, VBG 4 bzw. GUV-V A3) fest vorgegeben. Nach der vorübergehend erschienenen TRBS 2131 „Elektrische Gefährdungen" (im Juli 2010 ohne Ersatz aufgehoben; s. dazu Abschn. 1.2.5.4) hat der Arbeitgeber unter Berücksichtigung der §§ 3–5 des Arbeitsschutzgesetzes (ArbSchG) dafür zu sorgen, dass elektrische Gefährdungen, denen Beschäftigte bei der Bereitstellung und Benutzung von Arbeitsmitteln – wozu elektrische Anlagen und Betriebsmittel gehören – ausgeschlossen oder hinreichend begrenzt werden. In der aufgehobenen TRBS 2131 hieß es, dass unter Anwenden der TRBS 1111 „Gefährdungsbeurteilung und sicherheitstechnische Bewertung" die im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung nach § 5 ArbSchG in Verbindung mit § 3 BetrSichV notwendigen Maßnahmen für die sichere Bereitstellung und Benutzung der Arbeitsmittel (elektrische Anlagen und Betriebsmittel) sowie den Erhalt des ordnungsgemäßen Zustands überwachungsbedürftiger Anlagen (z. B. explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel, s. Abschn. 14.9) zu treffen sind. In der TRBS 1111 werden hierfür beispielhaft Maßnahmen genannt. Die UVV DGUV Vorschrift 3 (bisher: BGV A3) wird dieser Verordnungs- und Normenlage angepasst werden. Solange noch keine Prüffristen aufgrund einer Gefährdungsbeurteilung festgelegt sind, ist es sinnvoll, die bekannten Prüffristen nach den Unfallverhütungsvorschriften zunächst weiter anzuwenden. Im Übrigen sind wegen der Aufhebung der TRBS 2131 die UVV DGUV Vorschriften 3 bzw. 4 (bisher: BGV A3 bzw. GUV-V A3) und die VDE 0105-100 weiter anzuwenden.

Wiederkehrende Prüfungen sollen Mängel an den elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln aufdecken, die während des Betriebs durch Beschädigung, Alterung oder Verschleiß aufgetreten sein können. Wie wiederkehrende Prüfungen durch-

zuführen sind, wird für elektrische Anlagen und ortsfeste elektrische Betriebsmittel in der Reihe VDE 0105 (Betrieb von elektrischen Anlagen) und für nicht ortsfeste elektrische Betriebsmittel oder elektrische Geräte zusätzlich in VDE 0701-0702 (u. a. Wiederholungsprüfungen elektrischer Geräte) beschrieben.

Auch Leitungen und Kabel sind wiederkehrend zu prüfen. Leitungen und Kabel, die im Handbereich liegen, müssen besichtigt werden. Leitungen für feste sowie für ortsveränderliche Betriebsmittel müssen regelmäßig und immer dann besichtigt werden, wenn befürchtet werden muss, dass die Leitung oder das Kabel durch innere oder äußere Beanspruchung beschädigt worden ist. Innere Beanspruchungen können durch Überspannungen oder Überlastung eintreten. Wenn die Leitungen oder Kabel sichtbare Veränderungen zeigen, sollten sie entweder von fachkundigem Personal instand gesetzt oder ausgewechselt werden. Leitungen für tragbare oder handgeführte Betriebsmittel müssen ebenfalls regelmäßig überprüft werden. Zeigt die Leitung Abrieberscheinungen, sonstige Beschädigungen oder Veränderungen des Erscheinungsbilds, so muss sie ausgewechselt werden.

## 15.14.1 Wiederkehrende Prüfungen elektrischer Anlagen

Bei der Prüfung elektrischer Anlagen und ortsfester elektrischer Betriebsmittel darf vorausgesetzt werden, dass die Anlagen vor ihrer Inbetriebnahme einer Erstprüfung unterzogen wurden. Es ist jedoch zu beachten, dass der ursprüngliche ordnungsgemäße Zustand der Anlage durch Nutzungsänderung, Erweiterung oder Umbau verändert werden kann.

Deshalb sollten von Zeit zu Zeit alle im Abschnitt 15.1 beschriebenen Prüfungen durchgeführt werden. VDE 0105-100 fordert für elektrische Anlagen wiederkehrende Prüfungen. *Fristen* sind in der Unfallverhütungsvorschrift der gewerblichen Berufsgenossenschaften UVV DGUV Vorschrift 3 (bisher: BGV A3, vorübergehende Bezeichnung: BGV A2, frühere Bezeichnung: VBG 4) und den Unfallverhütungsvorschriften des öffentlichen Diensts (UVV DGUV Vorschrift 4 (bisher: GUV-V A3, frühere Bezeichnung: GUV 2.10)) oder anderer Berufsgenossenschaften festgelegt. Die Fristen sind so bemessen, dass entstehende Mängel, mit denen gerechnet werden muss, rechtzeitig festgestellt werden. Prüffristen betragen nach der UVV DGUV Vorschrift 3 bzw. 4 (bisher: BGV A3 bzw. GUV-V A3) i. Allg. 4 Jahre (s. o. und Abschn. 1.2.4). Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) sind bei nichtstationären Anlagen arbeitstäglich, sonst alle 6 Monate zu erproben. Weitere Prüffristen sind für bestimmte Anlagen in Verordnungen (z. B. Sonderbauordnungen, je nach Bundesland: Muster-Verordnung über Prüfungen von technischen Anlagen nach Bauordnungsrecht – MPrüfVO – (Muster-Prüfverordnung) für Sonderbauten und Öffentliche Einrichtungen, BetrSichV (Vorgängerverordnungen: Verordnung für

brennbare Flüssigkeiten, Verordnung über elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Räumen)) und den Sicherheitsvorschriften der Schadensversicherer niedergelegt. Die meisten dieser Prüfungen dürfen z. B. nach Baurecht und nach der BetrSichV in der Regel jedoch nur von anerkannten Sachverständigen, von sog. Prüfsachverständigen (nach Baurecht und nach BetrSichV), von sog. zur Prüfung befähigten Personen (nach BetrSichV) und Sachverständigen einer zugelassenen Überwachungsstelle (nach BetrSichV) durchgeführt werden.

Die Prüfungen sind, wie in Abschnitt 15.1 beschrieben, durch Besichtigen, Erproben und Messen vorzunehmen. Das Ergebnis der Prüfungen sollte grundsätzlich in einem Prüfbuch oder Protokoll niedergelegt werden. Der Anlagenbetreiber (Unternehmer oder von ihm beauftragte natürliche oder juristische Person), der Anlagenverantwortliche (z. B. Betriebsleiter, Werkstattleiter), der Arbeitsverantwortliche oder die verantwortliche Elektrofachkraft können im Bedarfsfall nur so nachweisen, dass sie die erforderlichen Maßnahmen zur Sicherheit ergriffen haben.

## 15.14.2 Wiederkehrende Prüfungen elektrischer Geräte

Für nicht ortsfeste elektrische Betriebsmittel (Geräte), Anschlussleitungen mit Steckern sowie Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen mit ihren Steckvorrichtungen gilt eine Prüffrist von in der Regel 6 Monaten (s. Abschn. 1.2.4). Je nach Betriebsverhältnissen und Nutzung können kürzere Abstände erforderlich oder auch längere Abstände erlaubt sein. Elektrowerkzeuge auf Baustellen wird man längstens alle 6 Monate, ortsveränderliche Büromaschinen nur alle 1 bis 2 Jahre prüfen. Außerdem ist monatlich die Schutzwirkung des Schutzes gegen elektrischen Schlag zu messen. Die Prüfungen sind durch Elektrofachkräfte durchzuführen. Bei Verwenden geeigneter Prüfgeräte, z. B. mit „Gut-Schlecht-Anzeige", können die Geräteprüfungen auch von elektrotechnisch unterwiesenen Personen unter Leitung und Aufsicht von Elektrofachkräften vorgenommen werden. Zu Art und Umfang der Prüfungen, anzuwendenden Prüfverfahren und einzuhaltenden Grenzwerten siehe Abschnitt 15.13.

# 16 Betrieb elektrischer Anlagen

VDE 0105-100, DGUV Vorschriften 3 u. 4

Für das Arbeiten an elektrischen Betriebsmitteln und in elektrischen Anlagen und das Bedienen elektrischer Anlagen und Betriebsmittel nennt die VDE 0105-100 den Oberbegriff „Betrieb von elektrischen Anlagen". Für den Betrieb von elektrischen Anlagen sind die VDE 0105 mit ihren verschiedenen Teilen und die Unfallverhütungsvorschrift (UVV) DGUV Vorschrift 3 (bisher: BGV A3, vorübergehende Bezeichnung: BGV A2, frühere Bezeichnung: VBG 4) bzw. DGUV Vorschrift 4 (bisher: GUV-V A3, frühere Bezeichnung: GUV 2.10) zu beachten.

VDE 0105-1 vom Juli 1983 mit dem Titel „Betrieb von Starkstromanlagen/Allgemeine Festlegungen " wurde 1997 durch VDE 0105-1 „Betrieb von elektrischen Anlagen; Deutsche Fassung der EN 50110-1:1996" (aktuelle Fassung: 2014-02 mit dem jetzigen Titel „Betrieb von elektrischen Anlagen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen") und VDE 0105-2 „Betrieb von elektrischen Anlagen – Teil 2: Nationale Anhänge" (aktuelle Fassung: 2011-02) abgelöst. Dieser Teil 2 besteht aus einer Aufzählung nationaler normativer Anhänge, die der Umsetzung der einschlägigen EU-Richtlinien in der BRD dienen. Das sind das Arbeitsschutzgesetz, die Arbeitsstättenverordnung, Betriebssicherheitsverordnung, Elektrobergverordnung, UVV DGUV Vorschrift 3 (bisher: BGV A3) und DGUV Vorschrift 4 (bisher: GUV-V A3) sowie ausgewählte VDE-Bestimmungen und Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS). Um die Lesbarkeit zu erleichtern, wurde die VDE 0105-100 „Betrieb von elektrischen Anlagen – Teil 100: Allgemeine Festlegungen" herausgegeben. Dieser Teil 100 mit dem neuesten Stand vom Oktober 2015 (Übergangsfrist für die Ausgabe Oktober 2009: bis 11.02.2016) enthält die speziellen deutschen Anforderungen für den Betrieb elektrischer Anlagen und ist praktisch die Nachfolgebestimmung der VDE 0105-1:1983-07 und somit die maßgebende Bestimmung für den Praktiker. Darüber hinaus gibt es weitere Teile der Reihe VDE 0105, die Zusatzfestlegungen für den Betrieb bestimmter elektrischer Anlagen enthalten, z. B. für ortsfeste elektrostatische Sprühanlagen, explosivstoffgefährdete Bereiche und in Verbindung mit VDE 0105-1 anzuwenden sind. Weiter gibt es Teile, die sog. Besondere Festlegungen für den Betrieb elektrischer Anlagen enthalten und die unabhängig

von VDE 0105-100 anwendbar sind. Zz. sind das Besondere Festlegungen für den Bergbau unter Tage (VDE 0105-111), für das Experimentieren mit elektrischer Energie in Unterrichtsräumen (VDE 0105-112) und für landwirtschaftliche Betriebsstätten (VDE 0105-115).

## 16.1 Einsatz von Arbeitskräften

Elektrische Anlagen und Betriebsmittel dürfen nur von einer *Elektrofachkraft* (Elektrohandwerker) oder unter Leitung und Aufsicht einer Elektrofachkraft errichtet, geändert und instand gehalten werden. Die Elektrofachkraft muss

- eine einschlägige fachliche Ausbildung haben,
- die einschlägigen VDE-Bestimmungen kennen,
- die Fähigkeit haben, die übertragene Arbeit zu beurteilen und mögliche Gefahren zu erkennen, sowie
- über spezielle Kenntnisse und Erfahrungen verfügen.

So darf z. B. eine Fachkraft für Niederspannungsinstallation nicht ohne Weiteres Arbeiten in Hochspannungsanlagen übernehmen. Neben einer anerkannten elektrotechnischen Fachausbildung zum Gesellen oder Facharbeiter, zum staatlich geprüften Techniker, zum Handwerks- oder Industriemeiser oder zum Diplomingenieur, Bachelor oder Master kann auch eine mehrjährige Tätigkeit auf einem bestimmten Arbeitsgebiet der Elektrotechnik die erforderlichen Kenntnisse vermitteln. Weitere Ausführungen zu Anforderungen an die im Bereich der Elektrotechnik tätigen Personen können VDE 1000-10 entnommen werden. Grundsätzlich sind alle Arbeitskräfte, die mit Arbeiten an elektrischen Anlagen betraut sind, von Zeit zu Zeit in den für ihre Arbeit geltenden Sicherheitsbestimmungen und berufsgenossenschaftlichen Vorschriften (Unfallverhütungsvorschriften) zu unterrichten. Wenn in einem Betrieb darüber hinaus besondere Betriebsanordnungen existieren, so ist deren Befolgung ebenfalls zur Pflicht zu machen.

Führen mehrere Personen eine Arbeit aus, dann kann die Elektrofachkraft als *verantwortliche* Elektrofachkraft vom Anlagenbetreiber (s. u.) die Fach- und Aufsichtsverantwortung übertragen bekommen. Die verantwortliche Elektrofachkraft hat sich vor Beginn der Arbeiten von dem Einhalten der Sicherheitsbestimmungen zu überzeugen. Gegebenenfalls muss sie die Mitarbeiter auf besondere Gefahren hinweisen, wenn diese nicht ohne Weiteres erkennbar sind. Nach VDE 0105-100 werden Anforderungen an die *Organisation* gestellt. Danach muss jede elektrische Anlage unter der Verantwortung einer Person des Anlagenbetreibers stehen.

Mit der im Oktober 2009 in Kraft getretenen geänderten VDE 0105-100 wurde der Begriff Anlagenbetreiber neu aufgenommen und der Begriff Anlagenverantwortlicher neu gefasst. Danach hat der *Anlagenbetreiber* (Eigentümer im Privathaushalt, des Handwerksbetriebs oder des mittelständischen Unternehmens, Unternehmer, Vorstand oder eine von diesen beauftragte natürliche oder juristische Person) die Gesamtverantwortung für den sicheren Betrieb der elektrischen Anlage; er gibt die Regeln und Randbedingungen der Organisation vor. Der *Anlagenverantwortliche* ist beauftragt, während der Durchführung von Arbeiten die unmittelbare Verantwortung für den Betrieb der elektrischen Anlage bzw. der Anlagenteile zu tragen, die zur Arbeitsstelle gehören. Das können der Elektriker (Elektrofachkraft) im Privathaushalt oder des Handwerks-/Kleinbetriebs oder der als Anlagenverantwortlicher benannte Mitarbeiter des Großbetriebs/Konzerns sein. Der *Arbeitsverantwortliche* ist beauftragt, die unmittelbare Verantwortung für die Durchführung der Arbeit zu tragen. Das können ebenfalls der Elektriker (Elektrofachkraft) im Privathaushalt oder des Handwerks-/Kleinbetriebs sein, im Großbetrieb/Konzern der Teamleiter/Vorarbeiter, der zum Arbeitsverantwortlichen beauftragt ist. Jede elektrische Anlage, an der gearbeitet wird, muss nach VDE 0105-100 unter der Verantwortung eines Anlagenverantwortlichen stehen. Der Anlagenverantwortliche mit Weisungsbefugnis muss eine *Elektrofachkraft* sein. Außerdem muss nach VDE 0105-100 für jede Arbeit ein *Arbeitsverantwortlicher* festgelegt werden. Der Anlagenverantwortliche, Arbeitsverantwortliche und der Elektriker (Elektrofachkraft) können im Privathaushalt und im Kleinunternehmen/Handwerksbetrieb auch ein und dieselbe Person sein.

Für Arbeiten, die eine eigenverantwortliche Beurteilung und das Erkennen der möglichen Gefahren nicht erfordern, dürfen auch *elektrotechnisch unterwiesene Personen* herangezogen werden. Diese müssen durch eine Elektrofachkraft über die möglichen Gefahren bei unsachgemäßem Verhalten unterrichtet sowie über die notwendigen Schutzeinrichtungen und Schutzmaßnahmen, die bei den übertragenen Aufgaben von Bedeutung sind, informiert werden. Zudem ist in der Regel die elektrotechnisch unterwiesene Person durch die Elektrofachkraft bzgl. der ihr übertragenen Arbeiten anzulernen. So belehrte und angelernte Personen dürfen dann Tätigkeiten wie das Betätigen von Stellgliedern, das Arbeiten in der Nähe unter Spannung stehender Teile oder kleinere Reparaturen durchführen. Dazu gehören auch das Erneuern eines Kabelendverschlusses, die Mängelbeseitigung an ortsveränderlichen Betriebsmitteln in dafür besonders eingerichteten Werkstätten und das Auswechseln von Sicherungseinsätzen in Verteilern ohne vollständigen Schutz gegen direktes Berühren. Da von einer elektrotechnisch unterwiesenen Person lediglich fachgerechtes Verhalten und Arbeiten im vorgegebenen Rahmen verlangt und erwartet werden kann, darf sie nicht selbstständig elektrische Anlagen

errichten, ändern und instand halten. Dies darf nur unter Leitung und Aufsicht einer Elektrofachkraft geschehen.

*Elektrotechnische Laien* dürfen nur unter ständiger Aufsicht einer Elektrofachkraft in der Nähe unter Spannung stehender Teile arbeiten. In einer Arbeitsgruppe, die unter Leitung und Aufsicht einer Elektrofachkraft steht, dürfen sie auch beim Errichten, Ändern und Instandhalten elektrischer Anlagen und Betriebsmittel mitwirken. Sonst dürfen sie nur elektrische Betriebsmittel, die einen vollständigen Berührungsschutz aufweisen, bestimmungsgemäß verwenden. Beispiele für Arbeiten, die von Laien ausgeführt werden dürfen, sind das Freigraben von Kabeln zwecks Schadensbehebung, die Kontrolle von Holzmasten, das Auswechseln von Lampen unter 200 W bei Nennspannungen bis 250 V und von Sicherungseinsätzen des D-Systems bei vollständigem Schutz gegen direktes Berühren. Stromführende Sicherungseinsätze dürfen Laien nur vom Typ D0- oder D- bis zu einem Nennstrom von 63 A und bis AC 400 V Nennspannung und bis DC 25 V Nennspannung auswechseln.

## 16.2 Bedienen elektrischer Betriebsmittel

Werden elektrische Betriebsmittel lediglich beobachtet, geschaltet, eingestellt, gesteuert oder geregelt so spricht man vom *Bedienen* elektrischer Betriebsmittel. Betriebsmittel mit Betätigungselementen, die für das Bedienen bei betriebsmäßigen Vorgängen bestimmt sind, weisen i. Allg. einen vollständigen Berührungsschutz auf. Deshalb darf diese Betriebsmittel auch der elektrotechnische Laie bedienen. Sind Betätigungselemente, mit denen geschaltet oder gesteuert wird oder an denen Einstellungen vorgenommen werden können, z. B. Schutzschalter, Relais, in der Nähe spannungsführender Teile angeordnet, sodass nur ein teilweiser Schutz gegen direktes Berühren besteht, so dürfen sie nur durch mindestens elektrotechnisch unterwiesene Personen betätigt werden (s. auch Abschn. 7.6.8).

*Abgeschlossene elektrische Betriebsstätten* dürfen, auch zum Bedienen der elektrischen Anlagen, nur von Elektrofachkräften oder elektrotechnisch unterwiesenen Personen betreten werden. Laien ist der Zutritt nur unter Aufsicht von Elektrofachkräften oder elektrotechnisch unterwiesenen Personen gestattet. Wenn beim Schalten von Trennschaltern eine Gefährdung durch Kurzschlusslichtbögen oder Fehlschaltungen möglich ist, dürfen nur Personen zugegen sein, die mit der Schalthandlung zu tun haben.

Anlagen oder Anlagenteile, die aus betrieblichen Gründen nicht betrieben werden dürfen, sind auszuschalten und gegen Wiedereinschalten zu sichern. An den Schaltern müssen Verbotszeichen „Nicht schalten" angebracht werden (s. Bild 16.8).

Die elektrischen Betriebsmittel mit Anzeigevorrichtungen oder Stellteilen müssen zum Bedienen leicht zugänglich sein. Die Zugänge zu den Betriebsmitteln sind stets freizuhalten. Die Betätigungselemente müssen kniend oder stehend von einer sicheren Standfläche aus erreicht werden können. Dies bedeutet, dass die Einbauhöhe 20 cm nicht unterschreiten und 200 cm nicht überschreiten darf. Bei 50 cm Einbautiefe darf die Einbauhöhe max. 180 cm sein. Empfehlenswert sind Einbauhöhen zwischen 85 cm und 170 cm.

## 16.3 Arbeiten an elektrischen Betriebsmitteln und in elektrischen Anlagen

Entsprechend VDE 0105-100 umfasst der Betrieb von elektrischen Anlagen das *Bedienen* und das *Arbeiten*. Unter den Begriff „arbeiten" wird nach der VDE 0105-100 jede Form elektrotechnischer oder nichtelektrotechnischer Tätigkeit verstanden, bei der die Möglichkeit einer elektrischen Gefährdung besteht. Unter elektrotechnische Arbeiten fallen alle Tätigkeiten, die das Herstellen, Errichten, Ändern (z. B. das Erweitern oder Verkleinern), Instandsetzen, Auswechseln und Prüfen (Erproben, Messen) an oder mit elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln oder in der Nähe elektrischer Anlagen und Betriebsmittel betreffen. Auch das Inbetriebnehmen gehört unter den Begriff „arbeiten". Da diese Tätigkeiten für die Sicherheit und Funktion des Betriebsmittels bzw. der elektrischen Anlage entscheidend sind und vielfach ohne vollständigen Schutz gegen direktes Berühren ausgeführt werden müssen, sind sie Elektrofachkräften bzw. elektrotechnisch unterwiesenen Personen vorbehalten. Der Begriff „arbeiten" ist gegenüber dem Begriff „bedienen" nicht immer klar abgrenzbar. So gibt es Tätigkeiten, die sowohl „bedienen" als auch „arbeiten" sind. Beispiel: Wechseln von Schraubsicherungen einerseits („bedienen") – Wechseln von ungeschützten NH-Sicherungen andererseits („arbeiten"). Nichtelektrotechnische Arbeiten sind Tätigkeiten im Bereich einer elektrischen Anlage, z. B. Bau- und Montagearbeiten, Erdarbeiten, Reinigen oder Anstreichen.

### 16.3.1 Arbeiten an freigeschalteten Anlagen

DGUV Vorschriften 3 u. 4 mit DA, § 6, Abs. 2

Bei Arbeiten an aktiven Teilen elektrischer Anlagen und Betriebsmittel müssen geeignete Sicherheitsvorkehrungen angewendet werden, um Gefahren durch elektrischen Strom zu verhindern. Dies geschieht am besten durch *Herstellen und Sicherstellen des spannungsfreien Zustands* vor Beginn der Arbeiten. Jeder Unternehmer und jeder Elektrohandwerker sollte es sich zum obersten Grundsatz machen, nur

an freigeschalteten Anlagen zu arbeiten bzw. arbeiten zu lassen. Arbeiten an aktiven Teilen elektrischer Anlagen, deren spannungsfreier Zustand nicht hergestellt ist, sind nur in den in Abschnitt 16.3.3 beschriebenen Sonderfällen zulässig.

Das Herstellen und Sicherstellen des spannungsfreien Zustands geschieht durch Anwendung der *fünf Sicherheitsregeln*. Diese lauten:

1. freischalten,
2. gegen Wiedereinschalten sichern,
3. Spannungsfreiheit feststellen,
4. erden und kurzschließen,
5. benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschranken.

Mit den Arbeiten darf erst begonnen werden, wenn die fünf Sicherheitsregeln ordnungsgemäß angewendet worden sind. I. Allg. ist die Reihenfolge der ersten vier Sicherheitsregeln einzuhalten. Die 5. Sicherheitsregel kann zu einem beliebigen Zeitpunkt durchgeführt werden, so kann es zweckmäßig sein, diese Maßnahme zuerst durchzuführen. In Anlagen mit Nennspannungen unter 1 000 V darf vom Erden und Kurzschließen abgesehen werden, außer wenn das Risiko besteht, dass die Anlage unter Spannung gesetzt wird, z. B. bei Freileitungen, die von anderen Leitungen gekreuzt oder elektrisch beeinflusst werden, oder durch eine Ersatzstromversorgungsanlage.

Nach beendeter Arbeit werden i. Allg. die Sicherheitsmaßnahmen in der umgekehrten Reihenfolge ihrer Anbringung beseitigt und die Anlage wieder unter Spannung gesetzt.

#### 16.3.1.1 Freischalten

Freischalten ist das *allseitige Abschalten oder Abtrennen* einer Anlage, eines Teils einer Anlage oder eines Betriebsmittels von allen nicht geerdeten Leitern. In der Regel wird man sich vorweg anhand eines gültigen Schaltplanes über den Schaltzustand der Teile der Anlage, an denen gearbeitet werden soll und die somit freigeschaltet werden müssen, unterrichten.

Zum Freischalten können Steckvorrichtungen, Schmelzsicherungen, LS-Schalter, Leistungsschalter, Lastschalter, Trennschalter und Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) dienen. Schütze können dagegen nur bedingt und in Ausnahmefällen zum Freischalten verwendet werden.

Zum Freischalten gehört auch das *Entladen von Kondensatoren*. Meist verfügen Kondensatoren über Einrichtungen, die für ein selbsttätiges Entladen sorgen.

Dies können unmittelbar an die Kondensatoren angeschlossene Induktivitäten oder Widerstände sein. Auch Entladewiderstände, die mit dem Kondensator verbunden werden, wenn dieser ausgeschaltet wird, sind möglich. Ist die Entladezeit länger als 1 min, sind an Schaltfeldern und Betriebsstätten von Kondensatoranlagen Hinweiszeichen D-H001 nach DIN 4844-2 anzubringen (**Bild 16.1**).

Bei Kondensatoren, die nicht selbsttätig entladen werden, muss zum Entladen ein geerdetes Seil mit einer Isolierstange an die Außenleiter angelegt werden. Durch gut sichtbar angebrachte Hinweiszeichen D-H004 nach DIN 4844-2 ist darauf zu verweisen (**Bild 16.2**).

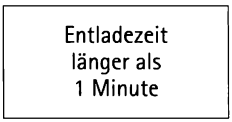



***Bild 16.1:*** *Hinweiszeichen D-H001 (blauer Grund)*

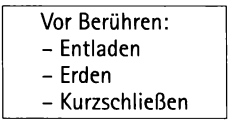



***Bild 16.2:*** *Hinweiszeichen D-H004 (blauer Grund)*

Wurde die Freischaltung nicht durch die allein arbeitende oder aufsichtführende Person ausgeführt, so muss die *Meldung* der Freischaltung abgewartet werden, bevor die nächsten Sicherheitsregeln angewendet werden. Die Meldung kann mündlich, fernmündlich, schriftlich oder fernschriftlich erfolgen. Das Fehlen der Spannung darf nicht als Bestätigung einer vollzogenen Freischaltung gewertet werden.

### 16.3.1.2 Gegen Wiedereinschalten sichern

Die Betriebsmittel, mit denen freigeschaltet worden ist, sind gegen Wiedereinschalten zu sichern. Das geschieht z. B. durch Herausnehmen und sicheres Verwahren der Sicherungseinsätze, durch Anbringen von Steckkappen oder Klebefolien über der Handhabe von Schaltern oder durch mechanische Verriegelungseinrichtungen. Bei Kraftantrieben, z. B. Motor- oder Druckluftschaltern, ist die Antriebskraft unwirksam zu machen.

Zudem muss an Schaltgriffen oder Antrieben von Schaltern, an Sicherungsunterteilen oder an Steuereinrichtungen, mit denen ein Anlagenteil freigeschaltet worden ist oder mit denen es unter Spannung gesetzt werden kann, für die Dauer der Arbeiten ein Verbotszeichen D-P010 „Schalten verboten" nach DIN 4844-2 bzw. P031 nach DIN EN ISO 7010 bzw. ASR A1.3 angebracht werden (**Bild 16.3**).

Ein Verbotszeichen ist grundsätzlich, also auch an verriegelten oder anderweitig gegen Wiedereinschalten gesicherten Schaltern, anzubringen.




***Bild 16.3:*** *Kombinationszeichen D-C002 zum Sichern gegen Wiedereinschalten (Ring ist im Original rot)*

### 16.3.1.3 Spannungsfreiheit feststellen

Die Spannungsfreiheit ist immer an der Arbeitsstelle selbst festzustellen, um sicherzugehen, dass nicht der falsche Anlagenteil freigeschaltet wurde. Ausnahmen sind bei Kabeln und isolierten Leitungen erlaubt, wenn die Spannungsfreiheit an den Ausschaltstellen festgestellt worden ist und das Kabel oder die isolierte Leitung eindeutig identifiziert wurde, z. B. durch Sichtkontrolle, Kabelsuchgerät oder Kabelschneidegerät.

Die Spannungsfreiheit darf nur durch eine mindestens elektrotechnisch unterwiesene Person festgestellt werden. Sie kann dazu Spannungsprüfer, Messgeräte oder unter bestimmten Voraussetzungen Erdungseinrichtungen verwenden. In Niederspannungsanlagen werden meist *ein-* oder *zweipolige Spannungsprüfer* dazu verwendet.

Der einpolige Spannungsprüfer bis 250 V muss VDE 0680-6 entsprechen, der zweipolige VDE 0682-401. Der einpolige Spannungsprüfer darf keine außen liegenden Leitungen oder Anschlussmöglichkeiten für solche haben. Eine als Schraubendrehklinge ausgebildete Prüfelektrode darf nur an nicht unter Spannung stehenden Betriebsmitteln als Schraubendreher benutzt werden. Die Bemessungsspannung oder der Bemessungsspannungsbereich „... V ~“ ist als Aufschrift anzugeben. Spannungen vom 0,85-fachen der Bemessungsspannung müssen zweifelsfrei wahrnehmbar angezeigt werden. Der Strom darf bei Bemessungsspannung nicht > 0,5 mA sein.

Wegen der hohen Widerstände im Prüfstift-Stromkreis muss man sehr darauf achten, keine falschen Schlüsse aus der Anzeige oder auch Nichtanzeige durch die Glimmlampe zu ziehen. In der Größe dieser Widerstände von 1,5...3 MΩ liegen beim Wechselstromnetz nämlich auch induktive oder kapazitive Widerstände von Installationsanlagen und Geräten. Da manche Glimmlampe schon bei etwa 0,05 mA sichtbar leuchtet, können Fehlerspannungen vorgetäuscht werden (Blindspannungen). Umgekehrt können dem Strompfad „Glimmlampe – Mensch“

ein Ableitwiderstand parallel und ein Isolationswiderstand (Holzboden) in Reihe geschaltet sein, sodass trotz bestehenden Körperschlusses die Glimmlampe nicht zündet, weil ihre Zündspannung von etwa 70 V nicht erreicht wird.

Zündet die Glimmlampe und handelt es sich bei dem vermuteten Fehler um kapazitive Aufladung oder induktive Beeinflussung, dann bricht diese Blindspannung zusammen, wenn der Glimmlampe ein ohmscher Belastungswiderstand von z. B. 30 W parallel geschaltet wird. Bei echter Fehlerspannung (z. B. Betriebsspannung, Wirkspannung) leuchtet die Glimmlampe dagegen auch nach Einschalten des Parallelwiderstands auf. Derartige Spannungsprüfer mit Belastungswiderstand sind handelsüblich.

Bei kleinen Stromkreisen ohne Erdverbindung (Trenntransformator) zeigt der einpolige Spannungsprüfer nicht an.

Es gibt mikroprozessorgesteuerte *Digitalspannungsprüfer* mit VDE-Prüfzeichen (**Bild 16.4**). Sie eignen sich für Gleich- und Wechselspannung bis 999 V.



***Bild 16.4:*** *Spannungsprüfer mit digitaler Anzeige zur Feststellung der Spannungsfreiheit (Werkbild: Weidmüller)*

### 16.3.1.4 Erden und kurzschließen

Das Erden und Kurzschließen ist an allen Anlagen mit Nennspannungen über 1 kV und an bestimmten Niederspannungsanlagen erforderlich.

Geerdet und kurzgeschlossen muss an der Arbeitsstelle selbst werden, sodass das Erden und Kurzschließen von der Arbeitsstelle aus sichtbar ist. Die Vorrichtungen müssen immer zuerst mit der Erdungsanlage oder mit einem Erder und dann mit den zu erdenden Leitern verbunden werden.

Wird bei der Arbeit ein Leitungszug unterbrochen, so muss an beiden Seiten der Unterbrechungsstelle geerdet und kurzgeschlossen werden.

Die Erdungs- und Kurzschließeinrichtungen nach VDE 0683-100 müssen entsprechend dem an der Einsatzstelle auftretenden Kurzschlussstrom dimensioniert werden. Näheres ist VDE 0105-100, Abs. 6.2.4, bzw. DGUV Vorschrift 3 (bisher: BGV A3) DA zu § 6 Abs. 7 zu entnehmen.

Isolierte Freileitungen mit Nennspannungen bis 1 000 V, deren Isolierung die Bedingungen für Schutzklasse II erfüllt, brauchen nicht geerdet und kurzgeschlossen zu werden.

#### 16.3.1.5 Benachbarte unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschranken

Ist nur ein Teil der elektrischen Anlage, z. B. eines Schaltfelds, freigeschaltet worden und besteht dadurch die Gefahr des Berührens von benachbarten unter Spannung stehenden Teilen, so müssen vor Aufnahme der Arbeit die unter Spannung stehenden Teile durch hinreichend feste und zuverlässig angebrachte isolierende Abdeckungen gegen zufälliges Berühren geschützt werden. Zur Erfüllung dieser Sicherheitsregel sind die im Abschnitt 16.3.2 getroffenen Aussagen für das Arbeiten in der Nähe unter Spannung stehender Teile zu beachten.

### 16.3.2 Arbeiten in der Nähe unter Spannung stehender Teile

Wenn Arbeiten in der Nähe von aktiven Teilen verrichtet werden müssen, sollte grundsätzlich deren spannungsfreier Zustand hergestellt und für die Dauer der Arbeiten sichergestellt werden. Nur so ist eine vollständige Sicherheit zu erreichen. Können aus betrieblichen Gründen die aktiven Teile, die sich in der Nähe der Arbeitsstelle befinden, nicht freigeschaltet werden, so sind sie durch Abdecken oder Abschranken gegen direktes Berühren zu schützen. Der Schutz ist je nach Art, Umfang und Dauer der durchzuführenden Arbeiten sowie nach Qualifikation der Arbeitskräfte auszuführen. Ist auch der Schutz durch Abdecken oder Abschranken nicht durchführbar, so muss ein Schutz durch Abstand sichergestellt werden. Da dies nur eine Verhaltensvorschrift ist und somit Achtsamkeit und guter Wille erforderlich sind, sollte diese Sicherheitsmaßnahme nur in Ausnahmefällen angewendet werden. Bei Nennspannungen bis 1 000 V ist der Schutz durch Abstand sichergestellt, wenn der Arbeitende auch durch unbeabsichtigte und unbewusste Bewegungen die unter Spannung stehenden Teile nicht berühren kann.

Für Arbeiten an Freiluftanlagen und Freileitungen bis 1 000 V, die unter Aufsicht von mindestens elektrotechnisch unterwiesenen Personen ausgeführt werden, ist

ein Schutzabstand von unter Spannung stehenden Teilen ohne Schutz gegen direktes Berühren von mindestens 0,5 m erforderlich. Bei Arbeiten mit Baumaschinen sowie bei Anstricharbeiten usw., die nicht unter ständiger Aufsicht von Elektrofachkräften oder elektrotechnisch unterwiesenen Personen erfolgen, ist ein Abstand von mindestens 1 m erforderlich. Für Spannungen über 1 kV gelten entsprechend höhere Werte. Näheres dazu siehe VDE 0105-100, Abs. 6.4. bzw. DGUV Vorschrift 3 bzw. 4 (bisher: BGV A3 bzw. GUV-V A3) § 7.

### 16.3.3 Arbeiten unter Spannung

DGUV Vorschrift 3/4 § 8

Tätigkeiten, die ein Berühren unter Spannung stehender Teile unmittelbar mit Körperteilen, z. B. mit der Hand, oder mittelbar mit Werkzeugen erfordern, bezeichnet man als „Arbeiten unter Spannung". Diese sind nur dann erlaubt, wenn durch die Art der Anlage, z. B. ungefährliche Spannung, eine Gefährdung durch Körperdurchströmung oder durch Lichtbogenbildung ausgeschlossen ist. Weitere Ausnahmen sind möglich, wenn aus zwingenden Gründen die Anlage nicht freigeschaltet werden kann und Hilfsmittel oder Werkzeuge verwendet werden, die eine Gefährdung des Arbeitenden ausschließen.

Eine Gefährdung durch Körperdurchströmung oder durch Lichtbogenbildung kann ausgeschlossen werden, wenn sowohl die Nennspannung zwischen aktiven Teilen als auch die Spannung zwischen aktiven Teilen und Erde nicht höher als AC 50 V oder DC 120 V ist. Es spielt dabei keine Rolle, ob es sich dabei um Schutz durch Kleinspannung mittels SELV (alte Bezeichnung: Schutzkleinspannung) oder Schutz durch Kleinspannung mittels PELV (alte Bezeichnung: Funktionskleinspannung mit sicherer Trennung) handelt. Bei höheren Spannungen ist eine Gefährdung auszuschließen, wenn an der Arbeitsstelle der Kurzschlussstrom AC 3 mA oder DC 12 mA, bei Fernmeldeanlagen mit Ferneinspeisung AC 9 mA oder DC 60 mA, nicht übersteigt. Gleiches gilt, wenn die Energie an der Arbeitsstelle nicht größer als 350 mJ ist. Werden diese Werte überschritten, so muss ein zwingender Grund für das Arbeiten an unter Spannung stehenden Teilen vorliegen. Ein *zwingender Grund* ist gegeben, wenn Leben und Gesundheit von Personen gefährdet sind, z. B. durch Freischalten eines Krankenhauses, oder wenn in Betrieben oder beim Stromabnehmer ein erheblicher wirtschaftlicher Schaden entstehen würde. Darüber hinaus gibt es Arbeiten, für die das Anstehen der Spannung Voraussetzung ist, z. B. bei der Fehlersuche. Die Entscheidung, ob ein zwingender Grund vorliegt, muss normalerweise der Betreiber bzw. Unternehmer fällen. Mit den Arbeiten unter Spannung dürfen nur Personen beauftragt werden, die fachlich geeignet, zuverlässig und verantwortungsbewusst sind. Für umfangreiche Tätigkeiten sollte die ständige Anwesenheit einer zweiten Person vorgeschrieben werden, die in der

Herz-Lungen-Wiederbelebung ausgebildet ist. Den Elektrofachkräften, die mit Arbeiten unter Spannung betraut werden, müssen geeignete Hilfsmittel, wie *isolierendes Werkzeug, isolierende Schutzvorrichtungen* und *isolierende Schutzbekleidung* zur Verfügung gestellt werden.

Die Reihen VDE 0680 und 0682 behandeln isolierende Schutzbekleidung und isolierende Schutzvorrichtungen. Zur Schutzkleidung (VDE 0680-1, VDE 0682-301) zählen Jacke, Hose, Kopfbedeckung (Schutzhelme) (VDE 0682-321), Gesichtsschutz, Handschuhe (VDE 0682-311), isolierende Ärmel (VDE 0682-312) und Fußbekleidung (VDE 0682-331). Schutzvorrichtungen sind Matten (VDE 0682-512), Abdecktücher (VDE 0682-511), Umhüllungen (VDE 0682-511), Leiterseilabdeckungen (VDE 0682-513) oder Platten zum Abdecken (VDE 0682-551) unter Spannung stehender Teile sowie spezielle Leitern aus isolierendem Material (VDE 0682-711/-712). Nach UVV DGUV Vorschrift 3/4 (BGV A3/GUV-V A3) muss die isolierende Schutzbekleidung, soweit sie benutzt wird, alle 6 Monate durch eine Elektrofachkraft auf ihren einwandfreien Zustand hin geprüft werden.

Zu den Geräten zum Arbeiten an unter Spannung stehenden Teilen bis 1 000 V gehören Werkzeuge (VDE 0682-201), isolierende Betätigungsstangen (VDE 0680-3 und VDE 0682-211), NH-Sicherungsaufsteckgriffe (VDE 0680-4) zum Einsetzen und Herausnehmen von NH-Sicherungseinsätzen und Passeinsatzschlüssel (VDE 0680-7). Isolierende Werkzeuge sind getrennt von anderen Werkzeugen aufzubewahren und in einwandfreiem Zustand zu halten.

All diese Hilfsmittel müssen mit einem grafischen Symbol nach DIN 48699 und der zugeordneten Spannungs- oder Spannungsbereichsangabe gekennzeichnet sein (**Bild 16.5**).

Hilfsmittel müssen vor jeder Benutzung auf augenfällige Mängel geprüft werden.

Arbeiten an unter Spannung stehenden Teilen in feuer- und explosionsgefährdeten Betriebsstätten und Lagerräumen sind nur dann erlaubt, wenn jede Feuer- und Explosionsgefahr während der Dauer der Arbeiten beseitigt ist. Diese Vorsicht ist z. B. auch bei Messungen, etwa mit dem Schleifenwiderstandsmessgerät, geboten.

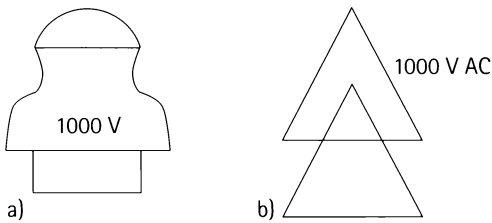



***Bild 16.5:*** *Zeichen auf isolierenden Hilfsmitteln*
a) alt; b) neu

## 16.4 Auswechseln von Sicherungen

In Wechselstromanlagen mit Spannungen bis 400 V dürfen Schraubsicherungen ohne Hilfsmittel ausgewechselt werden, wenn der über die Sicherung fließende Betriebsstrom nicht höher als 63 A ist. Bei höheren Strömen müssen die Verbraucher vor dem Auswechseln der Sicherung abgeschaltet werden. In Gleichstromanlagen mit Spannungen > 120 V muss unabhängig vom Strom vor dem Auswechseln der Schraubsicherung der stromlose Zustand hergestellt werden. Bei Gleichspannungen > 25…60 V dürfen 6 A, bei > 60…120 V nur 2 A fließen.

*NH-Sicherungseinsätze* dürfen nur mit NH-Sicherungsaufsteckgriffen ausgewechselt werden, ausgenommen solche in Einschüben oder Sicherungstrennschaltern. In Strom führenden Stromkreisen dürfen NH-Sicherungseinsätze nur durch besonders geschultes Personal unter Verwenden von NH-Sicherungsaufsteckgriffen mit Unterarmstulpe und Schutzhelm mit Gesichtsschutz ausgewechselt werden (**Bilder 16.6** und **16.7**).

NH-Sicherungseinsätze in Sicherungslasttrennschaltern können gefahrlos ohne Einhalten besonderer Bedingungen ausgewechselt werden. Beim Auswechseln von

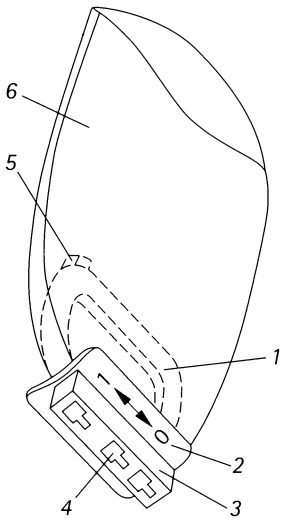



***Bild 16.6:*** *NH-Sicherungsaufsteckgriff mit Unterarmstulpe*
*1* Griffbügel; *2* Begrenzungsscheibe; *3* Aufsetzteil; *4* Halteteil; *5* Betätigungseinrichtung für die Entriegelungsteile; *6* Stulpe

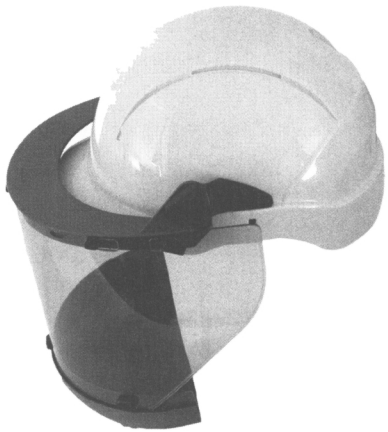


***Bild 16.7:*** *Schutzhelm mit Gesichtsschutz (Werkbild: Dehn + Söhne)*

NH-Sicherungseinsätzen in Sicherungstrennschaltern ohne Lastschaltvermögen muss der betreffende Stromkreis vor dem Ziehen des Trennschalters stromlos geschaltet werden.

## 16.5 Auswechseln von Lampen

Lampen mit Leistungen > 200...1 000 W dürfen nur von Elektrofachkräften oder elektrotechnisch unterwiesenen Personen ausgewechselt werden, wobei zu beachten ist, dass bei dem für diesen Leistungsbereich üblichen Lampensockel E 40 der Gewindekorb zur Stromzuführung verwendet werden darf. Beim Einsetzen oder Entfernen der Lampe kann somit der berührbare Lampensockel unter Spannung stehen. Die Lampen sollten daher mit besonderer Vorsicht oder im spannungsfreien Zustand gewechselt werden. Lampen mit einer Leistung > 1 000 W dürfen nur in spannungsfreiem Zustand gewechselt werden. Gleiches gilt für Lampen mit Bemessungsspannungen > 250 V.

## 16.6 Erhalten des ordnungsgemäßen Zustands

Ein sicherer Betrieb setzt den ordnungsgemäßen Zustand der elektrischen Anlagen und Betriebsmittel voraus.

Durch Beschädigen, Verschleiß oder natürliche Alterung kann sich der Zustand einer elektrischen Anlage oder eines Teils davon so weit verschlechtern, dass ein sicherer Betrieb nicht mehr gewährleistet ist. Die Anlage weist dann einen *Mangel* auf, der sobald wie möglich zu beseitigen ist. Stellt der Mangel eine unmittelbare Gefahr für Personen oder Sachen dar, so ist er unverzüglich zu beseitigen. Eine *unmittelbare Gefahr* ist z. B. gegeben, wenn der Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) aufgehoben ist oder der Körper eines elektrischen Betriebsmittels unter Spannung steht. In solchen Fällen ist der Gefahr drohende Zustand sofort nach Bekanntwerden zu beseitigen. Dies kann auch durch Außerbetriebnehmen des Stromkreises oder Betriebsmittels geschehen. Die eigentliche Reparatur kann dann zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen. Mängel, von denen keine unmittelbare Gefahr ausgeht, sollten innerhalb von 6 Wochen beseitigt werden.

Maßgebend für den ordnungsgemäßen Zustand einer Anlage sind die Bestimmungen, die *zum Errichtungszeitpunkt der Anlage* galten. Haben sich die Anforderungen zwischenzeitlich geändert, so ist in der Regel kein Anpassen der bestehenden Anlage an die neuen Normen erforderlich (*Bestandsschutz*), es sei denn, ein *Anpassen* wird in der neuen Norm ausdrücklich gefordert. Anpassungsforderungen sind in den Rechtsvorschriften und -bestimmungen sehr selten zu finden. Allerdings sind Anpassungen notwendig, wenn sich die Umgebungsbedingungen ändern.

Soll z. B. ein altes Wohnhaus als landwirtschaftliche Lagerstätte genutzt werden, so ist die elektrische Anlage auf die heute geltenden Bestimmungen für landwirtschaftliche Betriebsstätten abzuändern.

Zum Erhalten des ordnungsgemäßen Zustands gehört auch das *Reinigen* der elektrischen Geräte. Können beim Reinigen aktive Teile berührt werden, so muss der spannungsfreie Zustand hergestellt werden.

Der Nachweis, dass sich die elektrischen Anlagen und Betriebsmittel im ordnungsgemäßen Zustand befinden, ist durch *wiederkehrende Prüfungen* (s. Abschn. 15.14) zu erbringen.

## 16.7 Arbeitsgerät

*Leitern* und *Gerüste* müssen den Unfallverhütungsvorschriften entsprechen. Man verwende in Innenanlagen keine Leitern aus Metall (s. Abschn. 16.3.3).

Behelfsgerüste sind nur für kleinere Arbeiten, z. B. Anbringen von Reklamebeleuchtung, zulässig. Bretter oder Bohlen werden auf standsichere und tragfähige Unterlagen, z. B. Böcke oder Stehleitern, gelegt. Fässer, Kisten, Eimer oder lose Ziegelsteine dürfen nicht als Unterlagen verwendet werden. Die Standfläche darf bei Behelfsgerüsten nicht höher als 3 m über dem Boden, bei Stehleitern höchstens auf der drittobersten Sprosse liegen.

*Werkzeuge* müssen einwandfrei sein. Schraubendreher und -schlüssel müssen zu den Schrauben und Muttern passen. Meißel sind rechtzeitig von Grat zu befreien. Hammerkopf und -stiel müssen gut miteinander verkeilt sein. Man lasse keine Werkzeuge auf Leitern oder Gerüsten liegen.

*Isolierte Werkzeuge*, die zum Arbeiten unter Spannung stehen (s. Abschn. 16.3.3), sind vor Gebrauch auf offensichtliche Beschädigungen zu prüfen. Sie sind getrennt von anderen Werkzeugen aufzubewahren, um Verwechslungen, Verschmutzung und Beschädigung zu vermeiden.

*Bolzensetzgeräte* dürfen nur von zuverlässigen und umsichtigen, mindestens 18 Jahre alten Personen benutzt werden, die eine Ausbildungs- und Belehrungsbescheinigung ihres Arbeitgebers besitzen. Bedienungsanweisung und Richtlinien sind ihnen gegen schriftliche Bestätigung auszuhändigen. Die Bedienungsperson muss eine splittersichere Schutzbrille, einen Spezialhelm und erforderlichenfalls auch Körper- und Gehörschutz tragen. Hilfskräfte dürfen nur hinter ihr stehen. Der Gefahrenbereich ist zuverlässig abzusperren. Bolzensetzgeräte dürfen nur von einem standsicheren Arbeitsplatz aus bedient werden. Es dürfen nur für das Gerät zugelassene Bolzen verwendet werden. Geladene Bolzensetzgeräte dürfen nicht aus der Hand gelegt werden. Die Eintreibestellen müssen aus weicherem Material als

die Bolzen bestehen. Das ist dann der Fall, wenn sich das Material mit dem Bolzen ritzen lässt, ohne dessen Spitze zu beschädigen.

In explosionsgefährdeten Betriebsräumen dürfen keine Bolzensetzgeräte verwendet werden.

## 16.8 Aushänge

### Sicherheitszeichen

Die Verbotszeichen D-P031 („Schalten verboten") und D-P010 („Berühren verboten", eventuell mit Zusatzschild „Gehäuse unter Spannung") nach ASR A1.3 und DIN EN ISO 7010 (identisch mit P 10 („Nicht schalten") bzw. P 09 („Nicht berühren, Gehäuse unter Spannung") nach BGV A8/GUV-V A8) sind in ausreichender Anzahl und Größe bereitzuhalten (**Bild 16.8**). Ältere Schilder (z. B. P 10 „Nicht schalten" bzw. P 09 „Nicht berühren, Gehäuse unter Spannung" nach DIN 4844-2 und UVV BGV A8/GUV-V A8 (alte Bezeichnung)), die dieser Norm nicht entsprechen, aber die gleiche Sachaussage enthalten, dürfen weiterverwendet werden.

Sicherheitsschilder, die auf die Befolgung der fünf Sicherheitsregeln hinweisen, sind nicht mehr erforderlich.



D-P031: Schalten verboten



D-P010: Berühren verboten

### Schaltpläne

Nach VDE 0100-100 muss für jede elektrische Anlage eine geeignete Dokumentation und nach VDE 0100-510 müssen – soweit zweckdienlich – Schaltpläne, Diagramme oder Tabellen nach DIN EN 81346-1 und Reihe VDE 0040 (Dokumente der Elektrotechnik) mitgeliefert werden. Daraus müssen u. a. die Art und der Aufbau der Stromkreise sowie Schutz-, Trenn- und Schaltfunktionen mit deren Einbauorten ersichtlich sein. Bei einfachen Anlagen dürfen diese Angaben in Form einer Liste gemacht werden. In elektrischen Anlagen mit Bemessungsspannungen bis 1 000 V sind Schaltpläne i. Allg. nicht erforderlich, wenn die an eine Schaltanlage oder einen

Verteiler angeschlossenen Stromkreise aus der Beschriftung ausreichend ersichtlich sind. Es können auch Tabellen verwendet werden, welche die zur Identifizierung der Stromkreise einschl. ihrer Schutz-, Trenn- und Schalteinrichtungen erforderlichen Kennbuchstaben enthalten.

**VDE-Bestimmungen, BG-Informationen**

Arbeitsverantwortlichen (verantwortliche Person für die Durchführung der Arbeiten) und Anlagenverantwortlichen (verantwortliche Person für den Betrieb der elektrischen Anlagen) sowie Personen, die unter eigener Verantwortung arbeiten (s. Abschn. 16.1), ist die VDE 0105-100 zugänglich zu machen. Diese VDE-Bestimmung für den Betrieb elektrischer Anlagen muss diesem Personenkreis jederzeit aktuell und vollständig zur Verfügung stehen. Es wird nicht mehr gefordert, dass in ständig besetzten elektrischen Betriebsstätten die VDE 0105-100 und VDE 0132 ausgelegt oder aufgehängt werden.

Die DGUV Information 204-006 (bisher: BGI/GUV-I 503, früher: ZH 1/143), die Anweisungen über die erste Hilfe bei Unfällen gibt, sollte in allen elektrischen Betriebsstätten ausgelegt oder aufgehängt werden. Befinden sich in einem Gebäude mehrere elektrische Betriebsstätten, so genügt es in der Regel, das Merkblatt oder den Aushang an einer Stelle anzubringen. Eine Pflicht, diese Anweisungen auszuhängen, besteht nicht mehr (s. auch Abschn. 16.9).

## 16.9 Brandbekämpfung und erste Hilfe

VDE 0132 (Brandbekämpfung und technische Hilfeleistung im Bereich elektrischer Anlagen) gibt Hinweise zur *Bekämpfung von Bränden* in elektrischen Anlagen und deren Nähe. Feuerlöscher müssen immer griffbereit und einsatzbereit sein.

Die unbegründete Angst vor dem Einsatz des Löschmittels Wasser ist abzubauen. In Kabelstrecken z. B. kann mit Sprinkler- und Sprühwasser-Löschanlagen Hervorragendes erreicht werden. Für wasserempfindliche elektrische Anlagen, z. B. Elektronik, gibt es „vorgesteuerte" Sprinkleranlagen. Dabei wird frühzeitig von Rauchmeldern Alarm ausgelöst und gezielt nur unmittelbar im Brandbereich dann Wasser freigegeben, wenn ein Brand nicht rechtzeitig gelöscht wird. In extrem wasserempfindlichen Bereichen ist an den Einsatz von $CO_2$ zu denken. Pulver und Schaum sollten nur in Sonderfällen verwendet werden. Bei Bränden von Gasen oder Leichtmetallen eignen sich ebenfalls $CO_2$ und andere Gemische inerter Gase. $CO_2$ ist schwerer als Luft und wirkt ab 8 % Volumenanteilen erstickend. In engen, schlecht belüfteten Räumen ist dies zu bedenken, es besteht u. U. Lebensgefahr. In Außenanlagen ist die Wirkung von $CO_2$ begrenzt, weil sich Kohlenstoffdioxid verflüchtigt. Halon ist als Löschmittel nicht mehr zulässig.

Anleitungen zur *ersten Hilfe* bei Unfällen enthalten die DGUV Information 204-022 (bisher: BGI/GUV-I 509) „Erste Hilfe im Betrieb" und DGUV Information 204-006 (bisher: BGI/GUV-I 503) „Anleitung zur Ersten Hilfe" (frühere Bezeichnung: ZH1/143). Bei Unfällen durch elektrischen Strom ist grundsätzlich auf Selbstschutz zu achten. Bei Hochspannung oder unbekannter Spannung sollte mindestens ein Abstand von 5 m von der Spannungsquelle bzw. ggf. vom Verletzten eingehalten werden. Die Gefahren bei Stromunfall sind Atemstillstand, Herz-Kreislauf-Stillstand und Verbrennungen oder Kombinationen davon. Maßnahmen sind:

- bei Niederspannung: Strom unterbrechen durch Ausschalten, Ziehen des Steckers oder Herausnehmen der Sicherung,
- bei Hochspannung: Notruf „Elektrounfall",
- Rettung aus Hochspannungsanlagen nur durch Fachpersonal,
- bei unbekannter Spannung: Maßnahmen wie bei Hochspannung,
- bei jedem Elektrounfall: ständige Kontrolle von Bewusstsein, Atmung und Kreislauf.

Bei *Atemstillstand* (keine Atemgeräusche, Atembewegungen, Ausatemluft) sofort mit Wiederbelebung beginnen (Mund-zu-Nase-Beatmung oder, falls nicht durchführbar, Mund-zu-Mund-Beatmung). Falls erforderlich, Fremdkörper aus Mund und Rachen entfernen; Atemspende fortsetzen. Bei *Herz-Kreislauf-Stillstand* (Bewusstlosigkeit, Atemstillstand, kein Puls) ist Herz-Lungen-Wiederbelebung erforderlich (Herzdruckmassage, Atemspende im Wechsel). Die ersten Minuten nach einem solchen Unfall können über Leben und Tod entscheiden. Bei Herzkammerflimmern gibt es nur ein zuverlässiges Mittel: den Gegenschock durch einen Defibrillator innerhalb von 1 min. Da dies in der Praxis unmöglich ist, muss sofort mit der herkömmlichen „ersten Hilfe" begonnen werden.

UVV DGUV Vorschrift 1 (bisher: BGV A1/GUV-V A1) führt den Begriff des *Ersthelfers* ein. Ersthelfer sind Laienhelfer, die in einem mindestens 8 Stunden umfassenden Lehrgang „Grundausbildung in erster Hilfe" ausgebildet werden. Eine höhere Ausbildungsstufe hat der *Betriebssanitäter*, der als haupt- oder nebenberuflicher Helfer eine Fachausbildung für den Sanitätsdienst absolviert hat. In jedem Betrieb müssen Ersthelfer zur Verfügung stehen, wobei § 26 der UVV DGUV Vorschrift 1 (bisher: BGV A1/GUV-V A1) die Mindestzahlen festlegt. Auf jeder Baustelle und bei allen Montagearbeiten muss jederzeit mindestens ein Ersthelfer anwesend sein. Der Unternehmer kann Versicherte seines Betriebs verpflichten, sich zu Ersthelfern ausbilden zu lassen. Er hat ferner dafür zu sorgen, dass die Ersthelfer in angemessenen Zeitabständen fortgebildet werden.

# 17 Blitzschutz und Überspannungsschutz

Reihe VDE 0185-305

In Deutschland beträgt die Anzahl der Gewittertage 10…50 im Jahr, und die Einschlagwahrscheinlichkeit liegt bei 1…5 Einschlägen/km$^2$. Alljährlich werden mehrere Menschen vom Blitz getötet. Blitzentladungen verursachen jährlich Schäden von mehreren 100 Mio. €. Dieser Betrag deckt allerdings nur die *direkten Schäden* an elektrischen oder elektronischen Geräten ab. Diese Schäden werden noch erhöht durch *mittelbare Schäden*, die durch den länger dauernden Ausfall von Geräten entstehen (sog. Business Interruption). Um die direkten sowie die mittelbaren Schäden zu minimieren, können Blitzschutzmaßnahmen getroffen werden. Dabei ist zu beachten, dass Blitzschutzmaßnahmen immer sowohl den äußeren als auch den inneren Blitzschutz (Blitzschutz-Potenzialausgleich) umfassen (Blitzschutzsystem).

Die Reihe VDE 0185-305 macht keine Aussage darüber, ob für ein bestimmtes Gebäude Blitzschutzmaßnahmen zwingend erforderlich sind. Die Entscheidung darüber treffen in der Regel die unteren Bauaufsichtsbehörden, die sich an die Landesbauordnungen halten. Diese fordern, dass bauliche Anlagen, bei denen nach Lage, Bauart oder Nutzung Blitzeinschlag leicht eintreten oder zu schweren Folgen führen kann, mit dauernd wirksamen Blitzableitern zu versehen sind. Die Bauaufsichtsbehörde entscheidet dann im Einzelfall, ob eine Blitzschutzanlage aus ihrer Sicht erforderlich ist. Etwaige Auflagen sind i. Allg. dem Baugenehmigungsbescheid zu entnehmen.

Nach der Muster-Versammlungsstättenverordnung, die in den einzelnen Bundesländern noch eingeführt werden muss oder auch schon eingeführt worden ist, müssen Versammlungsstätten Blitzschutzanlagen haben, die auch die sicherheitstechnischen Einrichtungen schützen (s. u., äußerer und innerer Blitzschutz).

Auch wenn keine behördliche Auflage vorliegt, kann es sinnvoll sein, ein Blitzschutzsystem zu errichten. Dies ist immer dann der Fall, wenn die Kosten für ein Blitzschutzsystem in keinem Verhältnis zum Wert der bei einem Blitzeinschlag

zerstörten Geräte, Anlagen oder Gebäude stehen. Dabei sind insbesondere auch Folgeschäden zu berücksichtigen. Fällt beispielsweise in einem Automobilwerk die EDV-Anlage für die Teileanlieferung aus, so können keine Autos mehr produziert werden, was täglich Millionenverluste bedeutet; der materielle Wert einer solchen EDV-Anlage selbst bewegt sich dabei vielleicht in der Größenordnung von 50 000 € und würde somit die Errichtung eines Blitzschutzsystems nur für die EDV-Anlage nicht unbedingt rechtfertigen.

Die Notwendigkeit der Errichtung eines Blitzschutzsystems in Abhängigkeit vom zu erwartenden Schaden kann durch eine Risikobetrachtung entsprechend VDE 0185-305-2 bewertet werden.

Die Art der Ausführung einer Blitzschutzanlage ist seit Oktober 2006 in den 4 Teilen von VDE 0185-305 beschrieben. Die alten Blitzschutz-Vornormen (Vornorm DIN V VDE V 0185-4-1 bis -4) hatten spätestens zum 01.10.2008 ihre Gültigkeit verloren. VDE 0185-1 und -2 vom November 1982 sowie die Vornormen VDE 0185-100 wurden schon vor geraumer Zeit zurückgezogen.

Der Teil 1 der Norm (aktuelle Ausgabe: 2011-10, mit Berichtigung:2012-03) enthält allgemeine Grundsätze, Teil 2 (aktuelle Ausgabe: 2013-02) befasst sich mit der Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen, woraus die Notwendigkeit des Blitzschutzes ermittelt werden kann, Teil 3 (aktuelle Ausgabe: 2011-10) mit dem Schutz von baulichen Anlagen und Personen vor direkten Blitzeinschlägen und Teil 4 (aktuelle Ausgabe: 2011-10) mit dem Schutz von elektrischen und elektronischen Systemen in baulichen Anlagen vor den Auswirkungen des elektromagnetischen Blitzimpulses (LEMP).

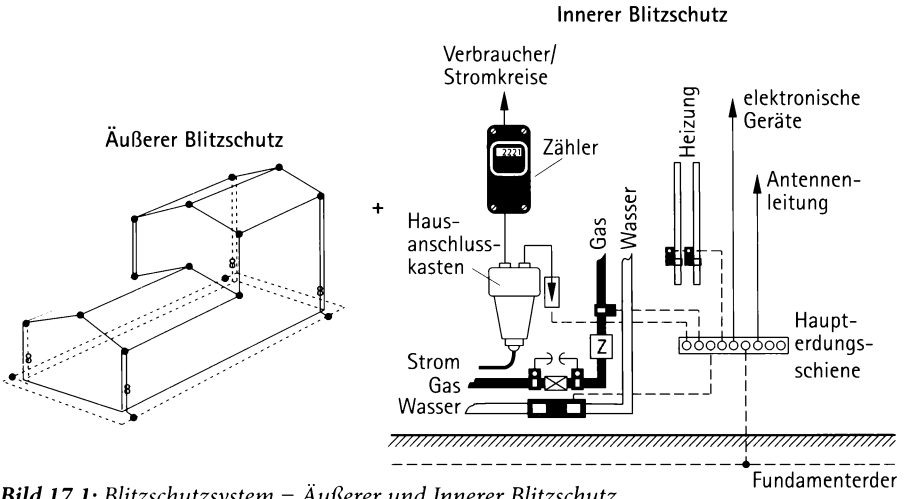



***Bild 17.1:*** *Blitzschutzsystem = Äußerer und Innerer Blitzschutz*

Für die eigentliche Blitzschutzanlage, bestehend aus äußerem und innerem Blitzschutz, jetzt *Blitzschutzsystem* genannt (**Bild 17.1**), ist der Teil 3 der Norm mit fünf VDE-Beiblättern (aktueller Stand: Okt 2015) maßgebend.

Im Rahmen dieses Nachschlagebuchs können nur die allgemeinen Grundsätze für die Errichtung von Blitzschutzanlagen erwähnt werden.

## 17.1 Der Blitz, Grundlagen

Der Erstblitz kann in Annäherung als eine Gleichstrom-Stoßentladung nach **Bild 17.2** dargestellt werden. Er erreicht nach ca. 10 µs seinen Höchstwert und klingt innerhalb von etwa 350 µs auf die Hälfte ab. Der Höchstwert kann dabei Werte von einigen 10 kA erreichen. Am häufigsten sind Blitze mit < 20 kA Scheitelwert, Grenzwerte von 1 kA und 400 kA wurden ebenfalls gemessen.

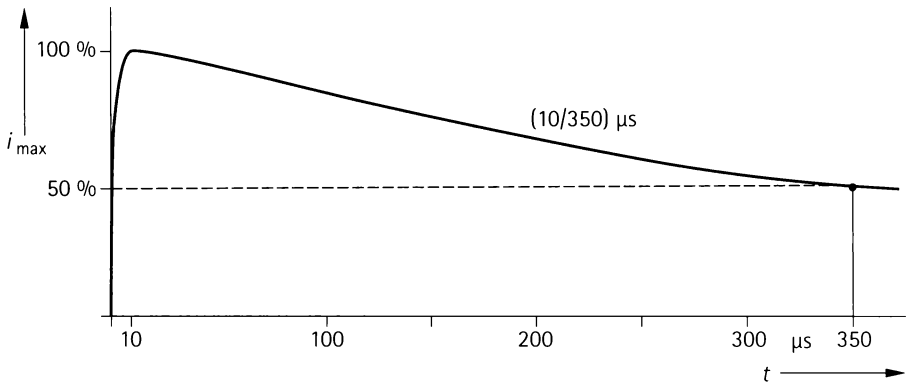



***Bild 17.2:*** *Positiver Erstblitz*

Wegen des steilen Anstiegs des Blitzstroms von 0 bis zu seinem Scheitelwert verhält sich der Blitzstrom anders als die üblichen technischen Ströme. So richtet sich der Spannungsfall an einem Leiter im Wesentlichen nicht nach der Leitfähigkeit des Werkstoffs, sondern nach dem sog. *Wellenwiderstand* (ca. 1 µH/m). Beträgt der Spannungsfall über einen 20 m langen Blitzableiterdraht von 50 $mm^2$ Cu bei einem Gleichstrom von 50 kA rund 360 V, so muss bei einem Blitzeinschlag über derselben Leitung mit einem Spannungsfall von ca. 100 kV, also mehr als 250-mal so viel, gerechnet werden (bei $di/dt$ = 50 kA/10 µs).

Aufgrund dieses hohen Spannungsfalls ist insbesondere bei hohen Gebäuden und somit langen Ableitungen mit einem *Überspringen* des Blitzes vom Blitzableiter auf andere geerdete Teile, wie Wasserleitungen, Stahlkonstruktionen oder elektrische

Installationsanlagen – auch im Inneren der Gebäude –, zu rechnen, wenn das Blitzschutzsystem nicht fachgerecht installiert wurde. Dieses mögliche Überspringen des Blitzes von seiner ihm zugedachten metallenen Leiterbahn stellt eine große Gefahr bei nicht fachgerecht gebauten Blitzschutzanlagen dar.

Eine andere Gefahr besteht in einem punktförmig *konzentrierten Wärmeumsatz* bei schlechten Leiterverbindungen. So kann eine nicht sorgfältig hergestellte Leiterklemme von nur 0,1 Ω Übergangswiderstand nicht weniger als 7,5 kWs Wärme erzeugen und damit mind. 800 $mm^3$ Kupfer schmelzen. Befinden sich in der Nähe solcher Verbindungen leicht entzündliche Stoffe, so können diese entzündet werden. Auf diese Wärmewirkungen sind viele Blitzschäden zurückzuführen.

Strömt der Blitz durch Gegenstände, in denen sich Wasser befindet (in Holz, in Mauerfugen und Bäumen befindet sich Wasser) hindurch, so wird infolge starker Erwärmung (hoher elektrischer Widerstand) das Wasser nicht nur erhitzt, sondern in Bruchteilen von Sekunden verdampft. Aus 1 l Wasser entstehen dann etwa 1 300 l Dampf. Die Folge ist ein explosionsartiges Zersprengen der Dachbalken, des Mauerwerks oder der Bäume.

Um die bei einem direkten Blitzeinschlag in ein Gebäude oder eine technische Anlage entstehenden Gefahren für Personen, aber auch für die installierten technische Anlage selbst zu minimieren, können Blitzschutzsysteme nach VDE 0185-305-3 installiert werden. Die notwendige Qualität des Blitzschutzsystems kann dabei auf der Grundlage einer Risikobewertung (VDE 0185-305-2) oder anhand von Tabellen (z. B. GDV-Publikation VdS 2010:2015-04) bestimmt werden (s. Abschn. 17.2.1).

Ein Blitzschutzsystem nach VDE 0185-305-3 besteht aus einem äußeren Blitzschutz und einem inneren Blitzschutz. Dabei darf der innere Blitzschutz nicht mit einem Schutz der elektrischen und elektronischen Geräte und Anlagen vor den Auswirkungen des elektromagnetischen Blitzimpulses (z. B. elektromagnetisches Feld des Blitzes) verwechselt werden.

Dieser Schutz erfordert weiterführende Maßnahmen (s. Abschn. 17.4), beschrieben in VDE 0185-305-4.

## 17.2 Äußerer Blitzschutz

Der äußere Blitzschutz besteht im Wesentlichen aus der Fangeinrichtung, den Ableitungen und der Erdungsanlage (**Bild 17.3**).

Die Auslegung eines Blitzschutzsystems wird durch seine *Schutzklasse* bestimmt. Sie stellt ein Paket von Maßnahmen und Konstruktionsregeln dar, in denen z. B. Ableiterabstände, Maschenweiten, Schutzwinkel und Trennungsabstände festgelegt sind.

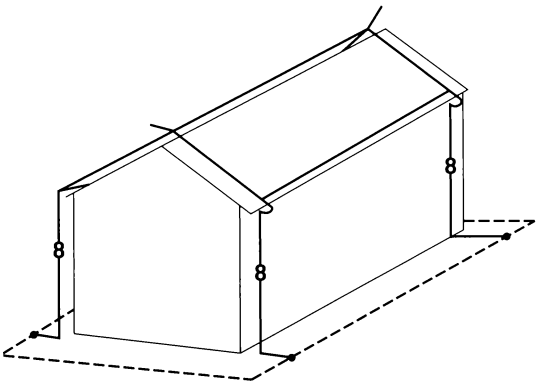


***Bild 17.3:*** *Äußere Blitzschutzanlage*

Weiterhin sollte die mögliche Nutzung der Metallteile einer baulichen Anlage als Teil des Blitzschutzsystems (*natürlicher Bestandteil des Blitzschutzsystems*) schon bei der Planung der baulichen Anlage vorgesehen werden, insbesondere die Nutzung der Stahlbetonbewehrung.

## 17.2.1 Schutzklassen

Die Einteilung der zu schützenden Objekte erfolgt in Schutzklassen. Die erforderliche Schutzklasse für Blitzschutzsysteme einer baulichen Anlage wird durch Abschätzung des Schadensrisikos bzw. durch eine Risikoanalyse nach VDE 0185-305-2 ermittelt. Dabei ist die Einteilung in 4 Schutzklassen, genannt Blitzschutzklassen (BSK), möglich. Die Bezeichnung erfolgt in römischen Ziffern. Die Wirksamkeit des Schutzes nimmt von Schutzklasse I zu Schutzklasse IV hin ab.

Unabhängig von der Ermittlung der Schutzklasse durch eine Risikoanalyse müssen Blitzschutzmaßnahmen immer ergriffen werden, wenn Verordnungen (z. B. Muster-Versammlungsstättenverordnung) oder andere gesetzliche Vorschriften (z. B. technische Regeln über brennbare Flüssigkeiten) dies fordern. Meist enthalten diese Verordnungen oder Vorschriften aber keine Vorgaben über die Art der Ausführung einer Blitzschutzanlage bzw. keine Angaben über die Schutzklasse.

Eine Übersicht über gesetzliche Vorgaben und eine mögliche Zuordnung von baulichen Anlagen zu einer Schutzklasse können der VdS-Richtlinie 2010 entnommen werden. Weiterhin sind im Beiblatt 2 und 5 zu VDE 0185-305-3 zusätzliche Informationen – auch hinsichtlich der Schutzklasse – für besondere bauliche Anlagen aufgeführt (z. B. Krankenhäuser, Gebäude mit explosionsgefährdeten Bereichen, Biogas- und Photovoltaikanlagen). Hieraus ergeben sich z. B. für Gebäude mit explosionsgefährdeten Bereichen die Schutzklasse II, für Krankenhäuser ebenfalls

die Schutzklasse II, für bauliche Anlagen für Menschenansammlungen in der Regel die Schutzklasse III.

Ergibt eine Risikoanalyse, dass das Schutzziel (Vermindern des Risikos unter den Wert des akzeptierbaren Risikos) durch das Blitzschutzsystem allein nicht erreicht werden kann, so sind weitere Schutzmaßnahmen nötig. Dies kann der Schutz von Personen oder Tieren gegen die Gefährdung durch Berührungs- oder Schrittspannungen sein oder der Schutz von elektrischen und elektronischen Systemen gegen die Auswirkungen eines Blitzeinschlags (Blitzteilströme, elektrisches und magnetisches Feld des Blitzes, induzierte Spannungen und Ströme). Letztgenannte Maßnahmen werden in VDE 0185-305-4 behandelt.

*Abhängig* von der Schutzklasse (I bis IV) sind die Blitzkennwerte (**Tabelle 17.1**), aus welchen sich die Werte für den Blitzkugelradius (**Tabelle 17.2**), die Maschenweite, den Schutzwinkel und den Abstand der Ableitungen (s. Abschn. 17.2.2 und Tab. 17.3), die Trennungsabstände sowie die Mindestlängen der Erdungsleiter ergeben.

*Unabhängig* von der Schutzklasse sind der Blitzschutzpotenzialausgleich, die Mindestdicke von Metallblechen oder -rohren in Fangeinrichtungen, die Blitzschutzmaterialien und deren Einsatzbedingungen sowie Werkstoff, Form und Mindestabmessungen von Fangeinrichtungen, Ableitungen, Erdern (s. Tab. 17.4) und Verbindungsleitern.

***Tabelle 17.1:*** *Zuordnung der maximalen Blitzkennwerte zu den Schutzklassen*

| Schutzklasse | Scheitelwert $I$ (Erstblitz) kA | Gesamtladung $Q_{ges}$ C | Impulsladung $Q_{imp}$ C | spezifische Energie $SE$ MJ/Ω | mittlere Steilheit $di/dt$ kA/µs |
|---|---|---|---|---|---|
| I | 200 | 300 | 100 | 10 | 200 |
| II | 150 | 225 | 75 | 5,6 | 150 |
| III u. IV | 100 | 150 | 50 | 2,5 | 100 |

***Tabelle 17.2:*** *Beziehung zwischen Schutzklasse, Radius der Blitzkugel, minimalem Scheitelwert des Blitzstroms und Einfangwahrscheinlichkeit*

| Schutzklasse | Radius der Blitzkugel m | minimaler Scheitelwert des Blitzstroms kA | Einfangwahrscheinlichkeit % |
|---|---|---|---|
| I | 20 | 2,9 | 99 |
| II | 30 | 5,4 | 97 |
| III | 45 | 10,1 | 91 |
| IV | 60 | 15,7 | 84 |

Der in Tabelle 17.2 angegebene Radius der Blitzkugel hängt dabei vom minimalen Scheitelwert des Blitzstroms ab. Die Einfangwahrscheinlichkeit gilt deshalb für alle Blitze mit Scheitelwerten, die größer sind als der in Tabelle 17.2 angegebene minimale Scheitelwert. Blitze mit kleineren Scheitelwerten können trotz der Fangeinrichtung direkt in die zu schützende bauliche Anlage einschlagen.

### 17.2.2 Fangeinrichtungen

Wenn ein Gebäude gegen Blitzschlag geschützt werden soll, muss es mit Fangeinrichtungen ausgerüstet werden, die möglichst gut geerdet sein müssen.

Die Fangeinrichtungen sind dabei möglichst an allen Gebäudekanten und -ecken und sonstigen exponierten Stellen zu installieren. Zur Festlegung der einschlaggefährdeten Bereiche kann das Schutzwinkelverfahren, das Maschenverfahren, das Blitzkugelverfahren oder eine Kombination daraus angewendet werden.

Für die Ausführung der Fangeinrichtungen gibt es verschiedene Möglichkeiten, z. B. das Aufstellen von *Fangstangen*, das Spannen von *Drähten* oder *Seilen* oder die Installation eines *Maschennetzes*. Die einzelnen Möglichkeiten können auch kombiniert werden. So wird man z. B. auf einem Flachdach in der Regel ein Maschennetz aufbauen und einzelne Bauteile, z. B. Lüfter, durch zusätzliche Fangstangen schützen. Wenn die Anzahl der Aufbauten sehr hoch ist, stellt sich die Frage, ob in diesem Fall nicht das Spannen von Fangseilen bzw. die Errichtung eines Maschennetzes aus gespannten Seilen wirtschaftlicher ist.

Für die Errichtung eines Maschennetzes ergibt sich – je nach Schutzklasse – eine unterschiedliche *Maschenweite*. Bei der Verwendung von Fangstangen wird ein *Schutzwinkel* zur Senkrechten, wiederum abhängig von der Schutzklasse, festgelegt. Der Schutzwinkel ist außerdem noch abhängig von der Höhe der Fangstange über der Bezugsfläche. Der Zusammenhang zwischen Schutzwinkel und Höhe kann einer in VDE 0185-305-3 enthaltenen Grafik entnommen werden.

Die Anordnung der Fangeinrichtungen für komplizierte Gebäudeanordnungen, z. B. komplexe Industriebetriebe, ermittelt man am einfachsten mit dem *Blitzkugelverfahren*. Dazu wird – im Idealfall – eine Kugel über ein maßstabsgerechtes Modell der Industrieanlage gerollt. Überall dort, wo die Kugel ein Gebäude berührt, ist ein Einschlag möglich und daher eine Fangeinrichtung anzubringen. Der Durchmesser der Kugel ergibt sich aus der Schutzklasse. Der **Tabelle 17.3** können die Zusammenhänge zwischen Schutzklasse, Maschenweite, Schutzwinkel sowie Radius der Blitzkugel entnommen werden. Für den Schutzwinkel wurde dabei beispielhaft eine Höhe von 10 m über der Bezugsfläche angenommen.

*Tabelle 17.3: Zuordnung von Maschenweite, Blitzkugelradius, Schutzwinkel und Abständen zwischen den Ableitungen zu den Schutzklassen*

| Schutzklasse | Maschenweite m × m | Schutzwinkel bei 10 m Höhe über Bezugsfläche | Blitzkugel-radius m | typischer Abstand zwischen Ableitungen m |
|---|---|---|---|---|
| I | 5 × 5 | 45° | 20 | 10 |
| II | 10 × 10 | 54° | 30 | 10 |
| III | 15 × 15 | 62° | 45 | 15 |
| IV | 20 × 20 | 65° | 60 | 20 |

## 17.2.3 Ableitungen

Über die Ableitungen wird der Blitzstrom von den Fangeinrichtungen zur Erdungsanlage geführt (Bild 17.3). Die Ableitungen sollten dabei eine direkte Fortsetzung der Fangeinrichtung bilden (sog. Maschenbildung) sowie gerade und senkrecht geführt werden. Grundsätzlich sind so viele Ableitungen wie möglich zu verlegen, da hierdurch der Blitzstrom auf viele Pfade aufgeteilt wird und somit der Widerstand verringert wird. Der durchschnittliche maximale seitliche Abstand zwischen den Ableitungen hängt von der Schutzklasse ab (s. Tab. 17.3), wobei mindestens zwei Ableitungen pro Gebäude vorzusehen sind.

Ableitungen dürfen offen, unter Putz, in Beton, in Fugen, in Schlitzen oder Schächten verlegt werden. Von Türen, Fenstern und sonstigen Öffnungen sollen sie einen Abstand von ca. 0,5 m einhalten. Regenfallrohre dürfen als Ableitungen verwendet werden, wenn sie elektrisch leitfähig durchverbunden sind (Stoßstellen gelötet oder mit gelöteten oder genieteten Laschen verbunden) und ausreichenden Querschnitt besitzen.

Ableitungen müssen in ihrem Verlauf eine *Messstelle* enthalten. Dies kann eine Trennklemme sein oder eine Möglichkeit zur Messung des Schleifenwiderstands mit einer Blitzschutz-Messzange. Die Messstellen sind möglichst direkt oberhalb der Erdeinführung vorzusehen (Bild 17.3).

## 17.2.4 Blitzschutz-Erdungsanlagen

Mit Hilfe der Blitzschutz-Erdungsanlage soll die Blitzenergie möglichst großflächig und mit geringen Überspannungen in das Erdreich abgeleitet werden. Für jede Blitzschutzanlage muss deshalb eine Erdungsanlage errichtet werden, sofern nicht schon ausreichende Erder, z. B. Fundamenterder, Bewehrungen von Stahlbetonfundamenten, Stahlteile von Stahlskelettbauten, vorhanden sind, die als Blitzschutz-Erder Verwendung finden können.

Die Erdungsanlage ist in Form von Einzelerdern (Typ A, z. B. Tiefenerder) oder Ringerdern (Typ B, z. B. Fundamenterder, s. Abschn. 5.6.10 und 5.6.11) zu errichten. Dabei ist die Errichtung eines geschlossenen Ringerders bzw. eines Fundamenterders vorzuziehen.

Der Erdübergangswiderstand der Erdungsanlage sollte so klein wie möglich sein; Werte kleiner als 10 Ω (gemessen mit Niederfrequenz) gelten als ausreichend. Je höher jedoch der Erdübergangswiderstand, desto mehr Blitzenergie fließt über die von außen in das Gebäude eingeführten Metallleitungen ab (Rohrleitungen, Elektroleitungen). Deshalb erfordern hohe Erdübergangswiderstände zusätzliche Überlegungen hinsichtlich des Blitzschutzpotenzialausgleichs mit den von außen eingeführten Kabeln und sonstigen metallenen Leitungen.

Erdungsanlagen von nah beieinander stehenden Gebäuden und sonstige geerdete Metallteile in der Nähe sind nach Möglichkeit zu vermaschen.

Beim Anschluss von Rohrleitungen, Stahlgerüsten oder ähnlichem ist der Schutz gegen elektrochemische Korrosion zu beachten.

Die Erdungsanlage ist auf möglichst kurzem Wege in den Schutzpotenzialausgleich (bisherige Bezeichnung: *Potenzialausgleich*) einzubeziehen, z. B. mit Kabel NYY 16 $mm^2$ Cu. Auch die Betriebserder des *TN*-, *TT*- und *IT*-Systems, der Antennen, der Metallmäntel von Niederspannungskabeln, der Überspannungsableiter sind mit dem Blitzschutzerder an der Haupterdungsschiene (bisherige Bezeichnung: Potenzialausgleichsschiene) (s. Abschn. 5.6.11) zu verbinden. Dagegen dürfen Dachständerrohre nur im Einvernehmen mit dem NB und nur über eine geschlossene Funkenstrecke an die Blitzschutzanlage angeschlossen werden.

Bei der Errichtung bzw. Verwendung von Erdungsanlagen ist darauf zu achten, dass diese auch wirklich erdfühlig (*Erdfühligkeit:* elektrisch leitfähiger Kontakt mit der Erde; Begriff nach DIN 18014) verlegt sind. Insbesondere bei Ausführung des Fundaments in Form einer schwarzen oder weißen Wanne (wasserdichte Ausführung) oder mit entsprechender Wärmedämmung, müssen zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden, um einen erdfühligen Erder zu erhalten. Im Allgemeinen bedeutet dies die Installation eines zusätzlichen Ringerders oder eines zusätzlichen Erdungsnetzes unterhalb des eigentlichen Fundaments (siehe hierzu DIN 18014:2014-03).

### 17.2.5 Werkstoffe

Die für eine äußere Blitzschutzanlage verwendeten Werkstoffe müssen den elektrischen und elektrodynamischen Einwirkungen des Blitzstroms standhalten können. Die *Mindestquerschnitte* für die Fangeinrichtungen auf dem Dach, die Ableitungen und die Erdungsanlagen sind in Abhängigkeit vom verwendeten Material (Kupfer,

Aluminium, Stahl usw.) sowie von der verwendeten Form (Rundmaterial, Flachmaterial, Seile) in Tabellen in VDE 0185-305-3 festgelegt.

An die Erder werden erhöhte Anforderungen hinsichtlich Korrosionsbeständigkeit und mechanischer Festigkeit gestellt. Insbesondere ist bei der Installation und dem Zusammenschluss von Erdungsanlagen bzw. den Anschluss von erdfühlig verlegten sonstigen Leitungen (z. B. Rohrleitungen) auf die Gefahr der elektrochemischen Korrosion zu achten. Kommt es beim Zusammenschluss aufgrund der Materialauswahl zur Ausbildung elektrochemischer Elemente, kann ein Materialabtrag (elektrochemische Korrosion, s. Abschn. 5.6.9) auftreten.

So kommt es z. B. beim Zusammenschluss von Fundamenterdern (Eisen in Beton) mit verzinktem Stahl im Erdreich infolge der elektrochemischen Elementbildung erst zum Abtrag der Zinkschicht und weiter zur elektrochemischen Korrosion des Eisens in Erde. Nähere Hinweise sind VDE 0185-305-3 zu entnehmen.

Aluminium ist als Werkstoff für Erder wegen der nicht ausreichenden Korrosionsbeständigkeit sowie der nicht ausreichenden mechanischen Belastbarkeit nicht zugelassen.

## 17.3 Innerer Blitzschutz

Beim Ableiten der Blitzströme über Fangeinrichtungen und Ableitungen entstehen aufgrund des Stoßwiderstands der Ableitungen auf dem Weg bis zur Erdungsanlage sowie nach dem Induktionsgesetz in Leiterschleifen sehr hohe Spannungen. Die Spannungen können dabei Werte von einigen 10 kV bis mehrere 100 kV annehmen. Aufgrund dieser hohen Potenzialdifferenzen kann es zwischen leitfähigen metallenen Teilen zu gefährlichen Funkenentladungen kommen.

Die Aufgabe des Inneren Blitzschutzes ist es, diese gefährliche Funkenbildung innerhalb der zu schützenden Anlage, die durch den Blitzstrom in Teilen des Äußeren Blitzschutzes oder in anderen leitenden Teilen verursacht werden, zu verhindern. Dieses Ziel kann erreicht werden durch

- gezieltes Überbrücken der Trennstrecke zwischen den Teilen unterschiedlichen Potenzials (s. Abschn. 17.3.1 *Blitzschutz-Potenzialausgleich*) oder
- durch die Schaffung einer ausreichenden Trennstrecke zwischen den Teilen unterschiedlichen Potenzials (s. Abschn. 17.3.2 *Trennungsabstand s*).

Der Innere Blitzschutz darf dabei nicht verwechselt werden mit dem Schutz von elektrischen und elektronischen Systemen vor den Auswirkungen des Blitzes in seiner Gesamtheit (*elektromagnetischer Blitzimpuls LEMP*). Diese Aufgabe hat der

*Überspannungsschutz* (s. Abschn. 17.4). Mit Hilfe der Maßnahmen des Inneren Blitzschutzes werden lediglich physische Schäden im Inneren des Gebäudes bzw. der Anlage verhindert (z. B. Brand). Dabei soll der Innere Blitzschutz als Grundlage für weitere Maßnahmen zum Schutz von elektrischen und elektronischen Systemen (*Staffelschutz*) dienen.

### 17.3.1 Blitzschutz-Potenzialausgleich

Der Blitzschutz-Potenzialausgleich als Maßnahme des Inneren Blitzschutzes dient der Vermeidung von Potenzialunterschieden zwischen Teilen des äußeren Blitzschutzes und den äußeren leitenden Teilen des Gebäudes, den metallenen Installationen innerhalb des Gebäudes sowie den Einrichtungen der elektrischen Energie- und Informationstechnik im Fall des Ableitens von Blitzströmen. Er wird erreicht durch elektrisch leitende Verbindungen zwischen diesen Teilen.

Die Querschnitte für Blitzschutzpotenzialausgleichsleitungen sind in **Tabelle 17.4** zusammengefasst. Werden in mitgeltenden Normen (z. B. Reihe VDE 0100) größere Querschnitte gefordert, so gelten diese.

***Tabelle 17.4:*** *Querschnitte für Blitzschutz-Potenzialausgleichsleitungen*

| BSK | Material | Mindestquerschnitt | |
|---|---|---|---|
| | | **Verbindungsleitungen, welche einen Blitzteilstrom führen (Verbindung mit Erdungsanlage oder Pot-Schienen untereinander)** | **Verbindungsleitungen innerer metallener Installationen mit Pot-Schiene** |
| I bis IV | Kupfer | 14 $mm^2$ | 5 $mm^2$ |
| | Aluminium | 22 $mm^2$ | 8 $mm^2$ |
| | Stahl | 50 $mm^2$ | 16 $mm^2$ |

Der Blitzschutz-Potenzialausgleich besteht aus Maßnahmen, die über die Festlegung für das Beseitigen von Potenzialunterschieden nach VDE 0100-540 hinausgehen (s. Abschn. 5.6.11). Er ist mindestens im Kellergeschoss oder etwa auf Erdniveau herzustellen. Blitzschutzpotenzialausgleichsleitungen sind geradlinig und so kurz wie möglich zu installieren. Der Blitzschutzpotenzialausgleich eines Gebäudes kann mehrere Haupterdungsschienen (bisherige Bezeichnung: Potenzialausgleichsschienen) enthalten, die aber miteinander verbunden sein müssen.

Für die Einbeziehung elektrisch aktiver Leiter werden Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) (auch *SPD, engl. Surge Protective Devices, Blitzstromableiter bzw.*

*Überspannungsableiter*; in VDE-Produktnormen wird auch der Begriff Überspannungsgerät (ÜSG) verwendet) verwendet. Im Sinne des Blitzschutzpotenzialausgleichs betrifft dies jedoch ausschließlich die von außen in das Gebäude bzw. die bauliche Anlage herangeführten Leiter. Der Blitzschutzpotenzialausgleichsleiter ist dabei so nah wie möglich an der Stelle des Gebäudeeintritts durchzuführen. Wenn die von außen eingeführten Kabel und Leiter einen Schirm besitzen ist der Anschluss dieses Schirms häufig ausreichend. Zur Abschätzung der Notwendigkeit des Einbeziehens von aktiven Leitern in den Blitzschutzpotenzialausgleich enthält VDE 0185-305-3 einfache Berechnungsformeln.

## 17.3.2 Einhaltung des Trennungsabstands *s*

Um eine gefährliche Funkenbildung zwischen Teilen der äußeren Blitzschutzanlage und metallenen Installationen sowie elektrischen und informationstechnischen Einrichtungen innerhalb des Gebäudes zu vermeiden, ohne einen Blitzschutzpotenzialausgleich herzustellen (z. B. um Blitzteilströme im Inneren zu vermeiden), muss der Abstand *d* zwischen diesen Teilen größer sein als der *Trennungsabstand s*, berechnet an der Stelle der Näherung.

Der Trennungsabstand *s* lässt sich wie folgt berechnen:

$$s = k_i \times \frac{k_c}{k_m} \times L \quad \text{(in m)} \quad \text{(aus VDE 0185-305-3)}$$

mit:

$k_i$ abhängig von der gewählten BSK des Blitzschutzsystems,

$k_c$ abhängig von der geometrischen Anordnung des Blitzschutzsystems,

$k_m$ abhängig vom Material in der Trennungsstrecke,

$L$ (m) Länge der Fangeinrichtung oder der Ableitung in Meter von dem Punkt, an dem der Trennungsabstand ermittelt werden soll, bis zum nächstliegenden Punkt des Potenzialausgleichs.

Die Werte der einzelnen Koeffizienten können den entsprechenden Tabellen in VDE 0185-305-3 entnommen werden.

Ist ein ausreichender Trennungsabstand nicht zu erreichen, so muss der Potenzialausgleich zwischen den betreffenden Teilen hergestellt werden.

## 17.4 Überspannungsschutz [7]

Die Elektroinstallationen in den Gebäuden werden immer umfangreicher, und die besonders überspannungsempfindlichen elektronischen Geräte werden in immer stärkerem Maße eingesetzt. So haben in den letzten Jahren die Gewitter-Überspannungsschäden, also die indirekten Blitzschäden, bereits ein Vielfaches der direkten Blitzschäden erreicht.

Der Überspannungsschutz bzw. der Schutz elektrischer und elektronischer Systeme vor den Auswirkungen des elektromagnetischen Blitzimpulses wird in VDE 0185-305-4 beschrieben. Der innere Blitzschutz – wie oben beschrieben – bildet hierfür nur die Grundlage.

Im Wesentlichen beruht der Überspannungsschutz auf einem konsequent durchgeführten Potenzialausgleich, d. h. einem Zusammenschluss aller Metallteile, sei es direkt über Leitungen oder indirekt über Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE), in Verbindung mit einer möglichst effektiven Schirmung. Durch die konsequente Nutzung z. B. der Metallbewehrung von Bauwerken aus Ortbeton oder von Metallfassaden als elektromagnetischen Gebäudeschirm kann die Entstehung von Überspannungen durch induktive Einkopplungen wirkungsvoll reduziert werden. Bereits bei der Errichtung von Gebäuden und baulichen Anlagen ist deshalb auf eine möglichst gute Schirmwirkung zu achten.

### 17.4.1 Entstehung von Überspannungen

Überspannungen entstehen nicht nur bei Blitzentladungen, sondern viel häufiger bei *Schalthandlungen* in elektrischen Anlagen oder durch *elektrostatische Entladungen*. In beiden Fällen wird – entweder durch das Öffnen eines Schalters oder durch das Zusammenbringen zweier unterschiedlicher Potenziale – eine sehr schnelle Stromänderung bewirkt, die wiederum hohe Spannungen erzeugt. Auch wenn diese hohen Spannungen in den meisten Fällen keine großen Energien mit sich bringen, sind sie doch in der Lage, die Isolierung in elektrischen und elektronischen Geräten zu zerstören.

Sowohl bei elektrostatischen Entladungen als auch bei Schalthandlungen können Spannungen $\geq 10$ kV auf treten. Gerade in Anlagen der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik befinden sich schaltende Elemente und empfindliche elektronische Bausteine gemeinsam in einem Schaltschrank. Hier liegen Störquelle und Störsenke dicht beieinander.

Bei Blitzentladungen werden zum einen Überspannungen durch den Spannungsfall an Ableitungen infolge des direkten Blitzstromdurchganges verursacht. Außerdem entstehen Überspannungen durch induktive Einkopplungen in Leiterschleifen.

So verursacht die Ableitung eines Blitzstroms ein entsprechend kräftiges Magnetfeld, welches wiederum in Leiterschleifen aufgrund seiner schnellen Änderung eine hohe Spannung induziert. Hierbei kann der Blitz auch in benachbarte Anlagen oder z. B. Bäume einschlagen und zur Induktion von Spannungen in Leiterschleifen innerhalb des eigenen Gebäudes führen.

### 17.4.2 Blitzschutzzonen-Konzept

Aus den oben aufgeführten Mechanismen der Entstehung von Überspannungen ergeben sich gleichzeitig die wesentlichen Maßnahmen zum Schutz von elektrischen und elektronischen Einrichtungen vor den Überspannungen:

- Schirmung von elektrischen und elektronischen Einrichtungen,
- Verringerung der wirksamen Fläche von Leiterschleifen,
- Potenzialausgleich und
- Einsatz von Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE).

Zur Realisierung eines wirksamen Überspannungsschutzes bedient man sich des Blitzschutzzonen-Konzepts (VDE 0185-305-4). Das Blitzschutzzonen-Konzept beschreibt keine Einzelmaßnahmen, sondern ein auf die zu schützende Einrichtung abgestimmtes Schutzsystem, bestehend aus den folgenden grundlegenden Punkten:

- Erdung und Potenzialausgleich,
- räumliche Schirmung,
- Art der Leitungsführung sowie
- koordinierter Einsatz von Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE).

Hierfür werden das zu schützende Gebäudevolumen und dessen unmittelbare Umgebung in einzelne *Blitzschutzzonen* eingeteilt, an die unterschiedliche Anforderungen bezüglich des Fließens von Blitzteilströmen sowie des Vorhandenseins eines elektromagnetischen Felds gestellt werden (**Tabelle 17.5**).

An den Grenzen der Blitzschutzzonen (Übergang von LPZ 0 auf LPZ 1, LPZ 1 auf LPZ 2 usw.) werden – je nach Anforderung – Maßnahmen zum Potenzialausgleich und zur Schirmung getroffen. Dabei ist zu beachten, dass diese Maßnahmen in der VDE 0185-305-4 nur qualitativ benannt werden. Die notwendige konkrete Umsetzung muss für jedes Objekt in Abhängigkeit von den installierten bzw. zu schützenden technischen Anlagen neu bestimmt werden. Dies kann z. B. bedeuten, dass alle metallenen Leitungen an den Zonengrenzen über Schutzpotenzialausgleichsleiter in den Schutzpotenzialausgleich einzubeziehen sind und dass für

*Tabelle 17.5: Blitzschutzzonen nach VDE 0185-305-4:2011-10*

| Blitzschutzzone | Beschreibung |
|---|---|
| *Äußere Zonen* | |
| LPZ 0 | Zone, die durch das ungedämpfte elektromagnetische Feld des Blitzes gefährdet ist und in der die inneren Systeme dem vollen oder anteiligen Blitzstrom ausgesetzt sein können. |
| LPZ $0_A$ | Zone, die durch direkte Blitzeinschläge und das volle elektromagnetische Feld des Blitzes gefährdet ist. Die inneren Systeme können dem vollen Blitzstrom ausgesetzt sein. |
| LPZ $0_B$ | Zone, die gegen direkte Blitzeinschläge geschützt, aber durch das volle elektromagnetische Feld des Blitzes gefährdet ist. Die inneren Systeme können anteiligen Blitzströmen ausgesetzt sein. |
| *Innere Zonen (geschützt gegen direkte Blitzeinschläge)* | |
| LPZ 1 | Zone, in der Stoßströme durch Stromaufteilung und durch SPDs an den Zonengrenzen begrenzt werden. Das elektromagnetische Feld des Blitzes kann durch räumliche Schirmung gedämpft sein. |
| LPZ 2...n | Zone, in der Stoßströme durch Stromaufteilung und durch zusätzliche SPDs an den Zonengrenzen weiter begrenzt werden können. Das elektromagnetische Feld des Blitzes kann durch zusätzliche räumliche Schirmung weiter gedämpft sein. |

elektrische Leitungen beim Überschreiten von Zonengrenzen ein koordinierter Einsatz von Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) erfolgt.

Ein ganz wesentlicher Bestandteil des Blitzschutzzonen-Konzepts ist dabei die Art der Verlegung von Kabeln und Leitungen zur Vermeidung von großen Leiterschleifen sowie Schirmungsmaßnahmen, um Überspannungen erst gar nicht entstehen zu lassen. Aus diesem Grund sollte dem Überspannungsschutz in Form eines Blitzschutzzonen-Konzepts schon bei Errichtung eines Gebäudes die notwendige Aufmerksamkeit geschenkt werden.

### 17.4.3 Prinzipien des Überspannungsschutzes

Die Grundidee des Überspannungsschutzes ist der vollständige Potenzialausgleich zwischen allen elektrisch aktiven Leitungen untereinander und zu geerdeten Teilen. Dieses Prinzip verfolgend, ist beim Auftreten der transienten Überspannungen für die entsprechend extrem kurze Zeit ein Kurzschluss zu erzeugen. Im Sinne einer hohen Verfügbarkeit der Anlagen muss dieser Kurzschluss so kurzzeitig sein, dass Sicherungen in den Stromkreisen nicht ansprechen. **Bild 17.4** zeigt das Prinzip.

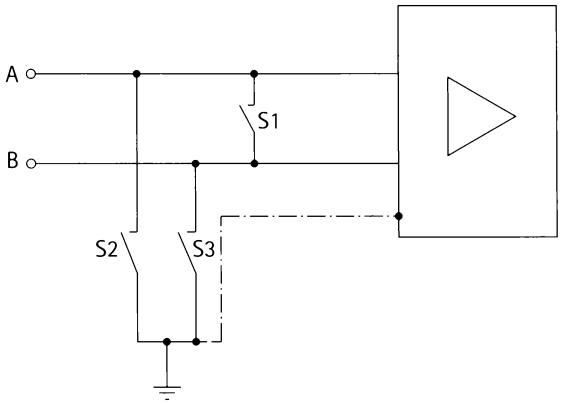



***Bild 17.4:*** *Kurzschlussschalter vor einer elektronischen Einrichtung*

In eine elektronische Einrichtung, deren Gehäuse über einen Potenzialausgleichsleiter mit dem Erdpotenzial verbunden ist, führt eine symmetrische – also erdpotenzialfreie – Leitung. Zwischen jeder aktiven Ader und dem Erdpotenzial sowie zwischen den beiden aktiven Adern befinden sich Kurzschlussschalter.

Wird einer der beiden erdpotenzialfrei arbeitenden Leiter mit einer Überspannung beaufschlagt, so lässt sich die Spannungsdifferenz, sowohl zwischen den beiden Leitern zusätzlich zur Betriebsspannung, als auch zwischen dem betreffenden Leiter und dem Erdpotenzial messen. Durch Schließen des Schalters S1 wird ein Potenzialausgleich zwischen beiden Leitern hergestellt. Der dabei entstehende Kurzschluss lässt die Gesamtspannung zwischen den Leitern auf annähernd 0 V zusammenbrechen. Durch Schließen des Schalters zwischen der beaufschlagten Leitung und dem Erdpotenzial (S2 oder S3) wird auch ein Kurzschluss zwischen diesem Leiter und dem Erdpotenzial erzeugt. Über diesen Weg lassen sich dann auch die transienten Ströme zur Erde ableiten. So gefährdet weder ein hoher transienter Strom noch eine hohe transiente Spannung die zu schützende Elektronik. Für einen wirksamen Überspannungsschutz müssen im Allgemeinen alle in ein zu schützendes Volumen bzw. eine zu schützende Einrichtung führenden Leitungen mit entsprechenden Schutzgeräten beschaltet werden, wie **Bild 17.5** zeigt.

Die Funktionen der oben gezeigten Schalter werden in Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) je nach Einsatzbedingungen und Leistungsanforderungen durch Funkenstrecken als Blitzstromableiter, gasgefüllte Überspannungsableiter, Varistoren und/oder Suppressordioden erfüllt. Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) werden in der internationalen Normung als SPD (**S**urge **P**rotective **D**evice) bezeichnet.

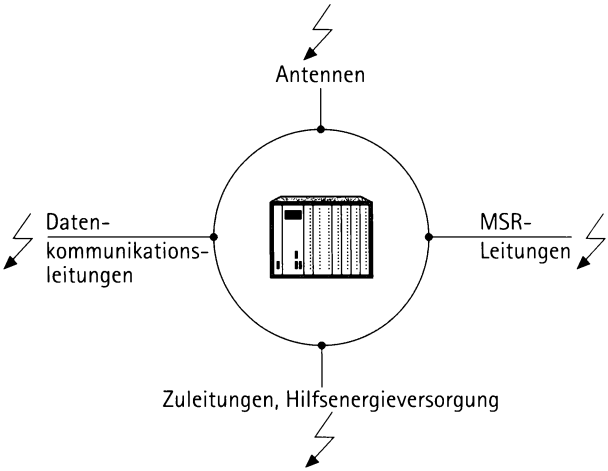



***Bild 17.5:*** *Schutzkreis*

### 17.4.3.1 Überspannungsschutz in der Stromversorgung

Bei der Installation von Blitzstromableitern (Typ 1) und Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) (Typ 2) in der Stromversorgung sind, neben dem Erhalt der Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungsspannungen, die Eigenschaften der einzelnen Schutzgeräte zu beachten und die Funktionsweise der gesamten Schutzbeschaltung aufeinander abzustimmen. Man spricht dabei von der Koordination der Ableiter im Niederspannungsnetz. Weiterhin muss der Schutz der jeweils zu schützenden Einrichtung angepasst werden.

Der Schutz muss zumeist mindestens zweistufig aufgebaut werden. In der ersten Stufe wird die größte (Stör-)Energie über das geerdete Potenzialausgleichssystem abgeleitet. Mit der zweiten Stufe wird die Restspannung auf ein für die zu schützenden Einrichtungen verträgliches Maß reduziert. Werden direkte Einkopplungen von Blitzteilströmen erwartet, ist in jedem Fall die Installation eines Blitzstromableiters (Typ-1-Ableiter) erforderlich. Diese Ableiter müssen in der Lage sein, Stoßströmen mit einer typischen Wellenform von 10/350 µs zu widerstehen und die zu erwartenden netzfrequenten Netzfolgeströme selbstständig zu löschen, ohne dass die Vorsicherung in der Gebäudeeinspeisung auslöst. Ein Schutzgerät, welches sowohl einen Typ-1-Ableiter, als auch einen Typ-2-Ableiter enthält und bei dem die Koordination der Ableiter untereinander bereits realisiert ist, zeigt **Bild 17.6**.

Werden einzelne Blitzstromableiter mit einzelnen Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) in einem Niederspannungsversorgungssystem installiert, sind die Koordinierungshinweise der Hersteller zu beachten.

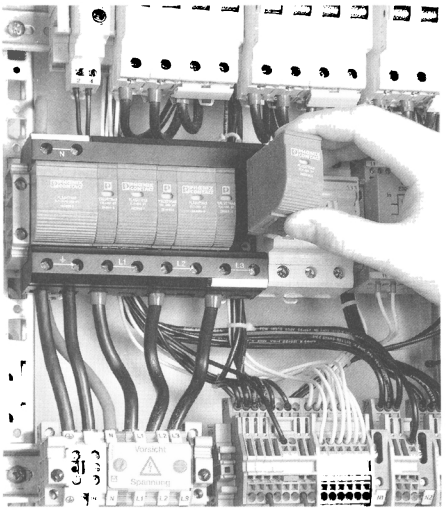


***Bild 17.6:*** *Kombiniertes Überspannungsschutzgerät Typ 1 und Typ 2 (Werkbild: Phoenix Contact)*

Wird aufgrund der Gegebenheiten kein Blitzstromableiter benötigt, ist es ausreichend, Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) (Typ 2) auf Varistorbasis einzusetzen. Die in diesen Ableitern integrierten Varistoren haben zwar ein geringeres Energieabsorptionsvermögen als Blitzstromableiter auf Funkenstreckenbasis, bieten dafür aber im Rahmen ihres Leistungsspektrums ein schnelleres Ansprechen, eine niedrigere Restspannung und im nicht vorgeschädigten Zustand ein sehr gutes Netzfolgestrom-Löschvermögen.

Blitzstromableiter und Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) werden nach VDE 0675-6-11 und -12 entwickelt und geprüft. Da bei Varistoren je nach Alterung Leckströme zum Fließen kommen, müssen sie entsprechend ihrer Baubestimmung auf ihre Temperaturentwicklung hin überwacht werden.

Die letzte Stufe vor dem zu schützenden Volumen bzw. der zu schützenden Einrichtung ist der Geräteschutz (Typ 3). Er bietet den Überspannungsschutz sowohl zwischen den aktiven Leitern L und N als auch zum PE – also zu geerdeten Teilen.

Bei der Installation der Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) müssen die Eigenheiten verschiedener Stromversorgungssysteme berücksichtigt werden. Zum Vergleich zeigen die **Bilder 17.7** und **17.8** die Unterschiede der Ableiteranordnung in einem TN-C-S-System und in einem TT-System, wie sie auch in VDE 0100-534 angegeben sind. Die Besonderheit der „3+1"-Schaltung im TT-System ist, dass drei Ableiter von den aktiven Leitern L zum Neutralleiter N geschaltet werden und

dann eine Summenstrom-Funkenstrecke zwischen N und dem Schutzleiter PE des Gebäudes angeordnet wird. Die „3+1"-Schaltung bietet wegen der besseren Spannungsbegrenzung zwischen den Leitern L und N auch Vorteile im TN-S-System.

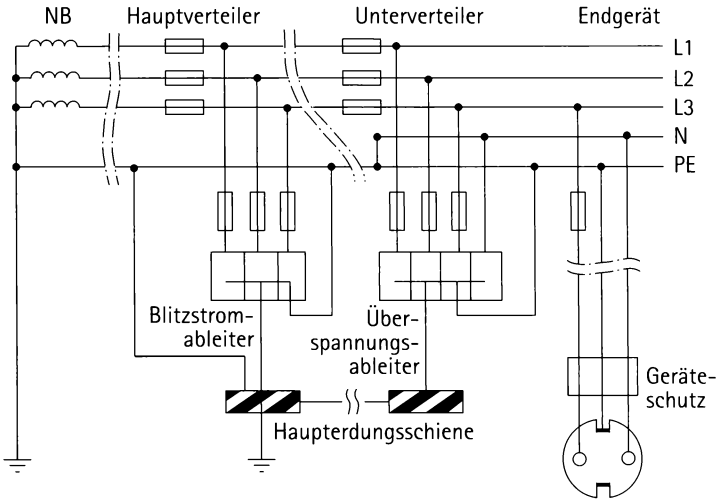



***Bild 17.7:*** *Ableiterinstallation im TN-C-S-System*

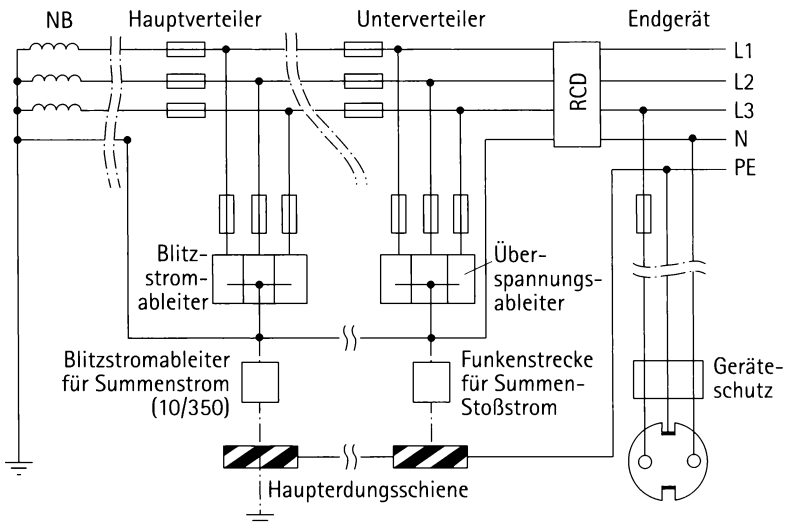



***Bild 17.8:*** *Ableiterinstallation im TT-System*

Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) müssen in Deutschland – aus der Einspeiserichtung gesehen – hinter den Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) Typ 2 installiert werden. Die Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) sollte abschaltverzögert – als selektiv mit S gekennzeichnet – sein.

### 17.4.3.2 Schutz von Anlagen der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik

Für Anlagen der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (MSR-Anlagen) kommen auf der Sensor-/Aktorseite meist Ableiter zum Einsatz, die in einem Schutzgerät bereits eine zwei- oder dreistufige Schutzschaltung enthalten (**Bild 17.9**).

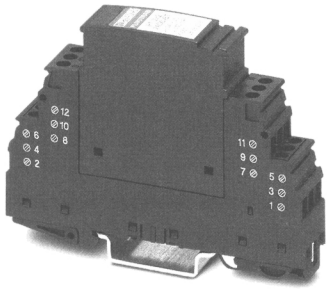



***Bild 17.9:*** *Überspannungsschutzeinrichtung (ÜSE) für MSR-Anlagen (Werkbild: Phoenix Contact)*

Die Schutzschaltungen unterscheiden sich auch danach, ob sie in erdpotenzialgebundenen oder erdpotenzialfreien Stromkreisen angewendet werden. Die Koordination der Bauelemente in diesen Ableitern wird bereits durch den Hersteller realisiert. Bei zweiteilig aufgebauten Schutzgeräten ist ein Austausch ohne Unterbrechung des Stromkreises möglich. Das zu schützende Volumen sollte grundsätzlich (möglichst nur) über das Schutzgerät geerdet werden.

### 17.4.3.3 Schutz von Datenverarbeitungsanlagen

Neben dem Schutz auf der Seite der Stromversorgung, werden in den Datenübertragungsleitungen ebenfalls Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) eingesetzt. Moderne Datenverarbeitungsanlagen haben hohe Übertragungsraten. Der Datenfluss darf durch die Installation von Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) nicht unzulässig gedämpft werden. Ist beispielsweise die gesamte Anlage für Übertragungsraten von 100 MBit/s ausgelegt, so müssen auch die verwendeten Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) den Installationsanforderungen nach Kategorie 5 entsprechen (**Bild 17.10**).

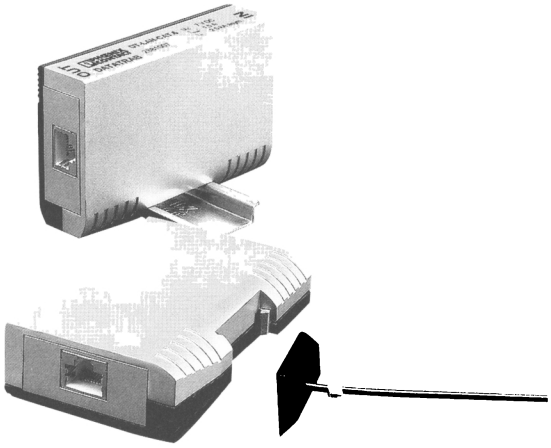


***Bild 17.10:*** *Überspannungsschutzeinrichtung (ÜSE) für LAN-Anwendungen (Werkbild: Phoenix Contact)*

Vorteilhaft im Hinblick auf Kosten und Erreichen geringer Dämpfungswerte ist es, möglichst viele Einrichtungen des gesamten EDV-Systems in einer EMV-Schutzzone anzuordnen.

### 17.4.3.4 Überspannungsschutz in der Telekommunikationstechnik

Bei der Installation von Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) für die Telekommunikationstechnik sind die Hoheitsrechte des Systembetreibers zu beachten.



***Bild 17.11:*** *Überspannungsschutz-Steckdosenleiste mit Filter zum Schutz der Netzversorgung von elektronischen Geräten (Werkbild: Dehn + Söhne)*

Der Kunde hat nur die Möglichkeit, im Bereich des privaten Telekommunikationsnetzes Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) zu installieren. Vorteilhaft sind hierfür Einrichtungen, die sowohl einen Schutz in der Stromversorgung als auch in der Telekommunikationsleitung realisieren (**Bild 17.11**).

### 17.4.4 Schutz von Antennenanlagen

Nach DIN 18015-1 (Elektrische Anlagen in Wohngebäuden; Planungsgrundlagen) bzw. VDE 0855-1 sind unter bestimmten Bedingungen bei über Dach angeordneten Antennenträgern ein metallener Antennenmast über einen Erdungsleiter (s. Abschn. 5.6.9) auf dem kürzest möglichen Weg mit einer Gebäudeblitzschutzanlage zu verbinden.

Gerade Antennenanlagen bieten wegen der Anbringung der Antennen in exponierten Lagen häufig Einkopplungswege für Blitzentladungen. Aus diesem Grund – aber auch wegen des Potenzialausgleichs, der erforderlich ist, wenn Überspannungen aus anderen Quellen entstehen – muss die Antennenleitung mit in das Überspannungsschutzkonzept einbezogen werden. Wegen der häufig hohen Frequenzen, die über die meist koaxiale Antennenleitung übertragen werden, ist die Einfügungsdämpfung der Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) besonders zu beachten. Ableiter für professionelle Anwendungen wie in **Bild 17.12**, werden mit sehr geringen Einfügungsdämpfungen selbst bei Übertragungsfrequenzen ≥ 6 GHz angeboten.

Für den privaten Einsatzbereich zum Schutz von Rundfunk-, Video- und Fernsehanlagen sind ebenfalls Schutzgeräte auf dem Markt, die – der Anwendung angepasst – entweder nur den Überspannungsschutz in der Antennenleitung oder auch zusätzlich den Geräteschutz in der Stromversorgung übernehmen.

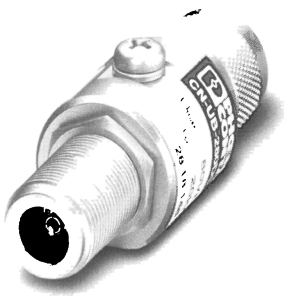


***Bild 17.12:*** *Ableiter für Antennenleitungen mit hohen Übertragungsfrequenzen (Werkbild: Phoenix Contact)*

# 17.5 Prüfen des Blitzschutzes

## 17.5.1 Prüfen des Blitzschutzsystems

In VDE 0185-305-3 sind die Arten und der Umfang der Prüfungen von Blitzschutzsystemen beschrieben. Der Zweck der Prüfungen ist, sicherzustellen, dass:

- das gesamte Blitzschutzsystem der Errichtungsnorm entspricht,
- alle Teile in einem ordnungsgemäßen Zustand sind und ihre Aufgaben erfüllen können und
- alle Änderungen ordnungsgemäß in das Blitzschutzsystem eingebunden sind.

Die Prüfungen umfassen:

- Prüfung der technischen Dokumentation,
- Sichtprüfungen,
- Messungen und
- die Erstellung eines Prüfberichts

und sollen nach Möglichkeit zu den im Folgenden genannten Zeitpunkten durchgeführt werden. Dabei umfasst die Prüfung sowohl den Äußeren als auch den Inneren Blitzschutz.

**Prüfung der Planung**

Vor der Ausführung vor allem großer umfangreicher Projekte sind die zu verwendenden Komponenten und deren Zusammenschaltung auf Einhaltung der Normen und Vorschriften zu prüfen.

**Während der Errichtung/Baubegleitende Prüfung**

Alle Teile des Blitzschutzsystems, die später nicht mehr zugänglich sein, sind einer Sichtprüfung zu unterziehen. Das betrifft insbesondere die Erdungsmaßnahmen (Fundamenterder, Erdanschlusspunkte), die Nutzung der Bewehrung als Ableitungen (natürliche Bestandteile, Verbindung der Bewehrungseisen, Anschlusspunkte) sowie eventuelle Schirmungsmaßnahmen für den Schutz elektrischen und elektronischen Anlagen. Ferner umfasst die baubegleitende Prüfung auch die Prüfung technischer Unterlagen.

Um den Zustand der Anlagenteile zu dokumentieren hat sich die Erstellung einer Fotodokumentation als probates Mittel erwiesen.

### Prüfung nach Fertigstellung

Durch die Prüfung nach der Fertigstellung wird das Blitzschutzsystem auf die Einhaltung der normentechnischen Anforderungen sowie hinsichtlich der handwerklichen Ausführung geprüft. Dabei ist die Nutzungsart des Schutzobjekts und damit auch die Schutzklasse sowie die sich daraus ergebenden Anforderungen zu berücksichtigen.

### Prüfung nach Änderungen und Reparaturen

Die Prüfung zu diesem Zeitpunkt entspricht hinsichtlich ihrer Ziele der Prüfung nach Fertigstellung. Dabei werden Änderungen und Erweiterungen des Schutzobjekts berücksichtigt aber auch Änderungen der Nutzung, welche zu einer geänderten Schutzklasse führen können.

### Wiederholungsprüfungen

Nach der Prüfung nach Fertigstellung (Abnahmeprüfung) ist das Blitzschutzsystem in regelmäßigen Zeitabständen auf ordnungsgemäßen Zustand zu prüfen. Durch regelmäßige Prüfungen werden auftretende Mängel (z. B. Korrosion) rechtzeitig erkannt und können behoben werden, bevor Schäden entstehen. Dadurch wird eine dauerhafte Wirksamkeit des Blitzschutzsystems erreicht.

Der in **Tabelle 17.6** vorgeschlagene Prüfturnus (aus VDE 0185-305-3, Anhang E.7) richtet sich nach der Schutzklasse des Gebäudes. Örtliche Umgebungsbedingungen sollten dabei Berücksichtigung finden (z. B. hohe Feuchtigkeit, Belastung mit korrosiven Gasen).

Für bestimmte Gebäude und technische Anlagen sind Prüfzyklen des Blitzschutzsystems in Verordnungen und technischen Regeln festgeschrieben.

Die *Besichtigung* ist sicherlich der wichtigste Teil der Prüfung. Dabei wird z. B. festgestellt, ob lose Verbindungen vorhanden sind, ob Fangleitungen oder Ableitungen mechanisch beschädigt wurden, aber auch, ob durch nachträgliches Anbringen elektrischer Betriebsmittel (z. B. Außenleuchten) unzulässige gefährliche Näherungen entstanden sind. Außerdem ist bei der Besichtigung zu prüfen, ob Blitzstrom- oder Überspannungsableiter ausgelöst haben (Blitzschutz-Potenzialausgleich).

***Tabelle 17.6:*** *Empfohlene Prüfintervalle für Wiederholungsprüfungen von Blitzschutzsystemen*

| Schutzklasse | Sichtprüfung | umfassende Prüfung | umfassende Prüfung bei kritischen Situationen |
|---|---|---|---|
| I und II | 1 Jahr | 2 Jahre | 1 Jahr |
| III und IV | 2 Jahre | 4 Jahre | 1 Jahr |

Sofern nicht durch Besichtigen feststellbar, wird durch *Messungen* überprüft, ob alle Verbindungen und Anschlüsse von Fangeinrichtungen, Ableitungen, Potenzialausgleichsleitungen, Schirmungsmaßnahmen usw. einen niederohmigen Durchgangswert haben (Richtwert < 1 Ω).

Dieser Richtwert sollte bei Neuanlagen, bei denen die Messungen direkt nach der Errichtung vorgenommen werden, im Allgemeinen unterschritten werden. Bei Berücksichtigung von Korrosionserscheinungen an den Klemmstellen und Klemmverbindungen sind bei Wiederholungsprüfungen auch höhere Werte noch akzeptabel.

Die Messung von Gesamterdungswiderständen – insbesondere im Zuge von Wiederholungsprüfungen sowie bei Fundament- und Ringerdern – ist aufgrund der Beeinflussung durch benachbarte Erdungsanlagen im dicht bebauten Gelände oder durch die Einbindung in den Potenzialausgleich meist nicht möglich. Hier ist besonderes Augenmerk auf die Besichtigung und auf die Messung von Übergangswiderständen zu richten. Bei Einzelerdern oder Teilringerdern ist der Erdungswiderstand zu ermitteln, um anhand der gemessenen Werte im Verlauf der Wiederholungsprüfungen einen eventuellen Trend beobachten zu können.

Für den dabei gemessenen Widerstandswert ist kein bestimmter Wert vorgeschrieben. Übliche Messwerte für Tiefen- oder Strahlenerder liegen jedoch im Bereich von 5...10 Ω. Bei trockenen oder sehr felsigen Böden, z. B. im Gebirge, können jedoch auch deutlich höhere Werte auftreten. Hier ist wiederum das Hauptaugenmerk der Prüfung auf die Besichtigung zu legen.

### 17.5.2 Prüfen von Überspannungsschutzeinrichtungen

Im Rahmen der Überprüfung des Blitzschutzsystems ist auch die Überprüfung der eingesetzten Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) gefordert. Unabhängig von den Anforderungen der VDE 0185-305 muss die Überprüfung der Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) gemeinsam mit der gesamten elektrischen Anlage erfolgen. Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) für Stromversorgungen, die nach dem Stand der Technik entwickelt und gefertigt werden, enthalten integrierte Überwachungsmöglichkeiten. Auf Schienen montierbare Ableiter haben für die Kontrolle entweder Sichtfenster oder Kontrolllampen, die signalisieren, ob die Schutzelemente noch im Toleranzbereich der geforderten Parameter liegen. Zusätzlich ist es möglich, Fernmeldekontakte oder akustische Signalisierungen zu nutzen. Typ-3-Ableiter für die Stromversorgung, sowie Schutzadapter, Steckdosen und Steckdosenleisten mit integriertem Überspannungsschutz haben optische und/oder akustische Signalisierungen.



***Bild 17.13:*** *Testgerät für Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) (Werkbild: Phoenix Contact)*

Die Energie für die Signalisierung eines Fehlers oder einer Überlastung von Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik oder der Informationstechnik lässt sich wegen einer dann entstehenden Messwertverfälschung nicht aus dem zu schützenden Stromkreis entnehmen. Für eine integrierte Signalisierung ist eine Hilfsenergie erforderlich, die einen erhöhten technischen Aufwand bedeutet. Deshalb ist es in vielen Fällen vorteilhaft, wenn Testgeräte zur externen Überprüfung genutzt werden können (**Bild 17.13**). Teilweise werden auch Bauelemente mit Fail-safe-short-Verhalten eingesetzt. Durch Herbeiführen eines gezielten dauerhaften Kurzschlusses ist so eine Information an den Betreiber der Anlage möglich.

Die Prüfzyklen werden nicht durch den Hersteller der Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE), sondern grundsätzlich durch den Betreiber der Anlage festgelegt.

# 18 Fernmelde- und Informationstechnik

Es überschreitet den Rahmen dieses Buchs, ausführlich auf die gesamte Fernmelde- und Informationstechnik einzugehen. Deshalb wird auf spezielle Fachliteratur und auf die Gruppe 8 der VDE-Bestimmungen verwiesen.

Bei der Planungsvorbereitung sind die Anschlussvoraussetzungen für Fernmelde- und Breitband-Kommunikationsanlagen sowie die Errichtungsmöglichkeiten von Gemeinschaftsantennenanlagen mit den zuständigen Stellen der Deutschen Telekom und weiterer Fernmeldenetzbetreiber zu klären.

## 18.1 Allgemeines

Zur *Fernmeldeanlage* gehören alle Einrichtungen zur Übermittlung und zur Verarbeitung von Nachrichten und Informationen einschl. Fernwirkinformationen, wie Messwerte, Meldungen oder Befehle. Für die Sicherheit dieser Anlagen und Geräte in Bezug auf das Abwenden von Gefahren für Leben und Gesundheit sowie für Sachen gelten

- VDE 0800-1 Fernmeldetechnik – Allgemeine Begriffe, Anforderungen und Prüfungen für die Sicherheit der Anlagen und Geräte,
- VDE V 0800-2 Informationstechnik – Teil 2: Potentialausgleich und Erdung (Zusatzfestlegungen),
- VDE 0800-2-310 Anwendung von Maßnahmen für Erdung und Potentialausgleich in Gebäuden mit Einrichtungen der Informationstechnik,
- VDE 0800-8 Fernmeldetechnik – Anwendung der KU-Werte,
- VDE 0800-10 Fernmeldetechnik – Übergangsfestlegungen für Errichtung und Betrieb der Anlagen,
- VDE 0800-174-2 Informationstechnik – Installation von Kommunikationsverkabelung – Teil 2: Installationsplanung und Installationspraktiken in Gebäuden,

- VDE 0800-174-3 Informationstechnik – Installation von Kommunikationsverkabelung – Teil 3: Installationsplanung und -praktiken im Freien,
- VDE 0800-500 Industrielle Kommunikationsnetze – Installation von Kommunikationsnetzen in Industrieanlagen,
- Reihe VDE 0803 Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme,
- VDE 0804-100 Besondere Sicherheitsanforderungen an Geräte zum Anschluss an Telekommunikationsnetze und/oder Kabelverteilsysteme,
- VDE V 0826-1 Überwachungsanlagen – Teil 1: Gefahrenwarnanlagen (GWA) für Wohnhäuser, Wohnungen und Räume mit wohnungsähnlicher Nutzung – Planung, Einbau, Betrieb, Instandhaltung, Geräte- und Systemanforderungen,
- Reihe VDE 0891 Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Fernmeldeanlagen und Informationsverarbeitungsanlagen.

Für Fernmeldeanlagen, die in erster Linie zum Schutz von Leben oder Sachen dienen, gelten hinsichtlich Zuverlässigkeit und funktionaler Sicherheit zusätzliche Festlegungen, z. B. in Reihe VDE 0833 über Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall mit Teil 1: Allgemeine Festlegungen, Teil 2: Festlegungen für Brandmeldeanlagen (s. Abschn. 18.4), Teil 3: Festlegungen für Einbruch- und Überfallmeldeanlagen und Teil 4: Festlegungen für Anlagen zur Sprachalarmierung im Brandfall (s. Abschn. 18.5). Wenn Fernmeldeanlagen über Leitungen der Deutschen Telekom oder anderer Festnetzbetreiber betrieben werden, sind deren technische Bedingungen und Vorgaben zu beachten.

*Verteiler* für Fernmeldeanlagen können mit Verteilern der Starkstromanlagen zusammengebaut werden. Die verschiedenen Anlageteile sind aber durch eine Trennwand abzuteilen. Bei gemeinsamen Außentüren ist der Starkstromteil berührungssicher abzudecken und der Fernmeldeverteiler mit einem gesonderten Innenabschluss zu versehen. Für die Planung und Errichtung von Telekommunikationsanlagen, Hauskommunikationsanlagen sowie Melde- und Informationsverarbeitungsanlagen in Wohngebäuden und für Gebäude mit vergleichbaren Anforderungen ist DIN 18015-1 bis -5 heranzuziehen (s. Abschn. A1.3).

## 18.2 Klingel- und Läutewerktransformatoren

VDE 0570-2-8

Häufig werden zur Stromversorgung von Fernmeldeanlagen Klingel- und Läutewerktransformatoren bis 24 V (**Bild 18.1**) verwendet. Solche Transformatoren sind in der Regel dafür vorgesehen, akustische Meldeeinrichtungen für den sog.

Hausgebrauch (Wohnbereich) und ähnliche Einrichtungen zu versorgen, die nur kurzzeitig belastet werden. Nicht jeder beliebige Kleintransformator ist dafür geeignet, sondern nur solche nach VDE 0570-2-8, die das Symbol 🔔 tragen. Klingel- und Läutewerktransformatoren nach Norm sind kurzschlussfest. Ist das Bildzeichen mit einem F versehen, so handelt es sich um einen *Fail-safe-Transformator*. Diese Transformatoren stellen im Fehlerfall keine Gefahr für den Anwender oder die Umgebung dar. Die Transformatoren haben eine Bemessungsausgangsspannung bis AC 24 V oder DC 33 V (geglättete Gleichspannung). Die Leerlaufausgangsspannung beträgt max. AC 33 V oder DC 46 V. Die Bemessungsleistung der Transformatoren nach VDE 0570-2-8 beträgt max. 100 VA. Die VDE-Bestimmung gilt auch für Netzgeräte mit eingebauten Klingel- und Läutewerktransformatoren sowie für Transformatoren, die elektronische Stromkreise enthalten.

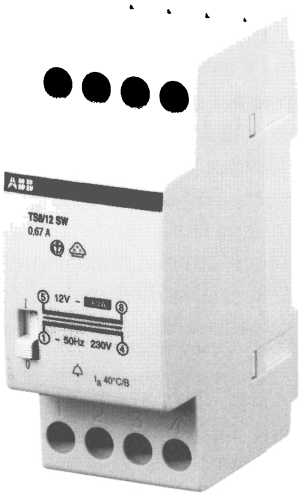



***Bild 18.1:*** *Klingeltransformator für Hutschienen-Montage (Werkbild: ABB)*

Die Schutzart des Klingel- oder Läutewerktransformators ist in Abhängigkeit von der Raumart zu wählen. Für die Klingelanlage werden Leerrohre (Isolierrohr mit 13,5 mm Durchmesser) in den Wänden, ggf. auch entsprechende Stahlrohre in den Decken so verlegt, dass die Installation der Klingelleitungen an den verschiedenen Stellen möglich ist. Die senkrecht im Treppenhaus zu verlegenden Rohrleitungen oder Kabel dürfen im Schlitz für die Starkstromleitung mitverlegt werden.

Die Rohre enden jeweils in Verbindungsdosen. Auch für die Klingel selbst und vielleicht auch für den Klingeltransformator sind Unterputzdosen einzuplanen. Das Verlegen von Klingel-Stegleitungen unter Putz ist zulässig. Als Leitungen kommen Schaltdrähte und Installationsleitungen für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen der Bauarten YV, J-FY oder YR in Betracht.

## 18.3 Türsprechanlagen

Sie dienen dem Sprechverkehr zwischen einer Türstation und zugehörigen Wohnungen. Es wird unterschieden zwischen Gegensprech- und Wechselsprechanlage.

Bei *Gegensprechanlagen* sind beide Sprechrichtungen gleichzeitig eingeschaltet (**Bild 18.2**). Da sie keine Gesprächssteuerung benötigen, sind sie einfach zu bedienen. Anlagen mit Haustelefonen arbeiten im Gegensprechbetrieb. Es gibt Anlagen, die neben der Sprechverbindung zwischen der Türstation und der Wohnungssprechstelle auch den Sprechverkehr der Wohnungssprechstellen untereinander ermöglichen.

Dagegen ist bei *Wechselsprechanlagen* immer nur eine Sprechrichtung eingeschaltet (**Bild 18.3**). Die Umschaltung erfolgt durch die Sprechtaste, die immer der Wohnungssprechstelle zugeordnet ist.

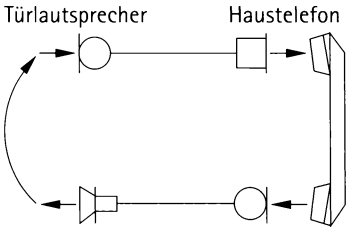



***Bild 18.2:*** *Gegensprechanlage*

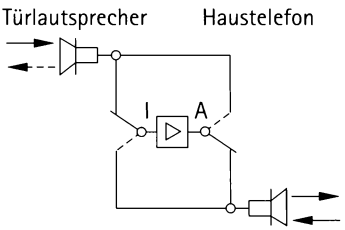



***Bild 18.3:*** *Wechselsprechanlage*

Die Türsprechanlagen sind kombiniert mit der Klingel- und Türöffneranlage. Soll das Mithören Dritter vermieden werden, so können Türsprechanlagen auf Wunsch mit Mithörsperren ausgerüstet werden.

**Leitungsmaterial**
Reihe VDE 0891

Für das Verlegen in Gebäuden über oder unter Putz wird zweckmäßigerweise Installationskabel J-2Y(St)Y mit der erforderlichen Anzahl von Adern verwendet. Für Verlegungen in der Erde kommt Kabel des Typs A-2YF(L)2Y in Betracht. Um Störbeeinflussungen zu vermeiden, soll bei gemeinsamem Führen von Stark- und Schwachstromleitungen ein Abstand von 10 cm eingehalten werden.

Der Durchmesser der Leitungsadern richtet sich nach der Entfernung der Sprechstellen. Der Widerstand je Ader von Sprechstelle zu Sprechstelle darf höchstens 10 Ω betragen. Damit ergibt sich bei 6 V Betriebsspannung:

| Entfernung der Sprechstellen m | Aderdurchmesser mm |
|---|---|
| < 150 | 0,6 |
| 150...270 | 0,8 |
| 270...625 | 1,2 |
| 625...900 | 1,4 |

## 18.4 Brandmeldeanlagen

VDE 0833-1 u. -2, DIN 14675, VdS 2095

Der für elektrische Anlagen Verantwortliche sollte auch über die Grundzüge der Technik von Brandmeldeanlagen Bescheid wissen. In der Praxis wird er mit erfahrenen Herstellern solcher Meldeanlagen zusammenarbeiten.

### 18.4.1 Grundlagen

Neben den bekannten Normen der Reihe VDE 0833 (Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall) sind im Zusammenhang mit Brandmeldeanlagen (BMA) insbesondere DIN 14675 (Brandmeldeanlagen – Aufbau und Betrieb) sowie die Normen der Reihe DIN EN 54 (Brandmeldeanlagen) zu berücksichtigen. Während sich die Reihe VDE 0833 sowie DIN 14675 mit Angaben für die Planung, Projektierung und Montage, Inbetriebsetzung, Abnahme und Betrieb befassen, handelt es sich bei den Normen der Reihe DIN EN 54 schwerpunktmäßig um Produktnormen.

In einer immer größer werdenden Anzahl von Gebäuden und Anlagen erscheinen der Einbau und der Betrieb von Brandmeldeanlagen als erforderlich bzw. im Zuge des Baugenehmigungsverfahrens als vorgeschrieben. Um die immer komplexeren Anforderungen, die aktuell an solche Anlagen gestellt werden, in vollem Umfang erfüllen zu können, ist es unerlässlich, bei Aufbau und Betrieb dieser strukturiert vorzugehen. Hierbei ist es erforderlich, sowohl technische als auch organisatorische Aspekte zu berücksichtigen, da Brandmeldeanlagen Funktionen realisieren können, die sowohl dem vorbeugenden als auch dem abwehrenden Brandschutz dienen können.

In DIN 14675 werden die notwendigen Schritte und somit das grundsätzliche Vorgehen für Aufbau und Betrieb von Brandmeldeanlagen geregelt. DIN 14675 unterscheidet hierbei folgende Phasen:

- Konzept,
- Planung,
- Projektierung,
- Montage,
- Inbetriebsetzung,
- Abnahme,
- Betrieb und
- Instandhaltung.

Um im Endergebnis eine Brandmeldeanlage zu bekommen, die den vielfältigen Anforderungen seitens des Gesetzgebers, der Baubehörden, der Brandschutzdienststelle (Feuerwehr), des Versicherers, des Betreibers usw. genügt, sind die Anforderungen und Aufgaben, die in den jeweiligen Phasen gestellt werden, unbedingt im Sinne von Mindestanforderungen zu beachten bzw. zu erfüllen.

Im Hinblick auf Verantwortlichkeit und Kompetenz sind die Leistungen für die einzelnen Phasen jeweils von verantwortlichen Fachfirmen zu erbringen. Werden Leistungen und Verantwortung für bestimmte Phasen aufgeteilt, so sind die entsprechenden Schnittstellen eindeutig zu definieren. Der Nachweis der entsprechenden Fachkompetenz wird in der Regel durch eine Zertifizierung der Fachfirma für die entsprechende Phase gemäß den Anforderungen von DIN 14675 geführt. Der Endkunde sollte diese Kompetenznachweise bereits vor Auftragsvergabe überprüfen.

## 18.4.2 Konzept

In der Konzeptionsphase sind mindestens die folgenden Punkte zu definieren:

- Schutzziele,
- Mindestanforderungen an Aufbau und Betrieb,
- Schutzumfang,
- Alarmierung und
- Alarmorganisation.

Die Anforderungen hierzu sind möglicherweise im Baubescheid oder im Brandschutzkonzept näher definiert. Ansonsten sind diese in Absprache mit allen Beteiligten festzulegen und zu dokumentieren. Diese Festlegungen dienen als Grundlage für alle weiteren Aktivitäten und sind deshalb mit größter Sorgfalt zu treffen. Unzulänglichkeiten in dieser Phase führen erfahrungsgemäß in ihrer Konsequenz zu den größten Aufwendungen bei deren Korrektur.

## 18.4.3 Planung

Endergebnis dieser Phase muss sein, die Erstellung einer aussagekräftigen Entwurfs- und Ausführungsplanung. Grundlage hierfür sind die Festlegungen aus der Konzeptphase. Hierbei sind insbesondere Systeme mit zu berücksichtigen, die von der Brandmeldeanlage angesteuert werden müssen. Dies können z. B. Aufzugsanlagen, Lüftungsanlagen, Brandschutztüren, Alarmierungsanlagen sein. Dies kann im Hinblick auf die Erfüllung der Anforderungen der Konzeptphase zwingend erforderlich sein.

## 18.4.4 Komponenten der BMA

### Brandmeldezentrale

Die Brandmeldezentrale (BMZ) verarbeitet die Meldungen der angeschlossenen Melder und überwacht das zugehörige Leitungsnetz auf Störungen wie z. B. Unterbruch, Erdschluss und Kurzschluss. Die Brandmeldezentrale überwacht ebenfalls die eigene Energieversorgung (Netz und Batterie) und steuert weitere Elemente wie die Übertragungseinrichtung zur Feuerwehr, Alarmierungseinrichtungen oder Löschanlagen an.

### Meldebereiche/Meldergruppen

Der gesamte Sicherungsbereich der Brandmeldeanlage wird aus Gründen der Übersichtlichkeit in mehrere Meldebereiche und diese nochmals in Meldegruppen unterteilt. Diese Aufteilung hat so zu erfolgen, dass eine schnelle Ermittlung und das schnelle Auffinden des Melde- bzw. Brandorts gewährleistet werden kann. Ein Meldebereich darf einen Brandabschnitt nicht überschreiten und nicht größer als 1 600 $m^2$ sein. Ein Meldebereich kann in mehrere Meldergruppen aufgeteilt werden, wobei eine Meldergruppe nicht mehr als je 10 Handfeuermelder oder 32 automatische Melder enthalten darf.

### Brandmelder

Brandmelder werden grundsätzlich unterschieden in automatische und nichtautomatische Melder.

Unter *nichtautomatischen Meldern* versteht man ausschließlich *Handfeuermelder*; die in ausreichender Anzahl vorzugsweise auch im Verlauf von Flucht- und Rettungswegen anzuordnen sind.

*Automatische Melder* werden unterschieden entsprechend der Brandkenngrößen welche diese detektieren. Hierbei kommen folgende Melderarten zum Einsatz:

- Rauchmelder,
- Wärmemelder und
- Flammenmelder.

Die Auswahl der einzusetzenden Brandmelder richtet sich nach der zu erwartenden Brandkenngröße (Rauch, Wärme, UV- und/oder Infrarotstrahlung). Auswahl, Anzahl und Anordnung der Melder hat entsprechend den technischen Regeln so zu erfolgen, dass Täuschungsalarme weitgehend vermieden werden.

**Rauchmelder**

Die verfügbaren Rauchmelder werden grundsätzlich unterschieden in punktförmige und *linienförmige Melder* (*Lichtstrahlrauchmelder*). Rauchmelder eignen sich immer dann besonders gut, wenn bereits in der Brandentstehungsphase mit einer intensiven Rauchentwicklung zu rechnen ist.

*Punktförmige Rauchmelder* sind als Ionisationsrauchmelder, Durchlichtrauchmelder und Streulichtrauchmelder verfügbar. *Streulichtrauchmelder* eigenen sich besonders zur Erkennung von Bränden, bei denen große helle Rauchpartikel entstehen. *Durchlichtrauchmelder* eignen sich besonders zur Erkennung von Bränden, bei denen sowohl helle als auch dunkle Rauchpartikel entstehen. *Ionisationsrauchmelder* eignen sich zur Detektion von Rauch mit kleinen Partikelgrößen, wobei die Farbe der Rauchpartikel keinen Einfluss auf deren Erkennbarkeit durch den Melder hat.

Eine Sonderform der punktförmigen Rauchmelder stellen die *Ansaugrauchmelder* (*Rauchansaugsysteme*) dar. Bei diesen wird durch einen Ventilator über ein Rohrnetz ständig Luft aus dem zu überwachenden Bereich angesaugt und einer Auswerteeinheit zugeführt. Aufgrund der verfügbaren intelligenten Auswerteeinheiten sind diese System in der Lage, auf unterschiedliche Rauchzusammensetzungen zu reagieren.

*Linienförmige Rauchmelder* arbeiten nach dem Durchlichtprinzip, vergleichbar mit der Funktion von Lichtschranken.

Bei der Planung von Rauchmeldern sind grundsätzlich immer sog. Wärmepolster zu beachten, die sich z. B. unter der Decke bilden können, an denen die Rauchmelder montiert werden sollen. Diese würden ein Aufsteigen des Rauchs bis zum Melder verhindern. Die Rauchmelder sind entsprechend den technischen Regeln ggf. mit einem Abstand z. B. zur Decke zu montieren.

**Wärmemelder**

Die verfügbaren Wärmemelder werden grundsätzlich unterschieden in punktförmige und linienförmige Melder. Wärmemelder eignen sich immer dann besonders gut, wenn bereits in der Brandentstehungsphase mit einem großen Temperaturanstieg

zu rechnen ist. Linienförmige Wärmemelder sind mit Meldeeinheiten in Kabelform oder in Kupferrohr erhältlich. Die Wärmemelder arbeiten nach dem Maximalprinzip (Auslösung bei Überschreitung einer maximalen Temperatur) und/oder nach dem Differenzialprinzip (Auslösung bei Überschreitung einer bestimmten Temperaturanstiegsgeschwindigkeit).

**Flammenmelder**

Kann bereits in der Brandentstehungsphase mit einer starken Flammenstrahlung (UV- und/oder Infrarotstrahlung) gerechnet werden, so eignen sich Flammenmelder besonders gut. Da sich die Flammenstrahlung wie Licht geradlinig ausbreitet, ist eine direkte Sichtverbindung zwischen dem Brandort und dem Flammenmelder erforderlich.

## 18.4.5 Projektierung

Ergebnis dieser Phase sollte die Werk- und Montageplanung sein. Hierbei geht es u. a. darum, die Anforderungen der Entwurfs- und Ausführungsplanung mit dem konkret eingesetzten Brandmeldesystem und dessen individuellen technischen Möglichkeiten zu realisieren.

In dieser Phase ist konkret festzulegen, welche weiteren Systeme und/oder Anlagen von der Brandmeldeanlage angesteuert werden müssen. Auch die konkreten technischen Anforderungen an diese Ansteuerungen, z. B. im Hinblick auf deren Verhalten bei Fehlern auf der ansteuernden Leitung, sind zu klären. Besondere Risiken, z. B. explosionsgefährdete Bereiche, in denen Brandmelder erforderlich sind, wären zu beachten.

Ebenfalls sind in dieser Phase die technischen Anforderungen hinsichtlich der Fernalarmierung (i. d. R. zur Feuerwehr) sowie der Intern-Alarmierung (z. B. über akustische Signalgeber der Brandmeldeanlage bzw. Sprachalarmanlagen) zu fixieren. Die Aufstellungsräumlichkeiten sind zu planen sowie die konkreten Erfordernisse hinsichtlich weiterer Einrichtungen wie *Feuerwehrbedienfeld* (FBF), *Feuerwehranzeigetableau* (FAT), *Blitzleuchte* und *Freischalteinrichtung* (FSE) zu berücksichtigen. Auch die Anforderungen an die Energieversorgung der Brandmeldeanlage sind z. B. im Hinblick auf Auslegung der Batterie sowie des Ladenetzgeräts festzulegen. Den schematischen Aufbau einer Brandmeldeanlage zeigt **Bild 18.4**.

Auch die konkrete Leitungsführung sowie die einzusetzenden Leitungs- und Tragesysteme sind entsprechend festzulegen. In modernen Brandmeldeanlagen kommen ausschließlich sog. Ringleitungssysteme zum Einsatz. Diese bieten die Möglichkeit, mit einer solchen Ringleitung eine Fläche von max. 6000 $m^2$ zu überwachen.

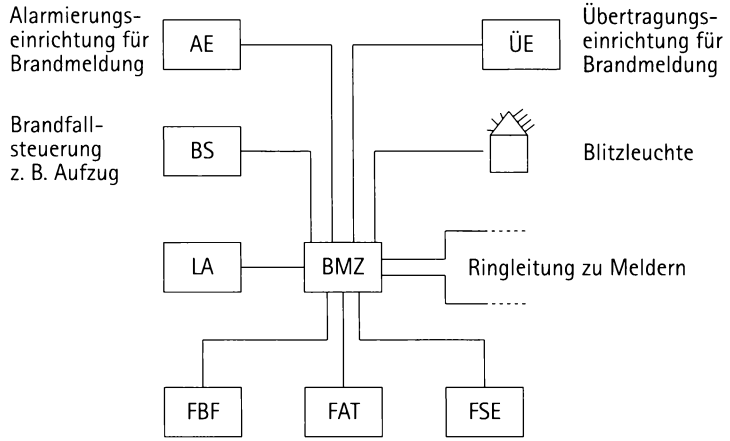



***Bild 18.4:*** *Schematischer Aufbau einer Brandmeldeanlage*

Weiter ist sicherzustellen, dass bei einem Fehler auf dem Übertragungsweg (Ringleitung) nicht mehr ausfällt als ein Meldebereich mit einer Fläche von max. 1 600 $m^2$ oder max. 32 automatische oder 10 *Handfeuermelder* eines Meldebereichs oder max. eine angesteuerte Funktionsgruppe wie die Ansteuerung einer RWA-Anlage oder eines Aufzugs. Darüber hinaus sind auch die Anforderungen an die Leitungsverlegung, die sich insbesondere aus der Leitungsanlagenrichtlinie (s. Abschn. 12.2.3) ergeben, zu beachten.

In diesem Zusammenhang sind insbesondere auch evtl. notwendige Maßnahmen zum Schutz der Anlage vor schädigenden elektromagnetischen Einflüssen (z. B. durch Blitzeinwirkung) festzulegen.

## 18.4.6 Montage und Installation

Auch die Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Montage und Installation der Komponenten der Brandmeldeanlage sind i. d. R. von zertifizierten Fachunternehmen durchzuführen. Basis für diese Tätigkeiten bilden die Festlegungen aus den vorausgegangenen Arbeitsschritten. Jede Abweichung von diesen ist mit den Verantwortlichen für die Phasen Konzept, Planung bzw. Projektierung abzuklären.

Beim Einbau der Komponenten sind insbesondere die Angaben der jeweiligen Hersteller zu berücksichtigen. Bei der Installation des Leitungsnetzes sind neben den Anforderungen des Herstellers der Brandmeldeanlage sowie der technischen Normen (DIN, VDE) ggf. zusätzlich die Anforderungen aus dem Baurecht, hier insbesondere die Anforderungen der Musterleitungsanlagenrichtlinie (MLAR)

(s. Abschn. 12.2.3) zu beachten. Generell sind die Kabel und Leitungen der Brandmeldeanlage so zu verlegen, dass evtl. schädigende Einflüsse auf diese verhindert bzw. beherrscht werden.

Angeschlossen werden die Komponenten der Brandmeldeanlage ausschließlich über sog. Überwachte Übertragungswege, deren Verfügbarkeit von der BMZ permanent überwacht wird.

### 18.4.7 Inbetriebsetzung

Die Inbetriebsetzung einer Brandmeldeanlage setzt die vollständige Montage aller Anlagenkomponenten voraus. Anschließend erfolgt eine vollständige Funktionskontrolle aller Komponenten und Bestandteile der Brandmeldeanlage. Sämtliche Schnittstellen und Ansteuerungen sind in diesem Zug ebenfalls zu prüfen.

Die Ergebnisse sind vom Inbetriebsetzer in einem Inbetriebsetzungsprotokoll zu dokumentieren.

### 18.4.8 Abnahmeprüfung

Voraussetzung für die Abnahme ist die vollständige Inbetriebnahme der Brandmeldeanlage sowie die Vorlage des Inbetriebsetzungsprotokolls. Die Abnahme sollte mindestens im Beisein des Auftraggebers und der ausführenden Fachfirma bzw. deren Vertreter erfolgen. Diese Abnahme ersetzt jedoch nicht die im Baurecht geforderten Prüfungen durch entsprechend nach Baurecht anerkannte Sachverständige z. B. des TÜV.

Im Zuge der Abnahme ist nochmals zu überprüfen, ob die Festlegungen aus der Konzept- und Planungsphase erfüllt werden. Die jeweiligen technischen Funktionen sind im Zuge der Abnahme ebenfalls zu überprüfen.

Über die Ergebnisse der Abnahme ist ein Protokoll anzufertigen. Dieses Protokoll sollte mindestens folgende Angaben enthalten:

- Art und Anzahl der aufgeschalteten Melder,
- Anzahl der Meldergruppen,
- überprüfte Funktionen,
- erkannte Mängel,
- Abweichungen vom Planungsauftrag,
- Ersatzmaßnahmen,
- Fristen für die Mängelbeseitigung,

- Benennung der Verantwortlichen für die Systembetreuung und deren Erreichbarkeit, sowie
- Nachweis des Aufbaus der Anlage nach den geltenden Vorschriften.

Im Zuge der Inbetriebsetzung sollte dem Auftraggeber auch eine vollständige Dokumentation der gesamten Anlage übergeben werden. Diese enthält üblicherweise mindestens folgende Unterlagen:

- Betriebsbuch,
- Bedienungsanleitung,
- Ausführungsunterlagen,
- Feuerwehr-Laufkarten und
- Meldergruppenverzeichnis.

### 18.4.9 Instandhaltung

Brandmeldeanlagen sind grundsätzliche regelmäßig zu inspizieren und zu warten. Die Anforderungen hierzu sind detailliert in VDE 0833-1 und -2 geregelt. Darüber hinaus sind ggf. auch Prüfungen im Zusammenhang mit den Anforderungen der Landesbauordnungen durch Sachverständige erforderlich. Auf die unterschiedlichen Anforderungen in den jeweiligen Bundesländern sei in diesem Zusammenhang hingewiesen.

## 18.5 Alarmierungseinrichtungen

VDE 0828-1, VDE 0833-1 u. -4

Im Zusammenhang mit Brandmeldeanlagen sind häufig auch die Anforderungen im Bezug auf Alarmierungseinrichtungen zu definieren bzw. zu realisieren.

Die Alarmierung innerhalb eines Gebäudes erfolgt in der Regel über eines der folgenden Systeme:

- elektroakustische Signalgeber (Hupen bzw. Sirenen), die von der BMZ angesteuert und mit Energie versorgt werden.
- Sprachalarmanlagen bzw. elektroakustische Notfallwarnsysteme, die zwar auch von der Brandmeldeanlage angesteuert werden, jedoch ansonsten ggf. autarke Systeme darstellen.

Die detaillierten Anforderungen an diese Anlagen sind prinzipiell analog zur Brandmeldeanlage festzulegen und zu realisieren. Als technische Regeln sind in diesem Zusammenhang insbesondere VDE 0828-1 (Elektroakustische Notfallwarnsysteme) sowie VDE 0833-1 und -4 (Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall: Allgemeine Festlegungen und Festlegungen für Anlagen zur Sprachalarmierung im Brandfall) zu berücksichtigen. VDE 0833-4 ist immer dann anzuwenden, wenn die entsprechende Alarmierungsanlage von einer Brandmeldeanlage angesteuert wird. Dies bedeutet, dass eine physikalische, in der Regel drahtgebundene Verbindung zwischen der Brandmeldeanlage und der Alarmierungsanlage bestehen muss. Wird die betreffende Anlage nicht von einer Brandmeldeanlage angesteuert, kann auch VDE 0828-1 zur Anwendung kommen. In Bezug auf Sprachalarmierungssysteme sei besonders auf die Anforderungen bezüglich der erforderlichen Schallpegel sowie im Hinblick auf die Sprachverständlichkeit der Durchsagen hingewiesen.

Auch die speziellen Anforderungen an die Leitungsverlegung aufgrund baurechtlicher Anforderungen (z. B. MLAR, s. auch Abschn. 12.2.3) sind zu berücksichtigen.

# Anhang

## A1 Normen, Vorschriften, Regeln

### A1.1 VDE-Bestimmungen

Hinweis: Die Titel sind gegenüber dem Originaltitel teilweise gekürzt.

| **VDE-Klassifikation und Ausgabedatum** | **Titel** |
|---|---|
| VDE 0022:2008-08 | Satzung für das Vorschriftenwerk des VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. |
| VDE 0040-1:2015-10 | Dokumente der Elektrotechnik – Regeln (IEC 61082-1:2014) |
| VDE 0040-3:2009-03 | Regeln und Tabellen zur Klassifikation |
| VDE 0040-4:2009-05 | Beschriftung von Kabeln/Leitungen und Adern |
| VDE 0040-5:2011-07 | Identifikation von Anschlüssen in Systemen |
| VDE 0040-6:2012-08 | Strukturierung technischer Information und Dokumentation |
| VDE 0040-9:2015-11 | Darstellung von Objektzuständen mittels grafischer Symbole |
| VDE 1000:2011-05 | Allgemeine Leitsätze für das sicherheitsgerechte Gestalten von Produkten |
| VDE 1000-10:2009-01 | Anforderungen an die im Bereich der Elektrotechnik tätigen Personen |
| *Errichten von Niederspannungsanlagen*[1] | |
| VDE 0100 Beiblatt 1:1982-11 | Entwicklungsgang der Errichtungsbestimmungen (Zurückziehung beabsichtigt) |
| VDE 0100 Beiblatt 2:2001-05 | Verzeichnis der einschlägigen Normen und Übergangsfestlegungen |
| VDE 0100 Beiblatt 3:1983-03 | Struktur der Normenreihe (Zurückziehung beabsichtigt) |

1 Obertitel vorübergehend: *Elektrische Anlagen von Gebäuden*; früherer Obertitel: *Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1 000 V*

| VDE-Klassifikation und Ausgabedatum | Titel |
|---|---|
| VDE 0100 Beiblatt 5:1995-11 | Maximal zulässige Längen von Kabeln und Leitungen unter Berücksichtigung des Schutzes bei indirektem Berühren, des Schutzes bei Kurzschluß und des Spannungsfalls |
| VDE 0100-100:2009-06 | Allgemeine Grundsätze, Bestimmungen allgemeiner Merkmale, Begriffe |
| VDE 0100-200:2006-06 | Begriffe |
| *Teil 4-...: Schutzmaßnahmen* | |
| VDE 0100-410:2007-06 | Schutz gegen elektrischen Schlag |
| VDE 0100-420:2013-02 | Schutz gegen thermische Einflüsse |
| VDE 0100-430:2010-10 | Schutz bei Überstrom |
| VDE 0100-442:2013-06 | Schutz von Niederspannungsanlagen bei vorübergehenden Überspannungen infolge von Erdschlüssen im Hochspannungsnetz und bei Fehlern im Niederspannungsnetz |
| VDE 0100-443:2007-06 | Schutz bei Überspannungen infolge atmosphärischer Einflüsse oder von Schaltvorgängen |
| VDE 0100-444:2010-10 | Schutz bei Störspannungen und elektromagnetischen Störgrößen |
| VDE 0100-450:1990-03 | Schutz gegen Unterspannung |
| VDE 0100-460:2002-08 | Trennen und Schalten |
| *Teil 5-...: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel* | |
| VDE 0100-510:2014-10 | Allgemeine Bestimmungen |
| VDE 0100-520:2013-06 | Kabel- und Leitungsanlagen |
| VDE 0100-520 Beiblatt 1:2008-10 | Begrenzung des Temperaturanstiegs bei Schnittstellenanschlüssen |
| VDE 0100-520 Beiblatt 2:2010-10 | Schutz bei Überlast, Auswahl von Überstrom-Schutzeinrichtungen, maximal zulässige Kabel- und Leitungslängen zur Einhaltung des zulässigen Spannungsfalls und der Abschaltzeiten zum Schutz gegen elektrischen Schlag |
| VDE 0100-520 Beiblatt 3:2012-10 | Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen in 3-phasigen Verteilungsstromkreisen bei Lastströmen mit Oberschwingungsanteilen |
| VDE 0100-530:2011-06 | Schalt- und Steuergeräte |
| VDE 0100-534:2009-02 | Überspannungs-Schutzeinrichtungen (ÜSE) |
| VDE 0100-537:1999-06 | Geräte zum Trennen und Schalten |
| VDE 0100-540:2012-06 | Erdungsanlagen und Schutzleiter |
| VDE 0100-550:1988-04 | Steckvorrichtungen, Schalter und Installationsgeräte |

| VDE-Klassifikation und Ausgabedatum | Titel |
|---|---|
| VDE 0100-551:2011-06 | Niederspannungsstromerzeugungseinrichtungen |
| VDE 0100-557:2014-10 | Hilfsstromkreise |
| VDE 0100-559:2014-02 | Leuchten und Beleuchtungsanlagen |
| VDE 0100-560:2013-10 | Einrichtungen für Sicherheitszwecke |
| VDE 0100-600:2008-06 | Prüfungen |
| *Teil 7-...: Anforderungen an Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art* | |
| VDE 0100-701:2008-10 | Räume mit Badewanne oder Dusche |
| VDE 0100-702:2012-03 | Becken von Schwimmbädern, begehbare Wasserbecken und Springbrunnen |
| VDE 0100-703:2006-02 | Räume und Kabinen mit Saunaheizungen |
| VDE 0100-704:2007-10 | Baustellen |
| VDE 0100-705:2007-10 | Elektrische Anlagen von landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten |
| VDE 0100-706:2007-10 | Leitfähige Bereiche mit begrenzter Bewegungsfreiheit |
| VDE 0100-708:2010-02 | Caravanplätze, Campingplätze und ähnliche Bereiche |
| VDE 0100-709:2013-10 | Marinas und ähnliche Bereiche |
| VDE 0100-710:2012-10 | Medizinisch genutzte Bereiche |
| VDE 0100-710 Beiblatt 1:2014-06 | Erläuterungen zur Anwendung der normativen Anforderungen aus VDE 0100-710:2012-10 |
| VDE 0100-711:2003-11 | Ausstellungen, Shows und Stände |
| VDE 0100-712:2006-06 | Solar-Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme |
| VDE 0100-714:2014-02 | Beleuchtungsanlagen im Freien |
| VDE 0100-715:2014-02 | Kleinspannungsbeleuchtungsanlagen |
| VDE 0100-717:2010-10 | Ortsveränderliche oder transportable Baueinheiten |
| VDE 0100-718:2014-06 | Öffentliche Einrichtungen und Arbeitsstätten |
| VDE 0100-721:2010-02 | Elektrische Anlagen von Caravans und Motorcaravans |
| VDE 0100-722:2012-10 | Stromversorgung von Elektrofahrzeugen |
| VDE 0100-723:2005-06 | Unterrichtsräume mit Experimentiereinrichtungen |
| VDE 0100-724:1980-06 | Elektrische Anlagen in Möbeln und ähnlichen Einrichtungsgegenständen, z. B. Gardinenleisten, Dekorationsverkleidung |
| VDE 0100-729:2010-02 | Bedienungsgänge und Wartungsgänge |
| VDE 0100-731:2014-10 | Abgeschlossene elektrische Betriebsstätten |

| **VDE-Klassifikation und Ausgabedatum** | **Titel** |
|---|---|
| VDE 0100-732:1995-07 | Hausanschlüsse in öffentlichen Kabelnetzen |
| VDE 0100-736:1983-11 | Niederspannungsstromkreise in Hochspannungsschaltfeldern |
| VDE 0100-737:2002-01 | Feuchte und nasse Bereiche und Räume und Anlagen im Freien |
| VDE 0100-739:1989-06 | Zusätzlicher Schutz bei direktem Berühren in Wohnungen durch Schutzeinrichtungen mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA in TN- und TT-Systemen |
| VDE 0100-740:2007-10 | Vorübergehend errichtete elektrische Anlagen für Aufbauten, Vergnügungseinrichtungen und Buden auf Kirmesplätzen, Vergnügungsparks und für Zirkusse |
| VDE 0100-753:2015-10 | Heizleitungen und umschlossene Heizsysteme |
| VDE 0101-1:2014-12 | Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV |
| VDE 0101-2:2011-11 | Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV |
| VDE 0102:2002-07 | *Kurzschlussströme in Drehstromnetzen* – Berechnung der Ströme |
| VDE 0102 Beiblatt 1:2002-11 | Beispiele für die Berechnung von Kurzschlussströmen |
| VDE 0102 Beiblatt 3:2003-07 | Faktoren für die Berechnung von Kurzschlussströmen nach IEC 60909-0 |
| VDE 0102 Beiblatt 4:2009-08 | Daten elektrischer Betriebsmittel für die Berechnung von Kurzschlussströmen |
| VDE 0104:2011-10 | Errichten und Betreiben elektrischer Prüfanlagen |
| VDE 0105-1:2014-02 | *Betrieb von elektrischen Anlagen* – Allgemeine Anforderungen |
| VDE 0105-2:2011-02 | Nationale Anhänge |
| VDE 0105-100:2014-10 | Allgemeine Festlegungen (nationale Gesetze, Normen und interne Regelungen) |
| VDE 0105-112:2008-06 | Besondere Festlegungen für das Experimentieren mit elektrischer Energie in Unterrichtsräumen oder in dafür vorgesehenen Bereichen |
| VDE 0105-115:2006-02 | Besondere Festlegungen für landwirtschaftliche Betriebsstätten |
| VDE 0106-102:2000-10 | Verfahren zur Messung von Berührungsstrom und Schutzleiterstrom |
| VDE 0108-100:2005-01 u. VDE V 0108-100:2010-08 | Sicherheitsbeleuchtungsanlagen |

| **VDE-Klassifikation und Ausgabedatum** | **Titel** |
|---|---|
| *Sicherheit von Maschinen* | |
| VDE 0113-1:2007-06<br>+ Berichtigung 1:2010-05<br>+ Änderung A1:2009-10 | *Elektrische Ausrüstung von Maschinen* –<br>Allgemeine Anforderungen |
| VDE 0113-11:2001-05<br>+ Berichtigung 1:2010-05 | Anforderungen an die Hochspannungsausrüstung |
| VDE 0113-32:2009-03 | Anforderungen für Hebezeuge |
| VDE 0113-50:2013-09 | Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme |
| VDE 0113-101:2008-09 | *Anzeigen, Kennzeichen und Bedienen* – Anforderungen an sichtbare, hörbare und tastbare Signale |
| VDE 0113-102:2008-09 | Anforderungen an die Kennzeichnung |
| VDE 0113-103:2008-09 | Anforderungen an die Anordnung und den Betrieb von Bedienteilen (Stellteilen) |
| VDE V 0113-211:2009-04 | Anwendung von Schutzausrüstungen zur Anwesenheitserkennung von Personen |
| Reihe VDE 0122-1 bis -2-4 | Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge |
| VDE V 0124-100:2012-07 | Prüfanforderungen an Erzeugungseinheiten vorgesehen zum Anschluss und Parallelbetrieb am Niederspannungsnetz |
| VDE V 0126-1-1:2013-08 | Selbsttätige Schaltstelle zwischen einer netzparallelen Eigenerzeugungsanlage und dem öffentlichen Niederspannungsnetz |
| *Leuchtröhrengeräte und Leuchtröhrenanlagen mit einer Leerlaufspannung über 1 kV, aber nicht über 10 kV* | |
| VDE 0128-1:2003-06 | Allgemeine Anforderungen |
| VDE 0128-2:2005-09 | Anforderungen an Erdschluss-Schutzeinrichtungen und Leerlauf-Schutzeinrichtungen |
| VDE 0129-507:2001-11 | Elektrische Anlagen auf Schiffen – Yachten |
| VDE 0131:1984-04 | Errichtung und Betrieb von Elektrozaunanlagen |
| VDE 0132:2015-10 | Brandbekämpfung und technische Hilfeleistung im Bereich elektrischer Anlagen |
| VDE 0140-1:2007-03 | Schutz gegen elektrischen Schlag – Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel |

| VDE-Klassifikation und Ausgabedatum | Titel |
|---|---|
| *Wirkungen des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere* | |
| VDE V 0140-479-1:2007-05 | Allgemeine Aspekte |
| VDE V 0140-479-3:2001-04 | Wirkungen von Strömen durch den Körper von Nutztieren |
| VDE V 0140-479-4:2005-10 | Wirkungen von Blitzschlägen auf Menschen und Nutztiere |
| VDE 0141:2000-01 | Erdungen für spezielle Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV (teilweise ersetzt durch VDE 0101) |
| VDE 0150:2005-05 | Schutz gegen Korrosion durch Streuströme aus Gleichstromanlagen |
| VDE 0151:1986-06 | Werkstoffe und Mindestmaße von Erdern bezüglich der Korrosion |
| VDE 0160:1998-04 | Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln |
| Reihe VDE 0161 | Elektrische Anlagen für Beleuchtung und Befeuerung von Flugplätzen |
| VDE 0165-1:2014-10 | Explosionsgefährdete Bereiche – Projektierung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen |
| VDE 0165-10-1:2014-10 | Explosionsgefährdete Bereiche – Prüfung und Instandhaltung elektrischer Anlagen |
| VDE 0165-20-1:2015-09 | Explosionsgefährdete Bereiche – Gerätereparatur, Überholung und Regenerierung |
| VDE 0165-101:2009-10 | Explosionsfähige Atmosphäre – Einteilung der Bereiche – Gasexplosionsgefährdete Bereiche |
| VDE 0165-102:2015-10 | Explosionsgefährdete Bereiche – Einteilung der Bereiche – Staubexplosionsgefährdete Bereiche |
| VDE V 0166:2011-04 | Errichten elektrischer Anlagen in Bereichen, die durch Stoffe mit explosiven Eigenschaften gefährdet sind |
| VDE 0168:1992-01 | Errichten elektrischer Anlagen in Tagebauen, Steinbrüchen und ähnlichen Betrieben |
| VDE 0170-1:2014-06 | *Explosionsgefährdete Bereiche* – Betriebsmittel – Allgemeine Anforderungen |
| VDE 0170-1 Beiblatt 1:2014-06 | *Explosionsgefährdete Bereiche* – Betriebsmittel – Allgemeine Anforderungen; Auslegungsblatt 1 |
| VDE 0170-2:2008-02 | Geräteschutz durch Ölkapselung „o“ |
| VDE 0170-3:2015-05 | Geräteschutz durch Überdruckkapselung „p“ |
| VDE 0170-4:2015-12 | Geräteschutz durch Sandkapselung „q“ |
| VDE 0170-5:2015-04 | Geräteschutz durch druckfeste Kapselung „d“ |
| VDE 0170-6:2007-08 | Geräteschutz durch erhöhte Sicherheit „e“ |

| VDE-Klassifikation und Ausgabedatum | Titel |
|---|---|
| VDE 0170-7:2012-06 | Geräteschutz durch Eigensicherheit „i“ |
| VDE 0170-9:2015-10 | Geräteschutz durch Vergusskapselung „m“ |
| VDE 0170-10-1:2011-06 + Berichtigung 1:2014-01 | Eigensichere Systeme |
| VDE 0170-12-1:2015-05 | Betriebsmittel mit Geräteschutzniveau (EPL) Ga |
| VDE 0170-12-2:2001-05 | Gruppe I, Kategorie-M1-Geräte für den Einsatz in Atmosphären, die durch Grubengas und/oder brennbare Stäube gefährdet sind |
| VDE 0170-15-1:2014-12 | Geräte-Staubexplosionsschutz durch Gehäuse „t“ |
| VDE 0170-16:2011-02 | Explosionsfähige Atmosphäre – Geräteschutz durch Zündschutzart „n“ |
| VDE 0170-18:2010-10 | Sicherheitseinrichtungen für den sicheren Betrieb von Geräten im Hinblick auf Explosionsgefahren |
| VDE 0170-20-1:2010-09 | Explosionsfähige Atmosphären – Stoffliche Eigenschaften zur Klassifizierung von Gasen und Dämpfen – Prüfmethoden und Daten |
| VDE 0170-27:2008-12 | *Explosionsfähige Atmosphäre* – Konzept für eigensichere Feldbussysteme (FISCO) |
| VDE 0170-28:2007-10 | Schutz von Einrichtungen und Übertragungssystemen, die mit optischer Strahlung arbeiten |
| VDE 0170-60-1:2007-12 | Elektrische Widerstands-Begleitheizungen – Allgemeine Anforderungen und Prüfanforderungen |
| VDE 0170-60-2:2007-12 | Elektrische Widerstands-Begleitheizungen – Anwendungsleitfaden für Entwurf, Installation und Instandhaltung |
| VDE 0170-313:2011-09 | Geräteschutz durch überdruckgekapselte Räume |
| VDE 0170/0171-12-2:2001-05 (Bezeichnung im VDE-Verzeichnis: VDE 0170-12-2:2001-05) | Gruppe I, Kategorie-M1-Geräte für den Einsatz in Atmosphären, die durch Grubengas und/oder brennbare Stäube gefährdet sind |
| VDE 0170/0171-17:2005-03 + Berichtigung 1:2006-05 (Bezeichnung im VDE-Verzeichnis: VDE 0170-17:2005-03) | Transportable ventilierte Räume mit oder ohne innere Freisetzungsstelle |
| VDE 0175-1:2012-04 | CENELEC-Normspannungen |
| VDE 0175-2:2010-03 | IEC-Normwerte für Bemessungsströme |
| VDE 0175-3:2010-03 | IEC-Normfrequenzen |
| VDE 0184:2005-10 | Überspannungen und Schutz bei Überspannungen in Niederspannungs-Starkstromanlagen mit Wechselspannungen – Allgemeine grundlegende Informationen |

| VDE-Klassifikation und Ausgabedatum | Titel |
|---|---|
| VDE 0185-305-1:2011-10 + Berichtigung 1:2012-03 | *Blitzschutz* – Allgemeine Grundsätze |
| VDE 0185-305-2:2013-02 | Risiko-Management |
| VDE 0185-305-2 Beiblatt 1:2013-02 | Risiko-Management – Blitzgefährdung in Deutschland |
| VDE 0185-305-2 Beiblatt 2:2013-02 | Risiko-Management – Berechnungshilfe zur Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen |
| VDE 0185-305-2 Beiblatt 3:2013-12 | Zusätzliche Informationen zur Anwendung der VDE 0185-305-2 |
| VDE 0185-305-3:2011-10 | Schutz von baulichen Anlagen und Personen |
| VDE 0185-305-3 Beiblatt 1:2012-10 | Schutz von baulichen Anlagen und Personen – Zusätzliche Informationen zur Anwendung der VDE 0185-305-3 |
| VDE 0185-305-3 Beiblatt 2:2012-10 | Schutz von baulichen Anlagen und Personen – Zusätzliche Informationen für besondere bauliche Anlagen |
| VDE 0185-305-3 Beiblatt 3:2012-10 | Schutz von baulichen Anlagen und Personen – Zusätzliche Informationen für die Prüfung und Wartung von Blitzschutzsystemen |
| VDE 0185-305-3 Beiblatt 4:2008-01 | Schutz von baulichen Anlagen und Personen – Verwendung von Metalldächern in Blitzschutzsystemen |
| VDE 0185-305-3 Beiblatt 5:2014-02 | Schutz von baulichen Anlagen und Personen – Blitz- und Überspannungsschutz für PV-Stromversorgungssysteme |
| VDE 0185-305-4:2011-10 | Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen |
| VDE 0185-305-4 Beiblatt 1:2012-10 | Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen – Verteilung des Blitzstroms |
| VDE 0185-561-1:2013-02 | *Blitzschutzsystembauteile* – Anforderungen an Verbindungsbauteile |
| VDE 0185-561-2:2013-02 | Anforderungen an Leitungen und Erder |
| VDE 0185-561-3:2013-02 | Anforderungen an Trennfunkenstrecken |
| VDE 0185-561-4:2012-01 | Anforderungen an Leitungshalter |
| VDE 0185-561-5:2012-01 | Anforderungen an Revisionskästen und Erderdurchführungen |
| VDE 0185-561-6:2012-03 | Anforderungen an Blitzzähler |
| VDE 0185-561-7:2012-08 | Anforderungen an Mittel zur Verbesserung der Erdung |
| VDE V 0185-600:2008-01 | Prüfung der Eignung von beschichteten Metalldächern als natürlicher Bestandteil des Blitzschutzsystems |

| VDE-Klassifikation und Ausgabedatum | Titel |
|---|---|
| | *Grund- und Sicherheitsregeln für die Mensch-Maschine-Schnittstelle* |
| VDE 0196:2004-12 | Kennzeichnung – Bedienungsgrundsätze |
| VDE 0197:2011-10 | Kennzeichnung von Anschlüssen elektrischer Betriebsmittel, angeschlossener Leiterenden und Leitern |
| VDE 0199:2003-05 | Kennzeichnung Codierungsgrundsätze für Anzeigengeräte und Bedienteile |
| VDE 0211:1985-12 | Bau von Starkstrom-Freileitungen mit Nennspannungen bis 1 000 V |
| Reihe VDE 0228-3 u. -4 | Maßnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Starkstromanlagen |
| Reihe VDE 0250 | Isolierte Starkstromleitungen |
| VDE 0276-603:2010-03 | *Starkstromkabel* – Energieverteilungskabel mit Nennspannung 0,6/1 kV |
| VDE 0276-1000:1995-06 | Strombelastbarkeit, Allgemeines; Umrechnungsfaktoren |
| Reihe VDE 0285-525 | Starkstromleitungen mit Nennspannungen bis 450/750 V ($U_0/U$) (europäisch harmonisiert) |
| VDE 0289-1:1988-03 | *Begriffe für Starkstromkabel und isolierte Starkstromleitungen* – Allgemeine Begriffe |
| VDE 0289-8:1988-03 | Strombelastbarkeit |
| VDE 0292:2007-05 | System für Typkurzzeichen von isolierten Leitungen |
| VDE 0293-1:2006-10 | Kennzeichnung der Adern von Starkstromkabeln und isolierten Starkstromleitungen mit Nennspannungen bis 1 000 V – Ergänzende nationale Festlegungen |
| VDE 0293-308:2003-01 | Kennzeichnung der Adern von Kabeln/Leitungen und flexiblen Leitungen durch Farben |
| VDE 0298-3:2006-06 | Leitfaden für die Verwendung nicht harmonisierter Starkstromleitungen |
| VDE 0298-4:2013-06 | Empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung in und an Gebäuden und von flexiblen Leitungen |
| VDE 0298-565-1 u. -2:2015-02 (Ersatz für VDE 0298-300:2009-09, darf noch bis 17.02.2017 angewendet werden) | Leitfaden für die Verwendung von (harmonisierten) Kabeln und isolierten Leitungen nicht über 450/750 V ($U_0/U$) (Leitfaden für die Verwendung harmonisierter Niederspannungsstarkstromleitungen) |
| VDE 0300-4-1:2004-12 | *Elektrostatik: Standard-Prüfverfahren für spezielle Anwendungen* – Elektrischer Widerstand von Bodenbelägen und verlegten Fußböden |
| VDE 0300-4-3:2002-09 | Schuhwerk |

| VDE-Klassifikation und Ausgabedatum | Titel |
|---|---|
| *Elektrische Sicherheit in Niederspannungsnetzen bis AC 1 000 V und DC 1 500 V – Geräte zum Prüfen, Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen* | |
| VDE 0413-1:2007-12 | Allgemeine Anforderungen |
| VDE 0413-2:2008-02 | Isolationswiderstand |
| VDE 0413-3:2008-02 | Schleifenwiderstand |
| VDE 0413-4:2007-12 | Widerstand von Erdungsleitern, Schutzleitern und Potentialausgleichsleitern |
| VDE 0413-5:2007-12 | Erdungswiderstand |
| VDE 0413-6:2008-05 | Wirksamkeit von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD) in TT-, TN- und IT-Systemen |
| VDE 0413-7:2008-02 | Drehfeld |
| VDE 0413-8:2015-12 | Isolationsüberwachungsgeräte für IT-Systeme |
| VDE 0413-9:2015-10 | Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche in IT-Systemen |
| VDE 0413-10:2014-03 | Kombinierte Messgeräte zum Prüfen, Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen |
| VDE 0413-11:2009-11 | Wirksamkeit von Differenzstrom-Überwachungsgeräten (RCMs) Typ A und Typ B in TT-, TN- und IT-Systemen |
| VDE 0413-12:2008-12 | Kombinierte Geräte zur Messung und Überwachung des Betriebsverhaltens |
| VDE 0413-13:2012-04 | Handgehaltene und handbediente Strommesszangen und Stromsonden zur Messung von Ableitströmen in elektrischen Anlagen |
| VDE 0413-14:2014-02 | Geräte zum Prüfen der Sicherheit der elektrischen Ausrüstung von Maschinen |
| VDE 0413-15:2014-10 | Anforderungen zur Funktionalen Sicherheit von Isolationsüberwachungsgeräten in IT-Systemen und von Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche in IT-Systemen |
| VDE 0470-1:2014-09 | Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) |
| VDE 0510-1:2011-10 | Sicherheitsanforderungen an Batterien und Batterieanlagen – Allgemeine Sicherheitsinformationen |
| VDE 0510-2:2001-12 | Sicherheitsanforderungen an Batterien und Batterieanlagen – Stationäre Batterien |
| VDE 0530-5:2007-09 | Drehende elektrische Maschinen – Schutzarten aufgrund der Gesamtkonstruktion von drehenden elektrischen Maschinen (IP-Code) – Einteilung |

| VDE-Klassifikation und Ausgabedatum | Titel |
|---|---|
| VDE 0558-507:2008-12 | Batteriegestützte zentrale Stromversorgungssysteme (BSV) für Sicherheitszwecke zur Versorgung medizinisch genutzter Bereiche |
| VDE 0558-508:2001-11 | Zentrale Stromversorgungssysteme |
| VDE 0558-510:2013-11 | Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV) – Allgemeine Anforderungen und Sicherheitsanforderungen |
| VDE 0565:2015-11 | Grundlagen für die Anwendung von Kondensatoren, Widerständen, Drosseln und vollständigen Filtereinheiten zur Unterdrückung elektromagnetischer Störungen |
| *Sicherheit von Transformatoren, Drosseln, Netzgeräten und entsprechenden Kombinationen* | |
| VDE 0570-2-2:2007-11 | *Besondere Anforderungen und Prüfungen* an Steuertransformatoren und Netzgeräten, die Steuertransformatoren enthalten |
| VDE 0570-2-4:2009-12 | ... an Trenntransformatoren und Netzgeräte, die Trenntransformatoren enthalten |
| VDE 0570-2-5:2011-03 | ... an Transformatoren für Rasierer, Netzgeräte für Rasierer und Rasiersteckdosen-Einheiten |
| VDE 0570-2-6:2010-04 | ... an Sicherheitstransformatoren und Netzgeräte, die Sicherheitstransformatoren enthalten |
| VDE 0570-2-7:2008-06 | ... an Transformatoren und Netzgeräte für Spielzeuge |
| VDE 0570-2-8:2011-03 | ... an Transformatoren und Netzgeräten für Klingeln und Läutewerke |
| VDE 0570-2-9:2011-09 | Besondere Anforderungen und Prüfungen an Transformatoren und Netzgeräten für Handleuchten der Schutzklasse III für Wolframdrahtlampen |
| VDE 0570-2-15:2012-09 | Besondere Anforderungen und Prüfungen an Trenntransformatoren zur Versorgung medizinischer Räume |
| VDE 0570-2-23:2011-07 | ... für Transformatoren und Netzgeräte für Baustellen |
| VDE 0603-1:1991-10 | Installationskleinverteiler und Zählerplätze |
| VDE V 0603-102:2006-10 | Besondere Bedingungen für Installationskleinverteiler und Zählerplätze für elektronische Haushaltszähler (eHZ) |
| *Elektroinstallationskanalsysteme für elektrische Installationen* | |
| VDE 0604-1:2014-05 | Allgemeine Anforderungen |
| VDE 0604-2-1:2012-09 | Besondere Anforderungen für Elektroinstallationskanalsysteme für Wand und Decke |
| VDE 0604-2-2:2009-07 | Besondere Anforderungen für Elektroinstallationskanalsysteme für die Montage unterboden, bodenbündig oder aufboden |

| VDE-Klassifikation und Ausgabedatum | Titel |
|---|---|
| VDE 0604-2-3:2011-01 | Besondere Anforderungen an Verdrahtungskanäle zum Einbau in Schaltschränke |
| VDE 0604-2-4:2010-04 | Besondere Anforderungen für freistehende Installationseinheiten |
| *Stromschienensysteme* | |
| VDE 0604-100:2015-03 | Allgemeine Anforderungen |
| VDE 0604-121:2015-03 | Besondere Anforderungen für Stromschienensysteme für Wand und Decke |
| VDE 0604-122:2015-03 | Besondere Anforderungen für Stromschienensysteme für Fußbodeninstallationen |
| VDE 0604-201:2010-07 | Kabelführungssysteme – Kabelbinder für elektrische Installationen |
| VDE 0604-202:2010-01 | Kabelhalter für elektrische Installationen |
| *Elektroinstallationsrohrsysteme für elektrische Energie und für Informationen* | |
| VDE 0605-1:2009-03 | Allgemeine Anforderungen |
| VDE 0605-21:2011-12 | Besondere Anforderungen für starre Elektroinstallationsrohrsysteme |
| VDE 0605-22:2011-12 | Besondere Anforderungen für biegsame Elektroinstallationsrohrsysteme |
| VDE 0605-23:2011-12 | Besondere Anforderungen für flexible Elektroinstallationsrohrsysteme |
| VDE 0605-24:2011-08 | Besondere Anforderungen für erdverlegte Elektroinstallationsrohrsysteme |
| *Dosen und Gehäuse für Installationsgeräte für Haushalt und ähnliche ortsfeste elektrische Installationen* | |
| VDE 0606-1:2014-01 | Allgemeine Anforderungen |
| VDE 0606-21:2008-03 | Besondere Anforderungen für Dosen und Gehäuse mit Aufhängemitteln |
| VDE 0606-22:2007-07 | Besondere Anforderungen für Verbindungsdosen |
| VDE V 0606-22-100:2012-07 | Besondere Anforderungen für Dosen und Gehäuse mit Verbindungsklemmen zum Vergießen (GVV) |
| VDE V 0606-22-200:2013-10 | Besondere Anforderungen an Gehäusesysteme für die sichere Verbindung und Abzweigung von Kabeln und Leitungen mit integriertem Funktionserhalt im Brandfall |
| VDE 0606-23:2009-10 | Besondere Anforderungen für Unterflurdosen |
| VDE 0606-200:2013-08 | Installationssteckverbinder für dauernde Verbindung in festen Installationen |

| **VDE-Klassifikation und Ausgabedatum** | **Titel** |
|---|---|
| VDE 0620-1:2013-03<br>+ Berichtigung 1:2014-02 | Stecker und Steckdosen für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Allgemeine Anforderungen |
| VDE 0620-300:2008-12 | Elektrisches Installationsmaterial – Leitungsroller für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke |
| VDE 0623-1:2013-02<br>+ Berichtigung 1:2014-12 | *Stecker, Steckdosen und Kupplungen für industrielle Anwendungen* – Allgemeine Anforderungen |
| VDE 0623-3:2012-11 | Abschaltbare Steckdosen und Kupplungen mit oder ohne Verriegelung |
| VDE 0623-4:2003-07 | Übergangsadapter für industrielle Anwendung |
| Reihe VDE 0623-5 | Konduktives Laden von Elektrofahrzeugen |
| VDE 0623-100:2000-09 | Leitungsroller für industrielle Anwendung |
| VDE 0625-1:2008-05<br>+ Berichtigung 1:2010-04<br>+ Berichtigung 2:2010-10 | Gerätesteckvorrichtungen für den Hausgebrauch und ähnliche allgemeine Zwecke – Allgemeine Anforderungen |
| VDE 0635:1984-02 | Niederspannungssicherungen;<br>D-Sicherungen E 16 bis 25 A, 500 V;<br>D-Sicherungen bis 100 A, 750 V;<br>D-Sicherungen bis 100 A, 500 V |
| VDE 0636-1:2015-05 | *Niederspannungssicherungen* – Allgemeine Anforderungen |
| VDE 0636-2:2014-09 | Zusätzliche Anforderungen an Sicherungen zum Gebrauch durch Elektrofachkräfte bzw. elektrotechnisch unterwiesene Personen (Sicherungen überwiegend für den industriellen Gebrauch) – Beispiele für genormte Sicherungssysteme A bis K |
| VDE 0636-3:2013-12 | Zusätzliche Anforderungen an Sicherungen zum Gebrauch durch Laien (Sicherungen überwiegend für Hausinstallationen oder ähnliche Anwendungen) – Beispiele für genormte Sicherungssysteme A bis F |
| VDE 0636-5:2012-06 | Leitfaden für die Anwendung von Niederspannungssicherungen |
| VDE 0636-21:2015-03 | Niederspannungssicherungen (NH-System) –<br>Zusätzliche Anforderungen an Sicherungen zum Gebrauch durch Elektrofachkräfte bzw. elektrotechnisch unterwiesene Personen (Sicherungen überwiegend für den industriellen Gebrauch) – Schutz von elektrischen Sonderanlagen |
| VDE 0636-31:2015-03 | Niederspannungssicherungen (D-System) –<br>Zusätzliche Anforderungen an Sicherungen zum Gebrauch durch Laien (Sicherungen überwiegend für Hausinstallationen und ähnliche Anwendungen) – Beispiele für genormte Sicherungssysteme A bis F – Bemessungsspannung = AC 690 V und Bemessungsspannung = DC 600 V |
| VDE 0639:2007-09 | Führungssysteme für Kabel und Leitungen –<br>Kabelträgersysteme für elektrische Installationen |

| VDE-Klassifikation und Ausgabedatum | Titel |
|---|---|
| VDE 0641-11:2006-03<br>+ Berichtigung 1:2009-02<br>+ Änderung A12:2009-02<br>+ Änderung A13:2013-01 | *Leitungsschutzschalter für Hausinstallationen und ähnliche Zwecke* – Leitungsschutzschalter für Wechselstrom (AC) |
| VDE 0641-11<br>Beiblatt 1:2012-10 | Anwendungshinweise zum Einsatz von Leitungsschutzschaltern nach VDE 0641-11 und VDE 0641-12 |
| VDE 0641-12:2007-03 | Leitungsschutzschalter für Wechsel- und Gleichstrom (AC und DC) |
| VDE V 0641-100:2011-05 | Leitungsschutzschalter für Wechselstrom (AC) – Anhang L – Besondere Anforderungen für Zusatzeinrichtungen |
| VDE 0642:2013-11 | Geräteschutzschalter (GS) |
| VDE 0660-100:2015-09 | *Niederspannungsschaltgeräte* – Allgemeine Festlegungen |
| VDE 0660-100<br>Beiblatt 1:2008-02 | Überstrom-Schutzeinrichtungen – Anwendung der Kurzschluss-bemessungswerte |
| VDE 0660-101:2014-01 | Leistungsschalter |
| VDE 0660-102:2014-02 | Schütze und Motorstarter – Elektromechanische Schütze und Motorstarter |
| VDE 0660-107:2012-12<br>+ Berichtigung 1:2015-03 | Lastschalter, Trennschalter, Lasttrennschalter und Schalter-Sicherungs-Einheiten |
| *Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen* | |
| VDE 0660-505:1998-10 | Bestimmung für Hausanschlußkästen und Sicherungskästen |
| VDE 0660-507:1997-11 | Verfahren zur Ermittlung der Erwärmung von partiell typgeprüften Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen (PTSK) durch Extrapolation |
| VDE 0660-514:2002-11<br>+ Berichtigung 1:2009-11 | Schutz gegen elektrischen Schlag; Schutz gegen unabsichtliches direktes Berühren gefährlicher aktiver Teile |
| VDE 0660-600-1:2012-06 | Allgemeine Festlegungen |
| VDE 0660-600-1<br>Beiblatt 1:2014-06<br>+ Berichtigung 1:2014-12 | Beiblatt 1: Leitfaden für die Spezifikation von Schaltgerätekombinationen |
| VDE 0660-600-2:2012-06 | Energie-Schaltgerätekombinationen |
| VDE 0660-600-3:2013-02<br>+ Berichtigung 1:2014-10 | Installationsverteiler für die Bedienung durch Laien |
| VDE 0660-600-4:2013-09 | Besondere Anforderungen für Baustromverteiler (BV) |
| VDE 0660-600-5:2015-10 | Schaltgerätekombinationen in öffentlichen Energieverteilungsnetzen |

| VDE-Klassifikation und Ausgabedatum | Titel |
|---|---|
| VDE 0660-600-6:2013-06 | Schienenverteilersysteme |
| VDE V 0660-600-7:2014-10 | Vornorm: Schaltgerätekombinationen für bestimmte Anwendungen wie Marinas, Campingplätze, Marktplätze, Ladestationen für Elektrofahrzeuge |
| VDE 0661-10:2004-06<br>+ Änderung A2:2011-01 | Ortsveränderliche Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ohne eingebauten Überstromschutz für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen (PRCDs) |
| VDE 0661-10<br>Beiblatt 1:2014-02 | Anwendungshinweise zum Einsatz von PRCDs nach VDE 0661-10 und VDE 0661 |
| VDE 0663:2005-11 | Differenzstrom-Überwachungsgeräte für Hausinstallationen und ähnliche Verwendungen (RCMs) |
| *Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalter...* | |
| VDE 0664-10:2015-11 | ... ohne eingebauten Überstromschutz (RCCBs) für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen – Allgemeine Anforderungen |
| VDE 0664-10<br>Beiblatt 1:2012-10 | Anwendungshinweise zum Einsatz von RCCBs nach VDE 0664-10 |
| VDE 0664-11:1999-12 | ... ohne eingebauten Überstromschutz (RCCBs) für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen – Anwendung der allgemeinen Anforderungen auf netzspannungsunabhängige RCCBs |
| VDE 0664-20:2015-11 | ... mit eingebautem Überstromschutz (RCBOs) für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen – Allgemeine Anforderungen |
| VDE 0664-21:1999-12 | ... mit eingebautem Überstromschutz (RCBOs) für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen – Anwendung der allgemeinen Anforderungen auf netzspannungsunabhängige RCBOs |
| VDE 0664-40:2013-08 | Typ F und B ... mit und ohne eingebautem Überstromschutz für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen (Typ B RCCBs und Typ B RCBOs) |
| VDE 0664-50:2015-11 | ... mit oder ohne Überstromschutz für Steckdosen für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen |
| VDE 0664-101:2003-10 | ... ohne eingebauten Überstromschutz für Hausinstallationen und ähnliche Anwendungen (RCCBs) – Anwendungen der allgemeinen Anforderungen auf RCCBs für Wechselspannungen über 440 V bzw. Bemessungsströme über 125 A |

| VDE-Klassifikation und Ausgabedatum | Titel |
|---|---|
| VDE V 0664-220:2010-07 | ... mit eingebautem Überstromschutz (RCBOs) für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen – Anhang M – Besondere Anforderungen für Zusatzeinrichtungen |
| VDE 0664-400:2012-05 | Fehlerstrom-Schutzschalter Typ B ohne eingebauten Überstromschutz zur Erfassung von Wechsel- und Gleichfehlerströmen für den gehobenen vorbeugenden Brandschutz – RCCB Typ B+ |
| VDE 0664-401:2012-05 | Fehlerstrom-Schutzschalter Typ B mit eingebautem Überstromschutz zur Erfassung von Wechsel- und Gleichfehlerströmen für den gehobenen vorbeugenden Brandschutz – RCBO Typ B+ |
| VDE V 0664-420:2010-07 | Typ B ... mit und ohne eingebautem Überstromschutz für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen (Typ B RCCBs und Typ B RCBOs) – Anhang M – Besondere Anforderungen für Zusatzeinrichtungen |
| Reihe VDE 0680 | Persönliche Schutzausrüstungen, Körperschutzmittel, Schutzvorrichtungen und Geräte zum Arbeiten an unter Spannung stehenden Teilen bis 1 000 V |
| VDE 0686:2006-02 | Sicherheit elektrischer Geräte ... – Besondere Anforderungen an elektrische Fischereigeräte |
| VDE 0701-0702:2008-06 | Prüfung nach Instandsetzung, Änderung elektrischer Geräte – Wiederholungsprüfung elektrischer Geräte – Allgemeine Anforderungen für die elektrische Sicherheit |
| *Leuchten* | |
| VDE 0711-1:2015-10 | Allgemeine Anforderungen und Prüfungen |
| VDE 0711-2-3:2011-12 | Besondere Anforderungen – Leuchten für Straßen- und Wegebeleuchtung |
| VDE 0711-2-22:2015-06 | Leuchten für Notbeleuchtung |
| VDE 0711-2-23:2014-04 | Kleinspannungsbeleuchtungssysteme für Glühlampen |
| VDE 0711-2-24:2014-04 | Leuchten mit begrenzter Oberflächentemperatur |
| VDE 0711-2-25:2005-07 | Leuchten zur Verwendung in klinischen Bereichen von Krankenhäusern und Gebäuden zur Gesundheitsfürsorge |
| VDE 0711-201:1991-09 | Ortsfeste Leuchten für allgemeine Zwecke |
| VDE 0711-300:2004-01 | Elektrische Stromschienensysteme für Leuchten |
| VDE 0711-400:2013-02 | Automatische Prüfsysteme für batteriebetriebene Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege |
| VDE 0789-100:1984-05 | Unterrichtsräume und Laboratorien; Einrichtungsgegenstände; Sicherheitsbestimmungen für energieversorgte Baueinheiten |

| **VDE-Klassifikation und Ausgabedatum** | **Titel** |
|---|---|
| VDE 0800-1:1989-05 | Fernmeldetechnik; Allgemeine Begriffe, Anforderungen und Prüfungen für die Sicherheit der Anlagen und Geräte |
| VDE V 0800-2:2011-06 | Informationstechnik - Potentialausgleich und Erdung (Zusatzfestlegungen) |
| VDE 0800-2-310:2011-05 | Anwendung von Maßnahmen für Erdung und Potentialausgleich in Gebäuden mit Einrichtungen der Informationstechnik |
| VDE 0800-10:1991-03 | Fernmeldetechnik; Übergangsfestlegungen für Errichtung und Betrieb der Anlagen |
| VDE 0800-174-2:2015-02 | Installation von Kommunikationsverkabelung – Installationsplanung und Installationspraktiken in Gebäuden |
| *Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme* | |
| VDE 0803-1:2011-02 | Allgemeine Anforderungen |
| VDE 0803-2:2011-02 | Anforderungen an sicherheitsbezogene elektrische/elektronische/ programmierbare elektronische Systeme |
| VDE 0803-4:2011-02 | Begriffe und Abkürzungen |
| VDE 0805-1:2014-08 | Einrichtungen der Informationstechnik – Sicherheit – Allgemeine Anforderungen |
| VDE V 0826-1:2013-09 | Überwachungsanlagen – Gefahrenwarnanlagen (GWA) für Wohnhäuser, Wohnungen und Räume mit wohnungsähnlicher Nutzung – Planung, Einbau, Betrieb und Instandhaltung |
| VDE 0828-1:1999-05 | Elektroakustische Notfallwarnsysteme |
| VDE 0829-9-1:2004-11 | *Elektrische Systemtechnik für Heim und Gebäude (ESHG)* – Installationsanforderungen – Verkabelung von Zweidrahtleitungen ESHG Klasse 1 |
| Reihe VDE 0830-1 | Alarmanlagen |
| *Alarmanlagen – Personen-Hilferufanlagen* | |
| VDE 0830-4-1:2003-05 | Systemanforderungen |
| VDE 0830-4-2:2000-01 | Auslösegeräte |
| VDE 0830-4-3:2012-11 | Örtliche Zentrale und Übertragungsgerät |
| VDE 0830-4-5:2005-08 | Verbindungen und Kommunikation |
| VDE V 0830-4-7:2004-08 | Anwendungsregeln |

| VDE-Klassifikation und Ausgabedatum | Titel |
|---|---|
| *Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall* | |
| VDE 0833-1:2014-09 | Allgemeine Festlegungen |
| VDE 0833-2:2009-06 + Berichtigung 1:2010-05 | Festlegungen für Brandmeldeanlagen |
| VDE 0833-4:2014-10 | Festlegungen für Anlagen zur Sprachalarmierung im Brandfall |
| VDE V 0834-1:2000-04 | Rufanlagen in Krankenhäusern, Pflegeheimen und ähnlichen Einrichtungen; Geräteanforderungen; Errichten und Betrieb |
| VDE 0845 Beiblatt 1:2010-11 | Überspannungsschutz von Einrichtungen der Informationstechnik (IT-Anlagen) |
| VDE V 0845-3-2:2007-09 | Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Telekommunikations- und signalverarbeitenden Netzwerken – Auswahl- und Anwendungsprinzipien |
| VDE 0845-6-2:2014-09 | Maßnahmen bei Beeinflussung von Telekommunikationsanlagen durch Starkstromanlagen – Beeinflussung durch Drehstromanlagen |
| VDE 0848-5:2001-01 | Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern - Explosionsschutz |
| VDE 0849-3:2010-03 | Allgemeine Anforderungen an die Elektrische Systemtechnik für Heim und Gebäude (ESHG) und an Systeme der Gebäudeautomation (GA) – Anforderungen an die elektrische Sicherheit |
| VDE 0855 Beiblatt 1:2002-01 | *Kabelnetze für Fernsehsignale, Tonsignale und interaktive Dienste* – Leitfaden für den Potentialausgleich in vernetzten Systemen |
| VDE 0855-1:2011-06 | Sicherheitsanforderungen |
| VDE 0855-300:2008-08 | Funksende-/-empfangsantennenanlagen für Senderausgangsleistungen bis 1 kW – Sicherheitsanforderungen |

| VDE-Anwendungsregeln und Ausgabedatum | Titel |
|---|---|
| VDE-AR-E 2100-712:2013-05 | Maßnahmen für den DC-Bereich einer Photovoltaikanlage zum Einhalten der elektrischen Sicherheit im Falle einer Brandbekämpfung oder einer technischen Hilfeleistung |
| VDE-AR-E 2122-4-2:2011-03 | Elektrische Ausrüstung von Elektro-Straßenfahrzeugen – Induktive Ladung von Elektrofahrzeugen – Niedriger Leistungsbereich |
| VDE-AR-E 2283-5:2012-07 | Anforderungen an Ladeleitungen für Elektrofahrzeuge und Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge |
| VDE-AR-E 2510-2:2015-09 | Stationäre elektrische Energiespeichersysteme vorgesehen zum Anschluss an das Niederspannungsnetz |
| VDE-AR-E 2510-50:2014-11 | Stationäre Energiespeichersysteme mit Lithium-Batterien – Sicherheitsanforderungen |
| VDE-AR-E 2757-2:2011-08 | Service Wohnen zu Hause – Anforderungen an Anbieter kombinierter Dienstleistungen |
| VDE-AR-E 2757-3:2012-01 | Service Wohnen zu Hause – Kriterien für die Auswahl und Installation von AAL*-Komponenten |
| VDE-AR-E 2757-3:2012-01 | Service Wohnen zu Hause – Kriterien für die Auswahl und Installation von AAL*-Komponenten |
| VDE-AR-E 2757-4:2012-01 | Service Wohnen zu Hause – Qualitätskriterien für Anbieter, Dienstleistungen und Produkte für technikunterstütztes Leben (AAL*) |
| VDE-AR-N 4001:2011-04 | Anforderungen an die Qualifikation und die Organisation von Unternehmen für den Betrieb von Elektrizitätsversorgungsnetzen (S 1000) |
| VDE-AR-N 4101:2015-04 | Anforderungen an Zählerplätze in elektrischen Anlagen im Niederspannungsnetz |
| VDE-AR-N 4105:2011-08 | Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz – Technische Mindestanforderungen für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz |
| VDE-AR-N 4102:2012-04 | Anschlussschränke im Freien am Niederspannungsnetz der allgemeinen Versorgung – Technische Anschlussbedingungen für den Anschluss von ortsfesten Schalt- und Steuerschränken, Zähleranschlusssäulen, Telekommunikationsanlagen und Ladestationen für Elektrofahrzeuge |
| VDE-AR-N 4120:2015-01 | Technische Bedingungen für den Anschluss und Betrieb von Kundenanlagen an das Hochspannungsnetz (TAB Hochspannung) |
| VDE-AR-N 4220:2015-08 | Bauunternehmen im Leitungstiefbau – Mindestanforderungen |

* AAL: Ambient Assisted Living

## A1.2 Konkordanzlisten VDE – DIN

Wie in Abschnitt 1.3 beschrieben, werden VDE-Bestimmungen je nach Art der zugrunde liegenden Norm – IEC-, CENELEC-(Europa-), deutsche oder harmonisierte Norm – mit DIN IEC, DIN EN oder DIN VDE bezeichnet. Zusätzlich sind alle VDE-Bestimmungen mit der VDE-Klassifikationsnummer versehen. In diesem Buch werden der Übersichtlichkeit halber und wegen der in Praktikerkreisen oft geläufigeren VDE-Klassifikation die VDE-Bestimmungen überwiegend nur mit der VDE-Klassifikation bezeichnet. Damit der Leser jedoch die Zuordnung zur entsprechenden DIN- bzw. DIN-EN-Norm und in Einzelfällen zur IEC-Publikation herstellen kann, werden in den folgenden Tabellen – sog. Konkordanzlisten – die wichtigsten VDE-Bestimmungen den jeweiligen DIN-/DIN-EN-/IEC-Bezeichnungen gegenübergestellt. Solche Konkordanzlisten sind in den Normen bzw. VDE-Bestimmungen in der Regel im nationalen Vorwort zu finden. Das Gültigkeitsdatum wurde der Übersichtlichkeit wegen weggelassen. Die Auflistungen geben den Stand November 2015 der jeweiligen VDE-Bestimmung wieder. VDE-Bestimmungen älterer Ausgaben sind nur mit DIN VDE bezeichnet, ohne VDE-Klassifikation. In diesen Fällen ist die VDE-Klassifikation in Klammern angegeben. Bei den DIN-Bezeichnungen und auch bei den VDE-Bezeichnungen wird nach der neueren Schreibweise nicht mehr das Wort „Teil" verwendet, sondern stattdessen ein Bindestrich gesetzt. Dies gilt für alle VDE-Vorschriften, auch für die älteren, noch gültigen VDE-Vorschriften, deren Teile noch das Wort „Teil" und noch nicht den Bindestrich enthalten. Das Ersetzen des Wortes „Teil" durch den Bindestrich gilt nicht für den Titeltext, z. B. „DIN VDE 0100-200 (VDE 0100-200) Errichten von Niederspannungsanlagen – *Teil* 200: Begriffe".

Es sind nur die VDE-Bestimmungen und Normen aufgeführt, die sich durch unterschiedliche Ziffern unterscheiden, also z. B. nicht VDE 0100-200 = DIN VDE 0100-200.

| VDE-Klassifikation | Deutsche Norm |
|---|---|
| VDE 1000 | DIN 31000 |
| VDE 0039-1 | DIN EN 82079-1 |
| VDE 0040-1 | DIN EN 61082-1 |
| VDE 0040-3 | DIN EN 61355-1 |
| VDE 0040-4 | DIN EN 62491 |
| VDE 0040-5 | DIN EN 61666 |
| VDE 0040-6 | DIN EN 62023 |
| VDE 0040-7 | DIN EN 62027 |

| VDE-Klassifikation | Deutsche Norm |
|---|---|
| VDE 0040-9 | DIN EN 62744 |
| VDE 0042-1 | DIN EN 62321 |
| VDE 0042-1 | DIN EN 62321 |
| VDE 0042-2 | DIN EN 62430 |
| VDE 0042-4 | DIN EN 62474 |
| VDE 0042-10 | DIN EN 50419 |
| VDE 0050-1 | DIN EN 31010 |
| VDE 0102 | DIN EN 60909-0 |

| VDE-Klassifikation | Deutsche Norm |
|---|---|
| VDE 0102-10 | DIN EN 61660-1 |
| VDE 0103 | DIN EN 60865-1 |
| VDE 0103-10 | DIN EN 61660-2 |
| VDE 0104 | DIN EN 50191 |
| VDE 0105-1, -2 | DIN EN 50110-1, -2 |
| VDE 0106-102 | DIN EN 60990 |
| VDE 0108-100 | DIN EN 50172 |
| VDE 0110-*N* | DIN EN 60664-*N* |
| VDE 0111 | DIN EN 60071 |
| VDE 0113-1 | DIN EN 60204-1 |
| VDE 0113-50 | DIN EN 62061 |
| VDE 0113-101 | DIN EN 61310-1 |
| VDE 0113-201, -202 | DIN EN 61496-1, -2 |
| VDE 0113-203 | DIN CLC/TS 61496-3 |
| VDE 0113-211 | DIN CLC/TS 62046 |
| VDE 0116-1 | DIN EN 50156-1 |
| VDE 0117-1 | DIN EN 1175-1 |
| VDE 0122-1 | DIN EN 61851-1 |
| VDE 0122-2-1, -2, -3, -4 | DIN EN 61851-21, -22, -23, -24 |
| VDE 0126-2 | DIN EN 62116 |
| VDE 0126-3 | DIN EN 50521 |
| VDE 0126-4-1 bis -10 | DIN EN 60904-1 bis -10 |
| VDE 0126-5 | DIN EN 50548 |
| VDE 0126-6 | DIN EN 60891 |
| VDE 0126-7 | DIN CLC/TS 61836 |
| VDE 0126-8 | DIN EN 61701 |
| VDE 0126-12 | DIN EN 50530 |
| VDE 0126-13 | DIN EN 50524 |
| VDE 0126-14-1, -2 | DIN EN 62109-1, -2 |
| VDE 0126-17-1 | DIN EN 50461 |
| VDE 0126-18 | DIN EN 50513 |
| VDE 0126-20 | DIN EN 62093 |

| VDE-Klassifikation | Deutsche Norm |
|---|---|
| VDE 0126-20-1 | DIN EN 62124 |
| VDE 0126-23 | DIN EN 62446 |
| VDE 0126-34-1 | DIN VDE 61853-1 |
| VDE 0126-52 | DIN IEC/TS 62257-1 |
| VDE 0126-60 | DIN IEC/TS 62727 |
| VDE 0126-300 | DIN EN 62852 |
| VDE 0128-1, -2 | DIN EN 50107-1, -2 |
| VDE 0129-507 | DIN EN 60092-507 |
| VDE 0140-1 | DIN EN 61140 |
| VDE V 0140-479-1 | DIN IEC/TS 60479-1 |
| VDE 0147-101 | DIN EN 50176 |
| VDE 0147-102 | DIN EN 50177 |
| VDE 0147-103 | DIN EN 50223 |
| VDE 0147-200 | DIN EN 50348 |
| VDE 0150 | DIN EN 50162 |
| VDE 0160 | DIN EN 50178 |
| VDE 0160-101 | DIN EN 61800-1 |
| VDE 0161-100 | DIN EN 61822 |
| VDE 0161-103 | DIN EN 61821 |
| VDE 0161-104 | DIN EN 61823 |
| VDE V 0161-230 | DIN V ENV 50230 |
| VDE V 0161-234 | DIN V ENV 50234 |
| VDE V 0161-235 | DIN V ENV 50235 |
| VDE 0165-1 | DIN EN 60079-14 |
| VDE 0165-10-1 | DIN EN 60079-17 |
| VDE 0165-20-1 | DIN EN 60079-19 |
| VDE 0165-101, -102 | DIN EN 60079-10-1, -2 |
| VDE 0170-1, -2 | DIN EN 60079-0, -6 |
| VDE 0170-3, -4 | DIN EN 60079-2, -5 |
| VDE 0170-5, -6, -7, -9 | DIN EN 60079-1, -7, -11, -18 |
| VDE 0170-10-1 | DIN EN 60079-25 |
| VDE 0170-12-1 | DIN EN 60079-26 |

| VDE-Klassifikation | Deutsche Norm |
|---|---|
| VDE 0170-15-1 | DIN EN 60079-31 |
| VDE 0170-16 | DIN EN 60079-15 |
| VDE 0170-18 | DIN EN 50495 |
| VDE 0170-20-1 | DIN EN 60079-20-1 |
| VDE 0170-28 | DIN EN 60079-28 |
| VDE 0170-60-1, -2 | DIN EN 60079-30-1, -2 |
| VDE 0170-313 | DIN EN 60079-13 |
| VDE 0170/0171-10-2 | DIN EN 50394-1 |
| VDE 0170/0171-12-2 | DIN EN 50303 |
| VDE 0170/0171-15-2-1 | DIN EN 50281-2-1 |
| VDE 0170/0171-15-2-2 | DIN EN 61241-2-2 |
| VDE 0170/0171-17 | DIN EN 50381 |
| VDE 0175-1 | DIN EN 60038 |
| VDE 0175-2 | DIN EN 60059 |
| VDE 0175-3 | DIN EN 60196 |
| VDE 0185-305-1 bis -4 | DIN EN 62305-1 bis -4 |
| VDE 0185-561-1 bis -561-7 | DIN EN 62561-1 bis -7 |
| VDE 0196 | DIN EN 60447 |
| VDE 0197 | DIN EN 60445 |
| VDE 0199 | DIN EN 60073 |
| VDE 0298-565-1, -2 | DIN EN 50565-1, -2 |
| VDE 0299-2 | DIN EN 60719 |
| VDE 0300-1, -4-2 | DIN IEC/TR 61340-1, -4-2 |
| VDE 0300-2-1 bis -5-3 | DIN EN 61340-2-1 bis -5-3 |
| Reihe VDE 0318 | Reihe DIN EN 60893 |
| VDE 0400-1 u. -2 | DIN EN 60079-29-1 u. -2 |
| VDE 0400-21 | DIN EN 50271 |
| VDE 0400-30-1 | DIN EN 50194-1 |
| VDE 0400-40 | DIN EN 60079-29-4 |
| VDE 0403-10 | DIN EN 50249 |

| VDE-Klassifikation | Deutsche Norm |
|---|---|
| VDE 0413-1 bis -16 | DIN EN 61557-1 bis -16 |
| VDE 0418-0-1 bis -3 | DIN EN 50470-1 bis -3 |
| VDE 0418-2-11 | DIN EN 62052-11 |
| VDE 0418-3-11, -21 bis -24, -52 | DIN EN 62053-11, -21 bis -24, -52 |
| VDE 0419-4-21 | DIN EN 62054-21 |
| VDE 0420-4-11 | DIN EN 62054-11 |
| VDE 0470-1 | DIN EN 60529 |
| VDE 0470-2 | DIN EN 61032 |
| VDE 0470-100 | DIN EN 50102 |
| Reihe VDE 0471 | Reihe DIN EN 60695 |
| Reihe VDE 0482-332 | Reihe DIN EN 60332-3 |
| VDE 0482-362 | DIN EN 50362 |
| VDE 0482-575 | DIN EN 50575 |
| VDE 0509-4 | DIN EN 60086-4 |
| VDE 0510-1, -2 | DIN EN 50272-1, -2 |
| Reihe VDE 0530 | Reihe DIN EN 60034 |
| Reihe VDE 0532-76 | Reihe DIN EN 60076 |
| VDE 0532-221 | DIN EN 50464-1 |
| Reihe VDE 0532-222 | Reihe DIN EN 50464-2 |
| VDE 0557-1 u. -7 | DIN EN 61204 u. -7 |
| VDE 0558-11 | DIN EN 60146-1-1 |
| VDE 0558-508 | DIN EN 50171 |
| VDE 0558-510 | DIN EN 62040-1 |
| VDE 0560-61 | DIN EN 61048 |
| VDE 0570-1 bis -2-23 u. -26 | DIN EN 61558-1 bis -2-23 u. -26 |
| VDE 0604-1 | DIN EN 50085-1 |
| VDE 0604-2-1 bis -4 | DIN EN 50085-2-1 bis -4 |
| VDE 0604-100, -121, -122 | DIN EN 61534-1, -21, -22 |
| VDE 0604-201 | DIN EN 62275 |

| VDE-Klassifikation | Deutsche Norm |
|---|---|
| VDE 0604-202 | DIN EN 61914 |
| VDE 0605-1 | DIN EN 61386-1 |
| VDE 0605-21 bis -25 | DIN EN 61386-21 bis -25 |
| VDE 0605-100 | DIN EN 50369 |
| VDE 0605-500 | DIN EN 50520 |
| VDE 0606-1, -21 bis -24 | DIN EN 60670-1, -21 bis -24 |
| VDE 0606-200 | DIN EN 61535 |
| VDE 0609-1, -101 | DIN EN 60999-1, -2 |
| VDE 0611-1, -3 u. -6 | DIN EN 60947-7-1, -2 u. -3 |
| VDE 0613-1 | DIN EN 60998-1 |
| VDE 0613-2-1 bis -4 | DIN EN 60998-2-1 bis -4 |
| VDE 0613-6 | DIN EN 61210 |
| VDE 0619 | DIN EN 62444 |
| VDE 0620-300 | DIN EN 61242 |
| VDE 0620-400-1 | DIN EN 61995-1 |
| VDE 0623-1, -2 u. -3 | DIN EN 60309-1, -2 u. -4 |
| VDE 0623-4 | DIN EN 50250 |
| VDE 0623-5-1 | DIN EN 62196-1 |
| VDE 0623-100 | DIN EN 61316 |
| VDE 0625-1 | DIN EN 60320-1 |
| VDE 0625-2-1 bis -4 | DIN EN 60320-2-1 bis -4 |
| VDE 0626 | DIN EN 60799 |
| VDE 0627 | DIN EN 61984 |
| VDE 0631-2-2, -2-10 | DIN EN 60730-2-2, -2-10 |
| VDE 0632-1, -2-1 | DIN EN 60669-1, -2-1 |
| VDE 0632-400 | DIN EN 50428 |
| VDE 0636-1, -4, -6 | DIN EN 60269-1, -4, -6 |
| VDE 0636-5 | DIN CLC/TR 60269-5 |

| VDE-Klassifikation | Deutsche Norm |
|---|---|
| VDE 0639 | DIN EN 61537 |
| VDE 0640 | DIN EN 62019 |
| VDE 0640-10 | DIN EN 50550 |
| VDE 0640-20 | DIN EN 50557 |
| VDE 0641-11, -12 | DIN EN 60898-1, -2 |
| VDE 0642 | DIN EN 60934 |
| VDE 0660-100, -101 | DIN EN 60947-1, -2 |
| VDE 0660-102 | DIN EN 60947-4-1 |
| VDE 0660-107 | DIN EN 60947-3 |
| VDE 0660-109 | DIN EN 60947-4-3 |
| VDE 0660-500 | DIN EN 60439-1 |
| VDE 0660-511 | DIN EN 62208 |
| VDE 0660-514 | DIN EN 50274 |
| Reihe VDE 0660-600 | Reihe DIN EN 61439 |
| VDE 0663 | DIN EN 62020 |
| VDE 0664-10, -11 | DIN EN 61008-1, -2-1 |
| VDE 0664-20, -21 | DIN EN 61009-1, -2-1 |
| VDE 0664-30 | DIN EN 61543 |
| VDE 0664-40 | DIN EN 62423 |
| VDE 0675-1, -4, -5 | DIN EN 60099-1, -4, -5 |
| VDE 0675-6-11 | DIN EN 61643-11 |
| VDE V 0675-6-12 | DIN CLC/TS 61643-12 |
| VDE V 0675-39-12 | DIN CLC/TS 50539-12 |
| VDE 0682-130 | DIN EN 61477 |
| VDE 0682-201 | DIN EN 60900 |
| VDE 0682-211 | DIN EN 60832-1 |
| VDE 0682-301 | DIN EN 50286 |
| VDE 0682-311 | DIN EN 60903 |
| VDE 0682-312 | DIN EN 60984 |
| VDE 0682-321 | DIN EN 50365 |
| VDE 0682-331 | DIN EN 50321 |
| VDE 0682-401 | DIN EN 61243-3 |

| VDE-Klassifikation | Deutsche Norm |
|---|---|
| VDE 0682-411, -412, -415 | DIN EN 61243-1, -2, -5 |
| VDE 0682-511 | DIN EN 61112 |
| VDE 0682-512 | DIN EN 61111 |
| VDE 0682-551 | DIN EN 61229 |
| VDE 0682-652 | DIN EN 62192 |
| VDE 0682-711 | DIN EN 61478 |
| VDE 0682-712 | DIN EN 50528 |
| VDE 0683-100 | DIN EN 61230 |
| VDE 0683-200 | DIN EN 61219 |
| VDE 0686 | DIN EN 60335-2-86 |
| VDE 0700-70, -71 u. -76 | DIN EN 60335-2-70, -71 u. -76 |
| VDE 0711-1 | DIN EN 60598-1 |
| Reihe VDE 0711-2 | Reihe DIN EN 60598-2 |
| VDE 0711-300 | DIN EN 60570 |
| VDE 0711-400 | DIN EN 62034 |
| VDE 0712-13 | DIN EN 60923 |
| VDE 0712-15 | DIN EN 60927 |
| VDE 0712-25 | DIN EN 61047 |
| VDE 0712-30 | DIN EN 61347-1 |
| VDE 0712-31 bis -43 | DIN EN 61347-2-1 bis -13 |
| VDE 0712-101 | DIN EN 60155 |
| VDE 0713-6 | DIN EN 61050 |
| VDE 0715-6 | DIN EN 60968 |
| VDE 0715-12 | DIN EN 61549 |
| VDE 0740-1 bis -2-23 | DIN EN 60745-1 bis -2-23 |

| VDE-Klassifikation | Deutsche Norm |
|---|---|
| VDE 0740-500 bis -512 | DIN EN 61029-1 bis -2-12 |
| VDE 0750-1 bis -2-66 | DIN EN 60601-1 bis -2-66 |
| VDE 0800-2-310 | DIN EN 50310 |
| VDE 0800-174-2 | DIN EN 50174-2 |
| VDE 0803-1 bis -7 | DIN EN 61508-1 bis -7 |
| VDE 0804-100 | DIN EN 41003 |
| VDE 0805-1 | DIN EN 60950-1 |
| VDE 0810-1 | DIN EN 61511-1 |
| VDE 0815-1 bis -4 | DIN EN 50441-1 bis -4 |
| Reihe VDE 0820 | Reihe DIN EN 60127 |
| VDE 0828-1 | DIN EN 60849 |
| VDE 0829-9-1 | DIN EN 50090-9-1 |
| VDE 0830-1-4 | DIN EN 50130-4 |
| VDE 0830-4-1, -2, -3, -5 | DIN EN 50134-1, -2, -3, -5 |
| VDE V 0830-4-7 | DIN CLC/TS 50134-7 |
| Reihe VDE 0830-5 | Reihe DIN EN 50136 |
| VDE V 0830-5-4 | DIN CLC/TS 50136-4 |
| VDE 0830-5-6-1 u. -2 | DIN EN 50518-1 u. -2 |
| VDE V 0830-5-7 | DIN CLC/TS 50136-7 |
| VDE V 0830-6-398 | DIN CLC/TS 50398 |
| VDE 0838-2, -3, -11, -12 | DIN EN 61000-3-2, -3, -11, -12 |
| VDE 0839-6-2 | DIN EN 61000-6-2 |
| VDE 0855-1 | DIN EN 60728-11 |
| VDE 0875-15-1 | DIN EN 55015 |
| VDE 0875-15-2 | DIN EN 61547 |

| Deutsche Norm | VDE-Klassifikation |
|---|---|
| DIN EN 1175-1 | VDE 0117-1 |
| DIN 31000 | VDE 1000 |
| DIN EN 31010 | VDE 0050-1 |
| DIN EN 41003 | VDE 0804-100 |
| DIN EN 50085-1 | VDE 0604-1 |
| DIN EN 50085-2-1 bis -4 | VDE 0604-2-1 bis -4 |
| DIN EN 50090-9-1 | VDE 0829-9-1 |
| DIN EN 50102 | VDE 0470-100 |
| DIN EN 50107-1, -2 | VDE 0128-1, -2 |
| DIN EN 50110-1, -2 | VDE 0105-1, -2 |
| DIN EN 50130-4 | VDE 0830-1-4 |
| DIN EN 50134-1, -2, -3, -5 | VDE 0830-4-1, -2, -3, -5 |
| DIN CLC/TS 50134-7 | VDE V 0830-4-7 |
| Reihe DIN EN 50136 | Reihe VDE 0830-5 |
| DIN CLC/TS 50136-4 | VDE V 0830-5-4 |
| DIN CLC/TS 50136-7 | VDE V 0830-5-7 |
| DIN EN 50156-1 | VDE 0116-1 |
| DIN EN 50162 | VDE 0150 |
| DIN EN 50171 | VDE 0558-508 |
| DIN EN 50172 | VDE 0108-100 |
| DIN EN 50174-2 | VDE 0800-174-2 |
| DIN EN 50176 | VDE 0147-101 |
| DIN EN 50177 | VDE 0147-102 |
| DIN EN 50178 | VDE 0160 |
| DIN EN 50191 | VDE 0104 |
| DIN EN 50194-1 | VDE 0400-30-1 |
| DIN EN 50223 | VDE 0147-103 |
| DIN V ENV 50230 | VDE V 0161-230 |
| DIN V ENV 50234 | VDE V 0161-234 |
| DIN V ENV 50235 | VDE V 0161-235 |
| DIN EN 50249 | VDE 0403-10 |
| DIN EN 50250 | VDE 0623-4 |
| DIN EN 50271 | VDE 0400-21 |

| Deutsche Norm | VDE-Klassifikation |
|---|---|
| DIN EN 50272-1, -2 | VDE 0510-1, -2 |
| DIN EN 50274 | VDE 0660-514 |
| DIN EN 50281-2-1 | VDE 0170/0171-15-2-1 |
| DIN EN 50286 | VDE 0682-301 |
| DIN EN 50303 | VDE 0170/0171-12-2 |
| DIN EN 50310 | VDE 0800-2-310 |
| DIN EN 50321 | VDE 0682-331 |
| DIN EN 50348 | VDE 0147-200 |
| DIN EN 50362 | VDE 0482-362 |
| DIN EN 50365 | VDE 0682-321 |
| DIN EN 50369 | VDE 0605-100 |
| DIN EN 50381 | VDE 0170/0171-17 |
| DIN EN 50394-1 | VDE 0170/0171-10-2 |
| DIN CLC/TS 50398 | VDE V 0830-6-398 |
| DIN EN 50419 | VDE 0042-10 |
| DIN EN 50428 | VDE 0632-400 |
| DIN EN 50441-1 bis -4 | VDE 0815-1 bis -4 |
| DIN EN 50461 | VDE 0126-17-1 |
| DIN EN 50464-1 | VDE 0532-221 |
| Reihe DIN EN 50464-2 | Reihe VDE 0532-222 |
| DIN EN 50470-1 bis -3 | VDE 0418-0-1 bis -3 |
| DIN EN 50495 | VDE 0170-18 |
| DIN EN 50513 | VDE 0126-18 |
| DIN EN 50518-1 u. -2 | VDE 0830-5-6-1 u. -2 |
| DIN EN 50520 | VDE 0605-500 |
| DIN EN 50521 | VDE 0126-3 |
| DIN EN 50524 | VDE 0126-13 |
| DIN EN 50528 | VDE 0682-712 |
| DIN EN 50530 | VDE 0126-12 |
| DIN CLC/TS 50539-12 | VDE V 0675-39-12 |
| DIN EN 50548 | VDE 0126-5 |
| DIN EN 50550 | VDE 0640-10 |
| DIN EN 50557 | VDE 0640-20 |
| DIN EN 50565-1, -2 | VDE 0298-565-1, -2 |

| Deutsche Norm | VDE-Klassifikation |
|---|---|
| DIN EN 50575 | VDE 0482-575 |
| DIN EN 55015 | VDE 0875-15-1 |
| Reihe DIN EN 60034 | Reihe VDE 0530 |
| DIN EN 60038 | VDE 0175-1 |
| DIN EN 60059 | VDE 0175-2 |
| DIN EN 60071 | VDE 0111 |
| DIN EN 60073 | VDE 0199 |
| Reihe DIN EN 60076 | Reihe VDE 0532-76 |
| DIN EN 60079-0, -1 | VDE 0170-1, -5 |
| DIN EN 60079-6, -7, -11, -18 | VDE 0170-2, -6, -7, -9 |
| DIN EN 60079-10-1, -2 | VDE 0165-101, -102 |
| DIN EN 60079-13 | VDE 0170-313 |
| DIN EN 60079-14 | VDE 0165-1 |
| DIN EN 60079-15 | VDE 0170-16 |
| DIN EN 60079-17 | VDE 0165-10-1 |
| DIN EN 60079-19 | VDE 0165-20-1 |
| DIN EN 60079-2, -5 | VDE 0170-3, -4 |
| DIN EN 60079-20-1 | VDE 0170-20-1 |
| DIN EN 60079-25 | VDE 0170-10-1 |
| DIN EN 60079-26 | VDE 0170-12-1 |
| DIN EN 60079-28 | VDE 0170-28 |
| DIN EN 60079-29-1 u. -2 | VDE 0400-1 u. -2 |
| DIN EN 60079-29-4 | VDE 0400-40 |
| DIN EN 60079-30-1, -2 | VDE 0170-60-1, -2 |
| DIN EN 60079-31 | VDE 0170-15-1 |
| DIN EN 60086-4 | VDE 0509-4 |
| DIN EN 60092-507 | VDE 0129-507 |
| DIN EN 60099-1, -4, -5 | VDE 0675-1, -4, -5 |
| Reihe DIN EN 60127 | Reihe VDE 0820 |
| DIN EN 60146-1-1 | VDE 0558-11 |
| DIN EN 60155 | VDE 0712-101 |
| DIN EN 60196 | VDE 0175-3 |
| DIN EN 60204-1 | VDE 0113-1 |

| Deutsche Norm | VDE-Klassifikation |
|---|---|
| DIN EN 60269-1, -4, -6 | VDE 0636-1, -4, -6 |
| DIN CLC/TR 60269-5 | VDE 0636-5 |
| DIN EN 60309-1, -2 u. -4 | VDE 0623-1, -2 u. -3 |
| DIN EN 60320-1 | VDE 0625-1 |
| DIN EN 60320-2-1 bis -4 | VDE 0625-2-1 bis -4 |
| Reihe DIN EN 60332-3 | Reihe VDE 0482-332 |
| DIN EN 60335-2-70, -71 u. -76 | VDE 0700-70, -71 u. -76 |
| DIN EN 60335-2-86 | VDE 0686 |
| DIN EN 60439-1 | VDE 0660-500 |
| DIN EN 60445 | VDE 0197 |
| DIN EN 60447 | VDE 0196 |
| DIN IEC/TS 60479-1 | VDE V 0140-479-1 |
| DIN EN 60947-7-1, -2 u. -3 | VDE 0611-1, -3 u. -6 |
| DIN EN 60529 | VDE 0470-1 |
| DIN EN 60570 | VDE 0711-300 |
| DIN EN 60598-1 | VDE 0711-1 |
| Reihe DIN EN 60598-2 | Reihe VDE 0711-2 |
| DIN EN 60601-1 bis -2-66 | VDE 0750-1 bis -2-66 |
| DIN EN 60664-*N* | VDE 0110-*N* |
| DIN EN 60669-1, -2-1 | VDE 0632-1, -2-1 |
| DIN EN 60670-1, -21 bis -24 | VDE 0606-1, -21 bis -24 |
| Reihe DIN EN 60695 | Reihe VDE 0471 |
| DIN EN 60719 | VDE 0299-2 |
| DIN EN 60728-11 | VDE 0855-1 |
| DIN EN 60730-2-2, -2-10 | VDE 0631-2-2, -2-10 |
| DIN EN 60745-1 bis -2-23 | VDE 0740-1 bis -2-23 |
| DIN EN 60799 | VDE 0626 |
| DIN EN 60832-1 | VDE 0682-211 |

| Deutsche Norm | VDE-Klassifikation |
|---|---|
| DIN EN 60849 | VDE 0828-1 |
| DIN EN 60865-1 | VDE 0103 |
| DIN EN 60891 | VDE 0126-6 |
| Reihe DIN EN 60893 | Reihe VDE 0318 |
| DIN EN 60898-1, -2 | VDE 0641-11, -12 |
| DIN EN 60900 | VDE 0682-201 |
| DIN EN 60903 | VDE 0682-311 |
| DIN EN 60904-1 bis -10 | VDE 0126-4-1 bis -10 |
| DIN EN 60909-0 | VDE 0102 |
| DIN EN 60923 | VDE 0712-13 |
| DIN EN 60927 | VDE 0712-15 |
| DIN EN 60934 | VDE 0642 |
| DIN EN 60947-1, -2 | VDE 0660-100, -101 |
| DIN EN 60947-3 | VDE 0660-107 |
| DIN EN 60947-4-1 | VDE 0660-102 |
| DIN EN 60947-4-3 | VDE 0660-109 |
| DIN EN 60950-1 | VDE 0805-1 |
| DIN EN 60968 | VDE 0715-6 |
| DIN EN 60984 | VDE 0682-312 |
| DIN EN 60990 | VDE 0106-102 |
| DIN EN 60998-1 | VDE 0613-1 |
| DIN EN 60998-2-1 bis -4 | VDE 0613-2-1 bis -4 |
| DIN EN 60999-1, -2 | VDE 0609-1, -101 |
| DIN EN 61000-3-2, -3, -11, -12 | VDE 0838-2, -3, -11, -12 |
| DIN EN 61000-6-2 | VDE 0839-6-2 |
| DIN EN 61008-1, -2-1 | VDE 0664-10, -11 |
| DIN EN 61009-1, -2-1 | VDE 0664-20, -21 |
| DIN EN 61029-1 bis -2-12 | VDE 0740-500 bis -512 |
| DIN EN 61032 | VDE 0470-2 |
| DIN EN 61047 | VDE 0712-25 |
| DIN EN 61048 | VDE 0560-61 |

| Deutsche Norm | VDE-Klassifikation |
|---|---|
| DIN EN 61050 | VDE 0713-6 |
| DIN EN 61082-1 | VDE 0040-1 |
| DIN EN 61111 | VDE 0682-512 |
| DIN EN 61112 | VDE 0682-511 |
| DIN EN 61140 | VDE 0140-1 |
| DIN EN 61204 u. -7 | VDE 0557-1 u. -7 |
| DIN EN 61210 | VDE 0613-6 |
| DIN EN 61219 | VDE 0683-200 |
| DIN EN 61229 | VDE 0682-551 |
| DIN EN 61230 | VDE 0683-100 |
| DIN EN 61241-2-2 | VDE 0170/0171-15-2-2 |
| DIN EN 61242 | VDE 0620-300 |
| DIN EN 61243-1, -2, | VDE 0682-411, -412, |
| DIN EN 61243-3, -5 | VDE 0682-401, -415 |
| DIN EN 61310-1 | VDE 0113-101 |
| DIN EN 61316 | VDE 0623-100 |
| DIN EN 61340-1, -4-2 | VDE 0300-1, -4-2 |
| DIN EN 61340-2-1 bis -5-3 | VDE 0300-2-1 bis -5-3 |
| DIN EN 61347-1 | VDE 0712-30 |
| DIN EN 61347-2-1 bis -13 | VDE 0712-31 bis -43 |
| DIN EN 61355-1 | VDE 0040-3 |
| DIN EN 61386-1 | VDE 0605-1 |
| DIN EN 61386-21 bis -25 | VDE 0605-21 bis -25 |
| Reihe DIN EN 61439 | Reihe VDE 0660-600 |
| DIN EN 61477 | VDE 0682-130 |
| DIN EN 61478 | VDE 0682-711 |
| DIN EN 61496-1, -2 | VDE 0113-201, -202 |
| DIN CLC/TS 61496-3 | VDE 0113-203 |
| DIN EN 61508-1 bis -7 | VDE 0803-1 bis -7 |
| DIN EN 61511-1 | VDE 0810-1 |
| DIN EN 61534-1, -21, -22 | VDE 0604-100, -121, -122 |

| Deutsche Norm | VDE-Klassifikation |
|---|---|
| DIN EN 61535 | VDE 0606-200 |
| DIN EN 61537 | VDE 0639 |
| DIN EN 61543 | VDE 0664-30 |
| DIN EN 61547 | VDE 0875-15-2 |
| DIN EN 61549 | VDE 0715-12 |
| DIN EN 61557-1 bis -16 | VDE 0413-1 bis -16 |
| DIN EN 61558-1 bis -2-23 u. -26 | VDE 0570-1 bis -2-23 u. -26 |
| DIN EN 61643-11 | VDE 0675-6-11 |
| DIN CLC/TS 61643-12 | VDE V 0675-6-12 |
| DIN EN 61660-1 | VDE 0102-10 |
| DIN EN 61660-2 | VDE 0103-10 |
| DIN EN 61666 | VDE 0040-5 |
| DIN EN 61701 | VDE 0126-8 |
| DIN EN 61800-1 | VDE 0160-101 |
| DIN EN 61821 | VDE 0161-103 |
| DIN EN 61822 | VDE 0161-100 |
| DIN EN 61823 | VDE 0161-104 |
| DIN CLC/TS 61836 | VDE 0126-7 |
| DIN EN 61851-1 | VDE 0122-1 |
| DIN EN 61851-21, -22, -23, -24 | VDE 0122-2-1, -2, -3, -4 |
| DIN VDE 61853-1 | VDE 0126-34-1 |
| DIN EN 61914 | VDE 0604-202 |
| DIN EN 61984 | VDE 0627 |
| DIN EN 61995-1 | VDE 0620-400-1 |
| DIN EN 62019 | VDE 0640 |
| DIN EN 62020 | VDE 0663 |
| DIN EN 62023 | VDE 0040-6 |
| DIN EN 62027 | VDE 0040-7 |
| DIN EN 62034 | VDE 0711-400 |

| Deutsche Norm | VDE-Klassifikation |
|---|---|
| DIN EN 62040-1 | VDE 0558-510 |
| DIN CLC/TS 62046 | VDE 0113-211 |
| DIN EN 62052-11 | VDE 0418-2-11 |
| DIN EN 62053-11, -21 bis -24, -52 | VDE 0418-3-11, -21 bis -24, -52 |
| DIN EN 62054-11 | VDE 0420-4-11 |
| DIN EN 62054-21 | VDE 0419-4-21 |
| DIN EN 62061 | VDE 0113-50 |
| DIN EN 62079 | VDE 0039 |
| DIN EN 62093 | VDE 0126-20 |
| DIN EN 62109-1, -2 | VDE 0126-14-1, -2 |
| DIN EN 62116 | VDE 0126-2 |
| DIN EN 62124 | VDE 0126-20-1 |
| DIN EN 62192 | VDE 0682-652 |
| DIN EN 62196-1 | VDE 0623-5-1 |
| DIN EN 62208 | VDE 0660-511 |
| DIN IEC/TS 62257-1 | VDE 0126-52 |
| DIN EN 62275 | VDE 0604-201 |
| DIN EN 62305-1 bis -4 | VDE 0185-305-1 bis -4 |
| DIN EN 62321 | VDE 0042-1 |
| DIN EN 62423 | VDE 0664-40 |
| DIN EN 62430 | VDE 0042-2 |
| DIN EN 62444 | VDE 0619 |
| DIN EN 62446 | VDE 0126-23 |
| DIN EN 62474 | VDE 0042-4 |
| DIN EN 62491 | VDE 0040-4 |
| DIN EN 62561-1 bis -7 | VDE 0185-56-1- bis -561-7 |
| DIN IEC/TS 62727 | VDE 0126-60 |
| DIN EN 62744 | VDE 0040-9 |
| DIN EN 62852 | VDE 0126-300 |
| DIN EN 82079-1 | VDE 0039-1 |

## A1.3 DIN-Normen

Hinweis: Die Titel sind gegenüber dem Originaltitel teilweise gekürzt.

| Norm und Ausgabedatum | Titel |
|---|---|
| DIN 4102-1:1998-05 | Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – *Baustoffe*; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen |
| DIN 4102-2:1977-09 | Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; *Bauteile*, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen |
| DIN 4102-9:1990-05 | Brandverhalten von ... Kabelabschottungen |
| DIN 4102-12:1998-11 | Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Funktionserhalt von elektrischen Kabelanlagen |
| DIN 4844-2:2012-12 | Graphische Symbole – Sicherheitsfarben und Sicherheitskennzeichen – Registrierte Sicherheitszeichen |
| DIN 5035-3:2006-07 | Beleuchtung im Gesundheitswesen |
| DIN 5035-6:2006-11 | Beleuchtung mit künstlichem Licht – Messung und Bewertung |
| DIN 5035-7:2004-08 | Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen |
| DIN 6280-13:1994-12 (ISO 8528-12:1997-09) | Stromerzeugungsaggregate mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren für Sicherheitsstromversorgung in Krankenhäusern und in baulichen Anlagen für Menschenansammlungen |
| DIN 6280-14:1997-08 | Stromerzeugungsaggregate mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren – Teil 14: Blockheizkraftwerke (BHKW) mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren; Grundlagen, Anforderungen, Komponenten, Ausführung und Wartung |
| DIN 18012:2008-05 | Haus-Anschlusseinrichtungen – Allgemeine Planungsgrundlagen |
| DIN 18013:2010-11 | Nischen für Zählerplätze (Zählerschränke) für Elektrizitätszähler |
| DIN 18014:2014-03 | Fundamenterder – Planung, Ausführung und Dokumentation |
| DIN 18015-1:2007-09 | Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Planungsgrundlagen |
| DIN 18015-2:2010-11 | Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Art und Umfang der Mindestausstattung |
| DIN 18015-3:2007-09 + Berichtigung 1:2008-01 | Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Leitungsführung und Anordnung der Betriebsmittel |
| DIN 18015-4:2014-05 | Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Gebäudesystemtechnik |
| DIN 18015-5:2015-07 | Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Luftdichte und wärmebrückenfreie Elektroinstallation |
| DIN 43871:1992-11 | Installationskleinverteiler für Einbaugeräte bis 63 A |
| DIN 49400:1999-06 | Elektrisches Installationsmaterial – Haushalt- und Kragensteckvorrichtungen – Übersicht |

| Norm und Ausgabedatum | Titel |
|---|---|
| DIN EN 1838:2013-10 | Notbeleuchtung |
| DIN EN ISO 12100:2011-03 | Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung |
| DIN EN ISO 7010:2012-10 | Registrierte Sicherheitszeichen |
| DIN EN 12464-1:2011-08 | Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen |
| DIN EN 12665:2011-09 | Licht und Beleuchtung – Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung (Ersatz für DIN 5035-1) |
| DIN EN 50160:2011-02 | Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen |
| DIN EN 81346-2:2010-05 | Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen … – Klassifizierung von Objekten und Kennbuchstaben von Klassen |

## A1.4 Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS)

| Technische Regel | Titel |
|---|---|
| TRBS 1001 | Struktur und Anwendung der Technischen Regeln für Betriebssicherheit |
| TRBS 1111 | Gefährdungsbeurteilung und sicherheitstechnische Bewertung |
| TRBS 1112 | Instandhaltung |
| TRBS 1112 Teil 1 | Explosionsgefährdungen bei und durch Instandhaltungsarbeiten – Beurteilung und Schutzmaßnahmen |
| TRBS 1122 | Änderungen und wesentliche Veränderungen von Anlagen nach § 1 Abs. 2 Satz 1 Nr. 4 BetrSichV – Ermittlung der Prüf- und Erlaubnispflicht |
| TRBS 1123 | Änderungen und wesentliche Veränderungen von Anlagen nach § 1 Abs. 2 Satz 1 Nr. 3 BetrSichV – Ermittlung der Prüfnotwendigkeit gemäß § 14 Abs. 1 und 2 BetrSichV |
| TRBS 1201 | Prüfungen von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen |
| TRBS 1201 Teil 1 | Prüfung von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen und Überprüfung von Arbeitsplätzen in explosionsgefährdeten Bereichen |
| TRBS 1203 | Befähigte Personen |
| TRBS 2111 | Mechanische Gefährdungen – Allgemeine Anforderungen |
| TRBS 2121 | Gefährdungen von Personen durch Absturz (mit Teilen 1 bis 4) |
| TRBS 2131 | *wurde aufgehoben* (s. Abschn. 1.2.5.4) |
| TRBS 2152 | Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Allgemeines (= Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 720) |
| TRBS 2152 Teil 1 | Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Beurteilung der Explosionsgefährdung (= Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 721) |
| TRBS 2152 Teil 2 | Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre (= Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 722) |
| TRBS 2152 Teil 3 | Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre |
| TRBS 2153 | Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen |

## A1.5 DGUV-Vorschriften- und Regelwerk

(s. Abschn. 1.2.4)

Nach der im Mai 2014 in Kraft getretenen Neuordnung und Umbenennung des Vorschriften- und Regelwerks der **D**eutschen **G**esetzlichen **U**nfallversicherung (DGUV) gibt es – wie es die DGUV nennt – einige grundlegende Veränderungen der Bezeichnungen, Nummerierungen und der inhaltlichen Zuordnung. Bei der für das Gebiet der elektrischen Anlagen wichtigsten Vorschrift, der Unfallverhütungsvorschrift „Elektrische Anlagen und Betriebsmittel", hat sich demnach nur die Nummerierung geändert. Inhaltlich (Aufbau, Text, Durchführungsanweisungen) wurde bisher nichts geändert. Die DGUV verwendet in einer Erläuterung den Begriff *Unfallverhütungsvorschrift* nicht mehr – es heißt jetzt *DGUV Vorschrift* –, allerdings wird in anderen Veröffentlichungen nach wie vor von *Unfallverhütungsvorschrift* gesprochen, zumal, wie schon gesagt, sich außer der Nummerierung der jeweiligen Schrift nichts geändert hat und die bestehenden Vorschriften auch noch den Titel *Unfallverhütungsvorschrift* tragen. Die Neuordnung und Umbenennung gilt sowohl für die Schriften der gewerblichen Berufsgenossenschaften als auch für die der öffentlichen Unfallversicherungsträger. Von der Umbenennung nicht betroffen sind die Schriften der landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen und gartenbaulichen Berufsgenossenschaften (Vorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz (VSG + Nr.).

Die Publikationen der DGUV werden mit der Neuordnung und Umbenennung in vier Kategorien unterteilt:

- *DGUV Vorschriften*,
  bisher: UVV BGV/GUV-V, früher: VBG/GUV,
- *DGUV Regeln*,
  bisher: berufsgenossenschaftliche Regeln BGR/GUV-R, früher: ZH 1/GUV,
- *DGUV Informationen*,
  bisher: berufsgenossenschaftliche Informationen BGI/GUV-I, früher: ZH 1/GUV und
- *DGUV Grundsätze*,
  bisher: BGG/GUV-G.

Da die unterschiedlichen Schriften mit früheren Bezeichnungen und Nummerierungen noch im Umlauf oder im Gebrauch sind oder in älteren Unterlagen und früheren Veröffentlichungen noch genannt werden, werden diese hier noch mal aufgeführt und frühere bzw. alte Bezeichnungen in Klammern angegeben.

| Bezeichnung | Titel |
|---|---|
| DGUV Vorschrift 1<br>(bisher: BGV A1) (früher: VBG 1)<br>(bisher: GUV-V A1) (früher: GUV 0.1),<br>VSG 1.1 | Grundsätze der Prävention<br><br>UVV (VSG 1.1)<br>Allgemeine Vorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz |
| DGUV Vorschrift 3<br>(bisher: BGV A3) (früher: VBG 4),<br>DGUV Vorschrift 4<br>(bisher: GUV-V A3) (früher: GUV 2.10),<br>VSG 1.4 | Elektrische Anlagen und Betriebsmittel |
| DGUV Vorschrift 75<br>(bisher: BGV D32) (früher: VBG 89)<br>(bisher: GUV-D32) (früher: GUV 2.11) | Arbeiten an Masten, Freileitungen und Oberleitungsanlagen |
| DGUV Regel 103-011<br>(bisher: BGR A3) | Arbeiten unter Spannung an elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln |
| DGUV Regel 113-001<br>(bisher: BGR 104) (früher: ZH 1/10)<br>(bisher: GUV-R 104) (früher: GUV 19.8) | Explosionsschutz-Regeln (EX-RL) |
| DGUV Information 203-001<br>(bisher: BGI 519) (früher: ZH 1/11) | Sicherheit bei Arbeiten an elektrischen Anlagen |
| DGUV Information 203-004<br>(bisher: BGI 594) (früher: ZH 1/228) | Einsatz von elektrischen Betriebsmitteln bei erhöhter elektrischer Gefährdung |
| DGUV Information 203-005<br>(bisher: BGI 600) (früher: ZH 1/249) | Auswahl und Betrieb ortsveränderlicher elektrischer Betriebsmittel nach Einsatzbereichen |
| DGUV Information 203-013<br>(bisher: BGI 755) (früher: ZH 1/50) | Sicherer Betrieb von Niederspannungs-Innenraumschaltanlagen ISA 2000 |
| DGUV Information 203-016<br>(bisher: BGI 758) (früher: ZH 1/122) | Kennzeichnung von Arbeitsbereichen in elektrischen Anlagen mit $U_N > 1$ kV |
| DGUV Information 213-060<br>(bisher: BGI 5127) | Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen (Diese DGUV Information erscheint als Merkblatt T033 der Reihe „Sichere Technik" der BG Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI). Das Merkblatt basiert auf der ehemaligen Regel BGR 132 bzw. GUV-R 132 (früher: ZH 1/200 bzw. GUV 19.7), die als TRBS 2153 übernommen worden ist (s. A1.4). Das Merkblatt T033 ist wortgleich mit der TRBS 2153, allerdings mit durchgehend farbigen Abbildungen.) |

## A1.6 Arbeitsblätter der Arbeitsgemeinschaft Industriebau

| Bezeichnung AGI. | Titel |
|---|---|
| J 11 | Elektrotechnische Anlagen: Transformatorenstände – Bautechnische Planungsgrundlagen zur Aufstellung von Öl- und Trockentransformatoren in Gebäuden |
| J 12 | Elektrotechnische Anlagen: Räume für Schaltanlagen bis 36 kV Nennspannung – Bautechnische Planungsgrundlagen |
| J 21-1 | Elektrotechnische Anlagen: Transformatorenstände – Bautechnische Planungsgrundlagen zur Aufstellung im Freien |
| J 21-2 | Elektrotechnische Anlagen: Transformatorenstände – Beispiele für Anordnung und Konstruktion im Freien |
| J 21-3 | Elektrotechnische Anlagen: Transformatorenstände – Wasserrechtliche Anforderungen; Anweisung zur Eigenüberwachung |
| J 31-1 | Elektrotechnische Anlagen: Bautechnische Ausführung von Räumen für Batterien – Batterieräume |
| J 31-2 | Elektrotechnische Anlagen: Bautechnische Ausführung von Räumen für nicht ortsfeste Batterien – Batterieladeräume, Batterieladestationen |
| J 31-3 | Elektrotechnische Anlagen: Bautechnische Ausführung von Räumen für Batterieladeanlagen für Elektrofahrzeuge – Einzelladeplätze |

Hinweis: Bis auf das Arbeitsblatt J 31-1 (... Batterieräume, aktueller Stand: Jan. 2014) sind die aufgeführten Arbeitsblätter nach Angaben des Verlags (s. A2) zurückgezogen worden und dürfen nur eigenverantwortlich genutzt werden (s. Abschn. 6.1.1).

## A1.7 VdS-Publikationen

(Hrsg. GDV)

| VdS ... | Titel |
|---|---|
| 2005 | Leuchten (Publ) |
| 2010 | Risikoorientierter Blitz- und Überspannungsschutz (Publ) |
| 2015 | Elektrische Geräte und Einrichtungen (MB) |
| 2017 | Blitz- und Überspannungsschutz für landwirtschaftliche Betriebe (unverbindliche RL) |
| 2019 | Überspannungsschutz in Wohngebäuden (unverbindliche RL) |
| 2023 | Elektrische Anlagen in baulichen Anlagen mit vorwiegend brennbaren Baustoffen (RL) |
| 2024 | Errichtung elektrischer Anlagen in Möbeln und ähnlichen Einrichtungsgegenständen (RL) |
| 2025 | Elektrische Leitungsanlagen (RL) |
| 2031 | Blitz- und Überspannungsschutz in elektrischen Anlagen (unverbindliche RL) |
| 2033 | Elektrische Anlagen in feuergefährdeten Betriebsstätten und diesen gleichzustellende Risiken (RL) |
| 2046 | Sicherheitsvorschriften für elektrische Anlagen bis 1 000 V (SV) |
| 2057 | Sicherheitsvorschriften für elektrische Anlagen in landwirtschaftlichen Betrieben und Intensivtierhaltungen (SV) |
| 2067 | Elektrische Anlagen in der Landwirtschaft (RL) |
| 2073 | Elektrowärmegeräte und -heizungen für Tieraufzucht sowie Tierhaltung (RL) |
| 2134 | Verbrennungswärme der Isolierstoffe von Kabeln und Leitungen, Merkblatt für die Berechnung von Brandlasten (MB) |
| 2259 | Batterieladeanlagen für Elektrofahrzeuge (RL) |
| 2279 | Elektrowärmegeräte und Elektroheizungsanlagen (RL) |
| 2349-1 | Auswahl von Schutzeinrichtungen für den Brandschutz in elektrischen Anlagen (Publ) |
| 2349-2 | EMV-gerechte Errichtung von Niederspannungsanlagen (Publ) |
| 2839 | Fernwirktechnik in der Elektroinstallation (RL) |
| 3145 | Photovoltaikanlagen (TL) |
| 3449 | Intensivtierhaltung – Konzepte für Alarmierungseinrichtungen in Stallungen (Hinweise für die Schadenverhütung) |
| 3501 | Isolationsfehlerschutz in elektrischen Anlagen mit elektronischen Betriebsmitteln – RCD und FU (RL) |

MB Merkblatt
Publ Publikation
RL Richtlinien zur Schadenverhütung
SV Sicherheitsvorschriften gemäß § 7 AFB
TL Technischer Leitfaden

## A1.8 BDEW-/VDEW-/VDN-Anschlussbedingungen, -Richtlinien und -Merkblätter[1]

- VDN: Technische Anschlussbedingungen – TAB 2007 – für den Anschluss an das Niederspannungsnetz (Bundesmusterwortlaut); Stand: 07/2007
- BDEW: Ergänzung zur TAB 2007, Ausgabe 2011
- VDN: Notstromaggregate – Richtlinie für Planung, Errichtung und Betrieb von Anlagen mit Notstromaggregaten; Stand: 08/2004
- VDN: Überspannungs-Schutzeinrichtungen Typ 1 – Richtlinie für den Einsatz von Überspannungs-Schutzeinrichtungen (ÜSE) Typ 1 (bisher Anforderungsklasse B) in Hauptstromversorgungssystemen; Stand: 08/2004
- BDEW: Technische Anschlussbedingungen für den Anschluss an das Mittelspannungsnetz – TAB Mittelspannung 2008; Stand: 08/2008

1 siehe auch Abschnitt A1.1, VDE-/FNN-Anwendungsregeln der Reihe VDE-AR-N

# A2 Bezugsquellen

Generell wird empfohlen, mittels Internetrecherche nach aktuellen Bezugsquellen zu suchen. Nach Gesetzen und Verordnungen sollte über die Internetportale der einschlägigen Bundes- und Landesministerien und der untergeordneten Stellen wie Gewerbeaufsicht sowie Bundes- und Landesanstalten sowie der Deutschen Unfallversicherung mit den angeschlossenen Berufsgenossenschaften gesucht werden. Beachtet werden sollte, dass die aktuellen Gesetze, Verordnungen, Vorschriften, Richtlinien usw. im Internet gezeigt werden.

- AGI-Arbeitsblätter der Arbeitsgemeinschaft Industriebau e. V.:

  www.agi-online.de; zu beziehen von:
  FORUM Zeitschriften und Spezialmedien GmbH, Mandichostraße 18, 86504 Merching,
  Tel.: 08233 381333, E-Mail: service@forum-zeitschriften.de; www.immobilien-fachliteratur.com

- Vorschriften- und Regelwerk der DGUV:

  Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Glinkastraße 40, 10117 Berlin,
  Tel.: 030 288763800, E-Mail: info@dguv.de; www.dguv.de/publikationen

  Informationen über Vorschriften sind im Internet unter „DGUV/Prävention/Vorschriften, Regeln und Informationen" zu finden.

  Einschlägige berufsgenossenschaftliche Schriften der Elektrotechnik:
  BG Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM), Abteilung Prävention,
  Gustav-Heinemann-Ufer 130, 50968 Köln, Tel.: 0221 3778-1020, E-Mail: versand@bgetem.de;
  im Internet unter „BGETEM/Medien/Medienshop/Regelwerk"

- DIN-Normen, DIN-Taschenbücher, RAL-Druckschriften:

  Beuth Verlag GmbH, Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin, Tel.: 030 2601-2260,
  Fax: 030 2601-1260, E-Mail: kundenservice@beuth.de; www.beuth.de

- HEA-Merkblätter, -Ausstattungswerte, -Fachinformationen, -Broschüren, -Bilderdienst, BDEW-Informationen, Elektro+-Broschüren

  über HEA-Online-Shop: shop@hea.de oder www.hea.de der
  HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e. V.,
  Reinhardtstr. 32, 10117 Berlin, Tel.: 030 300199-0, E-Mail: info@hea.de

- VDE-Vorschriften, VDE-Schriftenreihe, Fachbücher:

  VDE Verlag GmbH, Bismarckstr. 33, 10625 Berlin, Tel.: 030 34 80 01-0; www.vde-verlag.de;
  Bestellungen, Anfragen: kundenservice@vde-verlag.de; Tel.: 030 34 80 01-222

- GDV-/VdS-Publikationen zur Brandverhütung:

  über VdS-Webshop: shop.vds.de der
  VdS Schadenverhütung GmbH, VdS-Verlag, Amsterdamer Str. 172–174, 50735 Köln,
  Fax: 0221 7766-109, E-Mail: verlag@vds.de; www.vds.de

# A3 Abkürzungen

| | |
|---|---|
| ABB | Ausschuss für Blitzschutz und Blitzforschung im VDE |
| ABS | Ausschuss für Betriebssicherheit (Beratergremium in Angelegenheit der Betriebssicherheit nach BetrSichV § 24 Abs. 1 beim Bundesministerium für Arbeit und Soziales) |
| ARGEBAU | Bauministerkonferenz; Konferenz der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder |
| ASR | Technische Regeln für Arbeitsstätten (Arbeitsstättenregeln – ASR); bisher: Arbeitsstättenrichtlinien (ASR) (seit 01.01.2013 nicht mehr gültig) |
| AVBEltV | Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Elektrizitätsversorgung von Tarifkunden (inzwischen abgelöst durch NAV (s. dort)) |
| BAM | Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung |
| BAuA | Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin |
| BDEW | Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (Zusammenschluss verschiedener Verbände wie VDEW, VDN) |
| BetrSichV | Betriebssicherheitsverordnung |
| BG | Berufsgenossenschaft |
| BGBl | Bundesgesetzblatt |
| BGV | Berufsgenossenschaftliche Vorschrift, s. UVV |
| CE | CE-Konformitätskennzeichen |
| CECC | früher: CENELEC Electronic Components Committee (CENELEC-Komitee für Bauelemente der Elektronik), jetzt: IECQ Europäisches Komitee für elektronische Bauelemente |
| CEE | früher: Europäische Kommission für Regeln zur Begutachtung elektrotechnischer Erzeugnisse; jetzt: IECEE |
| CEN | Europäisches Komitee für Normung |
| CENELEC | Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung |
| CLC | Präfix für CENELEC in Referenznummern von CENELEC-Schriftstücken oder DIN-Normen (keine offizielle Abkürzung für CENELEC im Allgemeinen) |
| DGUV | Deutsche Gesetzliche Umfallversicherung (Spitzenverband der gewerblichen BGen und der Unfallversicherungsträger der öffentliche Hand) |
| CIE | Internationale Beleuchtungskommission |

| | |
|---|---|
| CISPR | Internationales Sonderkomitee für Funkstörungen (abgekürzt aus dem Französischem: Comité international spécial des perturbations radioélectriques) |
| DIN | Deutsches Institut für Normung e. V. |
| DKE | Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (früher: Deutsche Elektrotechnische Kommission) (Fachnormenausschuss Elektrotechnik im DIN und VDE) |
| DGUV | Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung |
| EGV | Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates |
| ElexV | Verordnung über elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen (zurückgezogen) |
| EltBauV | Verordnung über den Bau von Betriebsräumen für elektrische Anlagen |
| EMVG | Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln |
| EN | Europäische Norm |
| ENV | Europäische Vornorm |
| EnWG | Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz) |
| ETS | Europäische Telekommunikationsnorm |
| ETSI | European Telecommunications Standards Institute (Europäisches Institut für Telekommunikationsnormen) |
| EVU | Elektrizitätsversorgungsunternehmen (Netzverteilung durch Verteilernetzbetreiber) |
| EX-RL | Explosionsschutz-Regeln (DGUV Regel 113-001 (bisher: berufsgenossenschaftliche Regel BGR 104)) |
| EX-VO | keine offizielle Abkürzung der Explosionsschutzverordnung (Elfte Verordnung zu Produktsicherheitsgesetz), nicht zu verwechseln mit der Abkürzung der früheren, nicht mehr geltenden Explosionsschutzverordnung (ExVO) |
| FNN | Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE |
| FTZ | Forschungs- und Technologiezentrum der Deutschen Telekom |
| GDV | Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.; Herausgeber der von der VdS GmbH erarbeiteten und vertriebenen Publikationen |
| GefStoffV | Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung) |

| | |
|---|---|
| GPSG | durch ProdSG (s. dort) ersetztes Gesetz über technische Arbeitsmittel und Verbraucherprodukte (Geräte- und Produktsicherheitsgesetz) (frühere Bezeichnung: GSG) |
| GS | Geprüfte Sicherheit (Zeichen) |
| GSG | Gerätesicherheitsgesetz (veraltet: siehe GPSG) |
| HAR | Harmonization Agreement for Cables and Cords (CENELEC-Zertifizierungsabkommen für Kabel und Leitungen) |
| HD | Harmonisierungsdokument (CEN, CENELEC) |
| HEA | Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e. V. (frühere Bezeichnung: Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung) (Träger: u. a. BDEW, ZVEI, ZVEH) |
| HVBG | früherer Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften; Fusion zwischen dem HVBG und Bundesverband der Unfallkassen zur DGUV (s. o.) |
| IEC | Internationale Elektrotechnische Kommission |
| IECEE | IEC-System für Konformitätsbewertungssysteme elektrotechnischer Betriebsmittel und Komponenten |
| IECEx | IEC-System zur Zertifizierung nach Normen für Geräte zur Verwendung in explosionsgefährdeter Umgebung |
| IECQ | IEC-Qualitätsbewertungssystem für Bauelemente der Elektronik |
| IEV | Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch (International Electrotechnical Vocabulary) |
| ISO | Internationale Organisation für Normung |
| NAV | Verordnung über Allgemeine Bedingungen für den Netzanschluss und dessen Nutzung für die Elektrizitätsversorgung in Niederspannung – Niederspannungsanschlussverordnung |
| NB | keine offizielle Abkürzung des Begriffs Netzbetreiber (Betreiber eines Verteiler- oder Versorgungsnetzes (z. B. Energie, Elektrizität, Gas) im Sinne des EnWG und der Niederspannungsanschlussverordnung (NAV) (vorher: Versorgungs- oder Verteilernetzbetreiber (VNB)) |
| ProdSG | Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz – ProdSG) (früher: GPSG) |
| PTB | Physikalisch-Technische Bundesanstalt (u. a. mit Fachgebiet Explosionsschutz) |
| RAL | Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V. |

| | |
|---|---|
| RKW | Rationalisierungs-und Innovationszentrum der Deutschen Wirtschaft e. V. |
| TAB | Technische Anschlussbedingungen für den Anschluss an das Niederspannungsnetz/Mittelspannungsnetz, herausgegeben vom VDN bzw. BDEW |
| TREI | Technische Regeln Elektroinstallation (fachliche Inhalte des Sachkundenachweises als Bestandteil der Grundsätze für die Zusammenarbeit von Netzbetreibern und dem Elektrotechniker-Handwerk bei Arbeiten an elektrischen Anlagen nach NAV) |
| TRBS | Technische Regeln für Betriebssicherheit (erlassen nach BetrSichV § 24 Abs. 5 vom ABS) |
| TS | in Normenbezeichnungen gebrauchte Abkürzung von Technical Specification (Technische Spezifikation); ISO, IEC, CEN, CENELEC, ETSI |
| UVV | Unfallverhütungsvorschriften (Berufsgenossenschaftliche Vorschriften), jetzt: DGUV Vorschriften |
| VbF | Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (zurückgezogen) |
| VBG | alte Bezeichnung der Unfallverhütungsvorschriften der gewerblichen Berufsgenossenschaften |
| VDE | Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (früher: Verband Deutscher Elektrotechniker) |
| VDEW | Verband der Elektrizitätswirtschaft, aufgegangen im BDEW (siehe BDEW) |
| VDN | Verband der Netzbetreiber beim VDEW, aufgegangen im BDEW (siehe BDEW) |
| VdS | VdS Schadenverhütung GmbH, Tochterunternehmen des GDV (s. GDV), Ersteller der GDV-Publikationen; diese tragen das Logo VdS |
| VNB | keine offizielle und auch nicht mehr verwendete Abkürzung für Verteilernetzbetreiber (nach EnWG); nach NAV und TAB: Netzbetreiber |
| VOB | Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen |
| ZVEH | Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke |
| ZVEI | Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. |
| ZVSHK | vollständig: ZVSHK/GED: Zentralverband Sanitär Heizung Klima/ Gebäude- und Energietechnik Deutschland |

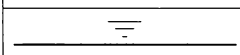
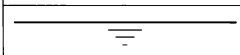
# A4 Prüfzeichen

| Symbol | Bedeutung |
|---|---|
| DIN | Verbandszeichen des DIN |
| VDE | VDE-Prüfzeichen |
| VDE | VDE-Elektronik-Prüfzeichen<br>(Gütebestätigte elektronische Bauelemente) |
| VDE | VDE-Kennfäden<br>VDE-Kabelkennzeichen |
| | VDE-Funkschutzzeichen |
| EMV | VDE-EMV-Funkschutzzeichen |
| GS | Sicherheitszeichen nach dem Geräte- und Produktsicherheitsgesetz |
| CE | CE-Konformitätskennzeichnung nach EG-Richtlinien |
| | CECC-Prüfzeichen für Bauelemente der Elektronik<br>(CECC: CENELEC-Komitee für Bauelemente der Elektronik) |
| ÖVE | Prüfzeichen Österreich (ÖVE) |
| S | Prüfzeichen Schweiz |
| D | Prüfzeichen Dänemark (DEMKO) |
| FI | Prüfzeichen Finnland (FEI) |
| | Prüfzeichen Frankreich (UTE) |
| ASTA | Prüfzeichen Großbritannien (ASTA) |
| | Prüfzeichen Irland (IIRS) |
| | Prüfzeichen Italien (IMQ) |
| KEMA KEUR | Prüfzeichen Niederlande (KEMA) |

# A5 Bildzeichen der Elektrotechnik

DIN EN 60617-2, -3, -7, -11 und VDE 0197

Durch Bildzeichen werden in allen Gerätebereichen Strom, Spannung, Frequenz, Leitungen und Erdungsarten international einheitlich gekennzeichnet. Weitere Bildzeichen sind in DIN EN 60617-1 bis -11 enthalten.

| Bildzeichen | Benennung |
|---|---|
|  | Gleichstrom, DC; Gleichstromleiter |
|  | Wechselstrom, AC; Wechselstromleiter |
|  | Gleich- und Wechselstrom, UC |
|  | koaxialer Eingang |
|  | koaxialer Ausgang |
|  | koaxiale Leitung |
|  | koaxiale Leitung, abgeschirmt |
|  | unterirdische elektrische Leitung |
|  | oberirdische elektrische Leitung |
|  | Erde allgemein |
|  | Funktionserdungsleiter (FE) |
|  | Schutzerde, Schutzleiteranschluss, Schutzleiter (PE) |
|  | Funktionspotenzialausgleichsleiter (FB) |
|  | Schutzpotenzialausgleichsleiter (PB) |
|  | Stromsicherung |
|  | Überspannungsableiter, Spannungssicherung |

# A6 Schaltzeichen

DIN EN 60617-2 bis -11

## A6.1 Schaltzeichen für die Elektroinstallation

Zur lagerichtigen Darstellung elektrischer Einrichtungen für die Gebäudenutzung in Gebäudegrundrissen und deren Zuordnung zu den Stromkreisen dienen Elektroinstallationspläne, für die die folgenden Schaltzeichen zu verwenden sind. Diese Schaltzeichen finden auch Anwendung für Übersichtspläne, durch die in vereinfachter Darstellung die Arbeitsweise und Gliederung der elektrischen Einrichtungen für die Gebäudenutzung, wie Stromversorgung, Beleuchtung, Fernmeldeanlagen, gezeigt wird.

*Leiter*

| | |
|---|---|
| | Leiter, allgemein |
| | Leiter, bewegbar |
| | Leiter, geschirmt |
| | Schutzleiter (PE) |
| | PEN-Leiter |
| | Neutralleiter (N) |
| | Signalleitung |
| | Fernsprechleitung |
| | Rundfunkleitung |
| | Leiter im Erdreich, z. B. Erdkabel |
| | Leiter oberirdisch, z. B. Freileitung |
| | Leiter auf Isolatoren |
| | Leiter auf Putz |
| | Leiter im Putz |
| | Leiter unter Putz |
| | Leiter in Elektroinstallationsrohr, Kabelkanal, Trasse |

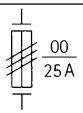
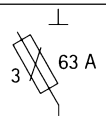
*Leitungen*

| | |
|---|---|
| | Leitung mit Kennzeichnung der Leiterzahl, z. B. 3 Leiter |
| 3 | vereinfachte Darstellung |
| NYM – J 3 × 1,5 | Leitung, z. B. Mantelleitung mit Kurzzeichen |
| NYY – J1 × 10re 0,6/1kV | Kabel, z. B. Kunststoffkabel mit Kurzzeichen |
| Cu 20 × 4 | Stromschiene |
| | nach oben führende Leitung |
| | nach unten führende Leitung |
| | nach unten und oben durchführende Leitung |
| | Leiterverbindung |
| | Abzweigdose, Darstellung falls erforderlich |
| | Dose |
| | Endverschluss, Endverzweiger kurze Seite = Kabeleinführung |
| | wahlweise Darstellung |

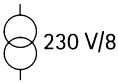
## *Einspeisungen*

| | |
|---|---|
|  | Hausanschlusskasten |
|  | Verteiler, Schaltanlage |
|  | Umrahmungslinie |

## *Schaltgeräte*

| | |
|---|---|
|  | Sicherung, allgemein |
|  | Schraubsicherung, z. B. 10 A und Typ D II, dreipolig |
|  | Niederspannungs-Hochleistungs-Sicherung (NH), z. B. 25 A, Größe 00 |
|  | Sicherungstrennschalter, z. B. 63 A, dreipolig |
|  | Schalter, z. B. 10 A, dreipolig |
|  | RCD (Fehlerstromschutz-einrichtung), vierpolig |
|  | Leitungsschutzschalter |
|  | Motorschutzschalter, dreipolig |
|  | Überstromrelais, z. B. Vorrangschalter |
|  | Pilz-Notdrucktaster mit zwangsläufiger Betätigung und Selbsthaltung |

## *Stromversorgungsgeräte*

| | |
|---|---|
|  | Element, Batterie, Akkumulator (Zelle) |
|  | Transformator 230 V/8 V |
|  | Gleichrichtgerät, z. B. Wechselstrom-Netzanschlussgerät |
|  | Wechselrichtergerät, z. B. Polwechsler, Zerhacker |

## *Installationsschalter*

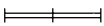
| | |
|---|---|
|  | Schalter, allgemein |
|  | Schalter mit Kontrolllampe |
|  | Ausschalter, einpolig |
|  | Ausschalter, zweipolig |
|  | Ausschalter, dreipolig |
|  | Serienschalter, einpolig |
|  | Wechselschalter, einpolig |
|  | Kreuzschalter, einpolig |
|  | Zeitschalter |
|  | Taster |
|  | Leuchttaster |
|  | Stromstoßschalter, Fortschaltrelais |
|  | Näherungsschalter (Ausschalter) |
|  | Berührungsschalter (Wechselschalter) |
|  | Dimmer (Ausschalter) |

## *Steckvorrichtungen*

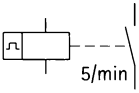
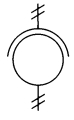
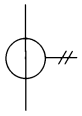
| | |
|---|---|
|  | Einfach-Steckdose ohne Schutzkontakt |
|  | Schutzkontaktsteckdose |
|  3/N/PE | Schutzkontaktsteckdose für Drehstrom, z. B. fünfpolig |
|  | Schutzkontaktsteckdose, abschaltbar |
|  | Steckdose, verriegelt |
|  3 | Schutzkontaktsteckdose, z. B. dreifach |
|  | wahlweise Darstellung |
|  | Steckdose mit Trenntrafo, z. B. für Rasierer |
|  | Fernmeldesteckdose TP, FX, M, TV, FM[1)] |
|  | Antennensteckdose (alt) |

[1)] TP Telefon
FX Telefax
M Mikrofon
TV Fernsehen
FM UKW-Rundfunk

## *Leuchten*

| | |
|---|---|
|  | Leuchte, allgemein |
|  5 × 50 W | Leuchte mit Angabe der Lampenzahl u. Leistung, z. B. 5 Lampen je 50 W |
|  | Leuchte mit Schalter |
|  | Leuchte mit veränderbarer Helligkeit |
|  | Sicherheitsleuchte in Dauerschaltung |
|  | Sicherheitsleuchte in Bereitschaftsschaltung |
|  | Scheinwerfer |
|  | Leuchte mit Überbrückung für Lampenketten |
|  | Leuchte mit zusätzlicher Sicherheitsleuchte in Dauerschaltung |
|  | Leuchte mit zusätzlicher Sicherheitsleuchte in Bereitschaftsschaltung |
|  | Leuchte für Entladungslampe, allgemein |
|  3 | Leuchte für Entladungslampen mit Angabe der Lampenzahl, z. B. 3 Lampen |
|  | Leuchte für Leuchtstoff-lampen, allgemein |
|  36 W | Leuchtenband, z. B. 3 Leuchten je 36 W |
|  58 W | Leuchtenband, z. B. 2 Leuchten je 2 × 58 W |

## *Relais, Messgeräte*

| | |
|---|---|
|  | Schaltuhr, z. B. für Stromtarifumschaltung |
|  | Zeitrelais, z. B. für Treppenhausbeleuchtung |
|  | Blinkrelais, Blinkschalter |
|  | Tonfrequenz-Rundsteuerrelais |
|  | Messgerät, z. B. Strommesser |
|  | Zähler |
|  | Spannungswandler |
|  | Stromwandler |

## *Elektrogeräte*

| | |
|---|---|
|  | Motor, allgemein |
|  | Raumbeheizung, allgemein |
|  | Speicherheizgerät |
|  | Infrarotstrahler |
|  | Lüfter |
|  | Klimagerät |
|  | Kühlgerät, z. B. Tiefkühlg., Anzahl der Sterne |

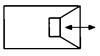
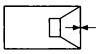
## *Elektrogeräte*

| | |
|---|---|
|  | Gefriergerät, Anzahl der Sterne |
|  | Elektroherd, allgemein |
|  | Mikrowellenherd |
|  | Backofen |
|  | Heißwasserspeicher |
|  | Durchlauferhitzer |
|  | Waschmaschine |
|  | Wäschetrockner |
|  | Geschirrspülmaschine |
|  | Händetrockner, Haartrockner |

## *Fernmeldeverteiler*

| | |
|---|---|
|  | Hauptverteiler |
|  | Verzweiger auf Putz |
|  | Verzweiger unter Putz |

*Fernsprechgeräte*

| | |
|---|---|
|  | Wechselsprechstelle, z. B. Haus- od. Torsprechstelle |
|  | Gegensprechstelle, z. B. Haus- od. Torsprechstelle |
|  | Fernsprechgerät, allgemein |

*Zubehör*

| | |
|---|---|
|  | Antenne |
|  | Verstärker |
|  | Lautsprecher |

*Signalgeräte*

| | |
|---|---|
|  | Wecker |
|  | Summer |
|  | Gong |
|  | Hupe |
|  | Sirene |
|  | Türöffner |
|  | Uhr, allgemein, z. B. Nebenuhr |
|  | Hauptuhr |

## A6.2 Schaltzeichen für Stromlaufpläne

Stromlaufpläne, auch Schaltpläne genannt, zeigen die Funktion einer elektrischen Schaltung. Sie müssen das Zusammenwirken der elektrischen Betriebsmittel in einer Anlage und die Wirkungsweise eines Betriebsmittels auf möglichst einfache Weise erkennen lassen. Die Stromlaufpläne werden mithilfe der folgenden Schaltzeichen ein- oder mehrpolig dargestellt. Weitere grafische Symbole für Schaltungsunterlagen sind der Reihe DIN EN 60617 mit ihren Teilen zu entnehmen.

### Schaltzeichen (Auswahl) für Stromlaufpläne

*Schaltglieder*

| | |
|---|---|
|  | Schließer |
|  | Öffner |
|  | Wechsler mit Unterbrechung |
|  | Zweiwegschließer mit Mittelstellung „Aus“ |
|  | Wechsler ohne Unterbrechung |
|  | Zwillingsöffner |
|  | Zwillingsschließer |
|  | Wischer mit Kontaktgabe in beiden Richtungen |
|  | Wischer mit Kontaktgabe bei Betätigung |

| | |
|---|---|
|  | Wischer mit Kontaktgabe ohne Betätigung |
|  | Schließer, voreilend |
|  | Schließer, nacheilend |
|  | Öffner, nacheilend |
|  | Öffner, voreilend |
|  | Schließer, schließt und öffnet verzögert |
| Form 1  Form 2  | Schließer, schließt verzögert |

## *Schaltglieder*

| | |
|---|---|
| Form 1<br>Form 2 | Öffner, schließt verzögert |
| | Schalter, handbetätigt |
| | Stellschalter mit Öffner, handbetätigt durch Ziehen |
| | Tastschalter mit Schließer, handbetätigt durch Drücken |
| | Stellschalter mit Schließer, handbetätigt durch Drehen |
| | Schließer mit selbsttätigem Rückgang |
| | Schütz, Schließerfunktion |
| | Schütz mit selbsttätiger Auslösung |
| | Trennschalter, Leerschalter |
| | Sicherungstrennschalter |
| | Lasttrennschalter |
| | Leistungsschalter |

## *Elektromechanische Antriebe*

| | |
|---|---|
| | Antrieb allgemein, z. B. für Relais, Schütz |
| | elektromechan. Antrieb mit Anzugsverzögerung |
| | elektromechan. Antrieb mit Abfallverzögerung |
| | elektromechan. Antrieb, z. B. mit Angabe einer wirksamen Wicklung |
| | elektromechan. Antrieb mit zwei gleichsinnig wirkenden Wicklungen |
| | elektromechan. Antrieb mit zwei gegensinnig wirkenden Wicklungen |
| | Schaltschloss mit elektromechanischer Freigabe |

## *Schutztechnik*

| Form 1 | Form 2 | |
|---|---|---|
| | I> | elektromagnetischer Überstromauslöser |
| | I> | elektromagnetischer Überstromauslöser mit verzögerter Auslösung |
| | I< | Unterstromauslöser |
| | I→ | Rückstromauslöser |
| | →I> | Fehlerstromauslöser |
| | | elektrothermischer Überstromauslöser |
| | U> | Überspannungsauslöser |
| | U< | Unterspannungsauslöser |
| | U< | Unterspannungsauslöser mit verzögerter Auslösung |
| | →U> | Fehlerspannungsauslöser |

# A7 Kennzeichnung des Zwecks und der Aufgabe eines Betriebsmittels

DIN EN 81346-2

Durch die Kennzeichnung soll ein Betriebsmittel in der Schaltungsunterlage und in der Anlage eindeutig identifiziert werden können. DIN EN 61346-2 enthält dazu einheitliche Regeln. Danach werden die Betriebsmittel je nach Anforderung durch 4 Blöcke gekennzeichnet. Kennzeichnungsblock 1 dient der übergeordneten Zuordnung, aus der die Wechselbeziehung mit anderen Teilen der Anlage im Hinblick auf Ort und Funktion hervorgehen muss. Der Ort des Betriebsmittels geht aus Kennzeichnungsblock 2, die Anschluss- und Leiterbezeichnung aus Block 4 hervor. Art, Zählnummer und Funktion des Betriebsmittels werden im Kennzeichnungsblock 3 beschrieben.

**Kennbuchstaben für die Kennzeichnung der Art eines Betriebsmittels**
(DIN EN 81346-2:2010-05, Tab. 1, Auswahl)

| Kennbuchstabe | Zweck oder Aufgabe des Betriebsmittels | Beispiele |
|---|---|---|
| B | Ermitteln, Messen, Überwachen | Messumformer, Messwiderstand, thermisches Überlastrelais |
| C | Aufzeichnen, Speichern | Kondensator, Speicherbatterie |
| E | Heizen, Beleuchten | Lampe, Leuchte, Elektroheizung |
| F | Schützen, Sichern | Sicherung, Leitungsschutzschalter, Überspannungsableiter, thermischer Überlastauslöser |
| G | Erzeugen | Trockenzellen-Batterie, umlaufender Generator, Solarzelle |
| K | Schließen, Öffnen, Schalten | Schaltrelais, Hilfsschütz, Zeitrelais |
| M | Betätigen, Antreiben | Elektromotor, Betätigungsspule, Stellantrieb |
| P | Alarmieren, Anzeigen, Messen | anzeigendes Messgerät (I, U, P), akustisches/optisches Signallampe, LED |
| Q | Öffnen, Schalten, Schließen, Kuppeln | Leistungsschalter, Leistungsschütz, Thyristor, sonstige Schalter aller Art |
| R | Dämpfen, Beschränken, Begrenzen | Widerstand, Drosselspule, Diode |
| S | Beeinflussen, manuelles Steuern, Wählen | Steuerschalter, Tastschalter, Wahlschalter, Quittierschalter |
| T | Verstärken, Transformieren, Umformen | Leistungstransformator, Gleichrichter, Messumformer, AC/DC-Umformer |

| Kennbuchstabe | Zweck oder Aufgabe des Betriebsmittels | Beispiele |
|---|---|---|
| U | Tragen, Stützen | Stützer, Isolator |
| V | Filtern | Filter |
| W | Leiten (elektrisch), Verteilen, Transportieren | Sammelschiene, Kabel, elektrischer Leiter, Durchführung |
| X | Verbinden, Koppeln | elektrischer Verbinder, Stecker, Klemme, Klemmleiste, Klemmblock |

# A8 Kennzeichnung von Spannung und Strom

Werden die grafischen Symbole oder Kurzbezeichnungen für Strom und Spannung mit weiteren Angaben kombiniert, so ist folgende Reihenfolge einzuhalten:

1. Anzahl der Außenleiter, z. B. 3,
2. übrige Leiter, z. B. N (Neutralleiter), PE (Schutzleiter),
3. Spannungs- oder Stromart (Symbole oder Kurzbezeichnung),
4. Frequenz mit Zahlenwert und Einheit, z. B. 50 Hz,
5. Spannung oder Strom mit Zahlenwert und Einheit, z. B. 400 V.

Der Zahlenwert kann bestehen aus einem einzelnen Wert, aus mehreren Werten in abfallender Reihenfolge durch Schrägstriche getrennt, z. B. 400/230, oder aus einem Bereich, z. B. 0...230.

**Gekürzte Schreibweise von Spannung und Strom**

| Beispiele | gekürzte Schreibweise | |
|---|---|---|
| | mit grafischem Symbol | mit Kurzbezeichnung |
| Drehstrom-Fünfleitersystem mit getrenntem Neutral- und Schutzleiter 400 V, 50 Hz | 3/N/PE ~ 50 Hz 400 V | 3/N/PE AC 50 Hz 400 V |
| Drehstrom-Vierleitersystem mit kombiniertem Neutral- und Schutzleiter 400 V | 3/PEN ~ 400 V | 3/PEN AC 400 V |
| Drehstrom-Dreileitersystem 245 kV | 3 ~ 245 kV | 3 AC 245 kV |
| Einphasen-Dreileitersystem 230 V mit 1 Außenleiter, 1 Neutralleiter, 1 Schutzleiter | 1/N/PE ~ 230 V | 1/N/PE AC 230 V |
| Gleichstrom-Dreileitersystem 230 V | 2/M – 230 V | 2/M DC 230 V |
| Gleichstrom 10 A | ⎓ 10 A | DC 10 A |
| Einstellbare Gleichspannung 0 V bis 440 V | ⎓ 0...440 V | DC 0...440 V |
| Wechselspannung 400 V | ∼ 400 V | AC 400 V |
| Gleich- und Wechselspannung 250 V | ≂ 250 V | AC/DC 250 V |

VDE 0175-1 bis -3 behandelt die Normung von Spannungen, Strömen und Frequenzen. Im Niederspannungsbereich ist für die 50-Hz-Drehstromnetze mit Betriebsmitteln international nur ein einziger Nennspannungswert 400/230 V vorgesehen. Die Übergangszeit sollte so kurz wie möglich sein und war vom internationalen Normengeber bis zum Jahr 2003 festgelegt worden. Sie wurde dann um weitere 5 Jahre bis zum 31.12.2008 verlängert. Während der Übergangszeit wurde den

Elektrizitätsversorgungsunternehmen vom internationalen Normengeber als erster Schritt empfohlen, 380/220-V-Netze auf die Spannungstoleranzen von 400/230 V +6 %/–10 % zu bringen, also für 230 V: 244 V bis 207 V. Inzwischen sollten die Spannungstoleranzen von 400/230 V ± 10 % erreicht sein. Für einen späteren Zeitpunkt wird vom internationalen Normengeber eine Verkleinerung dieser Toleranzen in Erwägung gezogen. Durch die für die Übergangszeit vorgegebenen Grenzabweichungen für die Betriebsspannung der Netze wird erreicht, dass für 380/220 V bemessene elektrische Betriebsmittel bis zum Ende ihrer Lebensdauer sicher betrieben werden können, da sie für eine Spannungstoleranz von ±10 % ausgelegt sein müssen.

# Literaturverzeichnis

## Quellen


[1] Hörmann, W.; schröder, B.: Schutz gegen elektrischen Schlag in Niederspannungsanlagen: Kommentar der DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06. 4. Aufl. Berlin: VDE Verlag, 2010 (VDE-Schriftenreihe, Bd. 140)

[2] Ayx, R.; Kasikci, I.: Projektierungshilfe elektrischer Anlagen in Gebäuden: Praxiseinführung und Berechnungsmethoden. 7. Aufl. Berlin: VDE Verlag, 2012

[3] Ochs, M.: SPS für die handwerkliche Ausbildung: Grundlagen und Praxis. 4. Aufl. Heidelberg: Hüthig, 2001

[4] Kriesel, W.; Sokollik, F.; Helm, P.: KNX/EIB für die Gebäudesystemtechnik in Wohn- und Zweckbau. 5. Aufl. Heidelberg: Hüthig, 2009

[5] BDEW: Technische Anschlussbedingungen für den Anschluss an das Mittelspannungsnetz; TAB Mittelspannung 2008

[6] Nabert, K.; Schön, G.; Redeker, T.: Sicherheitstechnische Kenngrößen brennbarer Gase und Dämpfe. Bd. I und II, 3. Aufl. Braunschweig: Dt. Eichverlag, 2004

[7] Schimanski, J.: Überspannungsschutz: Theorie und Praxis. 2. Aufl. Heidelberg: Hüthig 2003


## Weiterführende Literatur (Auswahl)


Ayx, R.; Kasikci, I.: Projektierungshilfe elektrischer Anlagen in Gebäuden: Praxiseinführung und Berechnungsmethoden. 7. Aufl. Berlin: VDE Verlag, 2012

Beleuchtungspraxis – Innenbeleuchtung, Herausgeber: Trilux GmbH & Co. KG., Arnsberg, 1. Aufl. 2007

Bödeker, K.; Lochthofen, M.; Rohlof, K.: Wiederholungsprüfungen nach DIN VDE 0105: Elektrische Gebäudeinstallationen und ihre Betriebsmittel. 3. Aufl. Heidelberg, München: Hüthig & Pflaum, 2014

DIN/ZVEH (Hrsg.): Normen-Handbuch Elektrotechniker-Handwerk; DIN-Normen und technische Regeln für die Elektroinstallation: 7. Aufl. Berlin: Beuth, 2015

Doemeland, W., Götz, K.: Handbuch Schutztechnik: Grundlagen – Schutzsysteme – Inbetriebsetzung. Berlin: VDE Verlag, 2010

Ebner, G.: Prüfungsvorbereitung Elektronik und Informationstechnik. 4. Aufl. Heidelberg: Hüthig, 2009

Fröse, H.-D.: Regelkonforme Installation von Photovoltaikanlagen. Heidelberg, München: Hüthig & Pflaum, 2011

Gerber, G.: Brandmeldeanlagen: Planen, Errichten, Betreiben. 4. Aufl. Heidelberg, München: Hüthig, 2015

Hasse, P.; Wiesinger, J.; Zischank, W.: Handbuch für Blitzschutz und Erdung. 5. Aufl. München: Plaum, 2006

Kiefer, G.; Schmolke, H.: VDE 0100 und die Praxis: Wegweiser für Anfänger und Profis. 15. Aufl. Berlin: VDE Verlag, 2014

Krause, J.: Lexikon Niederspannungs- und Antriebstechnik: Leistungselektronik, Stromrichtertechnik, EMV, Schutz- und Sicherheitstechnik, Betriebswirtschaft. Heidelberg: Hüthig, 2006

Kriesel, W.; Sokollik, F.; Helm, P.: KNX/EIB für die Gebäudesystemtechnik in Wohn- und Zweckbau. 5. Aufl. Heidelberg: Hüthig, 2009

Lagler, G.: Das kleine 1x1 der strukturierten Verkabelung. Heidelberg: Hüthig, 2008

Ochs, M.: SPS für die handwerkliche Ausbildung: Grundlagen und Praxis. 4. Aufl. Heidelberg: Hüthig, 2001

Schauer, K.: Planung elektrischer Anlagen: Berechnungen, Formeln und Tabellen gemäß HOAI. 4. Aufl. Berlin: VDE Verlag, 2014

Schimanski, J.: Überspannungsschutz: Theorie und Praxis. 2. Aufl. Heidelberg: Hüthig, 2003

Schmidt, F.: Brandschutz in der Elektroinstallation: Fragen und Antworten für die Praxis. 5. Aufl. Berlin: Huss-Medien, 2010

Schmolke, H.: Auswahl und Bemessung von Kabeln und Leitungen. 6. Aufl. Heidelberg, München: Hüthig, 2015

Schmolke, H.: Brandschutz in elektrischen Anlagen: Praxishandbuch für Planung, Errichtung, Prüfung und Betrieb. 3. Aufl. Heidelberg, München: Hüthig & Pflaum, 2012

Schmolke, H. u. a.: Elektromagnetische Verträglichkeit in der Elektroinstallation: Planung, Prüfung, Errichtung. Heidelberg, München: Hüthig & Pflaum, 2012

Schneider Electric (Hrsg.): Planungskompendium Energieverteilung: unter Berücksichtigung von internationalen Normen (IEC), europäischen Normen (EN), Harmonisierungsdokumenten (HD), DIN VDE-Normen (VDE-Bestimmungen). Heidelberg: Hüthig, 2007

Starke, L.: Grundlagen der Funk- und Kommunikationstechnik. 2. Aufl. Heidelberg: Hüthig, 2003

Trommer, W.; Hampe, E.-A.: Blitzschutzanlagen: Planen, Bauen, Prüfen. 3. Aufl. Heidelberg: Hüthig, 2005

Uhlig, H.-P.: Elektrische Anlagen in medizinischen Einrichtungen: Planung und Errichtung. Heidelberg, München: Hüthig & Pflaum, 2013

Weis, B.; Finke, H.: Not- und Sicherheitsbeleuchtung. Heidelberg, München: Hüthig & Pflaum, 2011

Zieseniss, C.-H.; Lindemuth, F.; Schmits, P.-W.: Beleuchtungstechnik für den Elektrofachmann: Lampen, Leuchten und ihre Anwendung. 9. Aufl. Heidelberg, München: Hüthig, 2016

**Aus der VDE-Schriftenreihe (VDE Verlag, Berlin)**

Ackermann, G.; Hönl, R. (Hrsg.): Schutz von IT-Anlagen gegen Überspannungen: Erläuterungen zu VDE 0185, VDE 0845, IEC 61643, IEC 61663. 2006 (Bd. 119)

Balzer, G.; Nelles, D.; Tuttas, C.: Kurzschlussstromberechnung nach IEC und DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2002-07: Grundlagen, Anwendung der Normen, Auswirkungen der Kurzschlussströme. 2009 (Bd. 77)

Cichowski, R. R.: Baustellen-Fibel der Elektroinstallation: Elektrische Anlagen und Betriebsmittel auf Baustellen. Erläuterungen zu DIN VDE 0100-704, DIN EN 61439-4 (VDE 0660-600-4), BGI/GUV-I 608 und weiterer Normen und Unfallverhütungsvorschriften (UVV), 2014 (Bd. 142)

Faber, U.; Grapentin, M.; Wettingfeld, K.: Prüfung elektrischer Anlagen und Betriebsmittel – Grundlagen und Methoden: Allgemeine Rechtsgrundsätze, EG-Richtlinien, ProdSG, BetrSichV, EnWG, BGV A3, TRBS, DIN VDE 0100, DIN VDE 0105-100, DIN EN 60038 (VDE 0175-1), DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1), DIN EN 61340 (VDE 0300), DIN EN 61010 (VDE 0411), DIN EN 61557 (VDE 0413), DIN VDE 0701-0702, DIN EN 61000-2/-6 (VDE 0839-2/-6), DIN EN 61000-4 (VDE 0847-4), DIN EN 60051. 3. Aufl., 2012 (Bd. 124)

Feulner, D.; Kammerhoff, U.; Kindermann, R.; Bödeker, K. (Hrsg.): Prüfung elektrischer Geräte in der betrieblichen Praxis: nach DIN VDE 0701-0702, DIN EN 62353 (VDE 0751-1). 7. Aufl., 2014 (Bd. 62)

Flügel, T.; Linke, W.; Möller, E.; Slischka, H.-J.; Tillmanns, K.: Starkstromanlagen in medizinisch genutzten Gebäuden mit stationären oder ambulanten Bereichen: Erläuterungen zu DIN VDE 0100 Teil 710. 3. Aufl., 2004 (Bd. 17)

Hasse, P.; Kathrein, W.; Kehne, H.: Arbeitsschutz in elektrischen Anlagen: Erläuterungen zu DIN VDE 0105, 0680, 0681, 0682 und 0683. 4. Aufl., 2003 (Bd. 48)

Heidler, F./Stimper, K.: Blitz und Blitzschutz: Grundlagen der Normenreihe VDE 0185 – Entstehung von Gewittern – Blitzortungssysteme – Blitzströme und ihre Wirkungen – Schutz von Gebäuden und elektrischen Anlagen – Generatoren für Stromprüfung. 2009 (Bd. 128)

Hennig, W.: VDE-Prüfung nach BetrSichV, TRBS und DGUV-Vorschrift 3 (BGV A3): Erläuterungen zu DIN VDE 0100 Teile 410, 430, 510, 540 und 600, DIN VDE 0404, DIN VDE 0105-100, DIN VDE 0701-0702, DIN EN 61557 (VDE 0413), DIN EN 62353 (VDE 0751-1), DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1). 11. Aufl., 2015 (Bd. 43)

Heyder, P.; Lenzkes, D.; Rudnik, S.: Elektrische Ausrüstung von Maschinen und maschinellen Anlagen: Erläuterungen zu DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1):2007 mit Bezugnahme auf Europäische Richtlinien, Risikobeurteilung, Funktionale Sicherheit. 6. Aufl., 2009 (Bd. 26)

Hochbaum, A.; Callondann, K.: Schadenverhütung in elektrischen Anlagen: Rechtliche Regelungen, Brandgefahren, Schadenursachen, Schutzmaßnahmen, Anforderungen an Errichtung, Betrieb und Erhalten des ordnungsgemäßen Zustands – Erläuterungen zu brandschutzrechtlichen Normen wie: DIN VDE 0100-420: 1991-11, DIN VDE 0100-482:1997-08, DIN VDE 0100-482:2003-06 mit Restnormen und anderen Regelwerken. 3. Aufl., 2009 (Bd. 85)

Hochbaum, A.; Hof, B.: Kabel- und Leitungsanlagen: Auswahl und Errichtung nach DIN VDE 0100-520. 2. Aufl., 2003 (Bd. 68)

Hoffmann, R.; Bergmann, A. (Hrsg.); DKE-Komitee 224: Betrieb von elektrischen Anlagen: Erläuterungen zu DIN VDE 0105-100 (VDE 0105-100):2009-10. 10. Aufl., 2010 (Bd. 13)

Hofheinz, W.: Fehlerstrom-Überwachung in elektrischen Anlagen: Grundlagen, Anwendungen und Technik der Differenzstrommessung in Wechsel- und Gleichspannungssystemen/DIN EN 61140 (VDE 0140-1) und DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410) mit Überwachungsgeräten nach DIN EN 62020 (VDE 0663). 3. Aufl., 2014 (Bd. 113)

Hörmann, W.; Nienhaus, H.; Schröder, B.: Errichten von Niederspannungsanlagen in feuchter oder nasser Umgebung sowie im Freien, in Bereichen von Schwimmbädern, Springbrunnen oder Wasserbecken: Kommentar der relevanten Normen der Reihe DIN VDE 0100 (VDE 0100), insbesondere auch DIN VDE 0100-702

(VDE 0100 Teil 702):2003-11, DIN VDE 0100-737 (VDE 0100 Teil 737):2002-01 und DIN VDE 0100-714 (VDE 0100 Teil 714):2002-01. 2003 (Bd. 67b)

Hörmann, W.; Schröder, B.; Schulze, B.: Errichten von Niederspannungsanlagen in Räumen mit Badewanne oder Dusche: Kommentar der DIN VDE 0100-701 (VDE 0100-701):2008-10. 3. Aufl., 2010 (Bd. 67a)

Hörmann, W.; Schröder, B.: Schutz gegen elektrischen Schlag in Niederspannungsanlagen: Kommentar der DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06. 4. Aufl., 2010 (Bd. 140)

Jackisch, J.: Elektrische Anlagen und Bauordnungsrecht: Zusammenhänge, dargestellt am Beispiel der Bayrischen Bauordnung (BayBO) unter Berücksichtigung und Gegenüberstellung der Musterbauordnung (MBO), 2014 (Bd. 131)

Jackisch, J.: Regelungen im Bauordnungsrecht für die Elektrotechnik: Das Zusammenwirken der am Bau Beteiligten unter Berücksichtigung der Bauordnung, Bauvorlagenverordnung, Feuerungsverordnung, Hochhausrichtlinie, Garagenstellplatzverordnung, Verkaufsstättenverordnung, Versammlungsstättenverordnung und anderer wichtiger Verordnungen. 2. Aufl., 2015 (Bd. 132)

Kammler, M.: Prüfungen vor Inbetriebnahme von Niederspannungsanlagen: Besichtigen – Erproben – Messen nach DIN VDE 0100-600. 4. Aufl., 2012 (Bd. 63)

Kern, A.; Wettingfeld, J.: Blitzschutzsysteme 1: Allgemeine Grundsätze, Risikomanagement, Schutz von baulichen Anlagen und Personen – Erläuterungen zu den Normen DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1):2011-10, DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2):2013-02 und DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3):2011-10, 2014 (Bd. 44)

Kern, A.; Wettingfeld, J.: Blitzschutzsysteme 2: Schutz für besondere bauliche Anlagen – Schutz für elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen – Erläuterungen zu den Normen DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3):2011-10 (besondere bauliche Anlagen), DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4):2011-10, 2014 (Bd. 160)

Kiefer, G.; Krefter, K.-H.: Schutz gegen elektrischen Schlag: Was bei der Errichtung von Niederspannungsanlagen zu beachten ist – Hinweise für die Praxis. 2003 (Bd. 130)

Krefter, K.-H.: DIN VDE 0100: Daten und Fakten für das Errichten von Niederspannungsanlagen. 2. Aufl., 2006 (Bd. 105)

Kreienberg, M.: Wo steht was im VDE-Vorschriftenwerk? 2015: Stichwortverzeichnis zu allen DIN-VDE-Normen und VDE-Anwendungsregeln, unter Berücksichtigung von DIN-EN- und DIN-IEC-Normen mit VDE-Klassifikation. 2015 (Bd. 1)

Landers, E. U.; Zahlmann, P.: EMV – Blitzschutz von elektrischen und elektronischen Systemen in baulichen Anlagen: Risiko-Management, Planen und Ausführen nach den neuesten Normen der Reihe DIN EN 62305-x (VDE 0185-305-x). 3. Aufl., 2013 (Bd. 185)

Loidiller, M.: Sicherheitsanforderungen für Antennen und Kabelnetze: Erläuterungen zu – DIN EN 60728-11 (VDE 0855 Teil 1):2005 Kabelnetze und Antennen für Fernsehsignale, Tonsignale und interaktive Dienste – DIN VDE 0855-300 (VDE 0855 Teil 300):2002-07 Funksende-/-empfangssysteme für Senderausgangsleistungen bis 1 kW – Vernetzte Systeme – Schutz gegen elektrischen Schlag – Wirkungen von HF-Feldern auf den Menschen – Blitzschutz-Schutzbereiche – Berechnung von Standrohren. 4. Aufl., 2005 (Bd. 6)

Moritz, D., Geiss, J.: Das Produktsicherheitsgesetz: Erläuterungen zum Produktsicherheitsgesetz (ProdSG), unter praxisnaher Berücksichtigung von CE-Kennzeichen und GS-Zeichen sowie der europäischen Produktsicherheitsrichtlinie (ProdSRL), 2012 (Bd. 116)

Neumann, T.: BetrSichV – die verantwortliche Elektrofachkraft in der Pflicht: Rechtssichere Umsetzung der novellierten Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) in der Elektrotechnik, 2015 (Bd. 121)

Nienhaus, H.; Thaele, R.: Halogenbeleuchtungsanlagen mit Kleinspannung: Planen, Auswählen und Errichten aus beleuchtungstechnischer Sicht und nach DIN VDE 0100. 3. Aufl., 2007 (Bd. 75)

Pistora, G.: Berechnung von Kurzschlussströmen und Spannungsfällen: Überstrom-Schutzeinrichtungen, Selektivität, Schutz bei Kurzschluss, Berechnungen für die Praxis mit CALCKUS. 3. Aufl., 2013 (Bd. 118)

Rittinghaus, D.; Retzlaff, E.: Lexikon der Kurzzeichen für Kabel und isolierte Leitungen nach VDE, CENELEC und IEC: Dictionary of type designation codes for cables and insulated cords according to VDE, CENELEC and IEC; Deutsch – Englisch. 6. Aufl., 2003 (Bd. 29)

Rosa, A.: Projektierung von Ersatzstromaggregaten: Errichten und Betreiben von Stromerzeugungsaggregaten nach DIN VDE 0100-551, DIN VDE 0100-560, DIN VDE 0100-710, DIN VDE 0100-718, DIN 6280, VDE-AR-N 4105, VDN-, BDEW-Richtlinien und baurechtlichen Regelungen wie EltBauVO, LAR usw. 2. Aufl., 2013 (Bd. 122)

Rudolph, W.: EMV-Fibel für Elektroniker, Elektroinstallateure und Planer: Maßnahmen zur elektromagnetischen Verträglichkeit nach DIN VDE 0100 Teil 444: 2010-10. 2. Aufl., 2001 (Bd. 55)

Rudolph, W.; Winter, O.: EMV nach VDE 0100: EMV für elektrische Anlagen von Gebäuden: Erdung und Potentialausgleich nach EN 50310, TN-, TT- und IT-

Systeme, Vermeiden von Induktionsschleifen, Schirmung, Lokale Netze. 3. Aufl., 2000 (Bd. 66)

Rudnik, S.; Pelta, R.: Der Lotse durch die DIN VDE 0100: Eine Navigation durch die 22 Hauptteile der DIN VDE 0100 „Errichten von Niederspannungsanlagen", 2015 (Bd. 144)

Schmolke, H.: DIN VDE 0100 richtig angewandt: Errichten von Niederspannungsanlagen übersichtlich dargestellt. 6. Aufl., 2013 (Bd. 106)

Schmolke, H.: Elektro-Installation in Wohngebäuden: Handbuch für die Installationspraxis. 8. Aufl., 2015 (Bd. 45)

Schmolke, H.: EMV-gerechte Errichtung von Niederspannungsanlagen: Planung und Errichtung elektrischer Anlagen nach den Normen der Gruppen 0100 und 0800 des VDE-Vorschriftenwerks. 2008 (Bd. 126)

Schmolke, H.: Potentialausgleich, Fundamenterder, Korrosionsgefährdung: DIN VDE 0100, DIN 18014 und viele mehr. 8. Aufl., 2013 (Bd. 35)

Sieper, P.; Klotz, W.: Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV: Erläuterungen zu DIN EN 61936-1 (VDE 0101-1). 10. Aufl., 2015 (Bd. 11)

Spindler, U.: Schutz bei Überlast und Kurzschluss in elektrischen Anlagen: Erläuterungen zur neuen DIN VDE 0100-430:2010-10 und DIN VDE 0298-4:2003-08. 3. Aufl., 2010 (Bd. 143)

Straube, A.: Das Managementhandbuch für den Betrieb elektrischer Anlagen: Grundlagen, Leitfaden und Tipps zur Erstellung einer schlanken Managementdokumentation, Nachweis des ordnungsgemäßen Auswählens, Anweisens und Überwachens von Betriebspersonal, 2015 (Bd. 149)

Wettingfeld, K.: Explosionsschutz nach VDE und BetrSichV: Eine praxisnahe Einführung in die zu beachtenden Richtlinien, Verordnungen, technischen Regeln und Normen für den elektrischen Explosionsschutz – Richtlinie 94/9/EG, Betriebssicherheitsverordnung, TRBS, DIN EN 60079-xx (VDE 0165-xx). 4. Aufl., 2009 (Bd. 65)

# Stichwortverzeichnis

Hauptverweisungen sind **fett** gedruckt; *kursive* Eintragungen verweisen auf entsprechende Tabellen.


**Symbole**
1-Ableiter 926
„3+1"-Schaltung 927
3. Harmonische 471

**A**
Abbremsen von Drehstrommotoren 603
Abdeckung (Umhüllung) 41, **79**
Abgangskasten 348
abgeschlossene elektrische Betriebsstätte 81, 895
Abkürzungen 986
Ableiter, Blitzstrom- bzw. Überspannungs- 920
Ableiterinstallation 928
Ableitstrom **41**, 306
- von Elektrowärmegeräten *581*
- kapazitiver *122*
Ableitungen 913, **917**
Ableitwiderstand 789, 810
abmanteln 425
Abnahmeprüfung (BMA) 946
Abschaltbedingungen
- im IT-System 125
- im TN-System 101
- im TT-System 115
Abschalten, automatisches 84, 121
- im TN-System 99
Abschaltstrom 114
Abschaltzeiten
- maximale *100*, 111
- in TN-Systemen *100*, *101*
Abschätzung des Schadensrisikos 914
Abschirmung 198
Abschottung 670
Abstand 81, 901
Abstandshalter 170
Adapter 561, 727
Aderendhülse 410
Aderfarbe 364
Aderleitung 365, 370–372, 405
Akkumulatoren, Ladestation für 826
aktive Teile **41**, 78
Alarmierung 941
Alarmierungseinrichtung 805
Alarmorganisation 941
allgemein anerkannte Regeln der Technik 2, 12, 13, 15
allgemeine Versorgungsbedingungen
*Siehe* Elektrizitätsversorgung
Altanlage 26
Anlagen *Siehe auch* elektrische Anlage
- bauliche, für Menschenansammlungen 813
- im Freien 682
- nichtstationäre 19
- stationäre 19
- überwachungsbedürftige 24
Anlagen der Sicherheitsstromversorgung
*Siehe* elektrische Anlage für Sicherheitszwecke
Anlauf, unerwarteter 612
Anordnungspläne 825
anormale Temperaturen, Schutz 615
Anpassung **38**, 121, 864, **905**
Ansaugrauchmelder 943
Anschlussbezeichnung *398*
Anschlussdose 414
Anschlussklemmen 409, 621

Anschlussschrank 351, 709
Antennenanlagen, Schutz von 931
Antennenleitungen, Näherung von 402
Antipanikbeleuchtung 643, 644
Antipanikbereich 643
Anzeigeleuchten 621
Anzeigen 621
Anzugsmoment 593
Arbeiten
- in elektrischen Anlagen *41*, 896
- an elektrischen Betriebsmitteln 896
- an freigeschalteten Anlagen 896
- in der Nähe unter Spannung stehender Teile 901
- unter Spannung 902
Arbeitsbereich 42
Arbeitsmittel, technische 26
Arbeitsschutzgesetz 31
Arbeitsstätten-Richtlinien 645
Arbeitsstättenverordnung 32
Arztpraxis *Siehe* medizinisch genutzte Bereiche
Atemstillstand 909
ATEX 737
ATEX-Richtlinie 20
Aufboden-Installationskanal 434
Aufladung, elektrostatische **789**, 809
Aufzugsschacht 401
Ausbreitungswiderstand *165*
Ausfall oder unzulässiges Absinken der Versorgungsspannung 614
Aushänge 907
Auslösecharakteristik, LS-Schalter 279
Auslöseeinheit 145
Auslösestrom
- von Leistungsschaltern 282, 285
- von Leitungsschutzschaltern *282*
- von Sicherungen 273, *275*, *276*
Ausschaltvermögen
- von Leistungsschaltern 286
- von Leitungsschutzschaltern 282
- von Sicherungen 277
Außenbereich, zusätzlicher Schutz 132
Außenleiter **41**, 470
äußerer Blitzschutz *Siehe* Blitzschutz
Aussparungen 419
Ausstattungswert von Wohnungen 486
Auswechseln
- von Lampen 905
- von Sicherungen 904
Automat 279
automatische Melder 942
automatische Prüfsysteme 655, 660
automatisches Abschalten 84, 121
- im TN-System 99
AVBEltV 4

**B**
Back-up-Schutz 41
- LS-Schalter 282
- Überstromschutzeinrichtungen 293
Badezimmer, Bereiche 683–685
Banderder *165*
Baracke 842
Basisfläche 325
Basisisolierung 47, 50, 79
Basisschutz 42, 64, 77, **78–80**
- Besichtigen 861
Batterieanlage 631
- zentrale 37, 652
Batterie, Einzel- 652
Batteriegestützte zentrale Stromversorgungssysteme 800
Batterieraum 826
bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis 640
Baudenkmal 858
Baugefährdung 12
bauliche Anlagen für Menschenansammlungen 813
Bauordnung *Siehe* Musterbauordnung
Baustelle 708–710
Baustoffe 664
- brennbare **664**, 842
- leicht entflammbare 665
- normal entflammbare 665
Baustoffklasse 664
Baustromverteiler 350–352, 709
Bauteile 665
- feuerhemmend 665
BDEW 4, 986
Becken
- begehbare 700, 701
- nicht begehbare 700, 705
Bedienen elektrischer Anlagen und Betriebsmittel 42, **896**
Bedingungen, normale 64
Befehlsgerät 504

Befestigungstechnik 419
Begrenzer 310
Begrenzung von Beharrungsberührungsstrom und elektrischer Ladung 200
Beherbergungsstätten 639, 645, 648
Behrend-Schaltung 876
Belastbarkeit *Siehe* Strombelastbarkeit
Belastungsschwerpunkt 256
Beleuchtung *Siehe auch* Sicherheitsbeleuchtung
- Not- 643
- Panik- 649
Beleuchtungsanlagen
- Errichten 543
- im Freien 578
- Kleinspannungs- 554, **562**, 566
- Kondensatorleistung *492*
- Schienenverteiler für 560
Beleuchtungsstromkreis 263, 470
Bemessung 215
Bemessungsausschaltvermögen 294
Bemessungsbetriebsdauer 648, 651
Bemessungsfehlerstrom 84, 85, 107, 112, 142
Bemessungsspannung 42
Bemessungsstrom 103, 104
Bemessungswert 42
benannte Stelle 766
Bereichsschalter 42
Bereitschaftsbetrieb 649
Bereitschaftsparallelbetrieb 648
Bereitschaftsschaltung 647
berührbare Teile
- gleichzeitig 47
- Grenztemperatur für 525
Berühren, indirektes 47, 64, 82
berührungsgefährliche Teile 42, 324
Berührungsspannung **42**, 72
- dauernd zulässige 65
Berührungsstrom 42
- Messung 887
Berührungs- und Fremdkörperschutz *54*
- ergänzender Buchstabe *56*
- zusätzlicher Buchstabe *55*
Beschleunigungsmoment 594
Besichtigen
- Basisschutz 861
- Betriebsmittel 861
- elektrische Geräte 881
- Erdungsleiter 863
- Leitungen 862
- PEN-Leiter 863
- Potenzialausgleichsleiter 179
- Schutzleiter 863
besondere Schutzvorkehrungen 195
Bestandsschutz 905
Betätigungseinrichtung 323
Betätigungselemente 323
Betonbauweise 493
Beton, Leitungsverlegung 403
Betrieb elektrischer Anlagen 6, **892**
Betriebsarten von Motoren 596
Betriebserder 160
Betriebserdung 42
Betriebserdungswiderstand 71
Betriebsgeräte 543
Betriebsmittel 43, 49, 523–525
- Arbeiten an 896
- Bedienen 42, **895**
- Besichtigen 861
- einfache 759
- in ex-gefährdeten Bereichen 763, **766**
- fest angebrachtes 19
- Kennzeichnung 23, 999
- kurzschlussfestes 48
- ortsfeste 18
- ortsveränderliche **19**, 49, 523
Betriebsmittelkennzeichnung 625
Betriebsräume, elektrische 33
Betriebssanitäter 909
Betriebssicherheitsverordnung 25, **738**
Betriebssicherheit (TRBS) 29, 979
Betriebsspannung 43
Betriebsstätten *Siehe* elektrische Betriebsstätten
Betriebsstätten, feuergefährdete *Siehe* feuergefährdete Betriebsstätten
Betriebsstrom, vorgesehener 43
Bezugserde 44
Bildzeichen der Elektrotechnik 991
Bimetallauslöser 279, 284, 597
Blindleistungskompensation 251, **491**
- bei Leuchtstofflampen 552
- bei Motoren *601*
Blindwiderstand von Kabeln und Leitungen 266
Blinkgerät 573
Blitz
- Kennwerte *915*
- Überspringen 912

Blitzimpuls, elektromagnetischer 911, 913, 919
Blitzkugel 916
Blitzkugelradius *915*, *917*
Blitzkugelverfahren 916
Blitzleuchte 944
Blitzschutz 910
- äußerer 910, **913**
- innerer 910, 911, **919**
- Schutzklassen 913
Blitzschutzanlage 229, 404
Blitzschutz-Erdungsanlagen 917
Blitzschutzklassen *914*, *915*
Blitzschutz-Potenzialausgleich 919, **920**
Blitzschutzpotenzialausgleichsleiter 920
Blitzschutzsystem 910, 911, 912
- Prüfintervalle *933*
- Prüfungen 932
Blitzschutzzone 923
Blitzschutzzonen-Konzept 923
Blitzstromableiter bzw. Überspannungsableiter 920
Blockheizkraftwerk 630
Bodenwiderstand, spezifischer 166
Boiler 583, 584
Bolzensetzgerät 419, **906**
Brandfall 637
- Kabel mit verbessertem Verhalten im 676, *713*
- Leitungen mit verbessertem Verhalten im 369, 676, *713*
Brandgefahr, Herbeiführen 12
Brandlast 677, *678*, *679*
Brandmeldeanlage 940
- Abnahmeprüfung 946
- Meldebereiche 942
- schematischer Aufbau 945
Brandmelder 942
- Ansaug- 943
Brandmeldezentrale 942
Brandschutz 663–665
Brandstiftung 11
brennbare Baustoffe **664**, 842
BSV 800
Buchholzrelais 212
BUS
- Geräte 510
- Leitung 506
- Netz 508
- Spannung 509

**C**
Campingplatz 851
- Steckvorrichtung 534
Camping- und Wochenendplätze 639
Caravan 853
CBR 140
CEE-Steckvorrichtung 530
CE-Kennzeichnung 23, **513**, 523
CE-Zeichen 523
$CO_2$-Löscher 908
Conduit 770
CPS-System 631

**D**
Dachständer 227
Dachständeranschluss 227
Dachständerrohr 918
Datenverbindungsschiene 510
Dauerschaltung 647
Deckenauslass 422
Deckenleuchte, Einbau- 559
Denkmal, Bau- 858
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung 15
Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (DKE) **37**, 138, 987
DGUV 15
- Vorschrift 3 15
- Vorschrift 4 15
- Vorschriften 15
DGUV-Vorschriften- und Regelwerk 980
DIAZED *Siehe* D-Sicherungen
Differenzstrom **43**, 148
Differenzstromauslöser 139
Differenzstromschutzeinrichtung *Siehe* Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD)
Differenzstromschutzschalter 114, 138, **140**
Differenzstromüberwachungsgerät 668, 717
Differenzstromverfahren 886, 887
Dimmer 527
DIN-Normen 40, 977
direktes Berühren 43
Direktheizgerät 585
DI-Schutzschalter 114
DKE **37**, 138, 987
D-Leuchte 547, 720
Dokumentation 625
Doppelfehler **125**, 255, 501

doppelte Isolierung 47, 50, **63**, 82, 181
Drehfeldrichtungsanzeiger 878
Drehfeldüberwachung 614
Drehmoment 593
Drehstrommotor, Abbremsen 603
Drehstromsteckdose 529
Drehstromsteckvorrichtung 530
Drehzahlsteller 527
dritte Harmonische 471
druckfeste Kapselung 755
Druckknöpfe, Farbe 527
Drucktaster, Farbe *619*
D-Sicherungen 271
Dunkelstrahler 728
Duoschaltung 551
Durchlassstrom von Sicherungen 278
Durchlauferhitzer 583, 584
Durchlichtrauchmelder 943
Durchschleifen von Leitungen 538
Duschraum 683

**E**
EG-Konformitätserklärung 23, 513
eigensichere Stromkreise, Farbkennzeichnung 772
Eigensicherheit 746, **758**, 772
Einbau-Deckenleuchte 559
Einfahrkontakt 312
Einfangwahrscheinlichkeit *915*
Einführungsstelle 392
Einphasenlauf 106, 599
Einphasenwart 600
Einrichtungen für Sicherheitszwecke 627
Einrichtung zum Stillsetzen im Notfall, Erproben 864
Einsatztechnik 311
Einschaltstromstoß 295
Einschaltverzögerung 631, 650
Einschubtechnik 311
Einzelbatterie 652
Einzelbatteriesysteme 652, 655
Einzelerder 918
elektrische Anlage
- Änderung 4, 39
- Betrieb 6, **892**
- Errichten in explosionsgefährdeten Bereichen 768
- Errichtung 4, 45
- Erweiterung 4, 39
- Funktionserhalt 637
- Inbetriebnahme 5
- Instandhaltung 4
- Prüffrist 17
- Schutzmaßnahmen 641
- Überprüfung 6

elektrische Anlage für Sicherheitszwecke 43, **628**, 635
- in medizinisch genutzten Bereichen **800**
- Stromkreise 635
- Stromquellen 629
- Stromversorgung 796, 800

elektrische Anlagen und Betriebsmittel 43, 523
- Arbeiten an 896
- Bedienen 42, **896**
- in ex-gefährdeten Bereichen 768
- ordnungsgemäßer Zustand 905
- Prüfung 861
- wiederkehrende Prüfungen 890

elektrische Ausrüstung von Maschinen 604
elektrische Betriebsmittel *Siehe* Betriebsmittel
elektrische Betriebsstätten 35, 822
- abgeschlossene 81, 895

elektrische Ersatzfeldstärke, zulässige *75*
elektrische Feldstärke
- Expositionsbereich 75
- zulässige 74

elektrische Geräte
- Besichtigen 881
- mit Heizelementen 884
- Prüfen 881
- Prüfen nach Instandsetzung und Änderung 881
- wiederkehrende Prüfungen 881, 891

elektrischer Schlag **44**, 64
- Schutz 46, **64**, 77, 612

elektrisches Handgerät 44, 523
Elektrizitätsversorgung, allgemeine Bedingungen 3
Elektrizitätsversorgungsunternehmen *Siehe* Netzbetreiber
elektroakustische Notfallwarnsysteme 947
elektroakustische Signalgeber 947
elektrochemische Korrosion 919
Elektrofachkraft 15, **44**, **893**
Elektroherd 582
Elektroinstallationskanal 405, 425, 433–435, 676

Elektroinstallationsrohr 405, 406, **427**
Elektroinstallationsrohrsystem **428**, 429
elektromagnetischer Blitzimpuls 911, 913, 919
elektromagnetische Störungen 512, **515**
elektromagnetische Verträglichkeit **512**
– in TN-Systemen 517
elektronisches Vorschaltgerät 554
elektrostatische Aufladungen **789**, 809
elektrostatische Entladungen 922
elektrotechnische Regeln 15
elektrotechnischer Laie 895
elektrotechnisch unterwiesene Person 44, **894**
Elektrowärmegeräte 581–583
– in der Landwirtschaft 728
– maximaler Ableitstrom *581*
Elektrozaun 732
ElexV 25, 737
EltBauVO 33, 796, 814, 823, 829
ELV 47
EMI 512, **515**
EMV 512
– in TN-Systemen 517
EMVG 512
EMV-Schutzzone 930
Endstromkreis 51, **481**
Energiebegrenzungsklasse 282, **292**
Energiewirtschaftsgesetz 2, 4, 987
entflammbare Baustoffe 665
entflammbare Stoffe, normal 712
Entladen von Kondensatoren 897
Entladungen, elektrostatische 922
Entladungsenergie *Siehe* Begrenzung von Beharrungsberührungsstrom und elektrischer Ladung
entzündliche Flüssigkeiten 740
Erde
– Bezug 44
– örtliche 44
erden 44
erden und kurzschließen 900
Erder 44, **160–162**, 219
– Band- *165*
– Betriebs- 160
– Einzel- 918
– Fundament- 44, 166, 169, **169–171**, 918
– Gegen- 876
– Hilfs- 117
– Mindestquerschnitt *920*
– natürlicher 44
– Oberflächen- 163, 220
– Ring- **166**, 918
– Tiefen- 163, 220
Erderspannung 44
Erdfühligkeit 918
Erdkabel 393–395, *394*
– Kurzzeichen *396*
Erdschluss 45
– Löschung 206
Erdschluss/Fehlerstrom, Schutz 614
erdschluss- und kurzschlusssicheres Betriebsmittel 48
erdschluss- und kurzschlusssicheres Verlegen **418**, 717
Erdübergangswiderstände 160
Erdung
– Betrieb 45
– Funktion 45
– Funktions- 47, 305
– in Hochspannungsnetzen 218
– Schutz 45, 160, 217
Erdungsanlage 45, 913, **917**
Erdungsleiter 45
– Besichtigen 863
– Hilfs-, gemeinsamer 118
– Kennzeichnung 169, 366
– Mindestquerschnitt 167, 168
– mit Schutzfunktion 366
– Schutz- 50, 86, 159
Erdungsleitung 118
– in Hochspannungsnetzen 220
Erdungsmessbrücke 876
Erdungsprüfschalter 874
Erdungswiderstand 71, 107, *113*, 160, 169
– Messung 874, **876**
Erfüllungsgehilfe 9
Erhalten des ordnungsgemäßen Zustandes 905
erhöhte Sicherheit 757
Erproben 864
Erprobungen 660
Errichten elektrischer Anlagen 4, 45
– in explosionsgefährdeten Bereichen 768
Errichtungszeitpunkt 38, 864, **905**
Ersatzableitstrom 886
– Messung 886
Ersatzbeleuchtung 643
Ersatzpflicht 13

Ersatzstromaggregat 632
Ersatzstromquelle 45, **629**, 652
Ersatzstromversorgung 46, 243, **246**, 802
Erstblitz, positiver 912, 926
erste Hilfe 908
erster Fehler 120, 121, 124, 198
Ersthelfer 909
Erstprüfungen 860, 861, *867*
- Sicherheitsbeleuchtung 658
Erweitern und Ändern elektrischer Anlagen 4, 39
Erzeugungsanlage 250
ESHG 506
ETF 598
EU-Explosionsschutz-Richtlinie 20, 737, 763
EU-Ex-Richtlinie 20, 737, 763
EU-Richtlinien 20
Europastecker 529
EVU *Siehe* Netzbetreiber
explosionsgefährdete Bereiche 636, 737
- elektrische Betriebsmittel 763, 766
- Errichten elektrischer Anlagen 768
- Heizgeräte 584, 721
- Motoren 766, 777
- Schutz 776
- Zoneneinteilungen 738
Explosionsgrenze 739
Explosionsgruppe 744, *747*
Explosionsschutz
- Gas- 773
- Staub- 778–780
Explosionsschutzdokument 738
Explosionsschutzregeln 742, 785
Explosionsschutzrichtlinie 20, 737, 763
Explosionsschutzverordnung 20, **737**, 739, 753
Expositionsbereich
- elektrische Feldstärke 75
- magnetische Flussdichte 75, *76*
EX-RL 742
EX-VO 27, **737**

**F**
fabrikfertige Stationen 825
Fadenmaß 686
fahrlässige Tötung 11
Fahrlässigkeit 11
Fail-safe-Transformator 938
Fangeinrichtung 913, **916**
Fangstange 916
Farbkennzeichnung 527
- von Adern 364
- von Außenhüllen 364
- von Druckknöpfen 527
- von Drucktastern *619*
- eigensicherer Stromkreise 772
- von Erdungsleitern 366
- von Leitungsadern *366*
- von Leuchtmeldern 620
- von Leuchttastern 527
- des Mittelleiters 367
- des Neutralleiters 367
- des PEN-Leiters **366**
- von Potenzialausgleichsleitern 366
- des Schutzleiters **366**
- von Sicherungskennmeldern *272*
- von Steckvorrichtungen 536
Fehler
- Doppel- **125**, 255, 501
- erster 120, 121, 124, 198
- zweiter 120, **125**, 198, 501
Fehlerfall, Steuerfunktionen 618
Fehlergleichstrom 524
Fehlerleistung 663
Fehlerschleife 105
Fehlerschutz 46, 64, 77, 82
- Entfallen von Vorkehrungen 201
Fehlerspannung 46, 72
Fehlerspannungsschutzeinrichtung 117
- Prüfung 874
Fehlerstrom 43, 46, **72**, 122, 128, 866
- Bemessungs- 84
- Bemessungsauslösestrom 85
- Bemessungsdifferenzstrom 107, 112, 142
- mit Gleichstromanteil 524
Fehlerstromauslöser 140, 145, 147
Fehlerstromeinheit 140, 141, 145
Fehlerstrom/Erdschluss, Schutz 614
Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) 85, 133, **138–140**, 668
- Bemessungsschaltvermögen 142
- Erproben 864, **872**
- für den gehobenen vorbeugenden Brandschutz 716
- mit Hilfsschalter 144
- kurzverzögerte 85, 143
- mit Leitungsschutzschalter 144

- in medizinisch genutzten Bereichen 803
- netzspannungsabhängige 107, 114, 138, 147
- netzspannungsunabhängige 108, 138, **141**
- ortsveränderliche 146
- Prüfgerät 872
- Prüfung 150, **872**
- selektive 85, 113, **114**, 149
- stoßspannungsfeste 148
- für tiefe Temperaturen 143
- im TN-System 107
- im TT-System 112
Fehlerwiderstand 71
Feinsicherung 289
Feldstärke, elektrische, Expositionsbereich 75
FELV 128
- Isolationswiderstand bei 869
Fernalarmierung 944
Fernmeldeanlage 936
- Verteiler 937
Fernmeldeinstallationsleitung *679*
Fernmeldeleitungen 435
Fernmeldetechnik 936
Fernprüfeinrichtung 655
Fernschalter **487**
Fertigbau 493
Festeinbautechnik 311
feuchte und feuergefährdete Räume 723
feuchte und nasse Bereiche 680–682
Feuchtraumleitung 423
feuergefährdete Betriebsstätten 636, 712–714
- Leuchten für 720
feuerhemmend
- Bauteile 665
- Holzbauweise 844
- landwirtschaftliche Betriebsstätten 733
- öffentliche Einrichtungen 815
- Stromquelle für Sicherheitszwecke 641
- Verteiler 256
Feuerlöscher 908
Feuermelder, Hand- 942, 945
Feuerversicherung 30
Feuerwehranzeigetableau (FAT) 944
Feuerwehrbedienfeld (FBF) 944
Feuerwiderstandsdauer 257, 349, **665**
Feuerwiderstandsklassen 665
FF-Leuchte 547
Filterstutzen 304, 310
Fingersicherheit 46, 325
Flächenbelastung, elektrische
- in Hotels 489
- in Industrieanlagen 496, *497*
- in Verwaltungsgebäuden 489
Flachleitung 376
Flachsteckverbindung 410
Flammenmelder 944
Flammpunkt 739, *741*, *747*
flammwidriger Mantel, Leitungen 369
F-Leuchte 546
Flicker 242, 250
Fliegende Bauten 639
Flimmerschwelle 67
Flucht-/Rettungswege 643
Flure, notwendige 674
Flüssigkeiten, entzündliche 740
Flüssigkeitstransformator 208
Fortschalter 487
Fotovoltaikanlage 251
Freileitungsnetz 221, **224**
Freileitung, Wirkwiderstand *265*
Freiluftaufstellung 257
Freischalteinrichtung (FSE) 944
Freischalten 46, 897
Freizeit- und Vergnügungsparks 639
fremde leitfähige Teile **46**, 697
Fundamenterder 44, 166, **169–171**, 918
- in Beton verlegt 169, 171
- in Erde verlegt 169, 170
Funktionserdung 47, 305
Funktionserhalt 640
- in der Sicherheitsstromversorgung 637
Funktionserhaltsklasse 666
Funktionsisolierung 47
Funktionskleinspannung *Siehe* PELV
- ohne sichere Trennung *Siehe* PELV
Funktionspotenzialausgleich 615
Funktionsprüfungen 660
Fußbodenheizung 584, 592, 691
Fußbodenleiste 494
Fußbodensteckdose 537
Fußbodenwiderstand 196

**G**

galvanische Anlage 119
galvanische Trennung, Trennstufen 760
Garage 706
- für gasbetriebene Kraftfahrzeuge 788

- Groß- 645
- Klein- 788
Gasexplosionsschutz 773
Gaststätte *Siehe* Schank- und Speisegaststätten
Gebäudeklasse 676
Gebläse-Heizsystem 587
Gebrauchskategorie
- von Schaltern *296*
- von Schützen *301*
Gefährdung
- Bau- 12
- besondere 179
- durch elektrische und magnetische Felder 72
- durch Gleichstrom 68
- durch Impulsstrom 69
- durch technischen Wechselstrom 66
Gefahrenbereiche 741
Gefahrklasse 739, *741*
gefährliche Körperströme 66
Gefahrstoffverordnung 738, 739
Gefahr, unmittelbare 905
Gefahrzone 217
GefStoffV 738, 739
Gegenerder 876
Gegensprechanlage 939
Gegenstrombremsen 301, 603
Gehäuse 46
- der Schaltanlagen 621
- als Schutzleiter 155
- schwadensicheres 762, 776
geprüfte Sicherheit 524
Gerät *Siehe* elektrische Geräte
Gerätedose 414
Geräteeinbautechnik 311
Geräte für NOT-HALT und NOT-AUS 620
Gerätegruppen (Ex-Schutz) 739
Gerätekategorien (Ex-Schutz) 739
Geräteklemme 409
Geräteschutz 927
Geräteschutzsicherung 289
- Schaltvermögen *290*
Gerätesteckvorrichtung 537
Gerüste 906
Geschäftshaus 820
Gewährleistung 7
Gewitter-Überspannungsschäden 922
Gießharztransformator 208
Gittersymbole 57
Gleichstrom, Gefährdung durch 68
Gleichstromwiderstand von Cu-Leitungen *106*
gleichzeitig berührbare Teile 47
Gleichzeitigkeitsfaktor 440, 488, 634
- für Verwaltungsgebäude *488*
Glimmtemperatur 779
gL-Sicherung **274**, 468
Glühlampe *Siehe* Leuchten
GPSG 19 *Siehe auch* ProdSG
Grenzspaltweite 746
Grenztemperatur
- für berührbare Teile 525
- für Isolierungen *473*
Großbauten 488
Großgaragen 645
Gruppe (med. Bereiche) 793
Gruppenkompensation 491
GSG *Siehe* ProdSG
G-Sicherung 289
GS-Zeichen 524
Gummiaderleitung *372*
Gummileitung 377
Gusseisenanlage 263
GUV 14

**H**
Haftpflichtgesetz 13
Haftpflichtversicherung 10
Haftung 9
- für eigenes Verschulden 9
halogenfreie Leitungen 369, *713*
Handbereich 47, **81**
Handfeuermelder 942, 945
Handgerät 44, 523
Handleuchte 545
Handrückensicherheit 47, 325
Harmonische, dritte 471
Harmonisierung 37
HAR-Zeichen 24, **360**
Häufung von Leitungen und Kabeln
- Hochspannungskabel 214
- Installationskanäle 436
- Installationsleitungen 425
- Schaltanlagen und Verteiler 330
- Stegleitungen 421
- Strombelastbarkeit **439–442**, 454, *457–460*
Haupterdungs-Anschlusspunkt 47
Haupterdungsklemme 47

Haupterdungsschiene 86, 173
Hauptleitung *238*, 489
Hauptleitungsabzweigkasten 239
Hauptleitungsschacht 490
Hauptpotenzialausgleich 86, 173, 521
- Mindestquerschnitt *178*
- zusätzlicher 102
Hauptschalter 719
Hauptstromkreis 51, 482
Hauptstromversorgungssystem 109, 236
Hauptverteilerschrank 352
Hauptverteilung 47
Hausanschluss
- in Freileitungsnetzen 224
- in Kabelnetzen 230
- Spannungsfall 5
Hausanschlusskabel 230, 231
Hausanschlusskasten 225, 227, **229**, 231
Hausanschlussleitung 224
Hausanschlussnische 236
Hausanschlussraum 232
Hausanschlusswand 235
Hauseinführungsleitung 225
- Mindestquerschnitt *226*
Hausinstallation 484–486
Hautimpedanz 70
Heimdialyse 792
Heime 648
Heißwasserspeicher 583
Heizelemente, elektrische Geräte 884
Heizgeräte **584**, 721
- Direkt- 585
- in ex-gefährdeten Bereichen 777
- Speicher- 588
- Zentral- 587
Heizkabel 589
Heizleistung, spezifische *585*, *587*, *592*
Heizleitungen 377, 591
Heizsystem, Gebläse- 587
Heizung
- Fußboden- 584, 592, 691
- Raum- 584–586
- Strahlungs- 585
Helligkeitssteuerung *Siehe* Dimmer
Hellstrahler 728
Herd
- Elektro- 582
- Induktions- 582
- Mikrowellen- 582
Herstellen und Sicherstellen des spannungsfreien Zustands 896
Herzkammerflimmern 64, **66**, 909
Herz-Kreislauf-Stillstand 909
HH-Sicherung 211
Hilfserder 117
Hilfserdungsleiter, gemeinsamer 118
Hilfsschütz 300
Hilfsstromkreis 51, 482, 498
- Entfernung zwischen Schalter und Schütz 503
- gemeinsame Rückleitung 502
- Leiter für, Kennzeichnung 505
- Mindestquerschnitt 502
- Schutzmaßnahmen 503
Hilfsstromschalter 295
Hindernis 81
hoch entzündliche Flüssigkeiten 740
Hochhäuser 639
Hochspannungs-Hochleistungssicherung 211
Hochspannungskabel 213–215, 215
- Verlegung 214
Hochspannungsnetz 204–206
- mit Erdschlusskompensation 207, 219
- mit Erdschlusslöschung 206
- Erdung 218
- mit isoliertem Sternpunkt 207, 219
- Kabel im 213
- Kurzschlussschutz 211
- Schutz gegen gefährliche Körperströme 217
- Selektivität 211
- Überlastschutz 211
Hochspannungsschaltanlage 209
Hohlwanddose 495, 844, 846
Holzbauweise, feuerhemmend 844
Holzhaus 842

I
IK-Code 60
Illuminationsfassung 551
IMD 141, 668
Impedanz
- Haut- 70
- Körper- 70
- Schleifen- 105
Impulsschalter 487
Impulsstrom, Gefährdung durch 69

Inbetriebnahme
- elektrische Anlage 5
- Prüfung vor der ersten 16, 17, 861
Inbetriebsetzung 946
indirektes Berühren 47, 64, 82
Induktionsherd 582
Induktionsschleife 519
Industrieanlagen 496–498
- spezifische Flächenlast *497*
Industriesteckvorrichtung **530–532**, 726
Informationstechnik 936–938
Infrarotstrahler 728
Innenraumaufstellung 257
innerer Blitzschutz *Siehe* Blitzschutz
Inselbetrieb 243
Installateurverzeichnis 4
Installationsausschuss 4
Installations-BUS-System, sichere Trennung 509
Installationsdosen 414, 544
- für Betonbau 494
- für BUS-Leitungen 510
- für Leichtbau 495
- Kennzeichnung 417
Installationsgeräte, Schutzarten 57
Installationskanal, Elektro- 405, 425, 433–435, 676
Installationskanalleuchte 557
Installationskleinverteiler 262, **345**
Installationsleitungen 405, 423–425
- PVC *373*
- Übergang auf andere Leitungen 426
- ummantelte 423
Installationsrohre 427–429
- für Betonbau 493
- Klassifizierungscode *430*
- für Leichtbau 495
Installationsschacht 676
Installationssteckverbinder 412
Installationsverteiler 346
Installationszonen in Wohnungen 401
Instandhaltung 947
Instandsetzung elektrischer Geräte, Prüfung 881
Intensivtierhaltung 734
Intern-Alarmierung 944
Ionisationsrauchmelder 943
IP-Code 53
- Beispiele 56
Isolationserhalt **666**
Isolationsüberwachungseinrichtung 121, **124**
- in Hilfsstromkreisen 501
Isolationsüberwachungsgerät 668
Isolationswiderstand 124
- Erstprüfung 867
- bei FELV 869
- Messung 883
- Mindestwerte *867*
- bei SELV und PELV 195, *867*
- wiederkehrende Prüfung 868
isolierende Schutzbekleidung 903
isolierendes Werkzeug 903, 906
Isolierstoffanlage 263
Isolierstoffschelle 424
isoliertes Stromversorgungssystem 795
Isolierumhüllung 62, 79, **183**
Isolierung **47**
- Basis- 50, 79
- doppelte 47, 50, **63**, 82, 181
- Funktions- 47
- Grenztemperatur *473*
- Kabel mit Kunststoff- *397*
- Kabel mit Papier- *397*
- Sternpunkt- 207
- verstärkte 47, 50, **63**, 82, 181
- zusätzliche **47**
IT-System 87, 90, **120–122**
- Abschaltbedingungen 125
- Doppelfehler 125
- Isolationsüberwachungseinrichtung 121, **124**, 804
- medizinisches 795
- Prüfung 127

**J**
Justizvollzugsanstalten 639

**K**
Kabel 622
- Bemessung 215
- Blindwiderstand 266
- in Hochspannungsnetzen 213
- mit Kunststoffisolierung *397*
- Niederspannungs-, Kurzzeichen *396*
- in Niederspannungsnetzen 221
- mit Papierisolierung *397*
- Schutz gegen Kurzschluss 472

- Schutz gegen Überlast 464
- Strombelastbarkeit *222*, **439**, 445
- mit verbessertem Verhalten im Brandfall 676, *713*
- Verbrennungswärme 679
- Verlegen 214, 405, 436
- Wirkwiderstand *265*
Kabeleinführung 235
Kabelendverschluss 438
Kabelhäufung 439
Kabelkanäle 42
Kabelmantel als Erder 163
Kabelmuffe 438
Kabelnetz, Hausanschluss im 230
Kabelpritsche 405
Kabelrost 425, **489**, 498
Kabelschott 670, 671
Kabelschutzrohr 223
Kabeltrommel 539
Kabelverlegung
- von Hochspannungskabeln 214
- von Niederspannungskabeln 405, **436**
Kabelverteilerschrank 223
Kabelwanne 405, 425
Käfigzugfeder 410
Kaltleiter 598
Kanal, Elektroinstallations- 405, 425, 433–435, 676
Kapselung
- druckfeste 755
- Öl- 753
- Sand- 755
- Überdruck- 754
- Verguss- 761
Kennmelderfarben von Sicherungen *272*
Kennzeichnung
- von Anschlussleitern 261
- von Betriebsmitteln 23, 999
- von Betriebsmitteln für ex-gefährdete Bereiche 763
- von Druckknöpfen 527
- von Drucktastern *619*
- von Erdungsleitern 169, 366
- von Installationsdosen 417
- von Leitern 331, *398*
- von Leitern für Hilfsstromkreise 505
- der Leiter und Anschlüsse 396
- von Leitungen 358
- von Leuchten *549*, 656
- von Leuchtmeldern *620*
- des Mittelleiters 367
- des Neutralleiters 331, **367**
- des PEN-Leiters 97, 331, **366**
- von Potenzialausgleichsleitern 366
- von Schmelzsicherungen *272*
- des Schutzleiters 331, **366**
- von Spannung und Strom 1001
Kessel u. Ä. 835
Kfz-Werkstätte 837
Kindergarten 831
Kino 644
Kippmoment 593
Klasse
- Baustoff- 664
- Blitzschutz- 913, *914*, *915*
- Energiebegrenzungs- 282, **292**
- Funktionserhalts- 666
- Gebäude 676
- Gefahr- 739, *741*
Klassifikation (med. Bereiche) 793
Kleingarage 788
Kleinspannung 47
- Schutz durch 189
- SELV, Schutz durch 83
Kleinspannungs-Beleuchtungsanlage 554, **562**
- Leitungen 566
Klemmen 334, **409–411**
- Anschlussquerschnitte *337*
- Schraub- 526
- schraubenlose **410**, 526
Klemmverbindung 408
Klingeltransformator 937
Knotenpunktverteiler 490
kombinierte Notleuchte
- in Bereitschaftsbetrieb 657
- in Dauerbetrieb 657
Kompaktschalter 299
Kompensationskondensator 552, 553, *554*
Kondensatorentladung 897
Kondensatorladung 305
Kondensatorleistung
- bei Beleuchtungsanlagen *492*
- bei Motoren *601*
Kondenswasserbildung 258, 310
Konformitätserklärung 23, 513
Konkordanzlisten 968

Konverter 543, 563
Koppelschleife 519
Körper **48**, 64
Körperimpedanz 70
Körperschluss **48**, 71
Körperstrom, gefährlicher 66, 217
Körperverletzung 11
Körperwiderstand 70, 71
Korrosion, elektrochemische 919
Korrosionsschutz 167, 179
Krankenhaus *Siehe* medizinisch genutzte Bereiche
Kreuzung oder Näherung zwischen Starkstrom- und Fernmeldeleitungen 437
Kriech- und Luftstrecken **330**, 576, 863
Kurzschluss 48
kurzschlussfestes Betriebsmittel 48
Kurzschlussfestigkeit 48
- dynamische **216**, 333
- thermische 215
Kurzschlussschalter 925
Kurzschlussschutz von Leitungen 472–474
- Anordnung 476
- Bemessung 472
Kurzschlusssicherheit von Schaltanlagen 265
Kurzschlussstrom
- einpoliger 473
- Ermittlung 869
- größter 329
kurzschluss- und erdschlusssicheres Betriebsmittel 48
kurzschluss- und erdschlusssicheres Verlegen **418**, 717
Kurzschlusswechselstrom 219, **265**
Kurzzeichen
- Erdkabel 396
- auf Leuchten *549*
- von Niederspannungskabeln *396*
- auf Schaltern 525
Kurzzeitparallelbetrieb 247
Kurzzeitstromdichte 216

**L**

Lackiererei 786
Ladenstraßen 645
Ladestation für Akkumulatoren 826
Lahnlitzenleiter 391
Lampen, Auswechseln 905
Landwirtschaft **722–724**
- Elektrowärmegeräte 728
- Leuchten 727
landwirtschaftliche Betriebsstätten
- feuerhemmend 733
Laserstrahlung 780
Lastmoment 593, *594*
Lastschalter 295
Läutewerktransformator 937
Leichtbauweise 495
leicht entzündliche Flüssigkeiten 740
leicht entzündliche Stoffe 712
Leistungsschalter 211, **285–287**, 297, 466
- Auslösestrom 282, 285
- Ausschaltvermögen 286
- Durchlassstrom 288
- mit Nullpunktlöschung 288
- Selektivität 286, 293
- mit Strombegrenzung 288
Leistungsschütz 300
Leistungsverlust 479
Leiter 622 *Siehe* Leitungen oder einzelne Leiterarten, z. B. Außenleiter
Leitern 906
Leiterverbindungen 406–408
leitfähiger Bereich mit begrenzter Bewegungsfreiheit 188
Leitungen 358–360, 622
- Besichtigen 862
- Biegeradien 424
- Blindwiderstand 266
- Durchschleifen 538
- mit erhöhter Wärmebeständigkeit *461*, *839*
- Farbkennzeichnung 364
- für feste Verlegung **369**, *370*
- flache 376
- mit flammwidrigem Mantel 369
- flexible 46, 188, **377**
- gemeinsame Verlegung 483
- halogenfreie 369, *713*
- Kennzeichnung 331, *398*
- für Kleinspannungs-Beleuchtungsanlagen 566
- Kurzschlussschutz 472–474
- für Leuchtröhrenanlagen 573, *574*
- mineralisolierte 376
- in Schaltgerätekombinationen 331
- Schutz bei Überlast 464

- Schutz gegen Kurzschluss 472–474
- Silikon- 377
- Strombelastbarkeit 439, *445*, *623*
- Türsprechanlage 939
- VDE-Kennzeichnung 358
- mit verbessertem Verhalten im Brandfall 369, 676, *713*
- Verbrennungswärme *678*, *679*
- Verlegung 399
- wiederkehrende Prüfung 891
Leitungsanlage 674–676
Leitungsauslass 417, 422
Leitungsdifferenzialschutz 212
Leitungseinführungen 757
Leitungshäufung 330
Leitungslänge
- kritische 503, 504
- maximale in Abhängigkeit vom Spannungsfall *480*
Leitungsroller 539–541
Leitungsschutz, mechanischer 417
Leitungsschutzschalter **279–281**, 466
- Auslösestrom *282*, 285
- Ausschaltvermögen 282
- mit Hilfsschalter 284
- Selektivität 283, 291
- Typ C 103
- Typ L und B 103, 280
- zulässiger Schleifenwiderstand *104*
Leitungsschutzsicherung **277**, 475
Leitungsverlegung 399
Leitungswanne 489
Leuchten 542–544
- mit begrenzter Oberflächentemperatur 719
- D- 547, 720
- Einbau-Decken- 559
- für ex-gefährdete Bereiche 766
- F- 546
- für feuergefährdete Betriebsstätten 720
- FF- 547
- für Glühlampen 551
- Hand- 545
- Kennzeichnung *549*, 656
- Kurzzeichen *549*
- für landwirtschaftliche Anwesen 727
- für Leuchtstofflampen 551
- Luft führende 558
- M- 546
- Möbel- 548
- Operations- 799, 800
- Rettungszeichen- 649
- Schutzarten 57
- Schutzleiterstrom von 548
- für Sicherheitsbeleuchtung 653
- für Sicherheitsbeleuchtung (Notleuchten) 653
- Stromschienensystem 561
- Symbole *549*
Leuchtenklemme 409
Leuchtmelder, Farbe 357, *620*
Leuchtröhrenanlage 568–570
Leuchtröhrengerät 568
Leuchtröhrenleitungen *574*
Leuchtstofflampen **551**
Leuchttaster 527, 648
Lichtband 498, 555, 557
Lichterkette 551
linienförmige Melder 943
linienförmige Rauchmelder 943
Löschmittel 908
Loslassschwelle 66
LPS 911
LPS-System 631
LPZ 923
LS-Schalter 281 *Siehe* Leitungsschutzschalter
Lüftung für Batterieräume 827
Lüsterklemmen 409

**M**

magnetische Feldstärke, zulässige 74
magnetische Flussdichte
- Expositionsbereich 75, *76*
- zulässige 74, *76*
Mängel 7, 38, 905
Mängelbeseitigung 8
Mantelleitung *Siehe* Installationsleitung
Maschennetz 497, 916
Maschenweiten 913
Maschine 610
- Risikobeurteilung 604
Maschinen 604–606
- elektrische Ausrüstung 604
- Sicherheit 604
Maschinenbedienung 619
Maschinenrichtlinie 20, 604
Maschinenverordnung 20, 607
Mastanschluss 229

Materialbeiwert 152, 153
Maximalprinzip 944
medizinisches IT-System 795
medizinisch genutzte Bereiche 84, 791–793
- elektrische Anlage für Sicherheitszwecke 800
- IT-System 805
- Klassifikation 793
- Schutzmaßnahmen 802
- Sicherheitsstromversorgung 796, **800**
- Stromversorgung 795
ME-Geräte 800
Meldebereiche 942
Melder
- automatische 942
- Brand- 942
- Handfeuer- 942, 945
- Leucht-, Farbe 357, *620*
- Rauch- 943
Meldergruppen 942
Menschenansammlungen, bauliche Anlagen 813
Messen als Teil der Prüfung 864
Messgerät, Schleifenwiderstands- 869–871
Messgleichspannung 867
Messung
- von Gesamterdungswiderständen 934
- Schutzleiterwiderstand **883**
Metallmantel von Kabeln als Erder 163
Mikrowellenherd 582
Minderung der Vergütung 8
Mindestquerschnitt *151*, 918
- von Erdern *920*
- für Erdungsleiter *168*
- des Hauptpotenzialausgleichs 178
- der Hauseinführungsleitung *226*
- von Hilfsstromkreisen 502
- in Maschinen 623
- des Neutralleiters 98, 332
- des PEN-Leiters 93
- des Schutzleiters *151*, 178
Mindestzeitwert 463
Mindestzündenergie *790*
Mindestzündstromverhältnis *746*
mineralisolierte Leitungen 376
Mittelleiter 98
- Kennzeichnung 367
Mittelspannung 204
MLAR **637**, 674
M-Leuchten 546
Möbelleuchte 548
Montagegrube 837
Motoren 593–595
- Abbremsen 603
- Anschließen 600
- Bemessung 594
- Betriebsarten 596
- Betriebserder 160
- Blindleistung 601
- für explosionsgefährdete Bereiche 766, 777
- Schutz 597
- Schutzarten *57*, 596
- Überdrehzahl 614
- Überhitzungsschutz 614
Motorschutzschalter 597, 722
Motorstarter 296, 595, 597
- elektronischer 595
Motorvollschutz 598
Museum 858
Musterbauordnung 670, **674**, 814
Musterkrankenhausbauverordnung 808
Musterleitungsanlagenrichtlinie **637**, 674
Mutter-/Tochterbetrieb 654, 657

**N**
Nacherfüllung 8
Nachprüfungen 626
Nachtstromspeichergerät 588
Nachweisverfahren 339
Näherung
- von Antennenleitungen 402
- bei Blitzschutzanlagen 921
- an Starkstromanlagen 402
- von Starkstromleitungen für die Information und Telekommunikation 402
- von Starkstrom- und Fernmeldeleitungen 437
nasse Bereiche 680–682
NB 4, 225
Nennfehlerstrom *Siehe* Bemessungsfehlerstrom
Nennspannung 48
NEOZED *Siehe* D-Sicherungen
Netzanschluss 5, 610
Netzbetreiber 4, 225
Netzfilter 472
Netzparallelbetrieb 243, **250**
- kurzzeitiger 247
- Verhinderung 247

Netzrückwirkungen **241–243**, 252
Netztrenneinrichtung 610
Netzverhältnisse 264
Neutralleiter 41, 51, **98**, 118, 121, 331, 470, 624
– Kennzeichnung 331, **367**
– Mindestquerschnitt 99, 332
– Oberschwingungen 332
– Querschnitt 98
– Zuordnung 483
Neutralleiterstrom 517
Neutralleitertrennklemme 335
Neutralleiterüberlastung durch 3. Harmonische 471
Neutralpunkt 49
NH-Sicherungssystem 269
– Auswechseln des Einsatzes 904
Nichtauslösestrom von Sicherungen 274
nichtautomatische Melder 942
nicht begehbare Becken 700, 705
nicht leitende Umgebung 49
– Schutz durch 195
Niederspannungsanschlussverordnung 3
Niederspannungskabel
– Kabelverlegung 405, **436**
– Kurzzeichen *396*
Niederspannungsnetz 221–223
– Hausanschluss 224, 230
– Kabel und Leitungen 221
– Potenzialausgleich 173
Niederspannungsrichtlinie 20, 604
Niederspannungs-Schaltgerätekombination 49, 313–315
– partiell typgeprüfte 314
– typgeprüfte 314
Niederspannungs-Stromerzeugungsanlage 243–245
Niederspannungsverordnung 20, 21
Niedervolt-Beleuchtungsanlage **562**
N-Leiter *Siehe* Neutralleiter
normale Bedingungen 64
normal entflammbare Stoffe 712
NOT-AUS 617
– Geräte 620
Not-Ausschaltung 49
Notbeleuchtung 643
Notfallwarnsysteme, elektroakustische 947
NOT-HALT 617
– Geräte 620
Notleuchte 653
– in Bereitschaftsbetrieb 657
– in Dauerbetrieb 657
– mit Einzelbatterie 653, 655
– kombinierte 654
– für Mutter-/Tochterbetrieb 654
– für zentrale Versorgung 653
notwendige Einrichtungen 800
notwendige Flure 674
notwendige innen liegende Treppenräume 645
notwendige Sicherheitseinrichtungen 627, 863
notwendige Treppenräume 674
Nullleiter *Siehe* PEN-Leiter
Nullung 88
– klassische *Siehe* TN-C-System
– moderne *Siehe* TN-S-System

**O**

Oberflächenerder 163, 220
Oberschwingungen 471
– Neutralleiter 332
Oberschwingungsfreiheit 49
Oberschwingungsspannungen 241
öffentliche Einrichtungen, feuerhemmend 815
öffentliche Einrichtungen und Arbeitsstätten 813
Ölkapselung 753
Öltransformator 207, 208
Operationsleuchte 799, 800
ordnungsgemäßer Zustand 16, **905**
Ordnungswidrigkeit 15
örtliche Erde 44

**P**

Panikbeleuchtung 649
Panikgefahr 650
Parallelbetrieb zweier Netze 243, **250**
– kurzzeitiger 247
– Verhinderung 247
Patientenplatz 806
PE-Leiter *Siehe* Schutzleiter
PEL-Leiter 49, 92
PELV 48, 63, 65, 83, 84, **189**, 484, 501, 509
– Isolationswiderstand bei 195, *867*
– Prüfung 194
– Steckvorrichtungen 193, *535*
PEM-Leiter 50, 92

PEN-Leiter 41, 50, 88, **92**, 331
- Besichtigen 863
- Kennzeichnung 97, 331, **366**
- Mindestquerschnitt 93
- Unterbrechung 91, 93
Personenschutzstecker 146
Photovoltaikanlage *Siehe* Fotovoltaikanlage
Pilotkontakt 533
Planschbecken 693
positiver Erstblitz 912, 926
Potenzialausgleich 50, **173–175**, 197, 202, 521, 615, 803, 918
- Blitzschutz- 919, 920
- erdfreier 197
- Haupt- **173**, 521
- örtlicher 197
- zusätzlicher 108, 120, 179, 687, 804
- zusätzlicher örtlicher 697
Potenzialausgleichsleiter
- Besichtigen 179
- Kennzeichnung 366
Potenzialausgleichsschiene **176**
Potenzialsteuerung 224, 731
PRCD 140
Primärauslöser 211
Primärelement 630
ProdSG 19
ProdSV 20, 21
Produkte, Kennzeichnung 23
Produktsicherheitsgesetz 19
Programmgeber 310
Prozesssteuerung 304
Prüfbuch 661
Prüfdauer (Auslösezeit) 274
Prüfeinrichtung, automatische 655
Prüffeld 830, 831
Prüffrist, elektrische Anlage 17, 890
Prüfplatz 830
Prüfspannung 196
Prüfstelle 524, 766
Prüfstrom
- großer 109, **273**, 281
- kleiner **274**, 281
Prüfsysteme, automatische 655, 660
Prüfung 16, 658
- Abnahme- (BMA) 946
- des Blitzschutzsystems 932
- Erst- 658
- vor der ersten Inbetriebnahme 16, 17, 861
- von Fehlerspannungsschutzeinrichtungen 874
- von Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) 150, **872**
- Funktions- 660
- im IT-System 127
- von Schaltanlagen und Verteilern 261
- von Schaltgerätekombinationen 339
- von SELV und PELV 194
- Spannungsfestigkeits- 885
- im TN-System 108, 110
- im TT-System 120
- Wiederholungs- 933
- wiederkehrende 659, 861, 881, 890
Prüfungen 626
Prüfzeichen 990
PSA-Richtlinie 20
PTSK 314
Pumpen, ortsveränderliche 700
punktförmige Rauchmelder 943
PVC-Aderleitung *369*, 370
PVC-Installationsleitung *373*
PVC-Verdrahtungsleitung *370*

**Q**
Querschnitt *Siehe* Mindestquerschnitt

**R**
Rauchansaugsysteme 943
Rauchmelder 943
rauer Betrieb 548
Raumheizung 584–586
RCBO 133, 139
RCCB 140
RCD *Siehe* Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD)
RCM 141, 668, 717
RCU 140
Referenzverlegearten *441*, *442*
Regeln
- der Technik, allgemein anerkannte 13
- elektrotechnische 15
- der Technik, allgemein anerkannte 2, 12, 15
- Technische, für Arbeitsstätten (ASR) 32
- Technische, für Betriebssicherheit (TRBS) 29, 979
Regler 310

Reihenklemme **334**, 411
Relais 294
Rettungs-/Fluchtwege 643
Rettungswege 674
Rettungszeichen 649, 653, 658
Rettungszeichenleuchte 649
Reversieren 301
Ringerder **166**, 918
Ringleitung 490
Ringleitungssysteme 944
Risikoanalyse 914
Risikobeurteilung 606
Risikobeurteilung für die Maschine 604
Risikobewertung 608, 913
Risikominderung 607
Rohrleitung, warme 400
Rückfallwert 503
Rückstelleinrichtung 323
Rücktritt vom Vertrag 8

S
Sachmängel 7
Sandkapselung 755
Sandtassen 771
Sauna, Bereiche 841
Schächte 402
- Hauptleitungs- 490
- Installations- 676
Schadensersatz 8, 10, 13
Schaltanlagen **256–258**, 498
- Aufstellen 256
- Ausführung 263
- Gehäuse 621
- Kurzschlusssicherheit 265
- Planung 262
- Prüfung 261
Schaltbeanspruchung 294
Schalter **294–296**, 524, **525–527**
- einpoliger 526
- elektronischer 527
- Gebrauchskategorien *296*
- Symbole 525
Schaltgeräte 621
- Auswahl 311
- Heizung 310
- Schutzarten 57
Schaltgerätekombination 49, 313–315
- EMV 338
- Energie- 341
- Erwärmung 338
- innere Unterteilung 343
- Kurzschlussfestigkeit 329
- Leitungen 331
- Prüfung 339
- typgeprüfte 314
- Vereinbarungen zwischen Hersteller und Betreiber 340
Schaltgerätekombinationen 621
Schaltgruppen 209
Schalthandlungen 922
Schaltplan 863, 907
Schaltüberspannungen 614
Schaltvermögen 295
- von Gerätesicherungen *290*
Schaltzeichen
- für die Elektroinstallation 992
- für Stromlaufpläne 997
Schank- und Speisegaststätten 639
Schank- und Speisewirtschaften 645
Schienenverteiler 348–350, 498
- für Beleuchtungsanlagen 560
Schirm **198**, 218
Schlag, elektrischer, Schutz 612
Schleifenimpedanz 105
Schleifenwiderstandsmessgerät 869–871
Schleifenwiderstand, zulässiger 105
- für Leistungsschalter *105*
- für Leitungsschutzschalter *104*
- für Sicherungen *104*
Schleifleitungen 622
Schleifringkörper 622
Schlitze 419
Schmelzsicherungen **268–270**, 472
- Auslösestrom 273
- Ausschaltvermögen 277
- Betriebsklassen 273
- Durchlassstrom 278
- Kennzeichnung *272*
- Selektivität 277
Schnellauslösung, elektromagnetische 599
Schnellbereitschaftsaggregat 632
Schornstein 402, 419
Schraubklemme 526
Schrittschalter 487
Schrittspannung 50
Schulen 639, 831

Schutz 53, 54
- durch Abstand 81, 901
- von Antennenanlagen 931
- gegen äußere mechanische Beanspruchungen 60
- durch automatisches Abschalten 84, 86, 121
- Basis- 42, 64, 77, 78
- durch Begrenzung von Beharrungsberührungsstrom und elektrischer Ladung 200
- Besichtigen 861
- gegen direktes Berühren 64, 77
- durch doppelte Isolierung 181
- gegen elektrischen Schlag 46, **64**, 77
- gegen elektrische und magnetische Felder 809
- durch erdfreien örtlichen Potenzialausgleich 197
- Fehler- 46, 64, 77, 82
- unter Fehlerbedingungen 64
- gegen gefährliche Körperströme 217
- gegen anormale Temperaturen 615
- gegen elektrischen Schlag 612
- gegen Überlast und Überhitzung von Motoren 614
- gegen Überspannungen 614
- gegen Überstrom 613
- bei indirektem Berühren 64, 77, **82**
- durch Kleinspannung 189
- durch Kleinspannung SELV 83
- durch nicht leitende Räume 878
- durch nicht leitende Umgebung 195
- unter normalen Bedingungen 64
- vor Erdschluss/Fehlerstrom 614
- zusätzlicher 52
- zusätzlicher, Außenbereich 132
- zusätzlicher, Wohnungen 135

Schutzabstand 225, 717, 902
Schutzarten 53–55
- Beispiele 57
- für Ex-Bereiche *776*
- für Installationsgeräte 57
- für Leuchten 57, 580
- für Motoren *57*, 596
- für Schaltgeräte 57
- für Steckvorrichtungen 530

Schutzbekleidung, isolierende 903
Schütze 294, 299–301
- Anschlussbezeichnung 303
- Gebrauchskategorien *301*
- für Hausinstallationen 487
- Kontaktsicherheit 302
- Lebensdauer 301
- Parallelschaltung 302

Schutzerdung 45, 160, 218
Schutzerdungsleiter 50, 86, 159
Schutzgrad *siehe* Schutzart
Schutzhindernis, elektrisches 50
Schutzisolierumhüllung 62
Schutzisolierung *Siehe* Schutz durch doppelte Isolierung
Schutzklassen 61, *917*
- BSK 914

Schutzkleinspannung *Siehe* SELV
Schutzkontaktstecker 528
Schutzleiter 50, 143, **151–153**, 331, 624
- Besichtigen 863
- blanker 153
- Gehäuse als 155
- gemeinsamer 153
- gemeinsamer für mehrere Stromkreise 483
- isolierter 153
- Kennzeichnung 331, **366**
- Materialbeiwert 152, 153
- metallene Umhüllung 152
- Querschnitt *151*, *178*

Schutzleiterschiene 156
Schutzleiterstrom 50
- von Leuchten 548

Schutzleiterwiderstand, Messung **883**
Schutzmaßnahmen 77, 78
- Auswahl 83
- bei Gleichstrom 85
- in medizinisch genutzten Bereichen 802
- in Sicherheitsstromversorgungsanlagen 641

Schutzpegelerhöhung 134, 140, 146
Schutzpotenzialausgleich **173–175**, 615, 918
- erdfrei 197
- örtlicher 197
- über die Haupterdungsschiene 86
- zusätzlicher 179, 697

Schutzpotenzialausgleichsleiter 197
- Besichtigen 863

Schutzraum 325
Schutzschalter, Differenzstrom- 114, 138, **140**
Schutzschirm, elektrischer 50
Schutzschlauch 393

Schutztrennung 50, 65, 83, **186**, 254, 835
- mit mehr als einem Verbrauchsmittel 199
Schutzverriegelungen 618
Schutzvorkehrungen 77, 613
- besondere 195
Schutzvorrichtung, isolierende 903
Schutzwinkel 916, *917*
Schutzzwischenisolierung 63
schwadensicheres Gehäuse 762, 776
Schweißtransformator 149
Schwimmbäder 692
Schwimmhalle, Bereiche 694
Schwimmhallen 692
Sekundärauslöser 211
Selektivität 211, 642, 798
- von Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) 110, 149
- von Leistungsschaltern 212, **286**
- zwischen Leistungsschalter und Leitungsschutzschalter 293
- zwischen Leistungsschalter und Sicherung 292, 293
- von Leitungsschutzschaltern 283, 291
- in der Sicherheitsstromversorgung 642
- von Sicherungen 277, 291
- von Überstromschutzeinrichtungen 291
Selektivitätsdiagramm 286
Selektivitätsgrenze 291
SELV 48, 63, 65, 83, **189–191**
- für Arbeiten in Kesseln 835
- für Kleinspannungsleuchten 563
- Isolationswiderstand bei 195, *867*
- Prüfung 194
- Steckvorrichtungen 193, *535*
Senkbremsen 603
Sicherheit
- erhöhte 757
- geprüfte 524
Sicherheitsbarriere 760
Sicherheitsbeleuchtung 643, 643–645
- für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung 643
- in Bereitschaftsbetrieb 649
- in Dauerbetrieb 647
- Erstprüfungen 658
- mit Gruppenbatterie 653
- Leuchten für 653
- für Rettungs-/Fluchtwege 643
- mit Zentralbatterie 652
Sicherheitseinrichtungen, notwendige 627, 863
Sicherheitsgrundsätze 22
Sicherheitsleuchten *Siehe* Notleuchte
Sicherheitsregeln 897
Sicherheitsstecker 146
Sicherheitsstromversorgung *Siehe* elektrische Anlage für Sicherheitszwecke
Sicherheitstransformator 563
- bedingt kurzschlussfester 191
- nicht kurzschlussfester 191
- unbedingt kurzschlussfester 191
Sicherheitstreppenraum 675
Sicherheitszeichen 649, 653, 907
- hinterleuchtete 649
Sicherheitszwecke *Siehe* elektrische Anlage für Sicherheitszwecke
Sicherheit von Maschinen 604
sichern gegen Wiedereinschalten 898
Sicherungen **268–270**, 466, 468
- Abschaltstrom *103*
- Auslösestrom 273, *275*, *276*
- Ausschaltvermögen 277
- Auswechseln 904
- Betriebsklassen 273
- D- 271
- Durchlassstrom 278
- Fein- 289
- G- 289
- zum Gebrauch durch Elektrofachkräfte bzw. elektrotechnisch unterwiesene Personen 268
- zum Gebrauch durch Laien 269
- Geräteschutz- 289
- HH- 211
- Hochspannungs-Hochleistungs- 211
- Kennzeichnung *272*
- Leitungsschutz- **277**, 475
- für Motoren *595*
- Nichtauslösestrom 274
- Selektivität 277, **291**
- mit Sicherungseinsätzen mit Messerkontaktstücken (NH-Sicherungssystem) 269
- Typ gG 275, 276
- Typ gL 274, 275, 468
- zulässiger Schleifenwiderstand *104*
Sicherungseinsatz 269
Sicherungskenngrößen 273
Sicherungslastschalter 278

Sicherungsleisten 269
Sicherungsschalter 269
Sicherungsunterteile für
Sammelschienenmontage 269
Sichtprüfung 660
Signalgeber
- der Brandmeldeanlage 944
- elektroakustische 947
Silikonleitung 377
Sofortbereitschaftsaggregat 632
Sonde 876
Sonderbauten 639, 813
Sonderbeleuchtung 819
Spanndraht 425
Spannseil 682
Spannung
- bevorzugte *497*
- gegen Erde 51
- Kennzeichnung 1001
- Klein- 47
Spannungsfall
- Hausanschluss 5
- Prüfen 881
- zulässiger *238*, 478–480, *490*
Spannungsfestigkeitsprüfung 885
spannungsfreier Zustand 217
- Herstellen und Sicherstellen 896
Spannungsprüfer 899
Spannungsüberwachung 649
Spannungsunsymmetrie 241
Spannungswaage 160
Spannungswiederkehr, automatische 298
Sparschaltung 527
Speicherheizgerät 588
speicherprogrammierbare Steuerungen 306–308
Speisepunkt 51, 351, 714
Spielzeugtransformator 191
Sprachalarmanlagen 944, 947
Sprachalarmierung im Brandfall 948
Sprechanlage 939
Springbrunnen 692
SPS 306–308
SRCD 140
Staberder **166**
Staffelzeit 286
stahlblechgekapselte Anlage 263
Standortisolierung 198
Standortwiderstand **71**
Starkstromleitungen 435
Stationen, fabrikfertige 825
Staubexplosionsschutz 778–780
Steckanschlussklemme 409
Steckdosen
- Anzahl je Raum 262
- Beispiele für Wohnungsinstallation 485
- Drehstrom- 529
- Fußboden- 537
- Verriegelung von 533
Steckdosenstromkreise, Sicherung 470
Stecker
- Europa 529
- Personenschutz- 146
- Schutzkontakt- 528
- Sicherheits- 146
Steck-Schraub-Klemme 409
Steckverbinder 538
- Installations- 412
Steckverbindungsklemmen 411
Steckvorrichtungen **528**, 710
- Campingplatz 534
- CEE 530
- Drehstrom- 530
- Farbkennzeichnung 536
- Geräte- 537
- Industrie- **530–532**, 726
- industrielle 530
- PELV 193, *535*
- Schutzarten 530
- SELV 193, *535*
- für SELV und PELV 193, *535*
- Uhrzeigerstellung für 531
- Verriegelung 533
Steckvorrichtungssystem 529–531
Stegleitung 406, 421
- Häufung 421
Steigleitung 237
Stemmarbeiten 419
Stern-Dreieck-Anlasser **594**, 600
Stern-Elektroinstallation 485
Sternpunkt 49
- künstlicher 122
Sternpunktisolierung 207
Steuererder 44
Steuerfunktionen 617
- im Fehlerfall 618
Steuergerät 240

Steuerspannung 499
Steuerstromkreise 617
Steuertransformator **498**
Steuerung
- elektronische 304
- speicherprogrammierbare 306–308
Steuerungs- und Bussystem 649
Stillsetzen im Notfall
- Erproben 864
Stockwerksverteiler 490
Stoffe
- leicht entzündliche 712
- normal entflammbare 712
Stopfbuchsenverschraubung 392, 757
Störlichtbögen 825
Störquellen 514
Störungsmeldezentrale 492
Strafrecht 11
Strahlennetz 496
Strahlungsheizung 585
Streufeldtransformator 568
Streulichtrauchmelder 943
Streuströme 167
stroboskopischer Effekt 555
Strombahn 349
Strombegrenzung bei Leitungsschutzschaltern 282
Strombegrenzungsklasse
*Siehe* Energiebegrenzungsklasse
Strombelastbarkeit
- Dauer 43
- Häufung 439
- von Kabeln und Leitungen *222*, 439, *445*, *623*
- von Leitungen 439, *445*, *623*
- Umrechnungsfaktoren für 439
Stromerzeugungsaggregate 248, 253, 632, 646, 652
Stromerzeugungsanlage 243–245
- Blindleistungskompensation 251
- Inbetriebsetzen 252
- nichtstationäre 252
- Überlast- und Kurzschlussschutz 245
Strom, Kennzeichnung 1001
Stromkreise 51, **481–483**
- eigensichere 758
- für Sicherheitszwecke 635
- in Wohnungen *262*
Stromlaufplan 481
- Schaltzeichen 997
Stromquelle für Sicherheitszwecke 629, 648
Stromquellen der Sicherheitsbeleuchtung 652
Stromschiene, Belastbarkeit *333*
Stromschienensystem 51, 350
- für Leuchten 561
Stromselektivität 286
Strom-Spannungs-Messverfahren 877
Stromstoßschalter 487
Stromversorgung 204–206, 795
- für Sicherheitszwecke *Siehe* elektrische Anlage für Sicherheitszwecke
- unterbrechungsfreie 309
Stromversorgungssystem
- isoliertes 795
- zentrales 630
Stromwirkung 66
Stücknachweis 339
Stückprüfung **339**
Synchronisierungsbedingungen 248

**T**
TAB **6**, 83
Tageseinrichtungen 639
Tandemschaltung 553
Tauchmotorpumpen 700
Technische Anschlussbedingungen (TAB) **6**, 83
Technische Regeln 29
Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR) 32
Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) 29, 979
Temperaturbegrenzer 584
Temperaturen, anormale, Schutz 615
Temperaturklassen *744*, *747*
Temperaturregler 584
Theater 644
Thermofühler, eingebaute 598
Tiefenerder 163, 220
Tierhaltung, Intensiv- 734
Tierwärmer 728
Tippen 301
TN-C-S-System **88**, 519
TN-C-System **88**, 91, 517
TN-S-System **88**, 90, 91, 795
TN-System 88, **90–92**
- Abschaltbedingungen 101
- Abschaltzeiten *101*

- automatisches Abschalten 99
- mit Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) 107, 253
- Potenzialausgleich 178
- Prüfung 110
- mit Überstromschutzeinrichtung 84, **102**
- zusätzlicher Potenzialausgleich 108
TN-Verteilungsnetz 108
Tochternotleuchte 654, 657
Tonfrequenz-Rundsteueranlage 243
Transformator 207–209
- Abzweig 211
- Bemessungsleistung 208
- Einheit 353
- Fail-safe- 938
- Gießharz- 208
- in Großbauten 489
- für Hilfsstromkreise 500
- Klingel- 937
- Läutewerk- 937
- Öl- 207, 208
- Schweiß- 149
- Sicherheits- 190, 563
- Spielzeug- 191
- Station, Belüftung 207
- Steuer- **498**
- Streufeld- 568
- Trenn- 187
- Trocken- 208
- Wirk- und Blindwiderstände 265
TRBS (Betriebssicherheit) 29, 979
TREI 4
Trennen 51
Trenner 295
Trennklemmen 336
Trennschieber 335
Trennstufen mit galvanischer Trennung 760
Trenntransformator 187
- bedingt kurzschlussfester 187
- unbedingt kurzschlussfester 187
Trennung
- einfache elektrische 50
- elektrisch sichere 50
- galvanische 760
- sichere 50
Trennungsabstand *s* 921
Treppenräume
- notwendige 674
- notwendige innen liegende 645
- Sicherheits- 675
trockene Räume 51
Trockentransformator 208
Trommelleitungen 622
Tropfensymbole 57
TSK 314
TT-System 87, 90, **110–112**
- Abschaltbedingungen 112
- Erdungswiderstand 113
- mit Fehlerspannungsschutzeinrichtung 117
- mit Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) **112**
- maximale Abschaltzeiten 111
- Prüfung 120
- mit Überstromschutzeinrichtung 111, 114
Tür 155
Türsprechanlage 939
- Leitungen 939
Typprüfung **339**

**U**

Überdrehzahl von Motoren 614
Überdruckkapselung 754
Übergangsdose 414
Übergangswiderstand 664
- von Fußböden und Wänden 197
Überhitzung von Motoren, Schutz 614
Überlagerung mehrerer Netze 202
Überlast, Schutz 614
Überlastschutz 468, 614, 641
- von Leitungen 464
Überlaststrom 51
Übersichtsschaltplan 481
Überspannungen 922
- Schutz 614
Überspannungsableiter 218, 921
Überspannungsschäden, Gewitter 922
Überspannungsschutz 920, 922, 924, 926
- in der Telekommunikationstechnik 930
Überspannungsschutzeinrichtung (ÜSE) 929
Überspannungsschutzgerät 927
Überspannungsschutzgeräte (SPD – Surge Protective Devices) 920
Überspringen 912
Überstrom, Schutz 613
Überstromauslöser 597
Überstromschutzeinrichtung 613

Überstromschutzeinrichtungen 52, **267–269**, 464
- Anordnung 468
- in Beleuchtungsstromkreisen 470
- Bemessung 464
- im Neutralleiter 470
- Selektivität 291
- in Steckdosenstromkreisen 470
- im TN-System 84, **102**
- im TT-System 112, **114**
Übertemperaturschutz 614
Überwachungseinrichtung, Isolations- 121, **124**
Überwachungsgerät, Isolations- 668
Überwachungsleiter 715
Uhrzeigerstellung für Steckvorrichtungen 531
Umgebung
- nicht leitende 49
- Schutz durch nicht leitende 195
Umgebungstemperatur von Leitern 440
Umhüllung 46, 52, 182
- Schutzisolier- 62
ummantelte Installationsleitung 423
Umrechnungsfaktoren
- für abweichende Temperaturen *456*
- für aufgewickelte Leitungen *460*
- für Häufung *457*
- für Strombelastbarkeit 439
- für vieladrige Leitungen 460
- für wärmebeständige Leitungen *461*
Umschaltbetrieb 648
Umschaltstecker 536
Umschaltverzögerung 799
Umschaltzeit 634, 650
- von Stromquellen für Sicherheitszwecke 631
unerlaubte Handlungen 10
unerwarteter Anlauf 612
Unfallverhütungsvorschriften **14**
Universalmessgerät 865
unmittelbare Gefahr 905
Unterbrechung des PEN-Leiters 91, 93
unterbrechungsfreie Stromversorgung 309
Unterdecke 676
Unterkunftsraum 711
Unterrichtsraum 831
Unterspannungsauslöser 298, 598
Unterspannungsschutz 614
Unterverteilerschrank 352
USV-Anlage 309

**V**
VbF 25, 738
VDE-Anwendungsregeln 39
VDE-Beiblätter 39
VDE-Bestimmungen 1, **37**, 949
VDE-Entwürfe **2**, 38
VDE-Kennfaden 359
VDE-Klassifikation 38
VDE-Klassifikationsnummer 37
VDE-Leitlinien 39
VDE-Vornormen 39
VDE-Vorschriftenwerk 37
VDE-Zeichen 24, **359**
VdS-Publikationen 983
Verbindungen, elektrische 482
Verbindungsdose 414
Verbindungsklemme 409, 538
Verbotszeichen 829, 907
Verbraucheranlage 52, 478, **481–483**
Verbrauchsmittel **52**, 523
Verbrennungswärme
- von Kabeln 679
- von Leitungen *678*, *679*
Verdrahtungsleitung 365, 369
Verdrahtungstechnik 624
Vergnügungs- und Freizeitparks 639
Vergusskapselung 761
Verjährung von Mängelansprüchen 8
Verkaufsstätten 639, 645, 820
Verlegearten 405–407, 440–442
verlötete Leiterenden 330
Vermutungswirkung 3, 21
Verrichtungsgehilfe 10
Verriegelung
- von Steckdosen 533
- zweier Netze 248
Versammlungsstätten 639, 645, 819
Versammlungsstättenverordnung 910
Versorgungsbedingungen
*Siehe* Elektrizitätsversorgung
Versorgungsspannung, Ausfall oder unzulässiges Absinken 614
verstärkte Isolierung 47, 50, **63**, 82, 181
Versuchsfeld 830, 831
Verteiler 256–257
- Baustrom- 350–352, 709
- elektrischer 52
- feuerhemmend 256

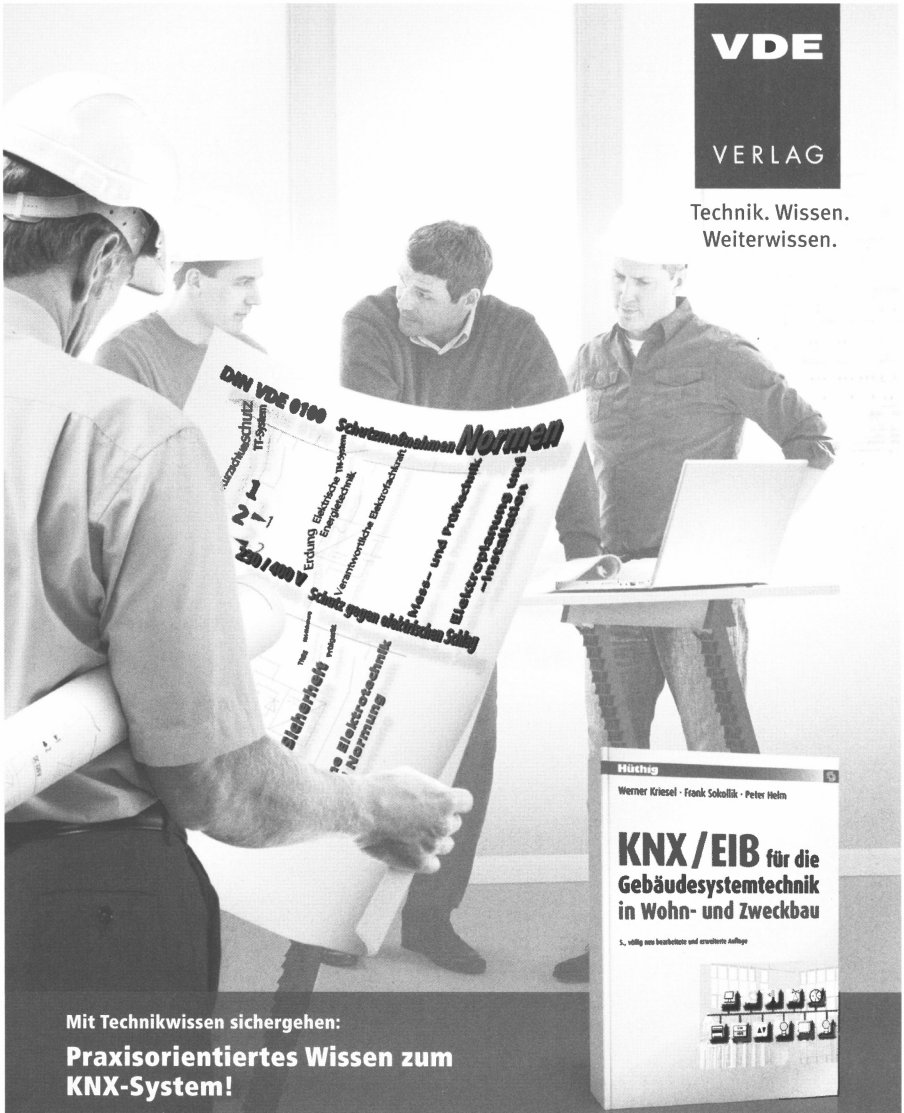
- Installations- 346
- Knotenpunkt- 490
- Prüfung von Schaltanlagen und 261
- Stockwerks- 490
- stromkreis 51, 482
Verteilerschrank
- Haupt- 352
- Kabel- 223
- Unter- 352
Verteilung, Haupt- 47
Verwendbarkeitsnachweis, bauaufsichtlicher 640
VNB *Siehe* NB
VOB 8
Vorschaltgerät 556
- elektronisches **554**
Vorschaltgeräte 543
Vorschriften, Unfallverhütungs- **14**
Vorschriftenwerk, VDE- 37

**W**
Wahrnehmbarkeitsschwelle 66
Wandanschluss 226
Wanddurchführung 227
Wandkanalsystem 434
Wandlung 8
Warenhäuser 645
Wärmebeständigkeit, Leitungen mit erhöhter *461*, *839*
Wärmegerät *Siehe* Elektrowärmegeräte
Wärmemelder 943
Wärmeumsatz 912
Wärmewiderstand, spezifischer 441
Warmwasserbereitung 239
Warnsysteme, Notfall-, elektroakustische 947
Warnzeichen 570, 823
Wasserbecken 692
Wasserrohrnetz als Erder 162
Wasserschutz *55*
Wasserspeicher, Heiß- 583
Wasserverbrauchsleitung 162
Wasserzähler 162
Wechselrichter, statischer 245
- für Leuchtröhrenanlagen 568
Wechselsprechanlage 939
Wechselstrom, Gefährdung durch technischen 66
Wellenwiderstand 912
Werkstätte, Kfz- 837
Werkstoffe 918
Werkvertrag 7
- Haftung 9
Werkzeug 906
- isolierendes 903, 906
Wiederholungsprüfungen 933
wiederkehrende Prüfung 659, 861, 881, 890
Wirkschaltplan 481
Wirkwiderstand von Freileitungen und Kabeln *265*
Wohngebäude 484
Wohnhochhäuser 648
Wohnungen
- Ausstattungswert 486
- zusätzlicher Schutz 135
Wohnungsinstallation 262
- starkstromtechnische 484
Wohnwagen 711, 853
Würgeverbindung 412

**Z**
Zähleranschlussschrank 240
Zählerfeld 240
Zählerplatz **240**
Zählerschrank 240
Zaun *Siehe* Elektrozaun
Zeitselektivität 286
Zeit-Strom-Kennlinie
- von Leitungsschutzschaltern 282
- von Sicherungen **273**, 475, 476
Zentralbatterieanlagen 37, 630, 652
zentrales Stromversorgungssystem 652
- mit Leistungsbegrenzung 631
- ohne Leistungsbegrenzung 631
Zentralheizgerät 587
Zentralkompensation 491
zertifizierte Fachunternehmen 945
Zonen
- Blitzschutz- *924*
- EMV-Schutz- 930
- Ex-Schutz 742
- Gefahr- 217
- Installations-, in Wohnungen 401
Zoneneinteilungen explosionsgefährdeter Bereiche 738
Zugentlastungsschelle 392
Zuleitung 264

Zünddurchschlagvermögen 746
Zündenergie 790
Zündquellen 741
Zündschutzarten 753, 761
Zündstromverhältnis, Mindest- *746*
Zündtemperatur von Gas-Luft-Gemischen *747*
zusätzliche Isolierung **47**
zusätzlicher Schutz 52
– Außenbereich 132
– Wohnungen 135
Zustand, ordnungsgemäßer 16, **905**
ZVEH 4
zweiter Fehler 120, **125**, 198, 501
zwingender Grund 902

VDE
VERLAG
Technik. Wissen.
Weiterwissen.




Hüthig
Werner Kriesel · Frank Sokollik · Peter Helm
KNX/EIB für die Gebäudesystemtechnik in Wohn- und Zweckbau
5., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage

**Mit Technikwissen sichergehen:**

## Praxisorientiertes Wissen zum KNX-System!

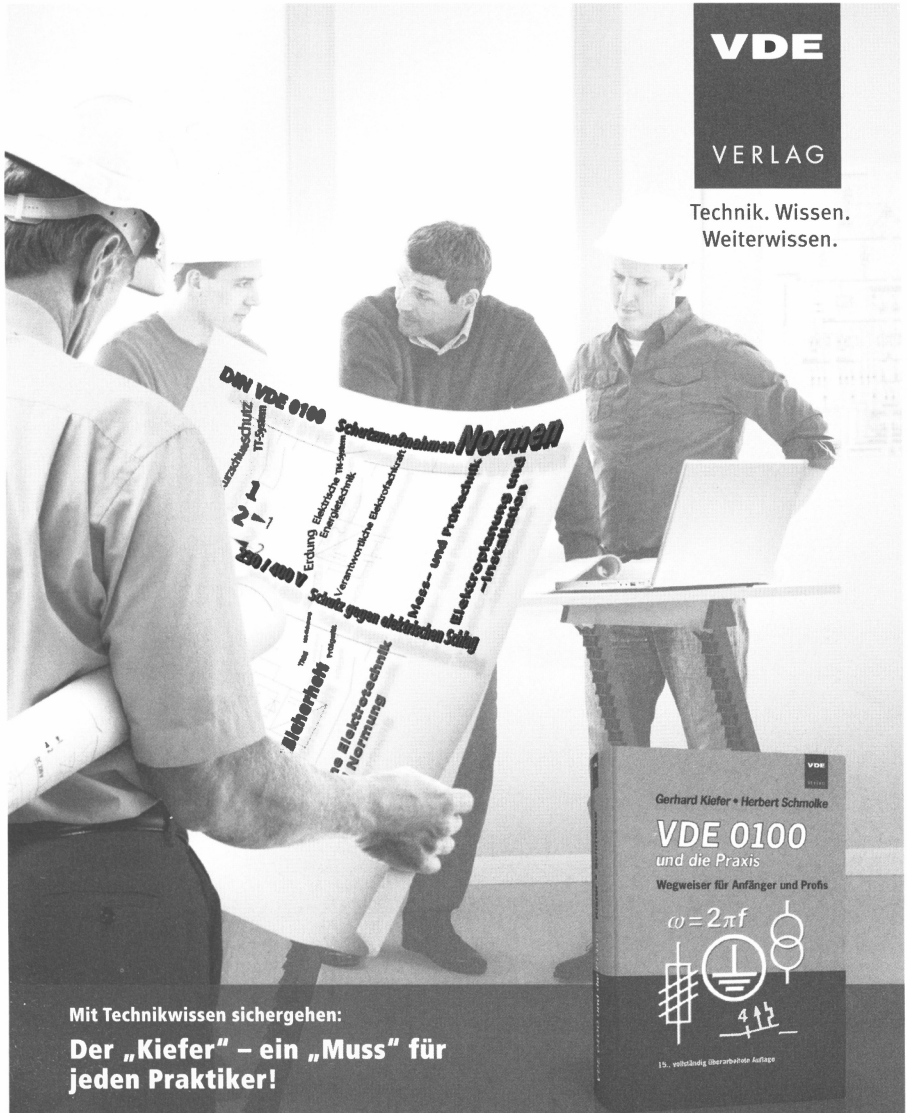
Das bewährte Fachbuch bietet Ihnen eine verständliche Darstellung von Aufbau, Funktion und Anwendung sowie Planung, Projektierung, Inbetriebnahme und Service des KNX/EIB-Systems.

**5., v. neu bearb. und erw. Auflage 2009**
**242 Seiten**
**39,90 €**

Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten.

**Bestellen Sie jetzt: (030) 34 80 01-222 oder www.vde-verlag.de/151247**

VDE
VERLAG
Technik. Wissen.
Weiterwissen.







**Mit Technikwissen sichergehen:**

## Der „Kiefer" – ein „Muss" für jeden Praktiker!

Der Leitfaden beantwortet sämtliche Fragen rund um die Planung und Errichtung elektrischer Niederspannungsanlagen.

Diese Bücher können Sie auch in Ihrem Onlineportal für DIN-VDE-Normen, der Normenbibliothek, erwerben.

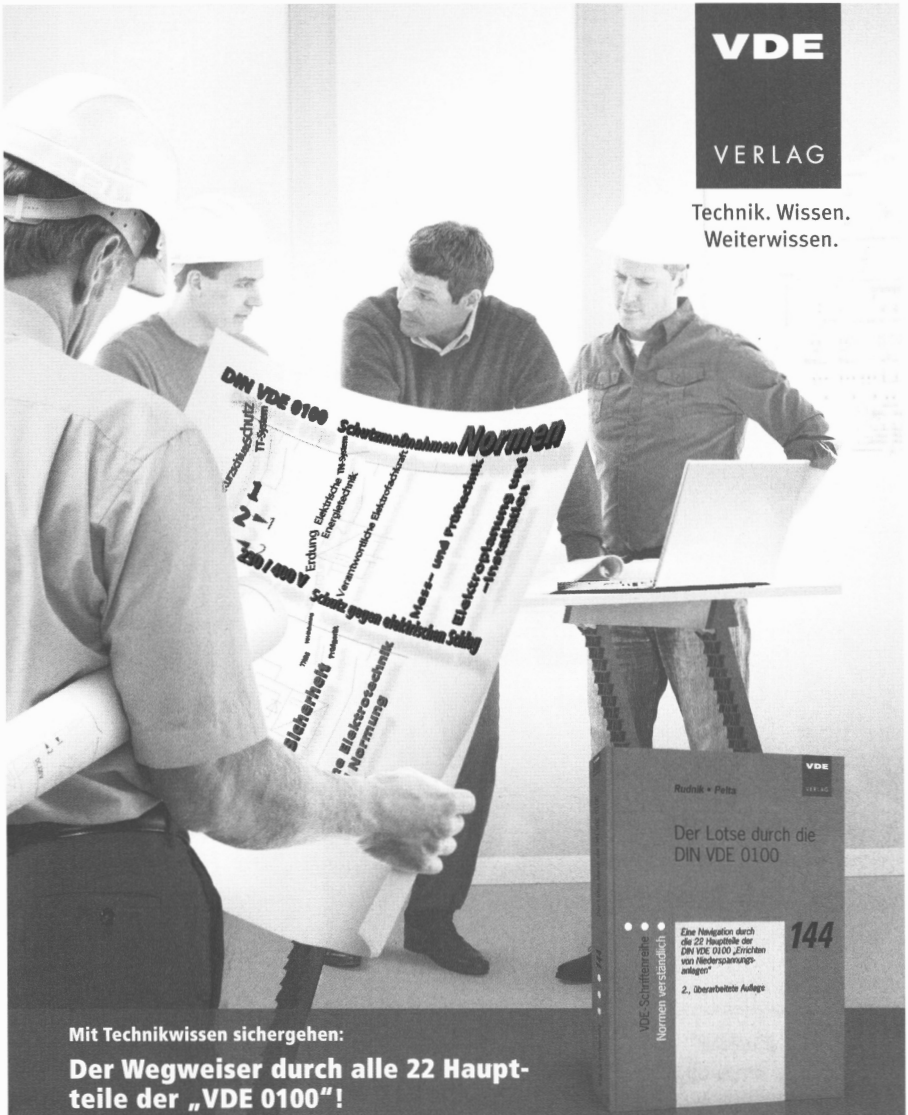
Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten. Das Kombiangebot bestehend aus Buch und E-Book ist ausschließlich auf **www.vde-verlag.de** erhältlich.

**15., vollständig überarb. Auflage 2014. 1051 Seiten**
**42,– €** (Buch/E-Book)
**58,80 €** (Kombi)

e-Book

**Bestellen Sie jetzt: (030) 34 80 01-222 oder www.vde-verlag.de/151245**

VDE
VERLAG
Technik. Wissen.
Weiterwissen.




**Mit Technikwissen sichergehen:**

## Der Wegweiser durch alle 22 Hauptteile der „VDE 0100"!

Dieses Fachbuch hilft Ihnen die konkrete normative Anforderung in der DIN VDE 0100 zu finden.

Diese Bücher können Sie auch in Ihrem Onlineportal für DIN-VDE-Normen, der Normenbibliothek, erwerben.

Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten. Das Kombiangebot bestehend aus Buch und E-Book ist ausschließlich auf **www.vde-verlag.de** erhältlich.

**2., überarb. Auflage 2015**
**375 Seiten**
**29,– €** (Buch/E-Book)
**40,60 €** (Kombi)

e-Book

**Bestellen Sie jetzt: (030) 34 80 01-222 oder www.vde-verlag.de/151143**

VDE
VERLAG
Technik. Wissen.
Weiterwissen.







**Mit Technikwissen sichergehen:**

## Die systematische Hilfe und für die Planung elektrischer Anlagen!

Das bekannte Standardwerk erläutert Ihnen – dem Elektrofachplaner – praxisnah und gut verständlich die Ausarbeitung von Honorarangeboten, die Aufstellung von Kostenschätzungen sowie die planerische Ausarbeitung nach HOAI (7/2013).

Diese Bücher können Sie auch in Ihrem Onlineportal für DIN-VDE-Normen, der Normenbibliothek, erwerben.

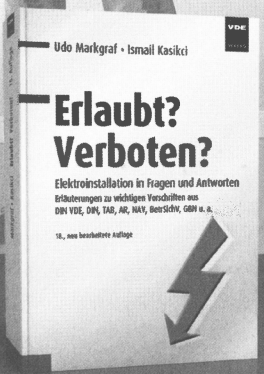
Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten. Das Kombiangebot bestehend aus Buch und E-Book ist ausschließlich auf **www.vde-verlag.de** erhältlich.

**4., neu bearb. Auflage 2014**
**XII, 292 Seiten**
**38,– €** (Buch/E-Book)
**53,20 €** (Kombi)
e-Book

**Bestellen Sie jetzt: (030) 34 80 01-222 oder www.vde-verlag.de/151246**

VDE
VERLAG
Technik. Wissen.
Weiterwissen.




**Mit Technikwissen sichergehen:**

## Ist das normgerecht?

Hier finden Sie Antworten auf Fragen zu Normen und Vorschriften und können sich optimal auf die Gesellen- und Meisterprüfung vorbereiten.

Diese Bücher können Sie auch in Ihrem Onlineportal für DIN-VDE-Normen, der Normenbibliothek, erwerben.

Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten. Das Kombiangebot bestehend aus Buch und E-Book ist ausschließlich auf **www.vde-verlag.de** erhältlich.

**18., neu bearb. Auflage 2015**
**VIII, 378 Seiten**
**38,– €** (Buch/E-Book)
**53,20 €** (Kombi)

e-Book

**Bestellen Sie jetzt: (030) 34 80 01-222 oder www.vde-verlag.de/151248**

VDE
VERLAG
Technik. Wissen.
Weiterwissen.







**Mit Technikwissen sichergehen:**

## Der Bestseller in der 9. Auflage für angehende Gesellen, Meister und Techniker der Elektrobranche!

Die zahlreichen praxisorientierten Prüfungsaufgaben – ermöglichen es, ein breites Grundwissen über DIN-VDE-Normen und berufsgenossenschaftlichen Vorschriften zu erlernen. Ein optimaler Lernerfolg ist garantiert!

Diese Bücher können Sie auch in Ihrem Onlineportal für DIN-VDE-Normen, der Normenbibliothek, erwerben.

Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten. Das Kombiangebot bestehend aus Buch und E-Book ist ausschließlich auf **www.vde-verlag.de** erhältlich.

**9., neu bearb. und erw. Auflage 2015. 523 Seiten**
**46,– €** (Buch/E-Book)
**64,40 €** (Kombi)

e-Book

**Bestellen Sie jetzt: (030) 34 80 01-222 oder www.vde-verlag.de/151249**