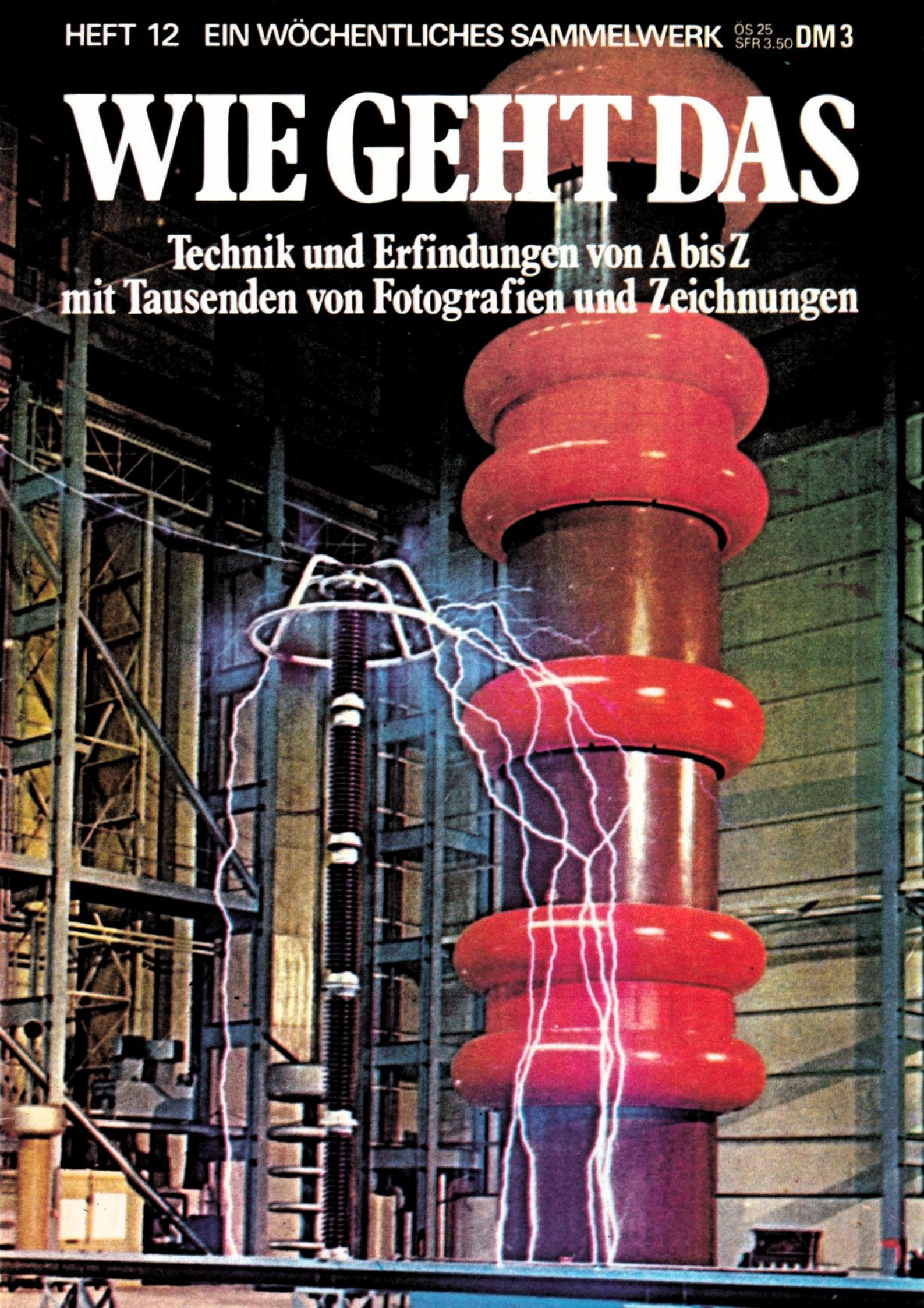


HEFT 12 EIN WÖCHENTLICHES SAMMELWERK ÖS 25
SFR 3.50 DM 3

WIE GEHT DAS

Technik und Erfindungen von A bis Z
mit Tausenden von Fotografien und Zeichnungen



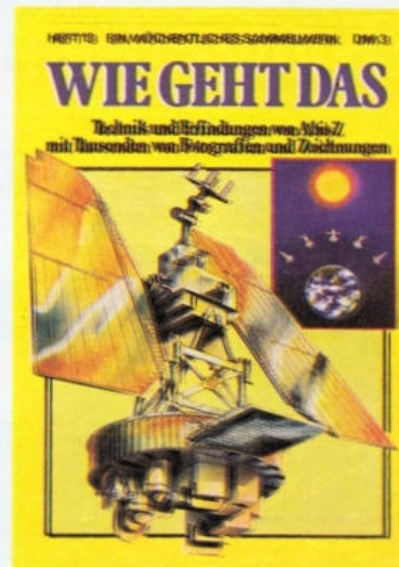
scan: **IGDL**

WIE GEHT DAS

Inhalt

Eisenbahn	309
Elektrizität	314
Elektrofahrzeuge	317
Elektrolyse	320
Elektromagnetische Wellen	322
Elektromagnetismus	326
Elektromotor	329
Elektronenmikroskop	332
Elektronenröhre	335

In Heft 13 von Wie Geht Das



Vom Sputnik 1 in 1957 bis heute hat sich viel in der Satellitentechnik verändert. Die Zahl, Mannigfaltigkeit und Einsatzbereiche von Satelliten steigen jährlich an. In Heft 13 können Sie unter Erdumlaufsatelliten lesen, wie sehr wir uns auf die Satellitentechnik in unserem täglichen Leben verlassen – und wir stellen Ihnen auch die neue Generation von Satelliten vor.

Moderne Krankenhäuser verlassen sich heute mehr und mehr auf elektronische Anlagen zur Diagnose von Krankheiten und Behandlung von Patienten. Das nächste Heft von Wie Geht Das gibt Ihnen einen Einblick in die neuesten Entwicklungen der medizinischen Elektronik.

WIE SIE REGELMÄSSIG JEDE WOCHE IHR HEFT BEKOMMEN

WIE GEHT DAS ist eine wöchentlich erscheinende Zeitschrift. Die Gesamtzahl der 70 Hefte ergibt ein vollständiges Lexikon und Nachschlagewerk der technischen Erfindungen. Damit Sie auch wirklich jede Woche Ihr Heft bei Ihrem Zeitschriftenhändler erhalten, bitten Sie ihn doch, für Sie immer ein Heft zurückzulegen. Das verpflichtet Sie natürlich nicht zur Abnahme.

ZURÜCKLIEGENDE HEFTE

Deutschland: Das einzelne Heft kostet auch beim Verlag nur DM 3. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280 380, 2000 Hamburg 28. Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202. Kennwort: HEFTE.

Österreich: Das einzelne Heft kostet öS 25. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: WIE GEHT DAS, Wollzeile 11, 1011 Wien. Postscheckkonto: Wien 2363.130. Oder legen Sie bitte der Bestellung einen Verrechnungsscheck bei. Kennwort: HEFTE.

Schweiz: Das einzelne Heft kostet sfr 3,50. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner Einzahlungsschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879, und schicken Sie Ihre Bestellung unter Einsendung Ihres Abschnitts an die Schmidt-Agence AG, Postfach, 4002 Basel. Kennwort: HEFTE.

Wichtig: Der linke Abschnitt der Zahlkarte muß Ihre vollständige Adresse enthalten, damit Sie die Hefte schnell und sicher erhalten.

INHALTSVERZEICHNIS

Damit Sie in WIE GEHT DAS mit einem Griff das gesuchte Stichwort finden, werden Sie mit der letzten Ausgabe ein Gesamtinhaltsverzeichnis erhalten. Darin einbezogen sind die Kreuzverweise auf die Artikel, die mit dem gesuchten Stichwort in Verbindung stehen. Bis dahin schaffen Sie sich ein Inhaltsverzeichnis dadurch, daß Sie die Umschläge der Hefte abtrennen und in der dafür vorgesehenen Tasche Ihres Sammelordners verwahren. Außerdem können Sie alle 'Erfindungen' dort hineinlegen.

SAMMELORDNER

Sie sollten die wöchentlichen Ausgaben von WIE GEHT DAS in stabile, attraktive Sammelordner einheften. Jeder Sammelordner faßt 14 Hefte, so daß Sie zum Schluß über ein gesammeltes Lexikon in fünf Ordnern verfügen, das Ihnen dauerhaft Freude bereitet und Wissen vermittelt.

SO BEKOMMEN SIE IHRE SAMMELORDNER

1. Sie können die Sammelordner direkt bei Ihrem Zeitschriftenhändler kaufen (DM 11 pro Exemplar in Deutschland, öS 80 in Österreich und sfr 11 in der Schweiz). Falls nicht vorrätig, bestellt der Händler gern für Sie die Sammelordner.

2. Sie bestellen die Sammelordner direkt beim Verlag. Deutschland: Ebenfalls für DM 11, bei: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: Verlagsservice, Postfach 280380, 2000 Hamburg 28, Postscheckkonto Hamburg 3304 77-202. Kennwort: SAMMELORDNER.

Österreich: Der Sammelordner kostet öS 80. Bitte füllen Sie eine Postzahlkarte aus, an: WIE GEHT DAS, Wollzeile 11, 1011 Wien. Postscheckkonto Wien 2363.130. Oder legen Sie Ihrer Bestellung einen Verrechnungsscheck bei.

Schweiz: Der Sammelordner kostet sfr. 15. Bitte überweisen Sie den Betrag durch die Post (grüner

Einzahlschein) auf das Konto: Schmidt-Agence AG, Kontonummer Basel 40-879, und schicken Sie Ihre Bestellung unter Einsendung des Abschnitts an die Schmidt-Agence AG, Postfach, 4002 Basel. Kennwort: SAMMELORDNER.

Wichtig: Der linke Abschnitt der Zahlkarte muß Ihre vollständige Adresse enthalten, damit Sie die Sammelordner schnell und sicher bekommen. Überweisen Sie durch Ihre Bank, so muß die Überweiskopie Ihre vollständige Anschrift gut leserlich enthalten.



EISENBAHN

Hochgeschwindigkeitszüge wie der japanische Tokaido-Express erreichen Geschwindigkeiten bis zu 240 km/h. Die Tokaido-Bahn befördert täglich mehr als 160 000 Fahrgäste.

Schienenwege wurden zuerst in Europa zur Zeit des Mittelalters, und zwar in Bergwerken, verlegt. In England wurden sie im 16. Jahrhundert erstmalig eingesetzt und bildeten die Grundlage für die Entwicklung des Eisenbahnwesens. Anschließend wurden Kontinentaleuropa und Nordamerika mit Eisenbahnnetzen überzogen. Die ersten Eisenbahnstrecken außerhalb Großbritanniens, bei denen in England gebaute Lokomotiven eingesetzt wurden, bauten britische Ingenieure in Europa. Die erste deutsche Eisenbahn wurde im Jahre 1835 zwischen Nürnberg und Fürth in Betrieb genommen. Die erste Lokomotive für diese Bahn, der 'Adler', wurde aus England geliefert. Der Lokomotivführer, William Wilson, kam ebenfalls aus England.

Später bauten britische Ingenieure in vielen europäischen Ländern Eisenbahnen. Dies dürfte der Grund sein, warum die von dem Eisenbahnpionier Robert Stephenson eingeführte Spurweite von 1435 mm von fast allen Ländern übernommen wurde. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts breiteten sich die Eisenbahnlinien in ganz Europa sehr schnell aus; während dieser Zeit wurden die berühmtesten Bahnen gebaut. Im Jahre 1890 begannen die Russen mit dem Bau der Transsibirischen Eisenbahn, die ganz Asien durchquert, und vollendeten sie im Jahre 1902. Die Strecke um das südliche Ende

des Baikalsees wurde durch den Bau zahlreicher Tunnel erschwert. Sie wurde erst 1905 fertiggestellt.

Staatliche Eisenbahnen

Der staatliche Einfluß begann in England durch die von der Öffentlichkeit geforderten Sicherheitsvorschriften. Seitdem gelten die Eisenbahnen in jedem Land als eine der wichtigsten öffentlichen Einrichtungen.

In Frankreich wurden Konzessionen für ein geplantes Regionalnetz vergeben, für das der Staat das erforderliche Gelände sowie Arbeitskräfte zur Verfügung stellte. Die Gesellschaften bauten die Schienenwege und schafften das rollende Material heran. Die allmähliche Übernahme der Eisenbahn durch den Staat war allerdings vorgesehen; im Jahre 1937 wurde die 'Société Nationale des Chemins de Fer Français' (SNCF) mit 51% staatlicher und 49% privater Beteiligung gegründet.

Die Belgische Eisenbahn unterstand von Anfang an (1835) der staatlichen Planung. Die Preußische Staatsbahn wurde im Jahre 1850 gegründet. Am Ende des ersten Jahres waren 87 km in Betrieb. Eisenbahngesellschaften in Italien und den Niederlanden entstanden im Jahre 1839. In Italien wurde die Eisenbahn von 1905 bis 1907, in den Niederlanden zwischen 1920 und 1938 verstaatlicht. In Großbritannien begann die Verstaatlichung im Jahre 1948. Im allgemeinen gehören die

Unten: Seit 1971 hat die Deutsche Bundesbahn das INTERCITY-Verkehrsnetz ausgebaut. Der ET 403, hier im Münchner Hauptbahnhof, erreicht eine Höchstgeschwindigkeit von 200 km/h.



Hauptstrecken in Europa dem Staat, während sich die Nebenbahnen in Privatbesitz befinden oder von örtlichen Körperschaften betrieben werden.

In den Vereinigten Staaten von Amerika erlebten Eisenbahn und Industrie während der Zeit vom Bürgerkrieg bis zum Beginn des Ersten Weltkrieges ein enormes Wachstum. In jener Zeit, in der Industrie mächtiger waren als die Regierung, gab es Preiskriege und wirtschaftliches Freibeutertum. Schließlich wurde im Jahre 1887 ein Gesetz erlassen, das den Eisenbahnen, die im Verkehrswesen fast ein Monopol innehatten, gewisse Auflagen machte.

Wiederbelebung der Eisenbahn

Seit 1950 vergrößerte sich das Streckennetz der Eisenbahn

Rechts: Eine Dampflokomotive, wie sie in den entwickelten Industrieländern kaum noch eingesetzt wird. Diese veraltete Lokomotivenart ist weniger leistungsfähig und umweltfreundlich als Diesel- oder Elektrolokomotiven. In Entwicklungsländern dagegen findet man noch vorwiegend Dampflokomotiven wie die hier abgebildete Zugmaschine des 'Longuimay-Zugs' in Chile.



J. M. JARVIS/ZEFA



NOVOSTI

Links: Der Moskau-Leningrad-Express 'Roter Pfeil' hat eine dieselelektrische Lokomotive. Die Abbildung zeigt den 'Roten Pfeil' im Leningradszkaya Bahnhof in der sowjetischen Hauptstadt.

Rechts: Das Intercity-Netz der Deutschen Bundesbahn vermittelt einen recht genauen Eindruck vom dichtgespannten Eisenbahnnetz in der Bundesrepublik. Nur wenige Privatbahnen ergänzen dieses Netz im Nahverkehr.

nur noch in einigen wenigen Ländern. Fast alle Eisenbahnen arbeiten heute mit Verlust. Angesichts steigender Luftverschmutzung und Energieverknappung gibt es jedoch erste Anzeichen für eine Wiederbelebung des Interesses an der Eisenbahn.

In Europa entstand durch gemeinschaftliche Bemühungen der 'Internationalen Eisenbahn-Vereinigung' (UIC) u.a. ein Netz schneller TEE-Züge (Trans-Europ-Express), ein Netz von Schnellgüterzügen und auf der Straße das Netz der im Auftrag der Eisenbahnen verkehrenden Europabusse.

Antriebskraft

Es war die Dampfkraft, die der Eisenbahn Bedeutung verlieh,

obwohl sie heute fast ganz durch Diesel- und elektrischen Antrieb verdrängt worden ist. Dampflokomotiven fahren z.B. noch in Südafrika, Indien, China und Osteuropa.

Bei Diesellokomotiven unterscheidet man im wesentlichen drei Antriebsarten: die dieselelektrische, dieselhydraulische und dieselmechanische Antriebsart. Bei der dieselelektrischen Lokomotive wird über einen Dieselmotor ein Generator angetrieben. Der erzeugte Strom wirkt auf Elektromotoren, die mit den Rädern der Lokomotive verbunden sind. Beim dieselhydraulischen Antrieb wirkt die Kraft des Dieselmotors auf ein hydraulisches Getriebe, das die Lokomotivräder wie eine Kleinturbine antreibt. Die dieselmechanische Lokomotive hat wie jedes Straßenfahrzeug ein Zahnradgetriebe. Am weitesten verbreitet ist der dieselelektrische Antrieb. Dieselmechanische

Lokomotiven werden häufig im Rangierbetrieb eingesetzt.

Die ersten elektrischen Lokomotiven bezogen den Strom aus Batterien. Heute wird der Strom von einer Oberleitung oder einer auf Gleishöhe befindlichen Stromschiene abgenommen. Die Gleise dienen als Rückleitung zum Schließen des Stromkreises. Es gibt auch eine Bauart mit zwei Stromschienen, z.B. bei U-Bahnen. Die zweite Stromschiene dient hier zur Ableitung des Stromes. Moderne Kraftübertragungen und Fahrmotoren sind so klein, daß man sie im Fahrgestell der Lokomotive unterbringen kann. Da elektrische Lokomotiven keinen Brennstoff mitführen müssen, haben sie ein hohes spezifisches Leistungsgewicht (das Verhältnis des Eigengewichtes zur Antriebsleistung).



Bauweise der Waggons

In der Anfangszeit bestanden die Waggons einschließlich der Rahmen aus Holz. Um 1900 waren Stahlrahmen üblich geworden. Später baute man die Waggons ganz aus Stahl, wodurch sie sehr schwer wurden. Leichtere Stahl- und Aluminiumlegierungen kamen in den fünfziger Jahren auf.

Ausstattung

In den achtziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts gab es in den USA 'Wolkenkratzer-Waggons'; dies waren zwei-stöckige Holzwaggons mit Fenstern, die als rollende Schlafstätten für Eisenbahnarbeiter dienten. Sie mußten niedriger gemacht werden, als man mit dem Bau von Tunneln begann.

Die Züge wurden zunächst mit Petroleumlampen beleuchtet. Später kamen Gaslampen in Gebrauch. In jedem Waggon war eine Gasflasche, die bei Unfällen eine Gefahrenquelle bildete, erforderlich. Schließlich erhielt jeder Waggon einen durch eine Laufachse angetriebenen Stromgenerator. Bei Stillstand dienten Akkumulatorbatterien als Hilfsstromquelle. Anfangs wurden die Züge durch Metallbehälter, die mit heißem Wasser gefüllt waren, beheizt. Später heizte man mit dem Dampf der Lokomotive. Heute werden Züge nur noch elektrisch beheizt und beleuchtet.

Die Entwicklung der Bauarten der Waggons verlief parallel zur Entwicklung der Lokomotiven. Die neuesten Waggons sind mit einer Klimaanlage ausgestattet und für Geschwindigkeiten über 160 km/h gebaut. Güterwaggons gibt es in zahl-

reichen Bauarten und Größen, je nach Art der zu befördernden Güter. Moderne Güterzüge sind mit durchgehenden Bremsanlagen versehen und können bedeutend schneller fahren als die alten, auf denen noch ein Bremser mitfuhr.

Gleisanlagen (Oberbau) und Signalwesen wurden so entwickelt, daß sie mit höheren Fahrgeschwindigkeiten und dichter Zugfolge Schritt halten konnten. Schienen, die auf eine Länge von 400 m zusammengeschweißt sind, verringern im Vergleich zur ursprünglichen Normallänge der Schienen von 18,28 m die Zahl der Schienenstöße beträchtlich. Die Hauptstrecken sind heute fast alle mit Schienen versehen, die auf ganzer Länge verschweißt sind und somit keine Stöße verursachen. Elektrische Signale mit Buntlicht haben die alten, durch einen Seilzug betätigten Signale mit verstellbaren Armen fast verdrängt. Ein einziges Zentralstellwerk über-

Unten: Eine Eisenbahnsignalanlage. Signalanlagen werden vor allem zum Regulieren der Zugintervalle benutzt — heute vielfach bereits durch Koppelung mit einem Computer.



wacht heute einen ganzen Streckenabschnitt, der früher mehrere Einzelstellwerke benötigte.

Die Eisenbahnen wurden den Betriebsbedingungen ganz unterschiedlicher Gelände angepaßt. Auf Gebirgsstrecken mit starken Steigungen verkehren Lokomotiven und Triebwagen mit Zahnradantrieb. Zum Antrieb dient hier ein großes Zahnrad, das in eine zwischen den Schienen liegende Zahnstange eingreift. Andere Bergbahnen werden durch ein Stahlseil über eine große Winde gezogen. In Städten hat man Einschienenbahnen und Untergrundbahnen gebaut.

Zugüberwachung

Zur Erhöhung der Sicherheit, zur Beschleunigung des Gütertransportes und zur Entlastung des Lokomotivführers hat man Zugüberwachungsanlagen entwickelt. Um den Stellwerksbeamten Verantwortung abzunehmen, gehören zu einem umfassenden System Gleisbilddarstellungen und Angaben über den Ort, an dem sich die Züge befinden. Eine Verfeinerung solcher Anlagen bildet die Verkehrs-Vorausinformation.

Hierbei unterrichten sich die Verschiebebahnhöfe untereinander mittels Fernschreiber über Ladungen, Waggonarten, Streckenführung, Zielort usw.

Ein weiterer Fortschritt ist die Anwendung von Computern, die zur Verbesserung des Güterverkehrs überall dort angeschlossen sind, an denen Güter umgeschlagen werden oder hohes Verkehrsaufkommen besteht. Durch Lochkarten werden in den Computer Angaben darüber eingegeben, wie die Waggonen be- und entladen werden, wie sie zu Zügen zusammengesetzt sind, wie diese fahren und zu welchen Zeiten die Züge auf den Verschiebebahnhöfen abfahren bzw. ankommen. Dadurch hat man stets ein genaues Bild davon, was sich auf dem gesamten Netz abspielt, man verfügt über Aufzeichnungen und erhält Vorausinformationen darüber, wieviel Verkehr das Netz noch aufnehmen kann. Treten an irgendeiner Stelle

Züge für den Austausch von Einzelteilen zwischen Spezialfabriken. Dadurch wird die Eisenbahn in den innerbetrieblichen Verkehr einbezogen. Firmenzüge bestehen oft aus Waggonen, die den Firmen gehören. Fast alle Tankwagen, die die Erdölindustrie trotz der konkurrierenden Pipelines jedes Jahr für den Transport von 21 Millionen Tonnen Erdölprodukten auf der Schiene benötigt, werden von den Industriefirmen selbst gestellt.

Personenverkehr

In Ländern wie Großbritannien, in denen die Eisenbahnlinien strahlenförmig von der Hauptstadt ausgehen, hat sich kein richtiges Schienennetz zwischen den Großstädten ausgebildet; die Bahn hat es dabei schwer, mit dem Straßenverkehr zu konkurrieren. Aus diesem Grunde werden in vielen Län-



Oben: Ein Doppeldeckerzug in Kanada. Die vollklimatisierten Eisenbahnwagen befördern 162 Passagiere.

Schwierigkeiten auf, können diese durch Fahrplanänderungen oder Umleitungen schnell behoben werden.

Güterumschlag

Die Eisenbahn ist seit langem eng mit dem Güterverkehr verbunden. Viele Bahnen wurden sogar nur für diesen Zweck gebaut. Z.B. wird die für Kraftwerke bestimmte Kohle beim Bergwerk ohne Anhalten des Zuges in Trichterwaggonen geladen. Am Kraftwerk fährt der Zug mit einer Geschwindigkeit von etwa 3 km/h eine Schleife und wird, ebenfalls ohne anzuhalten, automatisch entladen.

Personenkraftwagen werden auf zweistöckigen Waggonen befördert. Autofabriken beispielsweise gehören zu den Großkunden der Eisenbahn. Für sie werden besondere Züge bereitgestellt. In den USA benutzen Ford und Chrysler diese



Oben: Ein Zug der Deutschen Bundesbahn mit Panoramablick, der für Ausflugsreisen eingesetzt wird.

dern in steigendem Maße Verkaufsstrategen am Entwurf neuer Züge beteiligt, damit das potentielle Verkehrsaufkommen auch wirklich ausgeschöpft wird. Klimaanlage, Sitze mit verstellbarer Rückenlehne, Schalldämpfung und nichtspiegelnde Scheiben in Panoramafenstern sind Einrichtungen, die die Reisenden in der Bundesrepublik Deutschland und anderen europäischen Ländern allmählich für selbstverständlich halten.

Heute haben fast alle Intercity- und TEE-Züge ein Schreibabteil mit Zugsekretärin, in dem man telefonieren und Telefonate empfangen kann. Die Sekretärin kann während der Fahrt Telegramme aufgeben und Hotelzimmer bzw. Mietwagen reservieren. Den 756,4 Millionen Reisenden, die die Deutsche Bundesbahn im Jahre 1977 beförderte, standen täglich 18 179 Züge zur Verfügung. Diese Züge befahren ein Streckennetz von 28 796 km Länge.

Die Eisenbahn ist besonders dann ein schnelles und verhältnismäßig billiges Verkehrsmittel, wenn das Verkehrsaufkommen zwischen bestimmten Punkten groß ist und sich im Verlaufe eines Jahres hoch hält. Mit der Entwicklung von Hochgeschwindigkeitszügen, die Geschwindigkeiten von 240 km/h und mehr erreichen, und aufgrund guter Städteverbindungen ist die Zukunft und eine kontinuierliche Weiterentwicklung des Eisenbahnverkehrs sichergestellt.

ELEKTRIZITÄT

Heute sind viele Wissenschaftler damit beschäftigt, neue Methoden der Umwandlung von Energie in Elektrizität zu entwickeln, da die Nachfrage überall auf der Welt steigt.

Die Elektrizität hängt mit dem Verhalten und der Bewegung der Elektronen zusammen. Die Ladung des Elektrons, seine relativ hohe Beweglichkeit und die Leichtigkeit, mit der es bewegt werden kann, sind seine wichtigsten Eigenschaften hinsichtlich der Elektrizität. Die Bewegung der Elektronen liegt allen elektrischen Erscheinungen, wie beispielsweise dem Strom in einem elektrischen STROMKREIS, zugrunde.

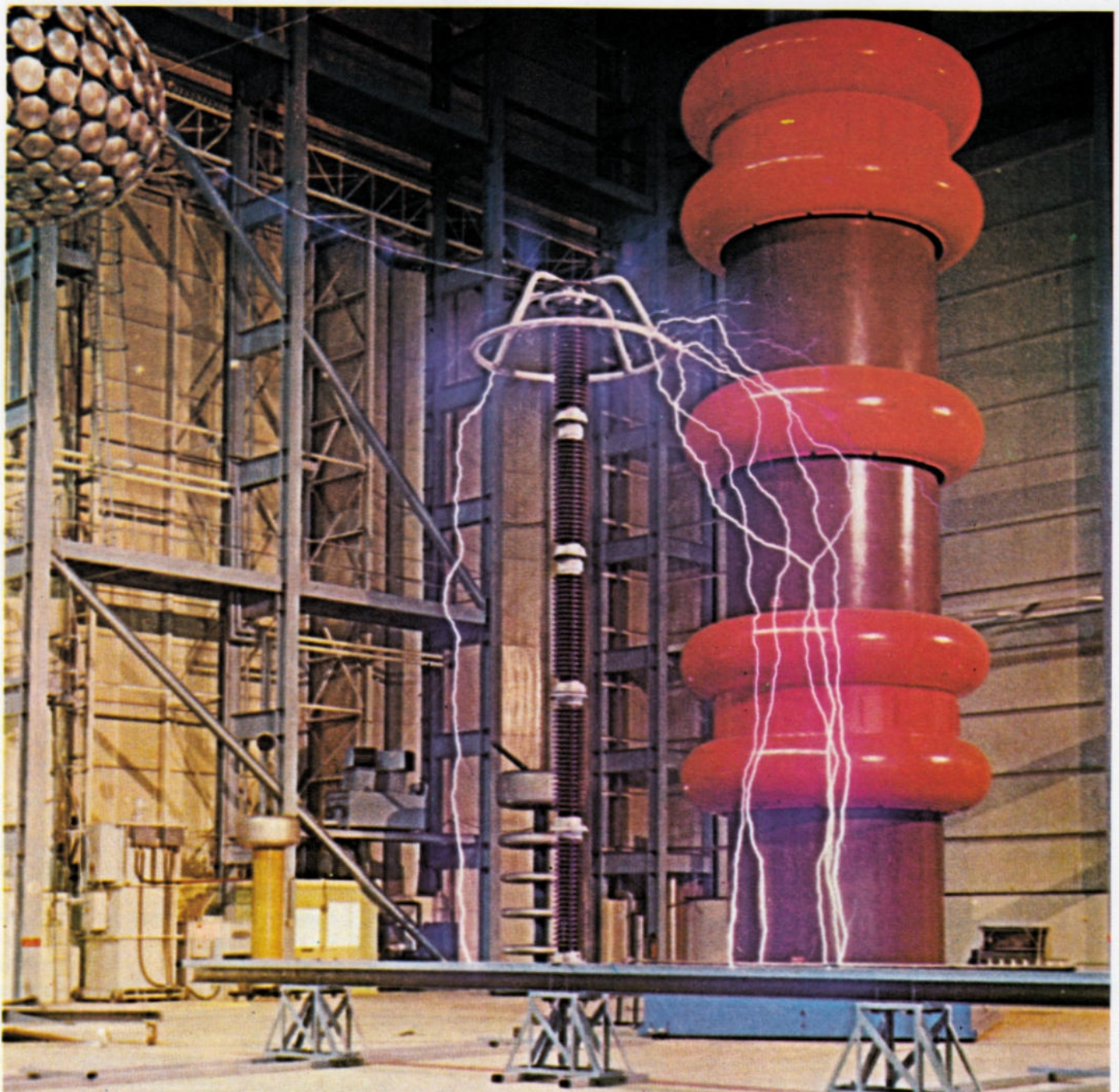
Elektronen gibt es in allen Atomen. Sie bewegen sich in schalenförmigen Umlaufbahnen um den Atomkern, der aus Protonen und Neutronen besteht (siehe ATOME und MOLEKÜLE). Die Anziehungskraft zwischen Protonen und Elektronen sorgt für den Zusammenhalt des Atoms. Bei vielen Atomen sind die Elektronen auf der äußeren Umlaufbahn nur schwach an den Kern gebunden. Diese geringe Anziehungskraft sowie

die Tatsache, daß die Masse sowohl eines Protons als auch eines Neutrons etwa zweitausendmal so groß ist wie die eines Elektrons, führen dazu, daß sich die sogenannten Valenzelektronen (die Elektronen der äußeren Schale der Elektronenhülle) verhältnismäßig leicht von dieser Schale entfernen lassen.

Strom

Atome, Moleküle oder Ionen vereinigen sich als Festkörper zu einem regelmäßig angeordneten Kristallgitter. Die Struktur des Kristallgitters, die Beweglichkeit der Elektronen im Kristall und der Aufbau der jeweiligen Atome bestimmen die elektrischen Eigenschaften eines Elementes oder einer Verbindung. Der elektrische WIDERSTAND ist beispielsweise ein Maß für den Energieaufwand der Elektronen, um sich im Kristallgitter bewegen zu können. Die dabei aufgewendete

Entladung durch Überschlag. Der Überschlag entstand beim Testen von Isolatoren bei hoher Spannung. Diese Isolatoren werden in Kraftwerken und Umspannanlagen verwendet.





Diese Plexiglasscheibe wurde aufgeladen, indem man einen hoch-energetischen Elektronenstrahl hindurchschickte. Durch Erden einer Seite entstand dieses Entladungsmuster.

Energie erscheint meistens in Form von Wärme. KONDENSATOREN nutzen die geringe Elektronenmobilität von Nichtleitern aus, um auf der einen Platte einen Überschuß und auf der anderen einen Mangel an Elektronen herzustellen. Beim Ausgleich der Ladungen tritt ein kurzer Stromstoß auf.

Die Gitter metallischer Elemente erlauben den Valenzelektronen ein großes Maß an Freiheit und setzen ihrer Bewegung wenig Widerstand entgegen. Deshalb stellen sie hervorragende Leiter für elektrischen Strom dar. In Isolatoren hingegen sind die Valenzelektronen fest gebunden, so daß sich nur wenige Elektronen frei bewegen können.

Freie Elektronen treten in guten Isolatoren nur selten auf. Um eine Stromstärke von 1 A (Ampere, Einheit des elektrischen Stromes) zu erhalten, müssen 6×10^{18} (6 Milliarden Milliarden) Elektronen die Flächeneinheit in einer Sekunde durchdringen. Während sich die Wirkung des elektrischen Stromes mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet, bewegt sich das einzelne Elektron nur mit einer Geschwindigkeit von durchschnittlich 2,54 cm/s in Richtung des Stromes.

Spannung

Die elektrische Anziehung zwischen Protonen und Elektronen ist eine der Grundkräfte im Universum. Allerdings ist diese Kraft nicht die Ursache für das Fließen eines Stromes. Strom kann nur fließen, wenn zwei Punkte unterschiedliches Poten-

tial aufweisen. Die Potentialdifferenz nennt man Spannung. Ihre Einheit ist das Volt (V). Bei der Bewegung eines Elektrons von einem zum anderen Potentialpunkt nimmt das Elektron Energie auf, d.h. die Spannung kann als Energiemaß angesehen werden.

Geschichte

Mit der Untersuchung der Elektrizität waren seit jeher auch Untersuchungen über magnetische Erscheinungen verbunden. Ein Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus wurde aber erst im Jahre 1820 entdeckt.

Zum ersten Mal wurde die Reibungselektrizität im Jahre 1600 wissenschaftlich untersucht. Verschiedene Materialien erwiesen sich als gut oder schlecht elektrisierbar, je nachdem wie leicht es war, ihnen die Fähigkeit zu verleihen, leichte Objekte anzuziehen. Dementsprechend teilte man die Materialien in 'Leiter' und 'Nichtleiter' ein.

Der französische Wissenschaftler du Fay entwickelte die Fluidumstheorie. Er war der Ansicht, daß ein Stoff für das Entstehen der Elektrizität verantwortlich ist. Im Jahre 1747 gelangte Benjamin Franklin durch seine Experimente zu der Auffassung, daß es zwei Arten von elektrischem Fluidum geben müsse. Das eine Fluidum sei für die 'positive', das andere für die 'negative' elektrische Aufladung verantwortlich.

Diese Unterscheidung zwischen positiv und negativ kam zustande, weil sich bestimmte elektrisch geladene Substanzen gegenseitig anzogen, während sich andere abstießen. Folgendes ist eine weitere, offensichtliche Parallele zum Magnetismus: Der Nordpol eines Magneten stößt einen anderen Nordpol ab. Ebenso stoßen sich zwei Südpole eines Magneten ab.

Nord- und Südpol eines Magneten hingegen ziehen sich gegenseitig an. Später gab man die Theorien über das elektrische Fluidum auf, aber man behielt die Ausdrücke 'positiv' und 'negativ' und die Regel 'Gleiches stößt sich ab — Ungleiches zieht sich an' bei.

Das Coulombsche Gesetz

Quantitativ wurde die Anziehung bzw. Abstoßung elektrischer Ladungen im Jahre 1785 von C. A. Coulomb (1736 bis 1806) beschrieben. Dieses Coulombsche Gesetz — es hat die gleiche Struktur wie das Newtonsche Gravitationsgesetz der Mechanik — sagt aus, daß die Anziehungs- bzw. Abstoßungskraft zwischen zwei Ladungen ihrer Ladungsmenge proportional und dem Quadrat ihres Abstandes umgekehrt proportional ist. D.h. verdoppelt man den Abstand zwischen zwei Ladungen, verringert sich die Kraft, mit der sich Ladungen anziehen oder abstoßen, auf den vierten Teil.

Nachdem das Coulombsche Gesetz bekannt geworden war, entwickelte sich das Verständnis für die Elektrizität sehr schnell. Der italienische Physiker Alessandro Volta entdeckte die Möglichkeit, kontinuierlich elektrischen Strom fließen zu lassen. Die sogenannte 'Voltasche Säule' war der Vorläufer der modernen elektrischen Batterie. Sie arbeitete ebenso wie die moderne Batterie auf dem Prinzip der Elektrolyse. (Unter Elektrolyse versteht man die Zersetzung von Salzlösungen, Säuren und Basen durch den elektrischen Strom.) Ihre Entdeckung durch Volta im Jahre 1800 — ihm zu Ehren wurde die Einheit der Spannung Volt genannt — stellt einen Wendepunkt in der Erkenntnis über Elektrizität dar.

Vor Erfindung der Voltaschen Säule konnte man Ladungen nur mit Elektroskopen 'speichern'. Bei ihrer Entladung traten so kleine elektrische Ströme auf, daß elektrische Erscheinungen nicht untersucht werden konnten.

Elektromagnetismus

Die zufällige Entdeckung der Beziehung zwischen elektrischem Strom und Magnetismus war der nächste Schritt zum tieferen Verständnis elektrischer und magnetischer Erscheinungen. Der britische Physiker Michael Faraday erkannte kurze Zeit später, daß zwischen elektrischem Strom und Magnetismus eine Wechselbeziehung besteht. Die Bewegung elektrischer Ladungen ruft ein Magnetfeld hervor. Umgekehrt kann ein sich veränderndes Magnetfeld den Fluß von Elektronen bewirken. Im Jahre 1831 bewies er, daß die kontinuierlichen Änderungen eines Magnetfeldes oder der 'magnetische Fluß' in einem zu einer Schlinge gebogenen Draht das Fließen eines elektrischen Stromes hervorruft. Die Wechselbeziehung zwischen Elektrizität und Magnetismus ist die Ursache der INDUKTION.

In Jahre 1851 entdeckte Faraday, daß bei der Bewegung elektrischer Ladungen magnetische und elektrische Felder auftreten. In seinen berühmten Maxwell'schen Gleichungen formulierte J. C. Maxwell im Jahre 1865 diese Erkenntnis mathematisch. Mit den Maxwell'schen Gleichungen lassen sich alle magnetischen und elektrischen Erscheinungen theoretisch beschreiben und verstehen.

Der Blitz ist die augenscheinlichste natürliche Form der Elektrizität. Er entsteht durch elektrische Entladung zwischen elektrisch aufgeladenen Wolken oder zwischen elektrisch aufgeladenen Wolken und der Erde. Das Bild wurde in Santa Fé, New Mexico, aufgenommen.



ELEKTROFAHRZEUGE

Das Elektrofahrzeug ist ideal für häufiges Anfahren und Anhalten geeignet. Im Gegensatz zum dieselbetriebenen Kleinlaster, der nur eine Lebensdauer von drei bis fünf Jahren hat, liegt die Lebenserwartung eines Elektrofahrzeuges bei über zwanzig Jahren.

Aufgrund geringer Geschwindigkeit, geringer Beschleunigung und geringer Reichweite konnte sich das Elektrofahrzeug für den Personenverkehr bisher noch nicht durchsetzen. Im kommerziellen Bereich jedoch haben Elektrofahrzeuge eine Reihe von Aufgaben, z.B. bei Behörden und bei der Post, übernommen, bei denen Kurzstreckenfahrten überwiegen. Für diesen Betrieb mit häufigem Anfahren und Anhalten ist das Elektrofahrzeug sehr gut geeignet.

Geschwindigkeitsregelung

Die meisten elektrischen Straßenfahrzeuge werden von einem Hauptmotor geringer Drehzahl angetrieben, der über eine übliche Hinterachskonstruktion auf die Hinterräder wirkt. Für die Geschwindigkeitsregelung kennt man hauptsächlich zwei Arten. Am einfachsten verändert man die dem Motor zuzuführende Spannung durch Anzapfung der Batterie mit einer Kombination von hintereinander- und parallelgeschalteten Anschlüssen. Man beschränkt beispielsweise den Anschlußwert einer 48-V-Batterie auf 12 V, um den hohen Anlaufstrom zu verringern. Bewegt sich das Fahrzeug, schaltet der Regler zunächst auf eine Spannung von 24 V, dann auf 36 V und schließlich auf die Endspannung von 48 V. In den meisten Elektrofahrzeugen ist ein herkömmliches Beschleunigungspedal vorhanden. Daneben benötigt man — wie bei Kraftfahrzeugen mit Automatikgetriebe — noch ein Brems-

Unten: Ein Elektro-Taxi für Selbstfahrer in Amsterdam. Der Selbstfahrer holt das Taxi an einer Aufladestelle ab und liefert es am Ende der Fahrt wieder ab.



Links: Ein für den Moskauer Taxiverkehr entwickeltes Elektro-Versuchsfahrzeug.



Aufbau

Im Prinzip ist ein Elektrofahrzeug sehr einfach aufgebaut. Es setzt sich im wesentlichen aus der Batterie, dem Regler, dem Motor, der Kraftübertragung sowie dem Fahrzeugchassis und -aufbau zusammen. Man kennt beim Elektrofahrzeug nur acht bewegliche Teile, davon sind vier die Räder. Abgesehen von der Batterie, dem Regler und dem Motor unterscheidet sich das Elektrofahrzeug im Aufbau nicht von anderen Straßenfahrzeugen.

Die Batterien sind heute meist Bleiakkumulatoren, die, wenn sie regelmäßig aufgeladen werden und der Säurezustand stets gleichbleibt, eine garantierte mittlere Lebensdauer von vier Jahren haben. Sie sind jedoch recht schwer, und die Energiedichte (die pro Gewichtseinheit erzeugte Energiemenge) beträgt nur etwa 4 Wh/kg. Dies ist der Grund für die geringen Fahrleistungen der meisten Elektrofahrzeuge.

pedal. Da in Elektrofahrzeugen nur Beschleunigungspedal, Bremse und Steuerung zu betätigen sind, sind sie besonders leicht zu fahren.

Fahrzeuge für den kommerziellen Gebrauch

Elektro-Straßenfahrzeuge sind in letzter Zeit wieder interessant geworden, da sie weniger Lärm verursachen und umweltfreundlicher sind als Benzin- und Dieselmotoren. Das Elektrofahrzeug ist im Gesamtenergieverbrauch oft wirtschaftlicher als ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor.

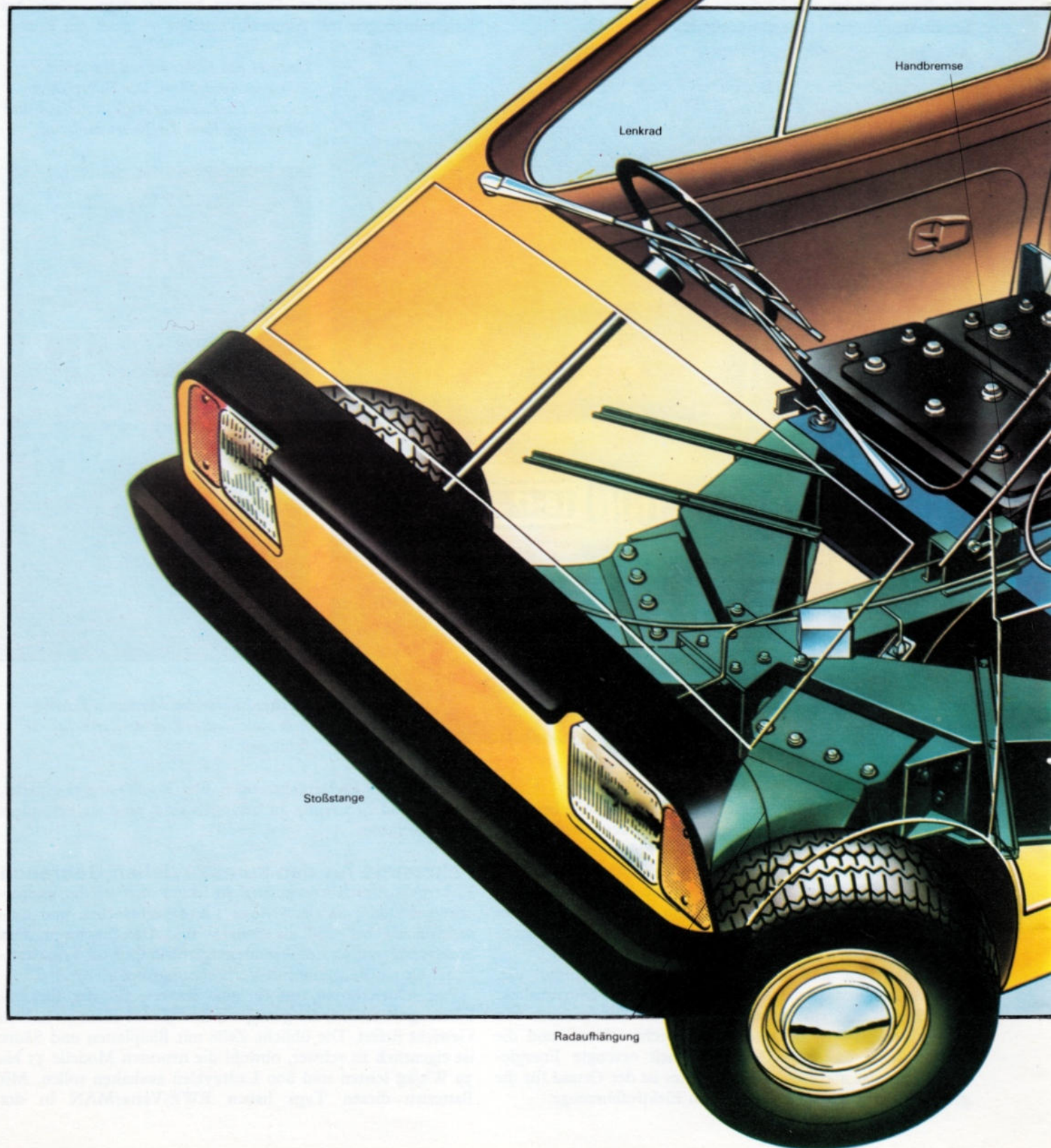
Am schwierigsten war es, eine Batterie für das Elektrofahrzeug zu finden, die genügend Energie bei nicht zu hohem Gewicht liefert. Die übliche Zelle mit Bleiplatten und Säure ist eigentlich zu schwer, obwohl die neuesten Modelle 35 bis 39 Wh/kg leisten und 800 Ladezyklen aushalten sollen. Mit Batterien diesen Typs haben RWE/Varta/MAN in der

Bundesrepublik Deutschland und Chloride/Selnec in Großbritannien Busse für 50 Passagiere und Normalbetrieb gebaut. Beide Typen erreichen etwa 72 km/h und haben eine Reichweite von etwa 64 km. Um zu vermeiden, daß Fahrzeuge lange Standzeiten zum Nachladen der Batterie haben, tauscht man die erschöpfte Batterie einfach gegen eine frisch geladene aus. Der MAN-Bus führt die Batterie in einem Anhänger mit. Die Firma Chloride baut sie unter dem Fußboden ein.

Zur Zeit befinden sich viele leichte Elektrolastwagen in der Entwicklung. Der Umbau eines VW-Transporters ist beispielsweise so konzipiert, daß die Batterie im Schnellverfahren nachgeladen werden kann. In Frankreich stellte die Firma 'Electricité de France' einen zu einem Zweisitzer umgebauten Renault R4 vor. In Italien baute die Firma ENEL einen Fiat

um. In den USA wurden große Personenwagen auf Elektroantrieb umgestellt, die Geschwindigkeiten von fast 100 km/h erreichen und Reichweiten bis 160 km haben. Serienmäßig werden solche Wagen jedoch nicht hergestellt.

Der Elektro-Personenwagen trifft heute auf manche Konstruktionsschwierigkeiten. Es wird zunehmend schwieriger, Kleinwagen zu bauen, die die neuen Sicherheitsvorschriften erfüllen.

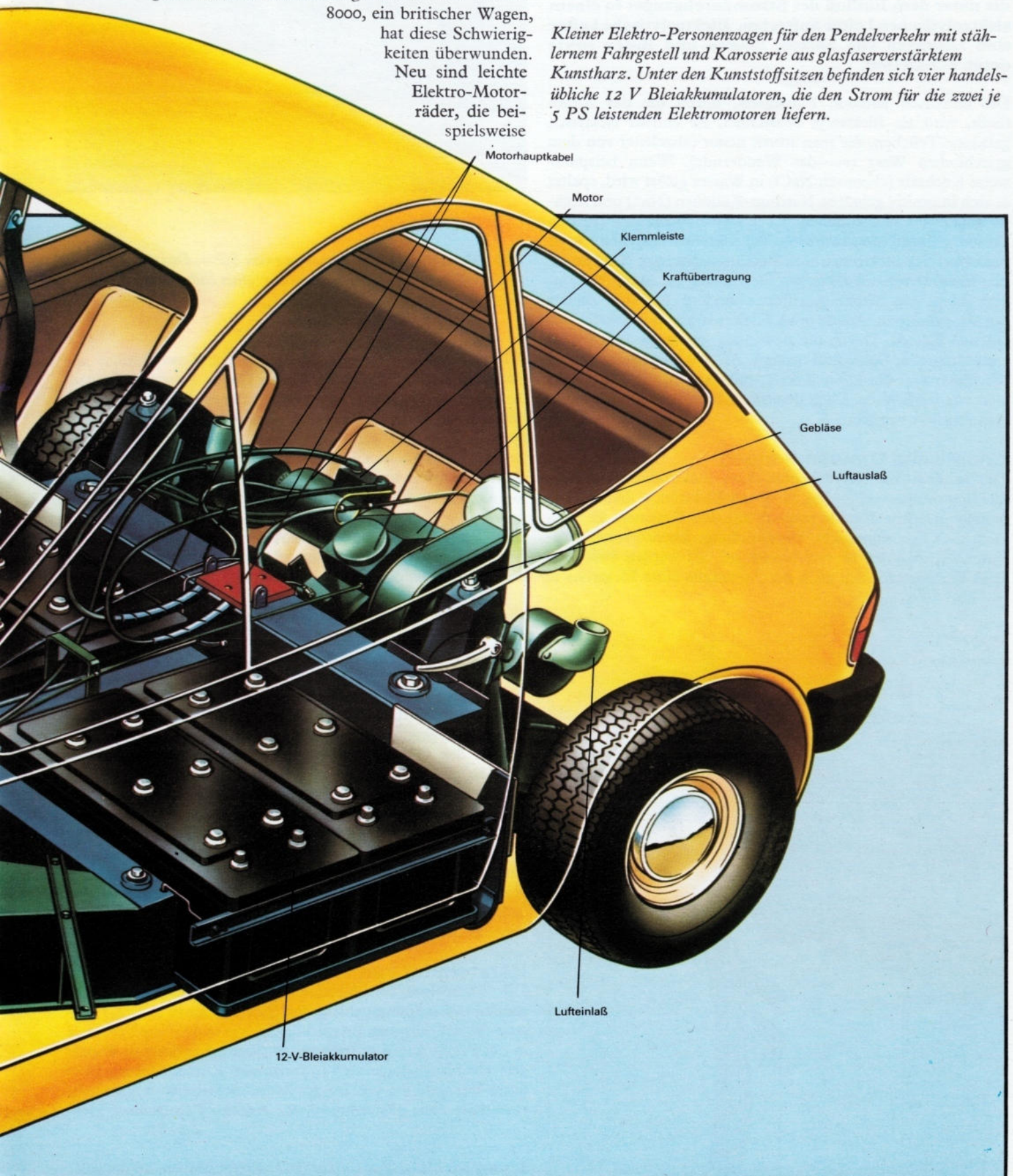


Zusätzliche Schwierigkeiten bereitet die große Masse der Batterie im Elektro-Personenwagen. Bisher waren solche Spezialfahrzeuge sehr leicht gebaut und genügten strengen Sicherheitsanforderungen nicht. Der Enfield

8000, ein britischer Wagen, hat diese Schwierigkeiten überwunden. Neu sind leichte Elektro-Motorräder, die beispielsweise

von der österreichischen Firma Steyr-Daimler-Puch gebaut werden. Sie könnten sich für den Personenverkehr in Stadtzentren als brauchbar erweisen.

Kleiner Elektro-Personenwagen für den Pendelverkehr mit stählernem Fahrgestell und Karosserie aus glasfaserverstärktem Kunstharz. Unter den Kunststoffsitzen befinden sich vier handelsübliche 12 V Bleiakkumulatoren, die den Strom für die zwei je 5 PS leistenden Elektromotoren liefern.



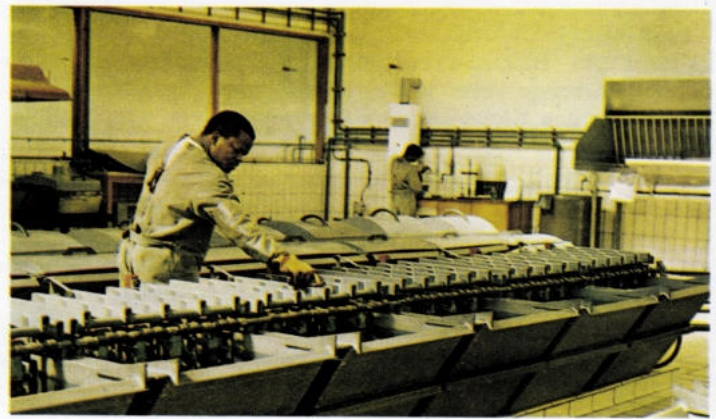
ELEKTROLYSE

Elektrolyse nennt man die chemischen Veränderungen, die unter dem Einfluß des Stromdurchganges in einem elektrolytischen Leiter auftreten. Elektrolytische Leiter sind Lösungen von Salzen, Säuren und Basen sowie deren Schmelzen.

Die elektrisch leitende Flüssigkeit, durch die der Strom fließt, wird als Elektrolyt bezeichnet. Er enthält elektrisch geladene Teilchen, die man IONEN nennt (abgeleitet von dem griechischen Wort *ion* = das Wandernde). Wenn beispielsweise Kochsalz (chemisch NaCl) in Wasser gelöst wird, spaltet es sich in positiv geladene Natrium-Kationen (Na^+) und negativ geladene Chlor-Anionen (Cl^-). Diese Ionen sind für den Stromtransport verantwortlich. Bei Metallen hingegen tragen ausschließlich Elektronen zum Stromtransport bei. Wird durch den Elektrolyten mit Hilfe von Elektroden, die in die Flüssigkeit ragen, ein Strom geschickt, wandern Anionen zu der positiv geladenen Anode und Kationen zu der negativ geladenen Katode. Durch die Bewegung geladener Ionen wird ein elektrischer Stromfluß erzeugt. An den Elektroden finden die Elektrolyse-Reaktionen statt. Substanzen, die nicht ionisiert werden können, leiten den Strom nicht und können nicht elektrolysiert werden.

Chemische Umwandlungen

Die in dem Elektrolyt befindlichen Elektroden sind über Leitungsdrähte verbunden, in denen Elektronen fließen. Die negativ geladene Katode reagiert mit den Kationen. Es vollzieht sich eine chemische Umwandlung. Ebenso treten chemische Reaktionen an der Anode auf. Es werden zum Beispiel Wasserstoffionen nach der Aufnahme eines Elektrons in



RON BOARDMAN

Elektrolysezellen für die Veredelung von Silber. Das unreine Silber wird als Anode verwendet, und reines Silber scheidet sich an der Katode ab.

Wasserstoffatome umgewandelt. Anschließend bilden die Atome Wasserstoffmoleküle, die als Gas in Blasen aufsteigen. An einer Anode werden von den Anionen Elektronen abgegeben und fließen über den Verbindungsdraht ab. Entsprechend ändert sich die chemische Beschaffenheit der Ionen. Andererseits könnten die Atome der Elektrode Elektronen abgeben und sich in dem Elektrolyten als Kationen lösen. Dies ist der Grund für die Korrosion von Metall.

Die Faradayschen Gesetze

Michael Faraday hat im Jahre 1833 versucht, die Elektrolyse durch die folgenden Gesetze quantitativ zu beschreiben:

1. Die bei dem Stromdurchgang durch einen Elektrolyten abgeschiedenen Stoffmengen sind proportional dem Produkt aus Stromstärke und Zeit, d.h. der hindurchgegangenen Elektrizitätsmenge.
2. Gleiche Elektrizitätsmengen scheiden aus verschiedenen Elektrolyten Stoffmengen ab, die dem chemischen Äquivalentgewicht, d.h. dem Quotienten aus Atommasse und Wertigkeit, proportional sind.

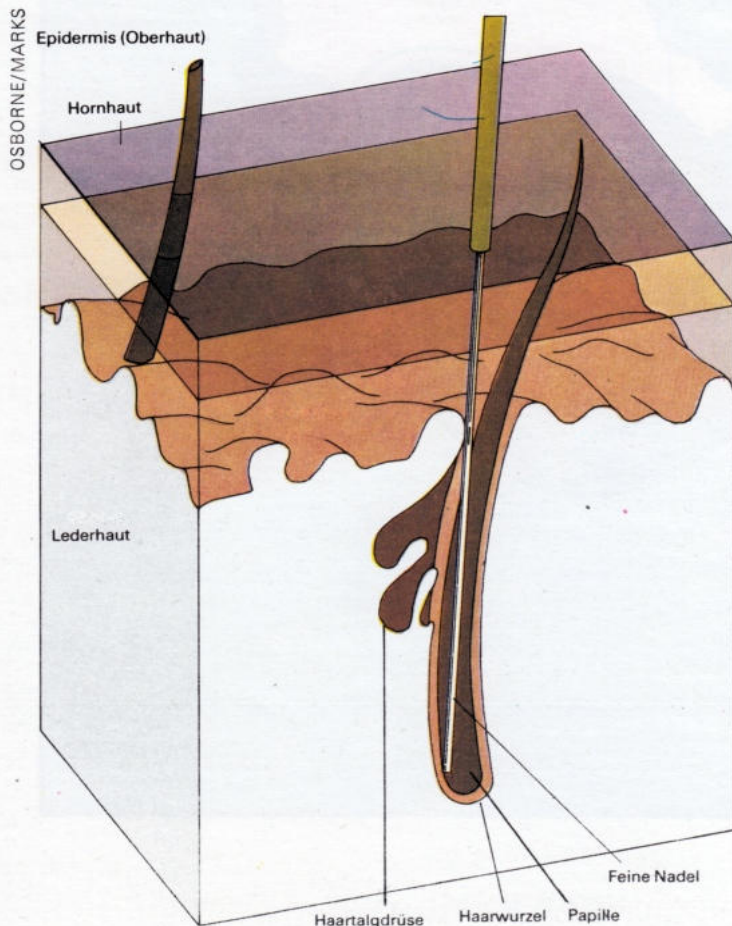
Wegen der Gültigkeit dieser Gesetze kann die Elektrolyse als eine chemische Analyse-methode angewendet werden, da die Quantität einer vorhandenen Substanz anhand der Elektrizitätsmessung gemessen werden kann, die erforderlich ist, um die Substanz zu elektrolysieren.

Es ist möglich, den Prozeß der Elektrolyse umzukehren, so daß chemische Substanzen an einer Elektrodenoberfläche reagieren und elektrischen Strom erzeugen. Eine solche Anordnung wird bei der Herstellung einer Brennstoffzelle angewendet.

Herstellung von chemischen Substanzen

Die Elektrolyse von Natriumchlorid war eines der ersten großen Anwendungsgebiete der Elektrochemie in der Industrie. Sie ist ein gutes Beispiel dafür, wie technische Probleme in der Praxis überwunden werden. Wenn Kochsalz in Wasser gelöst wird, spaltet es sich in Ionen auf. Kochsalzlösung kann unter Verwendung von inerten Metallelektroden in einer sehr einfachen Zelle (Anordnung von Anode, Katode und Elek-

Links: Die Elektrolyse wird auch zur Entfernung von unerwünschtem Haar verwendet. Eine Elektrode stellt einen relativ großflächigen Kontakt mit der Haut her, während die zweite nadel-förmig ist und an die Haarwurzel gebracht wird. Wenn ein Strom durchgeleitet wird, töten die hervorgerufenen chemischen Veränderungen die Haarwurzel.



trollyt) elektrolysiert werden. Die Chlorionen wandern zur Anode, geben ihre Elektronen ab und werden als Chlorgas freigesetzt. Chlor ist ein wertvolles Ausgangsmaterial für die Herstellung von Substanzen wie Lösungsmittel, Bleichmittel und Kunststoffe.

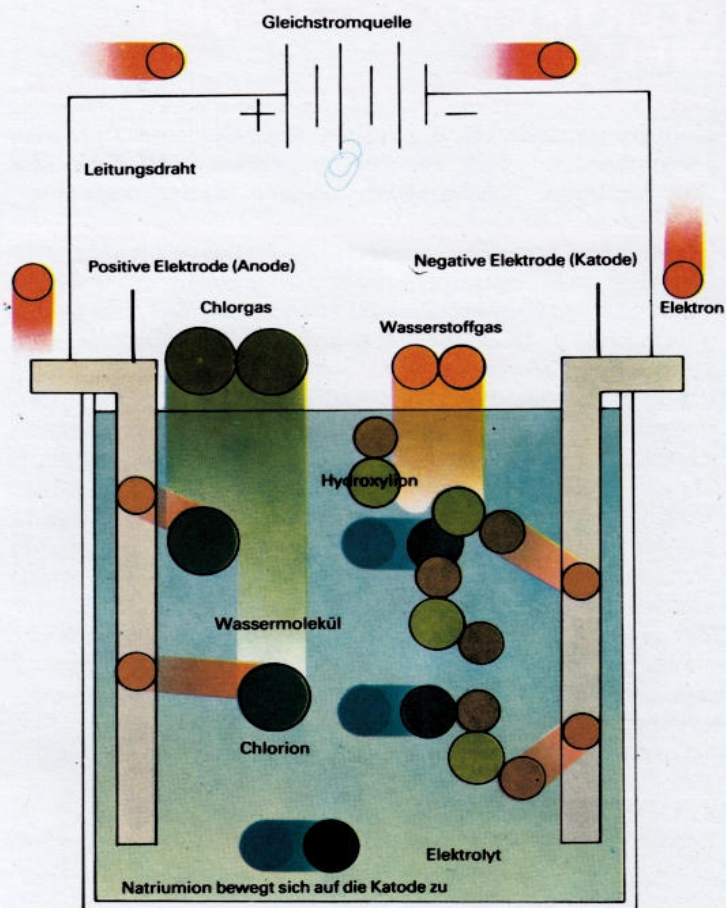
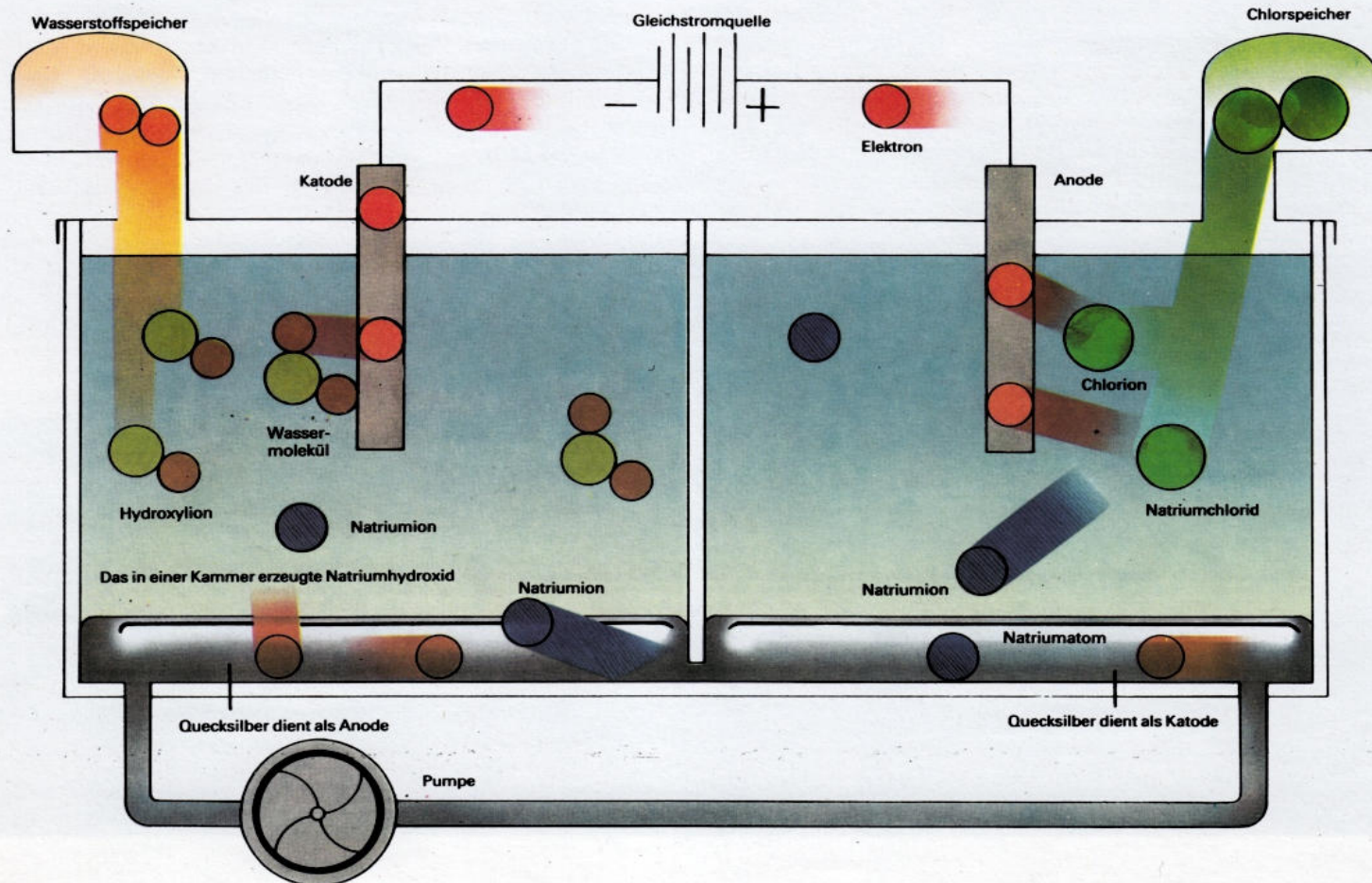
An der Katode reagieren nicht die Natriumionen mit den Elektronen, sondern die Wasserstoffionen des Wassers. Wasserstoffionen haben eine größere Elektronenaffinität als Natriumionen. Es bilden sich Wasserstoffmoleküle, die als Wasserstoffgas entweichen. In der Lösung verbleiben Hydroxylanionen. Es reichert sich also die Lösung mit Natriumhydroxid oder Ätznatron an.

Reinigung von Metall

Früher war ein sehr teures chemisches Verfahren die einzige Methode zur Herstellung von Aluminium. Der gegenwärtige Reichtum an billigem Aluminium ist einzig auf die Entwicklung des elektrolytischen Verfahrens zurückzuführen.

Die Einzelheiten der Aluminiumherstellung sind schon beschrieben worden (siehe ALUMINIUM). Mehrere andere reaktionsfähige Metalle werden auf ähnliche Weise gewonnen. Diese Metalle können, ähnlich wie Natrium, nicht einfach durch Elektrolyse ihrer in Wasser gelösten Salze hergestellt werden, denn an der Katode wird immer der Wasserstoff des Wassers abgeschieden. Dieses Problem wird überwunden, indem man die Salze in Salzschnmelzbädern löst, in denen sich kein Wasser befindet.

Unten: Die industrielle Elektrolyse von Kochsalzlösung mit einer Trennzelle. An der Anode entwickelt sich Chlor, während an der Quecksilberkatode Natriumionen ein Elektron aufnehmen und zu Natriummolekül werden. Dies löst sich in dem Quecksilber und bildet ein Amalgam. Das Natrium wird dann wieder in Ionen überführt und löst sich in dem Elektrolyten. An der Katode entwickelt sich Wasserstoff.



Oben: Die Elektrolyse einer Kochsalzlösung. Die Chlorionen wandern zur Anode, geben ihre Elektronen ab und scheiden als Chlorgas ab. Die Natriumionen bewegen sich zur Katode. Da Wasserstoffionen eine größere Affinität zu Elektronen haben, nehmen sie diese auf und bilden Wasserstoffmoleküle.

ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN

Röntgenstrahlen, Radiowellen, Wärme- und sichtbare Lichtstrahlen sind elektromagnetische Wellen. Sie unterscheiden sich lediglich in ihrer Wellenlänge.

Zur Gruppe der *elektromagnetischen* Wellen zählt man viele scheinbar nicht zusammengehörige Phänomene wie sichtbare Lichtstrahlen, Radiowellen und Röntgenstrahlen. Sie sind in Wirklichkeit ENERGIE-Wellen, die durch Beschleunigen einer elektrischen Ladung entstehen.

Eine stationäre elektrische Ladung — sie ist in Wahrheit ein geladenes Teilchen wie beispielsweise ein Elektron — wird von *Kraftlinien* umgeben. Sie zeigen die Richtung an, in der sich eine andere gleichartige Ladung bewegen würde, wenn sie in die Nähe der anderen Ladung gebracht würde. Bewegt sich eine elektrische Ladung längs einer vorgegebenen Wegstrecke auf und ab, wird sie zum Ende des Weges verzögert und dort in die entgegengesetzte Richtung beschleunigt. Ein elektrisches Feld entsteht und vergeht im zeitlichen Wandel der sich bewegenden elektrischen Ladung. Die hiermit verbundenen, elektrischen Kraftlinien bewegen sich als selbständige (geschlossene) Kraftlinien von der Ladung weg. Eine sich bewegende Ladung ruft auch ein Magnetfeld hervor. (Dies ist das Prinzip des ELEKTROMAGNETISMUS, bei dem der Strom sich bewegender Elektronen ein steuerbares Magnetfeld erzeugt.) Eine beschleunigte Ladung erzeugt ein geschlossenes Magnetfeld, dessen Kraftlinien auf den elektrischen Feldlinien senkrecht stehen. Die Geschwindigkeit, mit der sich die geschlossenen Kraftlinien ausbreiten, hängt von der die Ladung umgebenden Materie ab. Im Vakuum ist die Geschwindigkeit 299 792,456 km/s.

Frequenz und Wellenlänge

Um eine kontinuierliche elektromagnetische Wellenstrahlung zu erzeugen, muß die Ladung kontinuierlich schwingen (sich nach oben und unten bewegen). Die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde nennt man die *Frequenz* der Wellenstrahlung. Die Frequenz wird in Schwingungen pro Sekunde oder in der Einheit *Hertz* (Hz) zu Ehren von Heinrich Hertz, der als erster Radiowellen erzeugte und nachwies, angegeben. Die niedrigsten interessierenden Frequenzen betragen etwa 150 000 Hz = 150 kHz. Diese Frequenzen entsprechen dem

Langwellenbereich im Radio. Ein UKW-Sender hat etwa 100 000 000 Hz = 100 MHz. Sichtbares Licht liegt bei 600 000 GHz. Röntgenstrahlen haben eine Frequenz von 3 000 000 000 GHz. (k = Kilo, Faktor 1000; M = Mega, Faktor 1 000 000; G = Giga, Faktor 1 000 000 000.)

Elektromagnetische Wellen können auch durch ihre Wellenlänge ausgedrückt werden. Sie ist definiert als der Abstand zwischen zwei Maximalwerten einer Welle. Für jede Welle gilt Wellengeschwindigkeit = Frequenz \times Wellenlänge.

Radiowellen

Als Radiowellen bezeichnet man elektromagnetische Wellen, die größer als 1 mm sind. Sie werden in Bereiche wie beispielsweise VHF (Very High Frequency = sehr hohe Frequenz) und UHF (Ultra High Frequency = äußerst hohe Frequenz) unterteilt. Die längsten Radiowellen nennt man VLF (Very Low Frequency = sehr niedrige Frequenz). Die Wellenlängen sind länger als 10 km bzw. die Frequenzen sind niedriger als 30 000 Hz. Bei diesen Wellenlängen wird die Erfassung von Signalen schwierig, da sie von geringer Energie sind. Radiosender arbeiten nach dem Prinzip, den elektrischen Strom schnell ein- und auszuschalten. Jedesmal, wenn der Strom eingeschaltet wird, wird ein Impuls einer elektromagnetischen Strahlung (eine geschlossene Kraftlinie) erzeugt. Wird der Strom mit hoher Frequenz ein- und ausgeschaltet, wird eine elektromagnetische Welle dieser Frequenz erzeugt.

Die höchsten elektronisch erzeugten Frequenzen betragen etwa 300 000 000 000 Hz (= 300 GHz). Diese Frequenz entspricht einer Wellenlänge von 1 mm. Da man unter dem Begriff 'Radio' elektronisch erzeugte Wellen versteht, ist hier die untere Grenze der Radiowellen erreicht.

Strahlung des schwarzen Körpers

Körper, die erhitzt wurden und sich danach auf konstanter Temperatur befinden, strahlen ein ganzes Frequenzspektrum ab. Die Energie der emittierten Wellen ändert sich mit der Frequenz (s. Bild, das die Intensitätsverteilung der schwarzen Strahlung bei verschiedenen Temperaturen darstellt). Die gezeigten Kurven wurden aufgrund eines Modells berechnet, das man 'schwarzer Körper' nennt. Ein schwarzer Körper absorbiert die gesamte, auf ihn fallende Strahlung und emittiert sie bei verschiedenen Wellenlängen. Alle Körper verhalten sich wie ein schwarzer Körper, wenn sie in einen geschlossenen Ofen gebracht werden. Ein Körper mit einer Temperatur, die der Temperatur der Sonnenoberfläche

Das weiße Licht der Sonnenstrahlen kann bei Regenfall in Spektralfarben zerlegt werden und bildet einen Regenbogen.



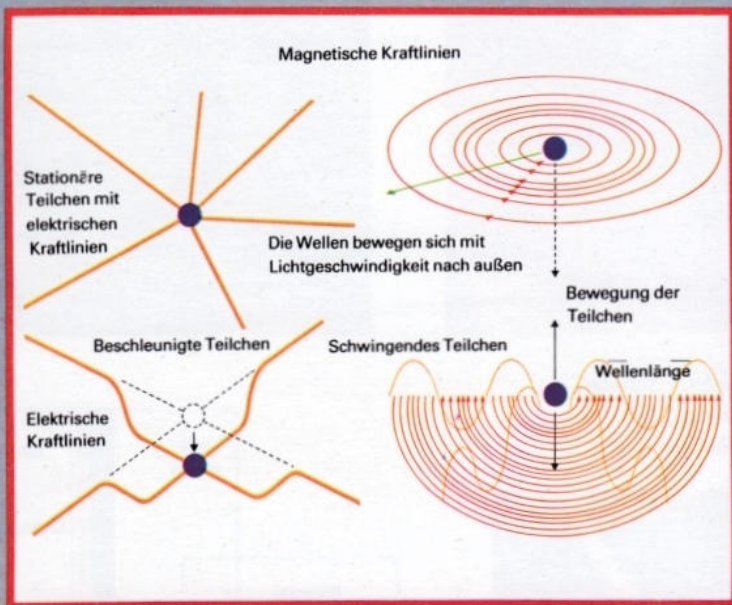
(6000°C) entspricht, hat sein Energiemaximum bei einer Wellenlänge von etwa 520 nm (1 nm = 1 Milliardstel Meter). Sie entspricht der Wellenlänge der Farbe Gelb/Grün im sichtbaren Lichtbereich. Ein Körper bei Raumtemperatur emittiert weit weniger Strahlung. Im Maximum der Kurve liegt die Wellenlänge bei etwa 1000 nm. Dies entspricht dem Infrarotbereich.

Der Infrarotbereich liegt im elektromagnetischen Spektrum zwischen dem sichtbaren Lichtbereich und den Radiowellen. Radiowellen, deren Wellenlänge kleiner als 1 m ist, nennt man MIKROWELLEN. In einigen ihrer Eigenschaften stimmen sie mit den Infrarotstrahlen überein. Die Überlappung zwischen Mikrowellen und Infrarotstrahlen tritt bei etwa 1 mm ein. Beide Wellenarten unterscheiden sich darin, daß Radiowellen elektronisch und Infrarotstrahlen thermisch erzeugt werden.

Infrarotstrahlen bezeichnet man auch als Wärmestrahlen, jedoch nicht deshalb, weil sie einen größeren Energieinhalt als die Strahlen anderer Wellenlängen haben. (Die Sonne beispielsweise strahlt wesentlich mehr sichtbare Energie als Infrarotstrahlung aus). Der Grund liegt darin, daß Moleküle in Körpern bei Zimmertemperatur etwa mit der Frequenz der Infrarotstrahlen schwingen; d.h. die Infrarotstrahlung kann ihre Energie unmittelbar an das schwingende Molekül abgeben. Diese Zusatzenergie läßt die Atome oder Ionen in



Oben: Feuerwerkskörper enthalten chemische Verbindungen, die beim Abbrennen elektromagnetische Strahlen abgeben. Natriumcarbonat z.B. strahlt gelb und Strontiumsulfat rot.



Links: Ein stationär geladenes Teilchen (1) hat elektrische Kraftlinien, die bei Beschleunigung der Ladung 'abgeknickt' werden (2). Durch die Bewegung der Ladung wird eine gebündelte Welle bei den magnetischen Kraftlinien erzeugt (3). Eine oszillierende Ladung erzeugt sowohl ein elektrisches als auch ein magnetisches Feld (4).

einem Molekül schneller schwingen. Dies aber bedeutet, daß das Molekül einen größeren Wärmeinhalt erhält. Das gelbe von der Sonne ausgestrahlte Licht wärmt dagegen einen Körper stärker auf als Infrarotlicht.

Sichtbares Licht

Sichtbares Licht hat Wellenlängen zwischen 390 nm und 750 nm. Diese Wellenlängen sind kürzer als die der Infrarotstrahlen. Das menschliche Auge empfindet die unterschiedlichen Wellenlängen als unterschiedliche Farben: 680 nm wird als Rot gesehen; 560 nm als Gelb; 500 nm als Grün; 420 nm als Blau und 400 nm als Violett. Heiße Körper sind die Quellen des sichtbaren Lichtes. Beispiele hierfür sind die Sonne oder der aufgeheizte Draht einer Wolframlampe. Sichtbares Licht wird vom menschlichen Auge, von einer fotografischen Platte oder von einer FOTOZELLE aufgenommen.



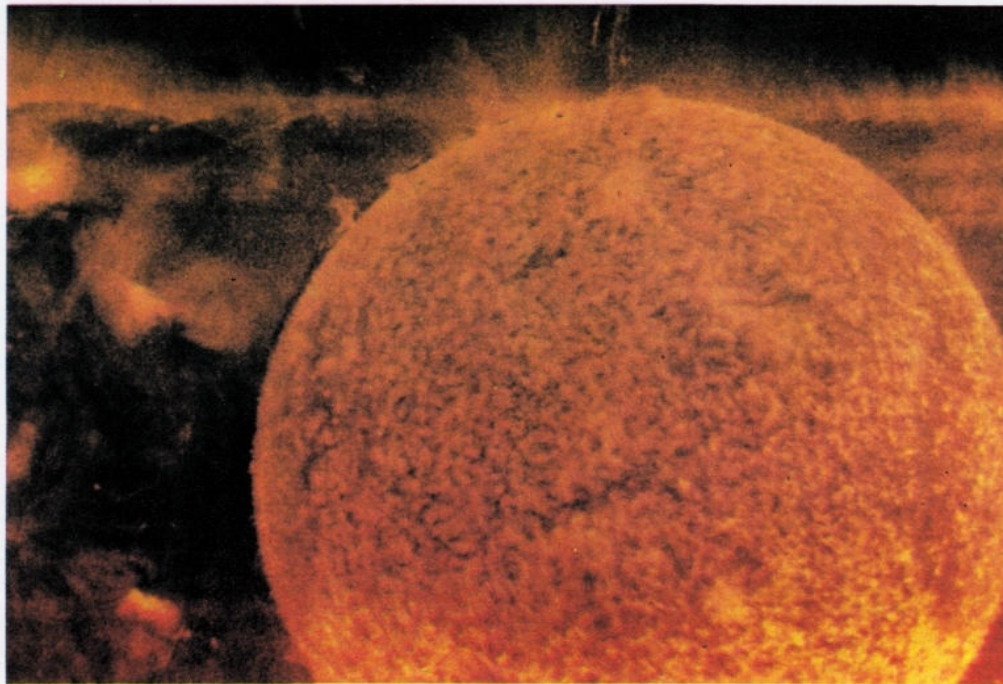
Um zu verstehen, warum diese 'Detektoren' zwar auf sichtbares Licht, aber nicht auf Infrarotstrahlung reagieren, muß man wissen, daß elektromagnetische Strahlung keinen kontinuierlichen Energiefluß darstellt. Es sind vielmehr Energiepakete, die man *Quanten* oder Photonen nennt. Die Energie jedes Quantes hängt ausschließlich von der Frequenz der Strahlung ab. Bei höherer Frequenz haben die Quanten einen höheren Energieinhalt.

Ultraviolettes Licht

Der Wellenlängenbereich von Ultraviolettlicht liegt zwischen 390 nm und 1 nm. Die Strahlung wird von extrem heißen

Körpern ausgestrahlt. Da ihre Temperaturen höher sind als die Schmelzpunkte der auf der Erde vorkommenden Stoffe, wird ultraviolettes Licht nur von sehr heißen Sternen direkt ausgestrahlt.

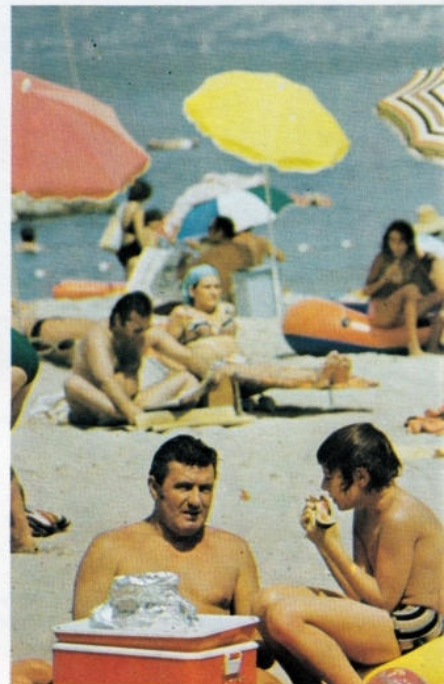
Auf der Erde wird Ultraviolettlicht anders erzeugt. Die Elektronen in Atomen und Molekülen können nur feste Energiezustände einnehmen. Bewegen sich die Elektronen von einem höheren zu einem niedrigeren Energiezustand, wird die daraus resultierende positive Energiedifferenz als elektromagnetische Strahlung abgegeben. Diese Strahlung hat in Abhängigkeit der jeweiligen Energiedifferenz verschiedene Frequenzen. Man kennt viele Atome, die im ultravioletten



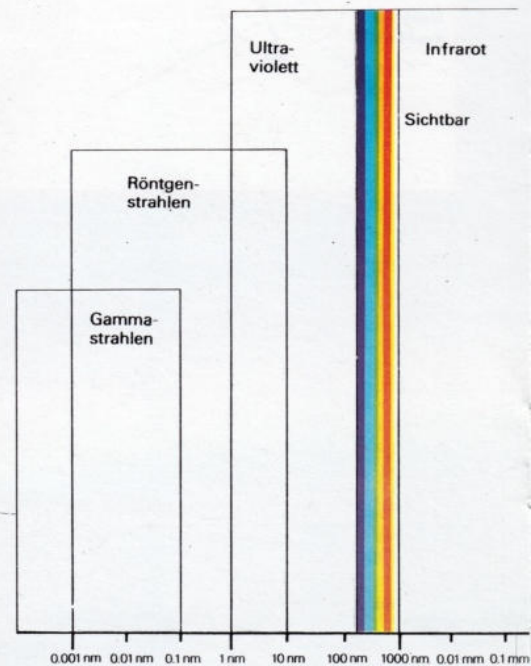
CAMERA PRESS

Oben: Die Sonne ist eine unerschöpfliche Quelle für elektromagnetische Strahlung fast aller Wellenlängen.

Oben rechts: Ultraviolette Sonnenstrahlen fördern die Bildung des Pigmentes Melanin, das die Haut bräunt.



UKAEA



Links: Ein Geologe auf der Uransuche. Das Instrument, das er in der Hand hält, ein Geiger-Müller-Zähler, spricht auf die γ -Strahlen an, die das radioaktive Uran abgibt.

Teil des Spektrums strahlen. Ein Beispiel ist Quecksilber, das in Höhensonnen verwendet wird.

Röntgenstrahlen

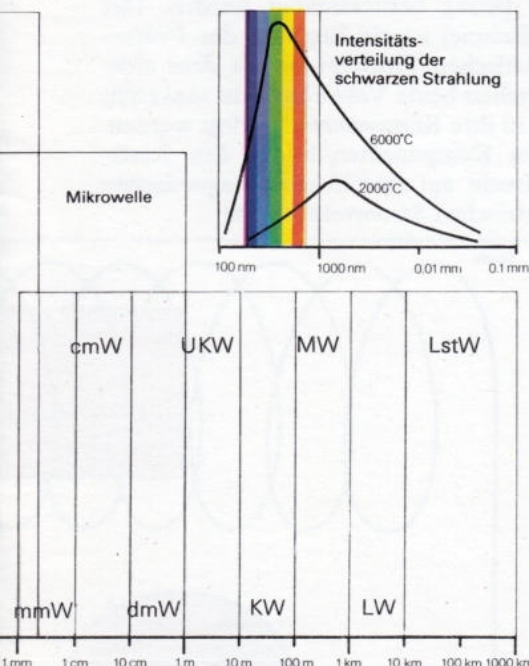
Noch höhere Frequenzen lassen sich durch plötzliches Abbremsen eines Elektronenstromes erzeugen. Die Wellenlänge der emittierten Strahlung liegt zwischen 10 nm und 0,01 nm. Diese Strahlen heißen Röntgenstrahlen. Sie entstehen in einem speziellen Gerät, in dem man Elektronen durch Auftreffen auf eine Metallanode plötzlich abstoppt.

Röntgenstrahlen lassen sich mit Hilfe fotografischer Platten sehr einfach nachweisen. Ein solcher Vorgang ist von Röntgen-

aufnahmen in Krankenhäusern oder bei Ärzten bekannt.

Gammastrahlen

Noch höhere Frequenzen als bei Röntgenstrahlen kann man durch Wechselwirkungen in Atomkernen erhalten. Ein Proton im Kern eines Atoms kann — ähnlich einem Elektron in der Atomhülle — ebenfalls verschiedene Energiezustände einnehmen. Durch Übergänge der Protonen zwischen verschiedenen Energiezuständen werden Strahlen emittiert, deren Wellenlänge kleiner als 0,01 nm ist. Diese Strahlen nennt man GAMMASTRAHLEN. Sie sind die kürzesten elektromagnetischen Wellen, die man bisher nachgewiesen hat.



Oben: Ein Radioteleskop kann elektromagnetische Strahlen sehr geringer Frequenz (sehr lange Radiowellen) empfangen.

Unten: Eine Luftaufnahme mit einer Infrarotkamera. Kalte Flächen sind blau, wärmere Flächen erscheinen rötlich.



Oben: Das elektromagnetische Spektrum. Die spektrale Energieverteilung der schwarzen Strahlung zeigt einmal das von der Sonne (6000°C) und zum anderen das von einer Heizsonne (2000°C) ausgestrahlte Spektrum verschiedener Wellenlängen.

ELEKTROMAGNETISMUS

Zieht ein Permanentmagnet ein Stück Eisen oder Stahl an, handelt es sich um einen rein magnetischen Vorgang. Wird zur Erhitzung eines Drahtes Batteriestrom durch den Draht geschickt, ist dies ein rein elektrischer Vorgang. Werden elektrische und magnetische Vorgänge verknüpft, spricht man von Elektromagnetismus.

Grundsätzlich erzeugt ein in einem Draht fließender Strom ein Magnetfeld. Nach diesem Prinzip arbeitet ein Elektromagnet. Man kann dies nutzen, indem man durch anziehende oder abstoßende magnetische Kräfte einen ELEKTROMOTOR in Bewegung versetzt. Wird ein Magnet (gleichgültig, ob Permanent- oder Elektromagnet) an einem elektrischen Leiter vorbeigeführt, wird in dem Leiter ein elektrischer Strom induziert. Nach diesem Prinzip lassen sich WECHSELSTROM-Maschinen und DYNAMOS konstruieren.

Ein komplexeres Beispiel des Elektromagnetismus trifft man beispielsweise bei Transformatoren an, wo ein *sich änderndes* Magnetfeld einen Strom erzeugt. Hier werden zwei Spulen sehr eng nebeneinandergesetzt. Ändert sich der Stromfluß in einer Spule (in Amplitude und/oder Richtung), wird ein sich änderndes Magnetfeld erzeugt. Das sich ändernde Magnetfeld induziert in der zweiten Spule eine Spannung. Ist die zweite Spule an einen elektrischen Schaltkreis angeschlossen, fließt ein Strom.

Analogbetrachtungen

Um schwierige Vorgänge anschaulich darzustellen, versucht man in den Naturwissenschaften, Analogmodelle zu schaffen.

Das Fließen des elektrischen Stromes in einem Draht ist vergleichbar mit dem Fließen von Wasser in einem Rohr. Damit das Wasser im Rohr fließen kann, muß ein Höhenunterschied (eine Potentialdifferenz) bestehen. Die Potentialdifferenz läßt sich auf elektrische Vorgänge — hier elektrische Spannung genannt — übertragen. Die analoge Betrachtungsweise kann noch weiter geführt werden. Der Reibungswiderstand in einer Wasserleitung hängt von der Länge des Rohres und dessen Querschnitt ab. Er nimmt mit wachsender Länge des Rohres zu und wird mit wachsendem Querschnitt kleiner. Analog hierzu verhält sich der Widerstand in einem stromdurchflossenen Leiter.

Für magnetische Schaltkreise kann kein entsprechendes mechanisches Modell aufgestellt werden. Um jedoch mit dem

Magnetfeld eine Vorstellung verbinden zu können, spricht man in Anlehnung an das Fließen eines elektrischen Stromes von einem magnetischen Fluß.

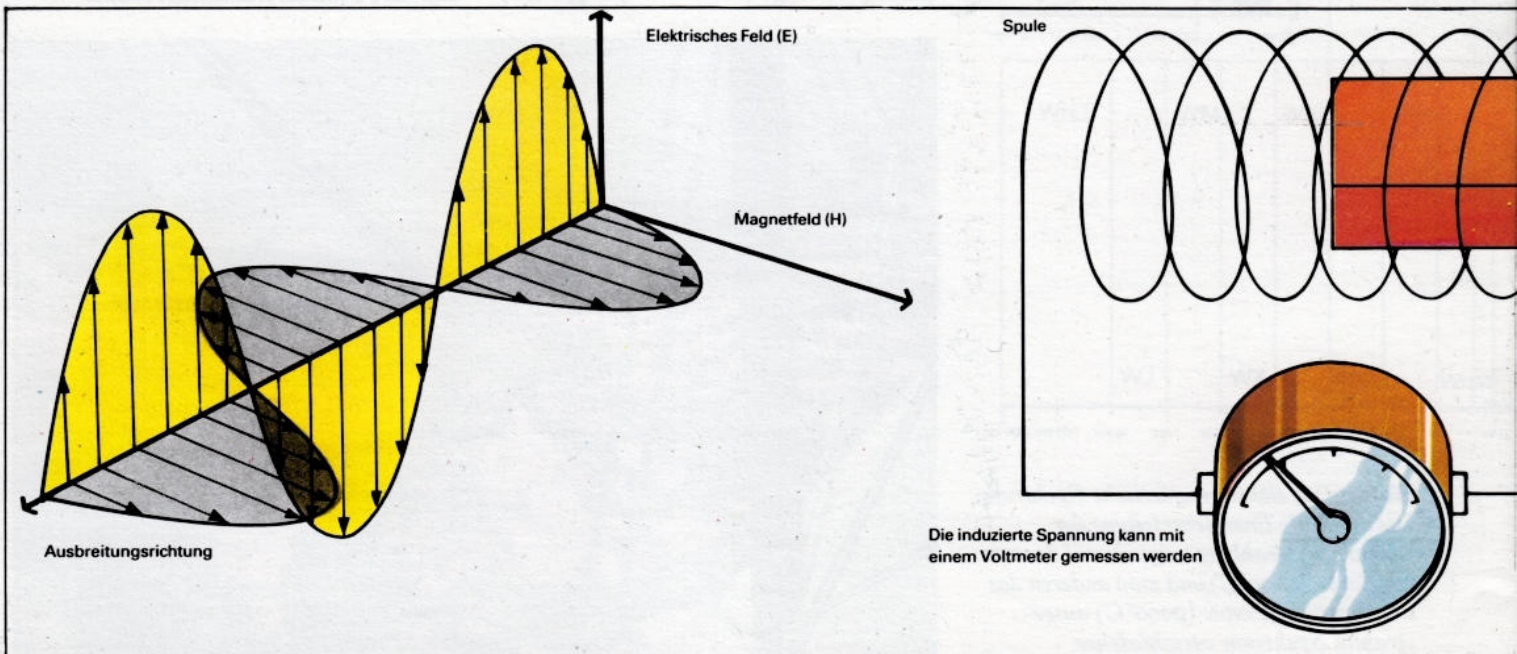
Betrachtet man Elektromotoren, Generatoren und Transformatoren, kann man feststellen, daß jede dieser elektrischen Maschinen mindestens einen elektrischen und einen magnetischen Schaltkreis enthält. Da man magnetische Schaltkreise nicht wie elektrische Schaltkreise isolieren kann, enthält eine elektrische Maschine in der Regel einen magnetischen Schaltkreis, aber zwei oder mehrere elektrische Schaltkreise. Aus dem gleichen Grunde können auf eine Spule mehrere Wicklungen eines dünnen Drahtes aufgebracht werden. In magnetischen Schaltkreisen kennt man meist nur eine Windung, die durch Biegen eines magnetisierbaren Materials zustande kommt.

Beim Elektromagnetismus wirken elektrische und magnetische Schaltkreise zusammen. Die treibende Kraft eines Schaltkreises kann aus dem Fluß des anderen Schaltkreises hergeleitet werden. In einem Transformator beispielsweise ruft eine Wechselspannung an der Primärspule in ihren Windungen einen Wechselstrom hervor. Im magnetischen Schaltkreis entsteht eine wechselnde magnetische Kraft, die einen wechselnden magnetischen Fluß nach sich zieht. Der wechselnde magnetische Fluß induziert in den Windungen der zweiten Spule eine Spannung, die innerhalb eines elektrischen Schaltkreises einen elektrischen Strom erzeugt.

Vektorgößen

Ein Elektromotor soll Kraft erzeugen. Diese Kraft stellt sich als Produkt aus dem magnetischen Fluß und dem elektrischen Strom dar. Dieses Produkt darf man sich jedoch nicht als gewohnte Multiplikation zweier Größen vorstellen. Denn die magnetischen und elektrischen Feldlinien stehen senkrecht aufeinander. Größen, die nach Betrag und Richtung definiert sind, nennt man *Vektoren*.

Ein Beispiel hierfür ist die Windgeschwindigkeit. Betrachtet man das Zusammenwirken von Vektoren, müssen sowohl die Richtung als auch der Betrag berücksichtigt werden. Der Kraftvektor im obigen Beispiel ist ein Ergebnis der *Vektor-multiplikation* des magnetischen Flußvektors mit dem elektrischen Stromvektor. Stehen beide Vektoren nicht senkrecht aufeinander, müssen sie in ihre Komponenten zerlegt werden. Nur die rechtwinkligen Komponenten bilden den Kraftvektor, der immer senkrecht auf sowohl dem magnetischen Fluß- als auch dem elektrischen Stromvektor steht.



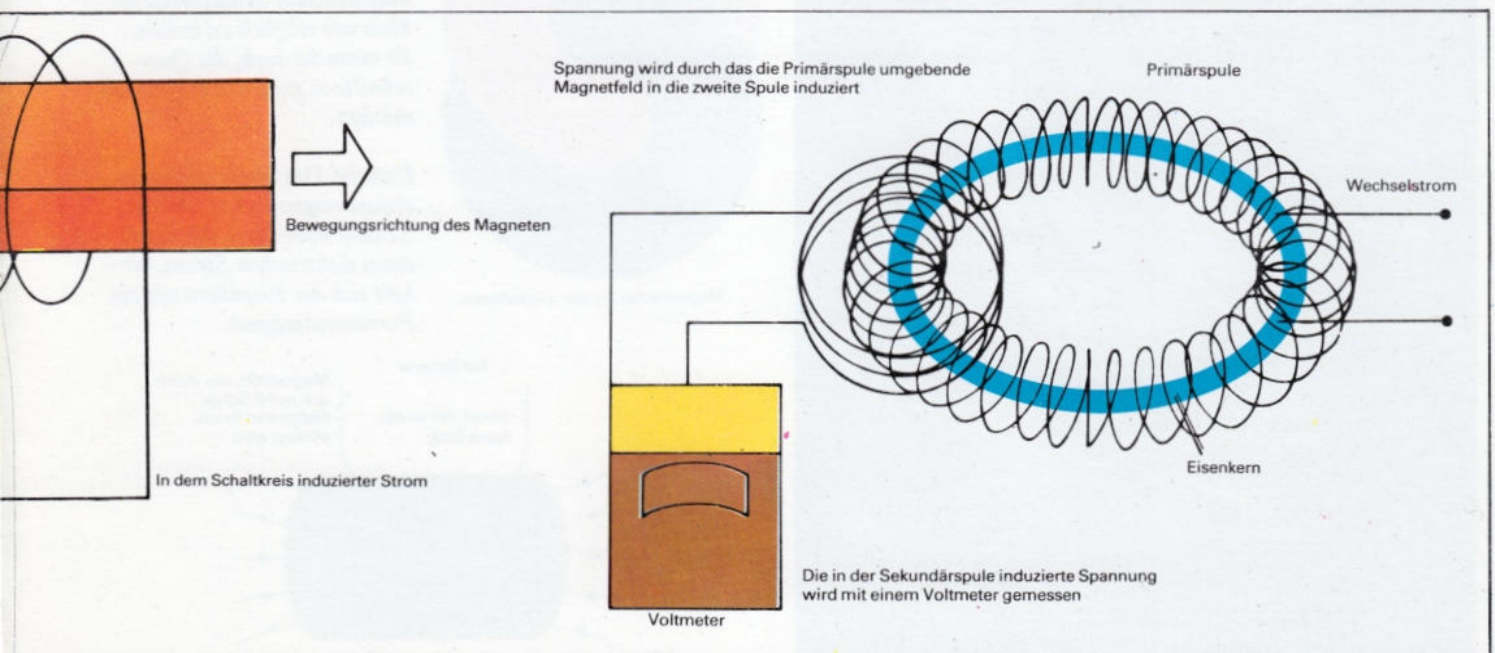


Oben: Diese Art von Elektromagnet wird bei der Aufbereitung von Altmetall verwendet. Dieser elektromagnetische Kran kann bis zu einer Tonne heben.

Unten links: Wird ein Magnet durch eine Spule bewegt, wird eine Spannung induziert, die mit einem Voltmeter gemessen werden kann.

Unten ganz links: Darstellung einer elektromagnetischen Welle. Das elektrische Feld E schwingt in einer Ebene. Das magnetische Feld H schwingt in einer zum elektrischen Feld senkrechten Ebene. Beide Felder stehen senkrecht auf der Ausbreitungsrichtung.

Unten: Ein Transformator. Wird den Anschlüssen der Primärspule eine Wechselspannung zugeführt, fließt in der Spule ein elektrischer Wechselstrom, der ein Magnetfeld erzeugt. Das Magnetfeld wiederum induziert eine Spannung an der Sekundärspule.



Die Vektormultiplikation oder — ganz allgemein — die Vektoralgebra stellt für den Theoretiker eine einfache und elegante Möglichkeit dar, experimentelle Sachverhalte in mathematisch kurzer Form wiederzugeben.

Elektromagnetische Strahlung

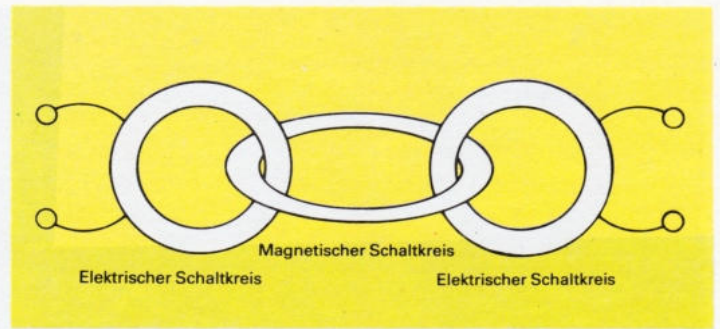
Elektromagnetische Vorgänge beschränken sich nicht ausschließlich auf Elektromotoren oder Generatoren. Zu ihnen gehört auch die elektromagnetische Strahlung, zu der Gammastrahlen, Röntgenstrahlen, Ultraviolettstrahlen, sichtbare Lichtstrahlen, Infrarotstrahlen und Radiowellen zählen. Bei elektromagnetischer Strahlung treten ebenfalls senkrecht zueinander stehende, elektrische und magnetische Felder auf, die wiederum senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Wellen stehen. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen beträgt etwa 300 000 000 m/s. Die einzelnen Strahlen bzw. Wellen unterscheiden sich nur in ihrer Wellenlänge. Sie lassen sich in ein Schema einordnen. Das elektromagnetische Spektrum reicht von sehr kurzen bis zu sehr langen Wellenlängen (0,001 nm bis 1000 km).

Der Elektromagnetismus ist eine der grundlegenden Erscheinungen in der Physik. In einem Durchschnittshaushalt werden zwischen 30 und 100 Geräte (100 Geräte, wenn man die Elektrogeräte der Kinder miteinbezieht) eingesetzt, die auf dem Prinzip des Elektromagnetismus beruhen. Das elektromagnetische Prinzip wird in Radios, Fernsehern, Zündsystemen von Autos, Radar, elektrischen Systemen, Mikroskopen, Elektromotoren, Generatoren, Telefonapparaten und vielen anderen Erfindungen angewendet.

Unten: Scheibendynamo. Eine Kupferscheibe befindet sich zwischen den Armen eines Hufeisenmagneten. Dreht sich die Scheibe, wird eine Spannung induziert, die von den Bürsten abgegriffen wird.

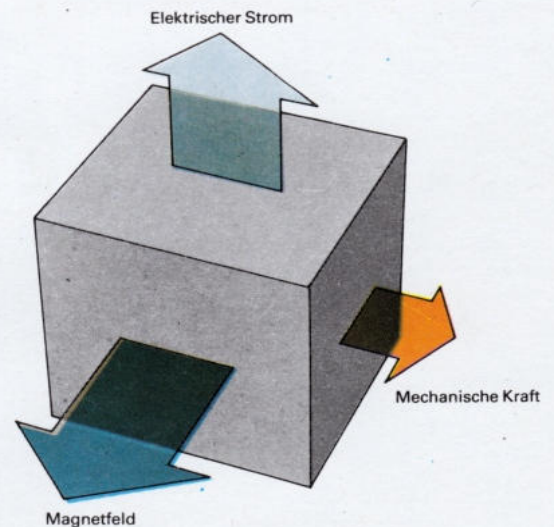


MICHAEL HOLFORD



OSBORNE/MARKS

Oben: Die elektrischen und magnetischen Schaltkreise des Transformators. Die Verkettung elektrischer und magnetischer Schaltungen ist die grundlegende Eigenschaft des Elektromagnetismus.

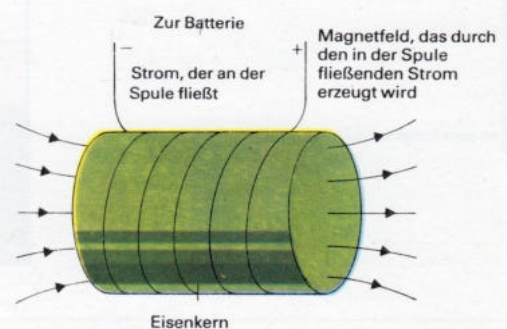


Oben: Beim Elektromagnetismus stehen der elektrische Strom und das Magnetfeld senkrecht aufeinander. Beide Größen stehen wiederum senkrecht auf der mechanischen Kraft.



Links: Beim Versuch, eine Elektromaschine mit dem größten Wirkungsgrad zu entwerfen, versucht der Ingenieur, die elektrischen und magnetischen Schaltkreise so klein wie möglich zu halten. Er versucht auch, die Querschnitte so groß wie möglich zu machen.

Unten: Das einfachste aller elektromagnetischen Geräte. Schickt man durch die Spule einen elektrischen Strom, verhält sich der Eisenkern wie ein Permanentmagnet.

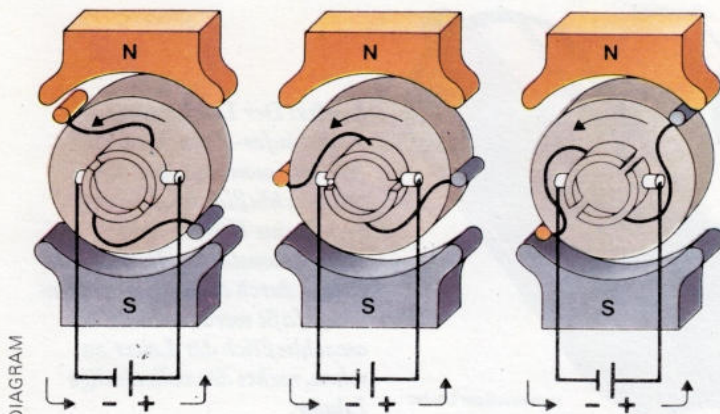
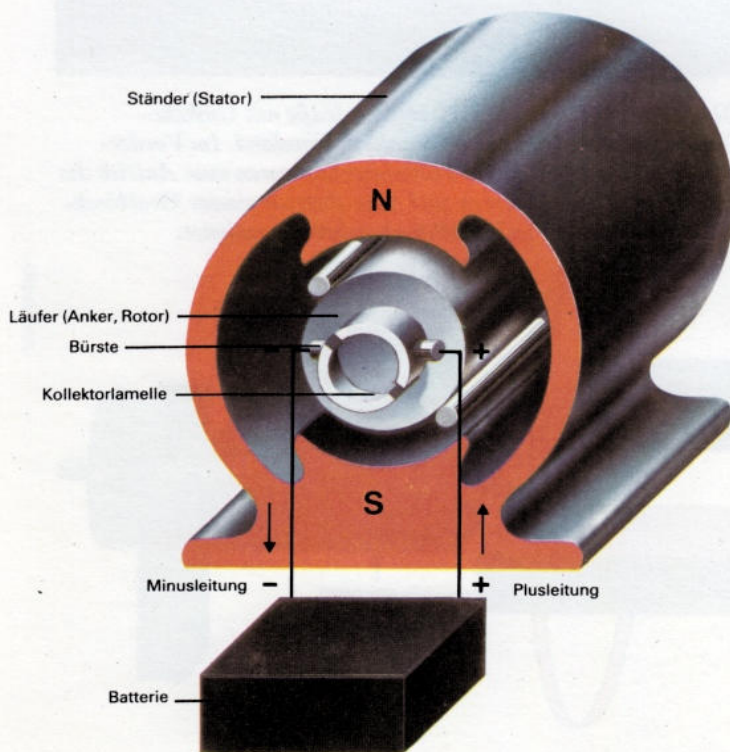


ELEKTROMOTOR

Elektromotoren müßten eigentlich als drehende 'elektrische Maschinen' bezeichnet werden, da ein und dasselbe Aggregat sich sowohl als Motor als auch als Stromerzeuger verwenden läßt. Jede Maschine zur Umwandlung elektrischer Energie in mechanische Arbeit kann auch in der Gegenrichtung arbeiten.

Alle Arten von Elektromotoren beruhen auf dem Prinzip des ELEKTROMAGNETISMUS. Dabei wirkt *entweder* eine mechanische Kraft auf elektrische Ströme ein, die in einem Magnetfeld einen Leiter durchfließen, *oder* Elektromagneten üben Kraft auf ferromagnetisches Material (Material mit Eigenmagnetismus, also Dauer- oder Permanentmagneten) aus. Elektromotoren werden entweder mit Gleichstrom oder mit Wechselstrom betrieben. Letzterer ist im allgemeinen besser geeignet, weil man ihn durch Transformatoren hinauf- oder herunterspannen kann.

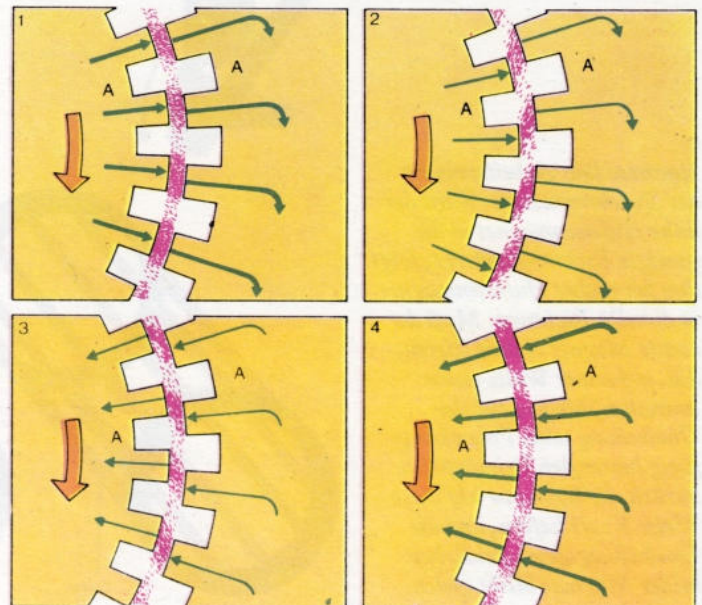
Unten: Dieser Gleichstrommotor hat eine einzige Wicklung (Spule) und ein Paar Kollektorlamellen. Die 'Feld'-Magneten liegen außen. Während sich die Läuferspule dreht, wird durch Einwirkung des 'Stromwenders' die Stromrichtung fortwährend umgekehrt, so daß die Drehrichtung stets gleich bleibt.



Gewöhnlich erzeugen Elektromotoren eine Drehbewegung, die bei mechanischen Antriebssystemen unmittelbar auf die Räder wirken kann. Die verschiedenen Motoren lassen sich in zwei Gruppen einteilen: in 'elektromagnetische' und 'magnetische' Maschinen. Zu ersteren gehören Asynchron-, Synchron-, Gleichstrom-, Mehrphasen-Kommutator-Wechselstrom-, Einphasen-Kommutator-Wechselstrom- und Repulsionsmotoren (eine Abart des Einphasen-Kommutator-Wechselstrommotors). Zu den magnetischen Maschinen zählt man Reluktanz- und Hysteresemotoren sowie SOLENOIDE und RELAIS.

Die Aufteilung in 'magnetisch' und 'elektromagnetisch' ist vergleichsweise neueren Datums. Immerhin finden bei beiden Arten Elektromagnete Verwendung. Die Unterscheidung ist jedoch sehr wichtig, weil erst dadurch die unterschiedlichen Verwendungszwecke verständlich werden, für die man Motoren der jeweiligen Gruppe einsetzen kann. Elektromagnetische Maschinen haben eine umso günstigere Leistungsausbeute, je größer sie sind, während bei magnetischen Maschinen der

Unten: Ein Reluktanzmotor. Die Zähne des Läufers versuchen, sich mit denen des Ständers auszurichten. Ein annehmbarer Zustand ist nur bei einer Drehzahl zu erreichen, bei der die beiden Zahngruppen einander jedesmal genau dann gegenüberliegen, wenn das Magnetfeld am stärksten ist.



Wirkungsgrad mit abnehmender Maschinengröße zunimmt. Daher ist der Einsatz von Reluktanz- oder Hysteresemotoren beispielsweise auf den Antrieb von Tonbandgeräten, Plattenspiellern und elektrischen Uhren beschränkt. Elektromagnetische Maschinen hingegen werden in der Schwer- und in der Leichtindustrie eingesetzt, da die Größe der Motoren bei gutem Wirkungsgrad bis zum Haushaltsbereich (Waschmaschinen, elektrische Haartrockner usw.) reicht.

Eine ungewöhnliche Ausführung eines Elektromotors ist der Linearmotor. Er stellt im Grunde nichts anderes dar als einen drehenden Motor, der in der Radialebene aufgeschnitten und 'abgerollt' wurde. Bei Linearmotoren sind ebenso viele Arten wie bei den drehenden Motoren denkbar.

Asynchronmotoren

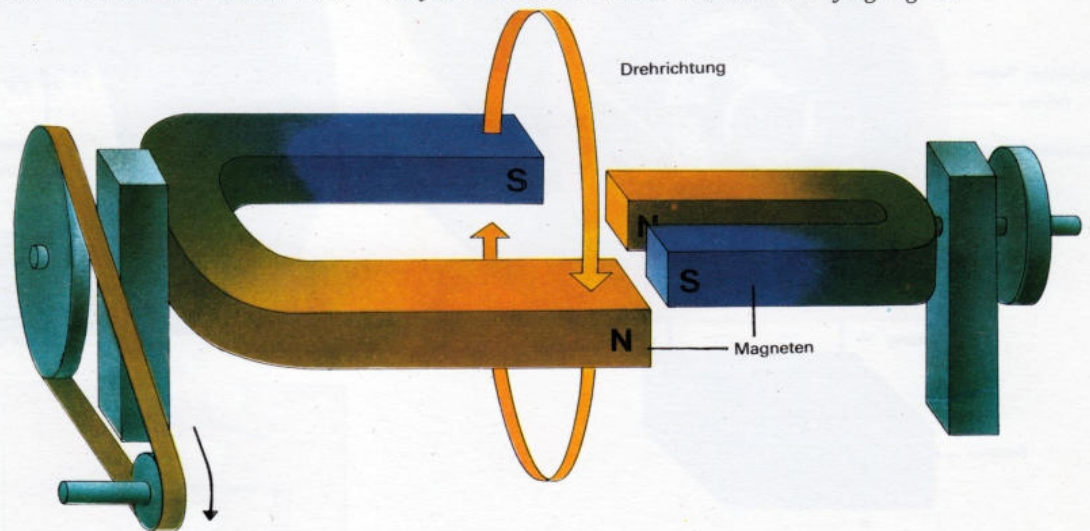
Wird ein Magnet über einen flächenförmigen elektrischen Leiter bewegt, induziert er einen Wirbelstrom und erzeugt eine Kraft, die den Leiter in die Bewegungsrichtung des Magneten mitzieht.

Eine solche Anordnung kann jedoch noch nicht als 'Motor' bezeichnet werden, da mechanische Arbeit des Magneten nötig ist, um mechanische Arbeit am Leiter zu leisten. Im günstigsten Fall wäre dies eine Kupplung. Will man daraus einen Induktionsmotor herstellen, muß der bewegliche Magnet durch eine Anordnung fester Elektromagneten ersetzt werden, durch die sich ändernde Ströme fließen. Diese rufen dann die gleiche Wirkung hervor wie die Bewegung eines Dauermagneten.

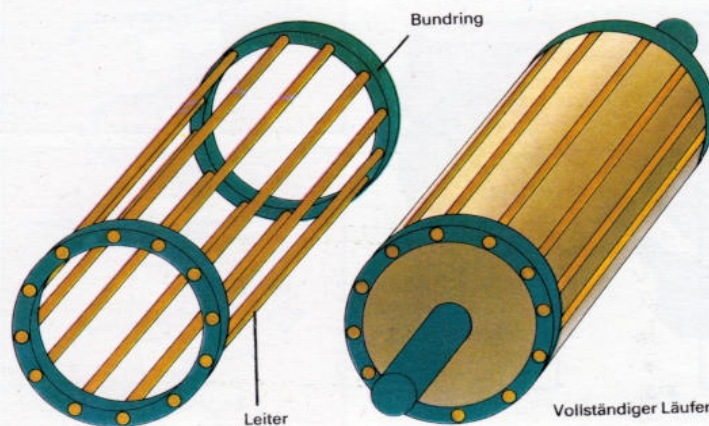
Zur Verdeutlichung der Arbeitsweise stelle man sich einen Kreis von Glühlampen vor, die nacheinander im Kreis herum immer wieder ein- und ausgeschaltet werden. Geschieht das sehr schnell, sieht man einen Lichtfleck im Kreis herumwandern, obwohl sich in Wirklichkeit nichts bewegt. Wenn man sich jetzt vorstellt, daß einige Glühlampen ausgeschaltet werden, hat es den Anschein, als wandere ein Muster aus



Oben: Das Bild zeigt eine Grobblechstraße mit Umkehr-Quartogerüst im Hüttenwerk Raabe in Finnland. Im Vordergrund sind die Gleichstrom-Hüttenwerksmotoren zum Antrieb des Rollganges. Diese Motoren sind zum Antrieb zweier Grobblechstraßen und einer Tandem-Warmbandstraße geeignet.



Rechts: Das Arbeitsprinzip des Synchronmotors. Wird der linke Hufeisenmagnet in die gezeigte Richtung gedreht, folgt ihm der rechte Hufeisenmagnet in dieselbe Richtung. Muß der rechte Magnet Arbeit leisten, d.h. auf seiner Welle etwas antreiben, bleiben bei der Umdrehung seine Pole geringfügig hinter den Primärpolen zurück. Er kann nur auf diese Weise Kraft liefern, und die Umdrehungsgeschwindigkeit beider Magnete bleibt gleich.



Links: Der Läufer eines Käfigläufer-Asynchron-Motors (man sagt heute eher 'Kurzschlußläufer-Motor') besteht aus Kupfer- oder Aluminiumstäben, die an ihren Enden durch einen Ring zusammengefaßt werden. Links ist ausschließlich der Leiter zu sehen, rechts der vollständige Läufer.

abwechselnd hellen und dunklen Flecken um den Kreis. Das magnetische Drehfeld des Induktionsmotors entsteht in der gleichen Weise, nämlich dadurch, daß auf dem feststehenden Teil der Maschine Magneten im Kreis angeordnet werden. Sie werden nacheinander erregt, so daß sich ein Muster aus Nord- und Südpolen um den Kreisumfang zu bewegen scheint. Dieses Feld kann ebenso gut Ströme in einen leitenden Zylinder induzieren, wie dies eine Anordnung sich *wirklich* bewegender Dauermagnete könnte.

Statt nun den Primärkreis aus Elektromagneten ständig zu 'schalten', werden sie einfach aus einer Wechselstromquelle gespeist. Die gesamte Anlage läßt sich preisgünstig herstellen, weil es dabei, im Unterschied zu einem Gleichstrommotor, keinen Kollektor (auch Stromwender oder Kommutator genannt) und keine Schleifkohlen gibt. Außerdem ist die Anlage sehr robust, da das drehende Teil praktisch nur aus einem Stück Metall besteht. Bei den meisten handelsüblichen Motoren wird der sich drehende Teil ('Anker', 'Läufer' oder 'Rotor') aus einem Stahlkern mit Schlitzten hergestellt.

Mehr als 90% der Leistung aller Elektromotoren der Welt stammt von Asynchronmotoren, da sie robust, zuverlässig und außerdem kostengünstig herzustellen sind.

Synchronmotoren

Die Erzeugung induzierten Stromes in einem Asynchronmotor bedarf einer *relativen* Bewegung zwischen dem Drehfeld und dem Sekundärleiter. Dies bedeutet, daß der Läufer in seiner Geschwindigkeit immer etwas hinter dem Feld 'herhinkt'. Für bestimmte Anwendungszwecke muß jedoch eine genaue Drehzahl unbedingt eingehalten werden. In solchen Fällen wird ein Motor verwendet, dessen Läufer aus einer Anordnung von Dauermagneten oder Elektromagneten besteht, denen

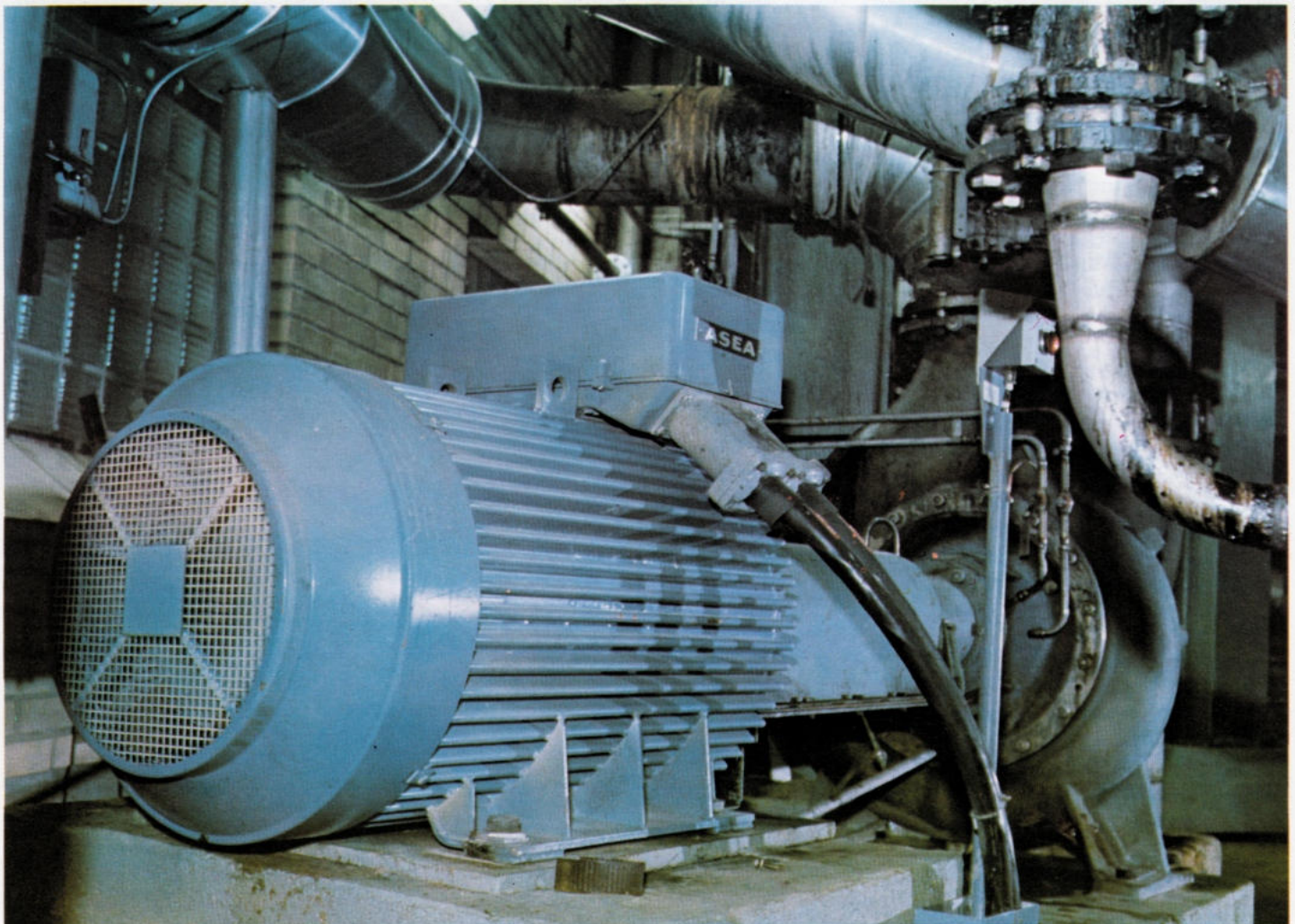
Gleichstrom zugeführt wird. Genauso wie beim Asynchronmotor sind die Primärspulen so angelegt, daß sie ein magnetisches Drehfeld erzeugen; allerdings steht in diesem Falle das Magnetfeld mit dem Feld des magnetisierten Läufers 'im Eingriff'. Dadurch kann sich die Läuferdrehzahl bei schwankenden Belastungszuständen des Motors nicht ändern. Man sagt daher, er laufe mit dem Netzstrom gleich (synchron).

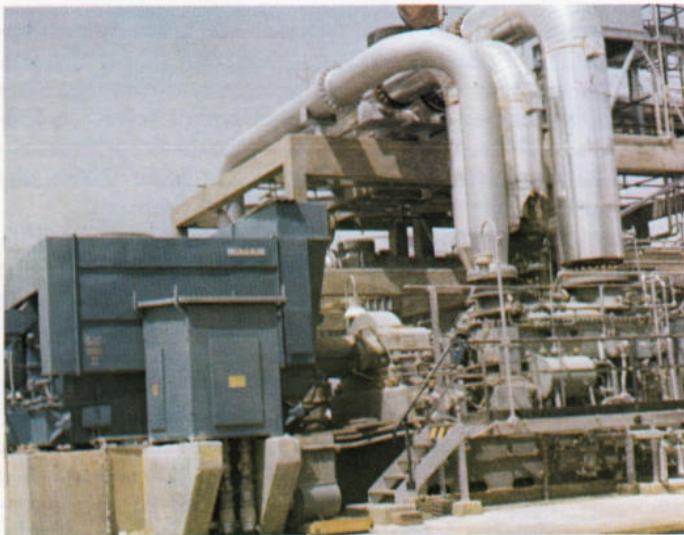
Wenn die Primärspulen so angeordnet sind, daß der Eindruck entsteht, es befinde sich ein Polpaar (ein Nord- und ein Südpol) auf dem Gesamtumfang von 360° , dreht sich das Feld während einer Periode des Netzwechselstromes. Die Netzfrequenz beträgt in Europa gewöhnlich 50 Perioden pro Sekunde (man sagt dazu Hertz, abgekürzt Hz). Folglich hat ein Zweipolmotor bei Netzwechselstrom eine Felddrehzahl von 50 U/s oder 3000 U/min. Stellen die Primärspulen ein Muster mit vier Polen dar, ist die Drehzahl halb so groß, und so weiter. Mithin sind mögliche Drehzahlen für Synchronmotoren in Europa: 3000 U/min, 1500 U/min, 1000 U/min, 750 U/min, 600 U/min und 500 U/min. Die entsprechenden Drehzahlen von Asynchronmotoren liegen geringfügig unter diesen Werten, und zwar um den Betrag des Schlupfes, der zur Induzierung des Sekundärstromes gebraucht wird.

Gleich- und Wechselstrom-Kommutator-Motoren

Asynchron- und Synchronmotoren haben einen Nachteil: Sie können ihre Drehzahl nicht ohne Stromquelle mit variabler

Ein Drehstrom-Käfigläufermotor zum Antrieb einer Umwälzpumpe für einen Zellstoffkocher. Mit einem Thyristor-Frequenzumrichter wird die Drehzahl des Motors stufenlos gesteuert.





Ein Drehstrom-Synchronmotor mit einer Leistung von 14,2 MW zum Antrieb eines Kompressors in einer Anlage in Saudi-Arabien.

Frequenz über einen weiten Bereich ändern und sind beispielsweise bei unmittelbarem Anschluß an das Stromnetz nicht in der Lage, Drehzahlen oberhalb 3000 U/min zu liefern. In Fällen, in denen hohe oder unterschiedliche Drehzahlen bei Anschluß an das Netz erforderlich sind, finden Kommutator-Motoren Verwendung.

Bei einer Gleichstrommaschine bildet ein Ring gleichstrom-erregter 'Feld'-Magneten den feststehenden Teil ('Ständer' oder 'Stator'). Der Läufer besteht wie beim Asynchronmotor aus einer Anzahl leitender Drähte oder Stäbe, die in den Schlitzen eines Stahlkernes angebracht sind. In diesem Fall handelt es sich allerdings nicht um feste, gegossene Stäbe, sondern um isolierte Drahtwicklungen. Die Enden jeder Wicklung sind mit einem Paar leitender Lamellen verbunden, die sich an einer Seite des Läufers auf einem an der Läuferwelle angebrachten Isolierkörper befinden. Der Kontakt zu den Läuferwicklungen erfolgt zweimal pro Periode mit Paaren der Kollektorlamellen über 'Bürsten' aus Kohlestücken oder Kupfergewebe. So kann ein in die richtige Richtung fließender Strom nur dann an die Läuferwicklungen geleitet werden, wenn sie dem zugehörigen Feldpol (Nord- oder Südpol) gegenüberliegen.

Reluktanzmotoren

Ein Reluktanzmotor ist nichts anderes als ein Synchronmotor, bei dem der magnetisierte Läufer durch ein unmagnetisiertes Stück Stahl ersetzt wurde. Es hat einige 'Vorzugs'-Stellungen, auf die es sich bei der jeweiligen Primärfeldanordnung einpendelt. Das heißt, es bilden sich 'Pole' heraus, die das Bestreben haben, dem umlaufenden Ankerfeld zu folgen. In einer solchen 'Vorzugs'-Stellung hat der magnetische Widerstand (= Reluktanz) seinen geringsten Wert.

Hysteresemotor

Der Aufbau eines Hysteresemotors ist noch einfacher als der eines Uhrenmotors, da der Läufer aus einem glatten Metallzylinder bestehen kann. Allerdings ähnelt der für seine Herstellung verwendete Stahl dem Stahl, aus dem man Dauermagneten macht, so daß der Läufer an jeder Stelle, über die das Magnetfeld geht, dauerhaft magnetisiert wird. Dieses 'hysteretische Zurückbleiben' des Läufers hinter dem Magnetfeld (entsprechend dem Schlupf beim Asynchronmotor) erzeugt Leistung. Der Motor wird mit zunehmender Drehzahl dem Synchronmotor in Laufverhalten immer ähnlicher, bis es zum 'Eingriff' mit dem umlaufenden Magnetfeld kommt.

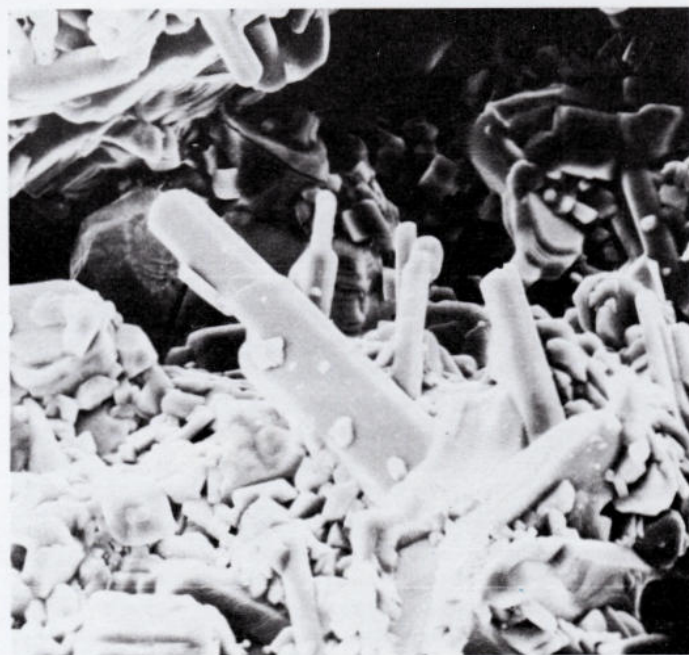
ELEKTRONENMIKROSKOP

Das größte auf der Erde bestehende Elektronenmikroskop wurde in einem eigens hierfür errichteten, dreistöckigen Gebäude untergebracht.

Das Elektronenmikroskop wurde entwickelt, um Objekte mit höherer Auflösung untersuchen zu können, als dies mit Hilfe gewöhnlicher MIKROSKEPE möglich ist. Man setzt es bei der Untersuchung von Metall- und biologischen Proben (Viren und karzinomatösen Geweben) ein.

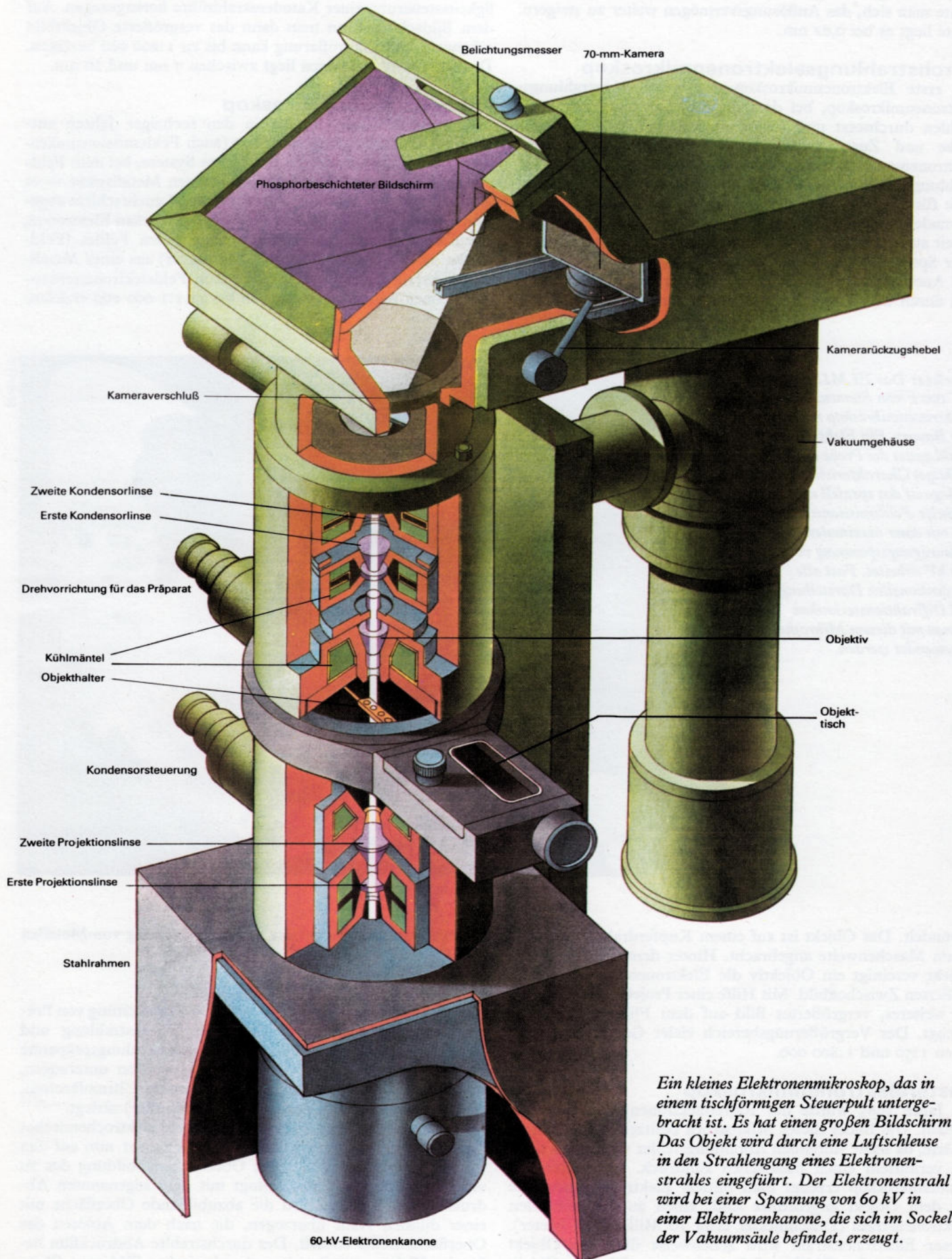
Der deutsche Physiker Ernst Abbe (1840 bis 1905) zeigte, daß zur Unterscheidung zweier nahe beieinanderliegender Teilchen die Wellenlänge der Lichtquelle nicht größer als der doppelte Abstand der beiden Teilchen sein darf. Um zwei Teilchen voneinander unterscheiden zu können, spricht man auch von ihrem Auflösungsvermögen, das nicht mit der Vergrößerung verwechselt werden darf. Es ist unbedeutend, wie oft ein Gegenstand vergrößert wird. Ist das Bild unscharf, wird auch die Vergrößerung unscharf. Die Wellenlänge des sichtbaren Lichts beträgt ungefähr 5 nm (1 Nanometer = ein Milliardstel Meter). Somit würde die Mindestbildfeinheit, die man unter einem Lichtmikroskop auflösen könnte, 2,5 nm Wellenlänge betragen.

Bei der Suche nach einer neuen Art Mikroskop wurden Röntgenstrahlen, die eine viel kürzere Wellenlänge als sichtbares Licht haben, in Erwägung gezogen. Man war jedoch nicht in der Lage, eine Abbildungslinse für Röntgenstrahlen herzustellen. Als Wissenschaftler das Elektron näher untersuchten, stellten sie fest, daß beschleunigte Elektronen die gleichen Wellenerscheinungen wie sichtbares Licht zeigten. Ihre Wellenlänge ist allerdings 100 000mal kürzer. Man erkannte, daß elektrostatische oder elektromagnetische Felder die Bewegung der Elektronen beeinflussen können. Diese Felder können in gleicher Weise als Linse wirken wie Glaslinsen bei sichtbarem Licht. Während der dreißiger Jahre wurden magnetische Linsen entwickelt, mit denen man Schattenbilder von den Objekten erzeugen konnte. Im Jahre 1939 war das erste Elektronenmikroskop erhältlich. Es hatte



NASA

Oben: Eine Fotografie der Kristalle von Mondgestein. Die Aufnahme wurde mit einem Rasterelektronenmikroskop gemacht. Die hier gezeigten Kristalle sind etwa vier Milliarden Jahre alt. Sie bildeten sich beim Abkühlen des Gesteins.



Ein kleines Elektronenmikroskop, das in einem tischförmigen Steuerpult untergebracht ist. Es hat einen großen Bildschirm. Das Objekt wird durch eine Luftscheule in den Strahlengang eines Elektronenstrahles eingeführt. Der Elektronenstrahl wird bei einer Spannung von 60 kV in einer Elektronenkanone, die sich im Sockel der Vakuumsäule befindet, erzeugt.

ein Auflösungsvermögen von 0,24 nm. In der Folgezeit bemühte man sich, das Auflösungsvermögen weiter zu steigern. Heute liegt es bei 0,02 nm.

Durchstrahlungselektronenmikroskop

Das erste Elektronenmikroskop war ein Durchstrahlungselektronenmikroskop, bei dem die Objekte von Elektronenstrahlen durchsetzt und direkt abgebildet werden. Je nach Dicke und Zusammensetzung des Objektes werden die Elektronenstrahlen unterschiedlich geschwächt. Das Durchstrahlungselektronenmikroskop besteht aus einer Vakuumsäule für die Bewegung der Elektronen. Die Katode, die als haarnadelförmige Wolframfadenlampe ausgebildet ist, wird soweit aufgeheizt, bis sie Elektronen freisetzt. Durch Anlegen einer Spannung von 20 000 V bis 100 000 V zwischen Katode und Anode werden die Elektronen in der Säule beschleunigt und durch den Kondensor auf das zu untersuchende Objekt

einem Sekundärelektronenvervielfacher verstärkt und zur Helligkeitssteuerung einer Katodenstrahlröhre herangezogen. Auf dem Bildschirm kann man dann das vergrößerte Objektbild erkennen. Die Vergrößerung kann bis zu 1:200 000 betragen. Das Auflösungsvermögen liegt zwischen 7 nm und 10 nm.

Feldelektronenmikroskop

Eine weitere Bauart ist das in den sechziger Jahren entwickelte Feldelektronenmikroskop (auch Feldemissionsmikroskop oder FEM). Es ist ein linsenloses System, bei dem Feldelektronen aus der Oberfläche einer feinen Metallspitze — es ist die Katode — austreten und auf einem Leuchtschirm abgebildet werden. Unter Feldelektronen versteht man Elektronen, die durch Anlegen eines hohen elektrischen Feldes (Feldstärke: etwa 1 Million Volt pro Zentimeter) aus einer Metallspitze herausgesaugt werden. Mit dem Feldelektronenmikroskop lassen sich Vergrößerungen bis zu 1:1 000 000 erzielen.

***Rechts:** Das ELMISKOP ST 100 F von Siemens ist ein Elektronenmikroskop modernster Bauart. Ein Elektronenstrahl tastet die Probe ab. Ein wichtiges Charakteristikum der Anlage ist das speziell entwickelte Feldemissionssystem, das mit einer maximalen Beschleunigungsspannung von 100 kV arbeitet. Fast alle konventionellen Darstellungs- und Diffraktionstechniken können mit diesem Mikroskop angewendet werden.*



gebündelt. Das Objekt ist auf einem Kupferdrahtgewebe mit 3 mm Maschenweite angebracht. Hinter dem durchstrahlten Objekt vereinigt ein Objektiv die Elektronen zu einem vergrößerten Zwischenbild. Mit Hilfe einer Projektionsoptik wird ein weiteres, vergrößertes Bild auf dem Fluoreszenzschirm erzeugt. Der Vergrößerungsbereich vieler Geräte liegt zwischen 1:50 und 1:800 000.

Rasterelektronenmikroskop

Im Jahre 1965 wurde das Rasterelektronenmikroskop vorgestellt. Die Bilder dieses Mikroskops besitzen große Tiefenschärfe, da keine störenden Abbildungsfehler vorhanden sind. Sie vermitteln einen plastischen Eindruck. Im Rasterelektronenmikroskop erzeugt man mittels Elektronenlinsen, die vor dem Objekt angeordnet sind, einen äußerst schmalen Elektronenstrahl (Durchmesser etwa 10 Milliardstel Meter). Dieser Elektronenstrahl wird zeilenweise über das Objekt geführt, d.h. das Objekt wird aufgerastert. Die das Objekt durchdringenden oder reflektierenden Elektronen werden in

Es wird insbesondere bei der Strukturforschung von Metallen und dergleichen angewendet.

Vorbereitung der Präparate

In der Elektronenmikroskopie wird die Vorbereitung von Präparaten in zwei Gruppen eingeteilt: Durchstrahlung und Oberflächenabtastung. Biologische Durchstrahlungspräparate werden meistens einer schwierigen Präparation unterzogen, bevor man sie mit einem Instrument, einem Ultramikrotom, in sehr dünne Proben (Dicke unter 0,0002 mm) zerlegt.

Metallurgische Proben werden durch ein elektrochemisches Polierverfahren in einer Dicke von etwa 0,0001 mm auf den Objektträger aufgebracht. Eine Oberflächenabbildung des zu untersuchenden Objektes gelingt mit dem sogenannten Abdruckverfahren. Hier wird die abzubildende Oberfläche mit einer dünnen Haut überzogen, die nach dem Ablösen das Oberflächenrelief enthält. Der durchstrahlte Abdruckfilm liefert im Elektronenmikroskop ein plastisches Bild vom Oberflächenrelief.

ELEKTRONENRÖHRE

Die Elektronenröhre hat die Eigenschaft, bei nur geringer Änderung der Steuerspannung eine große Änderung des elektrischen Stromes hervorzurufen.

Der Begriff *Elektronenröhre* (*Vakuumröhre*) ist ein Oberbegriff für verschiedene elektronische Geräte, die alle die gleiche Struktur haben. Sie sind in einem luftdichten, evakuierten Glaskolben untergebracht und enthalten eine *Glühkatode*. Diese besteht aus einem spezialbehandelten Metall, das Elektronen aussendet, wenn es mit Hilfe eines elektrischen Heizelementes erhitzt wird. Der englische Wissenschaftler John Fleming entwickelte die erste Elektronenröhre im Jahre 1904. Er benutzte die Entdeckung Edisons, daß in einer Glühbirne Elektrizität vom Glühfaden auf einen dicht daneben angebrachten Metalldraht überspringt.

Aufbau

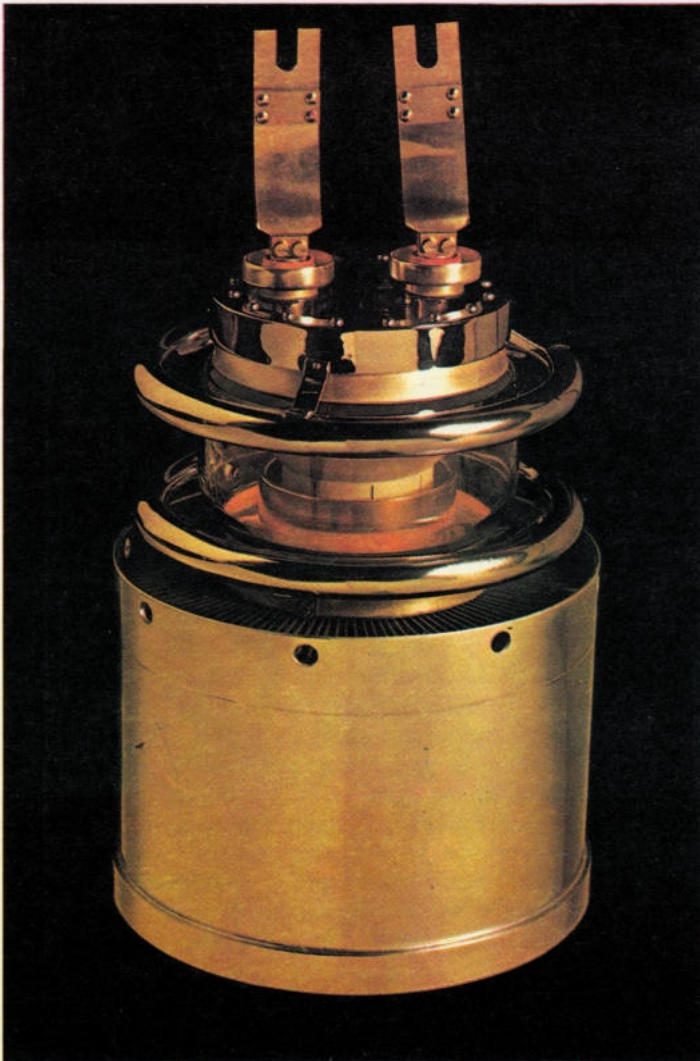
Die erste Elektronenröhre war eine *DIODE*. In ihr kann der elektrische Strom nur in einer Richtung fließen. Eine Diode enthält eine Katode und eine Anode. Die Katode war bei den ersten Dioden ein Kohle- oder Wolframheizfaden. Die Verwendung einer dritten Elektrode, auch *Gitter* genannt, stellte eine Erweiterung dar. Das Gitter ist eine durchlöcherichte Platte,

die zwischen der *Anode* (positive Elektrode) und der *Katode* (negative Elektrode) einer Diode liegt. Eine solche Einheit nennt man *Triode* (s. Abbildungen). Das Gitter wird näher bei der Katode als bei der Anode angebracht; dadurch ruft eine kleine Änderung der Gitterspannung eine sehr viel größere Änderung in dem Anoden/Katoden-Strom hervor. Die Triode kann daher als *VERSTÄRKER* eingesetzt werden.

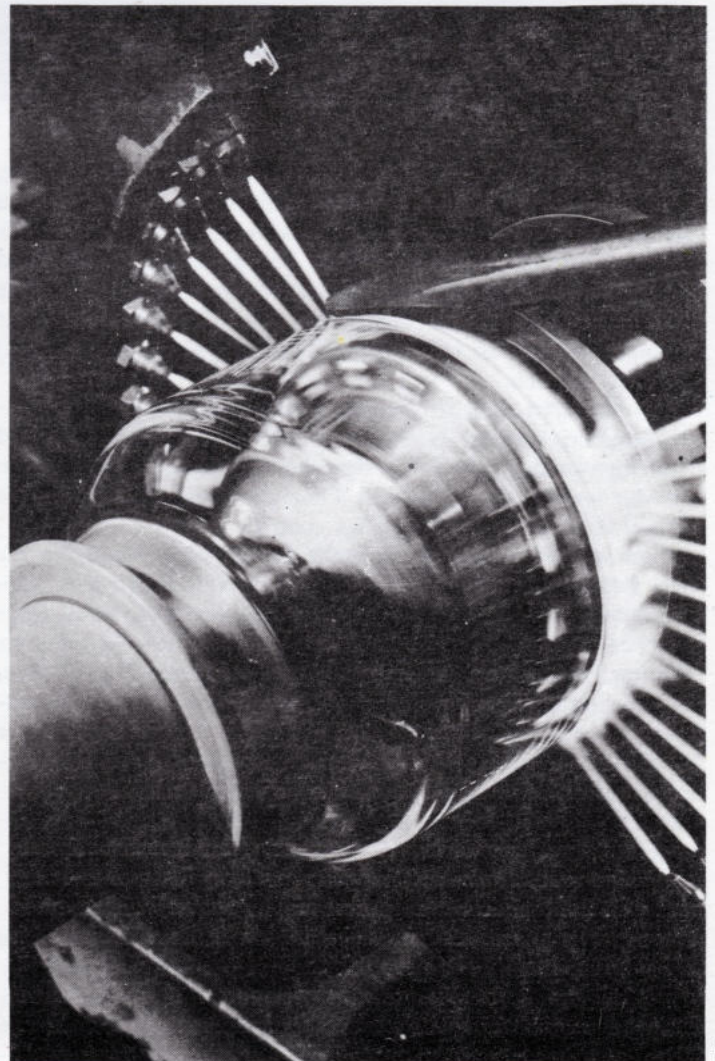
Von der 'weichen' zur 'harten' Elektronenröhre

Die ersten Elektronenröhren waren nicht sehr hoch evakuiert, weil den damaligen Vakuumpumpen Grenzen gesetzt waren. Man sprach von 'weichen' Röhren. Durch die verbliebene Restluft hatte die Röhre relativ schlechte Kenndaten und ihre Lebensdauer war kurz. Mit fortschreitender Entwicklung der Vakuumpumpen und durch neuere Herstellungsmethoden der Elektronenröhren konnte in der Röhre ein verbessertes Vakuum erzielt werden. Diese Elektronenröhren nannte man 'harte' Röhren. Sie hatten stabilere Kenndaten als 'weiche' Röhren. Von wenigen Ausnahmen abgesehen sind die heutigen Elektronenröhren 'harte' Röhren.

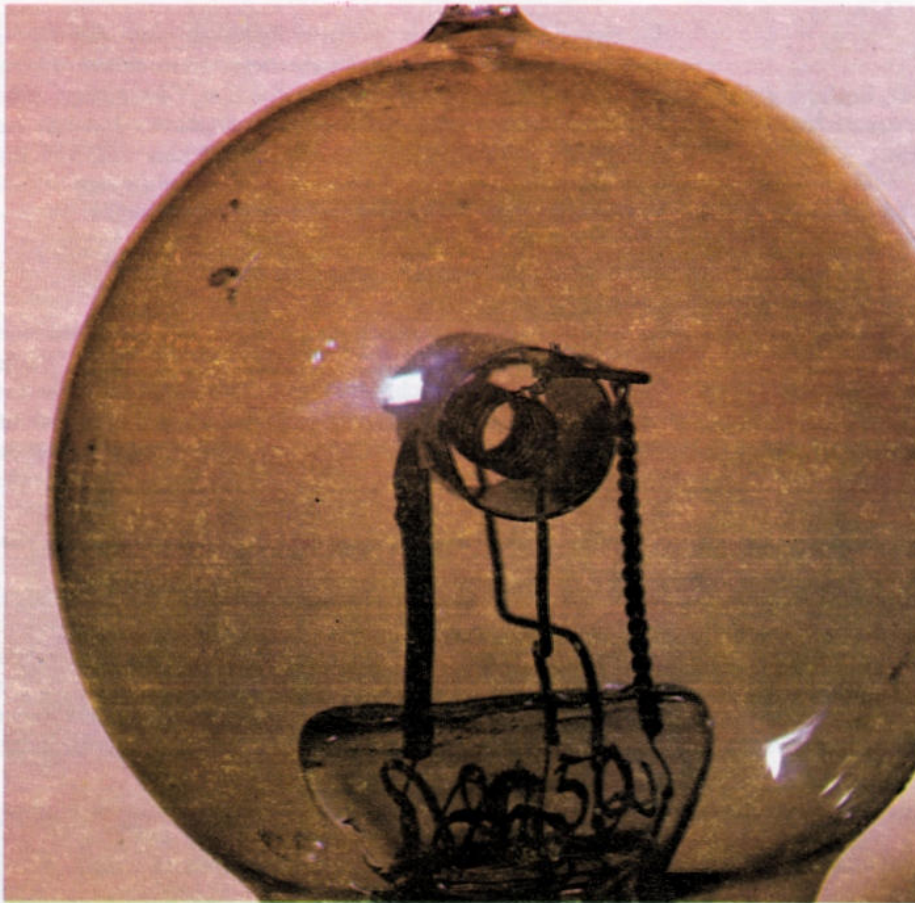
Die Verbesserung des Vakuums innerhalb der Elektronenröhre ließ auch wirkungsvollere Elektronenemitter zu. Der wichtigste Vertreter ist der *Wolframheizfaden*, dem *Thorium* zugemischt wurde. Dieser Werkstoff wurde hergestellt, indem



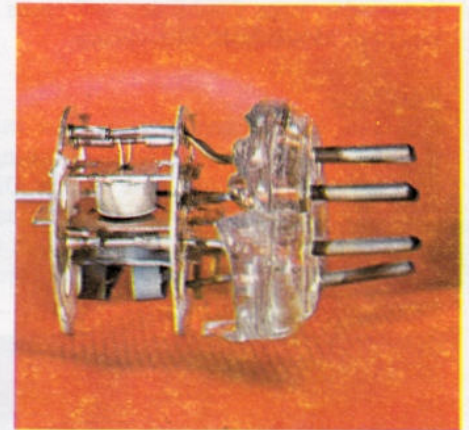
Oben: Eine Triode, wie sie in zahlreichen elektrischen und elektronischen Geräten Anwendung findet. Im unteren Bildteil sind die Kühlrippen zu erkennen (über den drei Löchern in der Metallhülle). Die hier abgebildete Triode hat eine Leistung von 100 kW bei 10 MHz.



Oben: Das Versiegeln einer stark evakuierten Triodenröhre. Die Naht zwischen Metall und Glas wird auf einer Drehbank mit hoher Drehzahl verschweißt. Das Metallgitter und die Katode sind bereits in der evakuierten Triodenröhre. Der Metallsockel der Triode wirkt als Anode.



Links: Eine Triode, wie sie in Radioempfängern der 20er Jahre verwendet wurde. Der äußere Zylinder ist die Anode. Darin befindet sich ein Drahtgebilde (das Gitter) und darin wiederum ein Wolframheizfaden. Reines Wolfram ist jedoch nur bei hohen Temperaturen als Emitter effektiv; daher wird diese Röhre auch Hochtemperaturkatode genannt.



man dem Wolframpulver 1% bis 2% Thoriumoxid beimischte, bevor man den Draht zog. Durch Beimischen dieser geringen Menge Thoriums wurde die Emissionsausbeute des Heizfadens deutlich verbessert, d.h. bei gleichem Wärmegrad können mehr Elektronen freigesetzt werden. Außerdem wurde die Lebensdauer heraufgesetzt. Die Betriebstemperatur konnte niedriger als bei älteren Vakuumröhren (etwa 2000°C) gehalten werden.

Im nächsten Schritt überzog man die Emitter — als Ausgangsmaterial wurde Nickel verwendet — mit Barium- und Strontiumoxiden. Ihr Wirkungsgrad war hundertmal so hoch wie der von Wolfram, das mit Thorium vermischt wurde; die Betriebstemperatur lag bei etwa 1000°C.

Eine weitere Verbesserung stellt die *indirekt geheizte Katode* dar. Früher war der für das Freisetzen von Elektronen verwendete Emitter ein feiner Heizdraht, der durch einen elektrischen Strom direkt beheizt wurde. Der indirekt beheizte Emitter besteht aus einer mit Oxid überzogenen Nickelhülse, in der sich der Wolframdraht befindet. Durch diese Anordnung werden die Emissionseigenschaften der Katode weiter verbessert. Heizelement und Katode sind elektrisch voneinander unabhängig angeordnet. Die meisten modernen Vakuumröhren haben den indirekt beheizten, mit Oxid überzogenen Emitter.

Hochfrequenzröhren

Trotz der im Laufe der Zeit erzielten Verbesserungen kann die Triode nur bei Frequenzen bis zu 1 MHz (1 MHz = 1 Million Schwingungen pro Sekunde) eingesetzt werden. Um bei höheren Frequenzen arbeiten zu können, entwickelte man die *Tetrode*, eine Elektronenröhre mit vier Elektroden. Zwischen die Anode und das Gitter der Triode wurde ein weiteres Schirmgitter eingefügt, das zwischen der Anode und dem Gitter ein elektrostatisches Abschirmgitter bildete. Der Frequenzbereich konnte dadurch wesentlich erweitert werden.

Schließlich versah man die Elektronenröhre mit einer

Oben: Die inneren Bestandteile einer Triode mit niedriger Anodengitter-Kapazität, wie sie in Hochfrequenzverstärkern verwendet wird.

fünften Elektrode. Es liegt dann eine *Pentode* vor. Diese fünfte Elektrode wird zwischen der Anode und dem Abschirmgitter angebracht. Hierdurch werden die Eigenschaften der Elektronenröhre besonders bei niedrigen Anodenspannungen verbessert. Die Pentode zeigt ein sehr gutes Verhalten in einem großen Frequenzbereich.

Anwendungen und Grenzen der Elektronenröhre

Als elektronisches Bauteil wurde die Elektronenröhre in folgenden Gebieten eingesetzt: als Verstärker in Radio- und Fernsehgeräten, in der Nachrichtentechnik, bei Radar, Oszillatoren und Elektronenrechnern. Sie hat allerdings aus physikalischer Sicht einige Nachteile. Sie ist leicht zerbrechlich und daher empfindlich gegen Stöße oder Rütteln. Sie hat große Abmessungen und verbraucht viel Energie für die Heizelemente. Dies ist der Grund, warum Elektronenröhren nicht in batteriebetriebene, tragbare Geräte eingesetzt werden können. Des weiteren hat der Heizdraht nur eine begrenzte Lebensdauer. Ist er durchgebrannt, muß die Röhre ausgetauscht werden. Der TRANSISTOR — ein Halbleiterbauelement — kennt diese Nachteile nicht. Seit seiner kommerziellen Einführung um 1960 hat er die Elektronenröhre in vielen Anwendungsbereichen abgelöst.

Trotz der großen Fortschritte in der Halbleitertechnik wird die Elektronenröhre auch heute noch bei Hochspannungs- und Hochleistungsanwendungen (Rundfunk- und Radarsendern) eingesetzt. Außerdem wird sie in einigen Spezialgebieten verwendet: als *Thyratron* (ein Äquivalent zu dem Halbleiterbauelement THYRISTOR) und in Detektoren für Elementarteilchen (Geiger-Müller-Zähler und Fotovervielfacherröhren).

Erfindungen 8: SATTEL

Die früheste, bekannte Form des Sattels ist der Packsattel für Esel, der aus einem Paar gekreuzter Holzstäbe bestand. Der eine lag auf der Schulter des Tieres, der andere über dessen Rücken. Beide waren durch eine Anzahl waagrecht liegender Stäbe verbunden. Dieser Sattel wurde durch einen Gurt gehalten. Um das Scheuern zu verhindern, war der Gurt an

das Gleichgewicht zu halten — diese Fähigkeit war leicht zu erlernen — sondern darin, daß der Reiter seine gesamte Ausrüstung selbst tragen mußte. Der nomadische Reiter, der einen großen Teil seiner Zeit auf der Jagd verbrachte, dürfte mit Bögen, Köchern, Messern, Seilen und Wasserflaschen beladen gewesen sein. Das meiste davon konnte das Reittier eigentlich viel besser tragen.

Die früheste Form des Reitsattels, die ab etwa 800 v. Chr. bekannt ist, dürfte nicht viel mehr als eine Decke gewesen sein — ein einfaches, rechteckiges Stück Filz oder Leder, das von einem Gurt gehalten wurde. Um das Vor- und Zurückrutschen zu ver-

Art noch heute in vielen Teilen der Erde in Gebrauch sind, dürfte der klassische Sattel, der im Mittelalter aufkam, aus dem Packsattel entstanden sein. Sein Holzgestell und seine Polsterung wurden als 'Baum' oder Rahmen des Reitsattels bezeichnet. Ein kurzes, hochstehendes Brett wurde vorne und hinten am Baum als Vorder- und Hinterzwiesel angebracht. Entweder wurde dann der Rahmen gut gepolstert, oder es wurde ein lederner Sitz zwischen

Bei dieser chinesischen Grabkeramik aus der Zeit der Tang-Dynastie (618–907 n. Chr.) sind Vorder- und Hinterzwiesel als Stützen ausgebildet, die den Sitz des Reiters sicherer machen.

Der erste echte Steigbügel war ringförmig, wie auf dieser persischen Malerei zu sehen ist.

CLAUS HANSMANN



BULLOZ

der Innenseite gepolstert, oder man legte eine Satteldecke darunter. Körbe und Waren, auch Kinderbettchen, wurden an diesem Holzgestell festgebunden.

Zur Geschichte des Reitsattels

Da der Packsattel nicht für Reiter bestimmt war, mußten diese zunächst ohne Sattel reiten. Als die asiatischen Nomaden das Pferd um 2000 v. Chr. zum Haustier machten, fanden sie heraus, daß der Nachteil des Reitens ohne Sattel nicht, wie zu vermuten wäre, in der Schwierigkeit bestand,

hindern, war vorne ein Kummel- und hinten ein Rumpfriemen angebracht. Eine weitere Verbesserung waren Kissen, die als primitive Ausführung von Vorder- und Hinterzwiesel an die Vorder- und Hinterkante des Sattels genäht wurden. Dadurch hatte es der Reiter bequemer, und er saß sicherer. Sättel dieser Art führten die Chinesen um 200 v. Chr. ein; auch die Römer kannten diesen Sattel, den sie sella, d.h. Stuhl, nannten.

Holzrahmensattel

Obwohl Filz- und Ledersättel dieser

Vorder- und Hinterkante des Baumes wie eine Hängematte ausgespannt. Dies gab dem Reiter einen sicheren und bequemen Sitz und ist dem Bocksattel der modernen Cowboys nicht unähnlich.

Steigbügel

Aber selbst mit Sattel konnte der Reiter seine Beine nur zum Festklammern am Pferd verwenden. Bei plötzlichen oder heftigen Bewegungen lief er Gefahr, herunterzufallen. Die Idee des Steigbügels scheint um 200 v. Chr. in Indien entstanden zu

sein. Hier waren die Reiter meist barfuß. Um ihnen das Halten des Gleichgewichtes zu erleichtern, wurden an beiden Seiten des Sattels Ringe angenäht, durch die sie die große Zehe jedes Fußes steckten. Während der folgenden Jahrhunderte reisten buddhistische Mönche viel in Zentralasien und China umher. Wahrscheinlich hat man in China zuerst erkannt, daß der ganze Fuß mit dem Stiefel in den Zehenring paßt, wenn dieser vergrößert wird. Der erste echte Steigbügel tauchte jedenfalls um 600 n. Chr. in China auf, war aber damals noch ein Ring.

In Europa fand man die frühesten Steigbügel in Gräbern aus der Zeit um 800 n. Chr. Auch zu jener Zeit war der Steigbügel noch ein Ring. Es dauerte dann nur ein Jahrhundert, bis sich eine neue Form herausbildete, und zwar ein Bügel mit Querstange für den Fuß, der dem modernen Steigbügel ähnelte. Er verbreitete sich über ganz Europa und Asien.

Bocksättel

Es ist nicht sicher belegt, aber Steigbügel und Bocksattel scheinen zur selben Zeit entstanden zu sein. Ihr Einfluß auf die Reitkunst war überwältigend. Jetzt konnte der Reiter eine neue Haltung einnehmen. Anstatt nach vorn gebeugt mit angezogenen Knien reiten zu müssen, konnte er jetzt mit fast gestreckten Beinen aufrecht sitzend reiten. Er konnte dadurch eine schwere Lanze oder ein Schwert führen, ohne Gefahr zu laufen, vom Pferd zu stürzen. Vor allem in Europa nutzte man die Vorteile der neuen Sattelart in vollem Umfang. Es entwickelte sich eine schwer gepanzerte Kavallerie. Sehr bald hatte man kräftige Pferde gezüchtet, die schwere Lasten in die Schlacht tragen konnten. Überhaupt bildeten Sattel und Steigbügel die Grundlage für die Entstehung des europäischen Rittertums im Mittelalter.

In Asien fand eine solche Entwicklung nicht statt. Die Reiterheere blieben bei den leichten Pferden und waren meist mit Pfeil und Bogen bewaffnet. Trotzdem ermöglichte es der durch Sattel und Steigbügel sichere Sitz den berittenen asiatischen Bogenschützen, mit ihren Waffen eine erstaunliche Treffsicherheit zu erzielen.

Vor der Erfindung des Steigbügels haben sich Krieger und Jäger vermutlich in dieser Weise aufs Pferd geschwungen.

Dieser deutsche Paradesattel in einer für das Mittelalter typischen Form ist dem modernen Bocksattel der Cowboys sehr ähnlich.

