

Günter Wagner

Waschmittel

***Beachten Sie bitte auch
weitere interessante Titel
zu diesem Thema***

Schwedt, G.

Noch mehr Experimente mit Supermarktprodukten

Das Periodensystem als Wegweiser

252 Seiten mit ca. 59 Abbildungen und
ca. 1 Tabellen

2009

Softcover

ISBN: 978-3-527-32476-7

Schwedt, G.

Experimente mit Supermarktprodukten

Eine chemische Warenkunde

252 Seiten mit 30 Abbildungen

2009

Softcover

ISBN: 978-3-527-32450-7

Aehle, W. (Hrsg.)

Enzymes in Industry

Production and Applications

516 Seiten mit 137 Abbildungen und 47 Tabellen
2007

Hardcover

ISBN: 978-3-527-31689-2

Tadros, T. F.

Applied Surfactants

Principles and Applications

654 Seiten mit 321 Abbildungen und 25 Tabellen
2005

Hardcover

ISBN: 978-3-527-30629-9

Weissermel, K., Arpe, H.-J.

Industrial Organic Chemistry

511 Seiten mit 20 Abbildungen und 145 Tabellen
2003

Hardcover

ISBN: 978-3-527-30578-0

Smulders, E.

Laundry Detergents

288 Seiten mit 116 Abbildungen und 62 Tabellen
2002

Hardcover

ISBN: 978-3-527-30520-9

Hummel, D. O.

Handbook of Surfactant Analysis

Chemical, Physico-Chemical and Physical Methods

412 Seiten

2000

Hardcover

ISBN: 978-0-471-72046-1

Günter Wagner

Waschmittel

Chemie, Umwelt, Nachhaltigkeit

4. vollst. überarb. u. erw. Auflage



WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Autoren

Dipl.-Chem. Günter Wagner
Sandbuschweg 3
34132 Kassel

4. vollst. überarb. u. erw. Auflage 2010

■ Alle Bücher von Wiley-VCH werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2010 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

Cover-Design Grafik-Design Schulz,
Fußgönheim

Satz Hagedorn Kommunikation GmbH,
Viernheim

Druck und Bindung betz-druck GmbH,
Darmstadt

Printed in the Federal Republic of Germany
Gedruckt auf säurefreiem Papier

ISBN: 978-3-527-32678-5

Danksagung

Mein Dank gilt allen den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, wissenschaftlichen Institutionen, Verbänden und Firmen der Waschmittel-, Waschrohstoff- und Waschgeräteindustrie, die mir bereitwillig aktuelle Daten und viele Hintergrundinformationen zur Verfügung gestellt haben.

Besonders danken für die vielfältige Unterstützung möchte ich Herrn Dr. Bernd Glassl (Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel IKW) und Herrn Dr. Horst-Dieter Speckmann (Henkel AG & Co. KGaA)

Mein Dank gebührt auch den folgenden Personen, die an der Überarbeitung und Aktualisierung einzelner Kapitel maßgeblich mitgewirkt haben:

Kapitel 2 und Anhang 1: Dr. Claus-Dierk Hager (Sasol Germany GmbH),

Kapitel 9 und Anhang 2: Dr. Josef Steber und Dr. Thorsten Wind (Henkel AG & Co. KGaA),

Kapitel 10: Dr. Claus Gutzschebauch (Henkel AG & Co. KGaA) und Dr. Hans-Jürgen Klüppel.

Kapitel 11.5: Dr. Roland Schröder (Henkel AG & Co. KGaA).

Herrn Dr. Thomas Herbrich (fit GmbH), Herrn Armin Pillkahn (Luhns GmbH) und Herrn Dr. Bernd Wolff-Schladitz (Dalli-Werke GmbH & Co. KG) danke ich für die vielen Hintergrundinformationen und wertvollen Hinweise zu den Kapiteln 5 und 6, Herrn Dr. Schmiedel (Henkel AG & Co. KGaA) für die wertvollen Hinweise zu Kapitel 3.

Dem Verlag Wiley-VCH danke ich für die ausgezeichnete Koordination und allzeit gute Zusammenarbeit.

Nachweis der Abbildungen

Association Internationale de la Savonnerie, de la Détergence et des Produits d'Entretien A.I.S.E.: (Abb. 8.17).

BASF AG: (Abb. 5.2, 5.12 und 5.13).

Fonds der chemischen Industrie: Folienserie 14 „Tenside“, 1992 (Abb. 3.9), Informationsserie „Textilchemie“ (Abb. 1.14).

Dr. Claus-Dierk Hager (Sasol Germany GmbH): (Abb. 2.4, 2.5 und 2.6).

Fachverband für Energie-Marketing und -Anwendung (HEA): (Abb. 1.25 und 1.26).

Henkel AG & Co. KGaA: (Abb. 1.11, 5.5, 5.25, 5.27, 5.28, 5.29, 5.32, 5.33, 5.43, 6.9, 7.2 bis 7.7, 8.18, 8.19, 8.20, 8.20, 8.21, 9.9 und 9.10).

Henkel AG & Co. KGaA, Konzernarchiv: (Abb. 7.1, 8.2 bis 8.4, 8.8 und 9.1).

Dr. Hans-Jürgen Kl ppel: (Abb. 10.1 bis 10.13, außer Abb. 10.5).

Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel (IKW): (Abb. 1.6, 1.17, 8.22, 8.26 bis 8.29).

Miele & Cie. KG: (Abb. 1.19, 1.23 und 1.27).

Novozymes A/S: (Abb. 5.26).

Heinrich Oberlack: (Abb. 1.18).

Procter & Gamble Service GmbH: (Abb. 6.5 und 6.10).

Prof. Dr. Rainer Stamminger, Universität Bonn, Sektion Haushaltstechnik: (Abb. 1.22, 1.24 und 1.28).

Günter Wagner: (Abb. 8.16 und 8.31).

Rudolf Weber: SÖFW, H. 15 (1985), S. 442 (Abb. 3.11).

Thorsten Wind (Henkel AG & Co. KGaA): Henkel internal document.
<http://blog.save-your-future.com/2009/04/02/biologischer-abbau-was-ist-das-neu/>
(aufgerufen 08/2009) (Abb. 9.4, 9.8, 9.9).

Inhaltsverzeichnis

Vorwort XIII

1	Partner beim Waschprozess	1
1.1	Einführung	1
1.2	Der Wäscheschmutz	2
1.3	Wasser und Wasserhärte	4
1.4	Textilien	8
1.5	Waschmaschinen	16
	Literatur	30
2	Chemie der Tenside	31
2.1	Überblick und wirtschaftliche Bedeutung	31
2.2	Anionische Tenside	37
2.2.1	Seife	37
2.2.2	Alkylbenzolsulfonate (TPS, LAS)	40
2.2.3	Alkansulfonate (SAS)	42
2.2.4	Fettalkoholsulfate (FAS)	43
2.2.5	Fettalkoholethersulfate (FAES)	44
2.3	Nichtionische Tenside	44
2.3.1	Fettalkoholethoxylate (FAEO)	46
2.3.2	Tenside auf Zuckerbasis	47
2.3.3	Sonstige Niotenside	49
2.4	Kationische Tenside	50
2.5	Amphotere Tenside	52
	Literatur	53
3	Eigenschaften der Tenside	55
3.1	Anordnung von Tensiden an Phasengrenzflächen	55
3.2	Das Verhalten von Tensiden in wässriger Lösung	56
3.2.1	Herabsetzung der Oberflächenspannung des Wassers durch Tenside	56
3.2.2	Micellbildung von Tensiden	58
3.2.3	Schaumbildung von Tensidlösungen	60
3.2.4	Das Benetzungsvermögen von Tensidlösungen	62

3.3	Die Waschwirkung von Tensiden	64
3.3.1	Schmutzablösung von öl- und fetthaltigem Schmutz	65
3.3.2	Schmutzablösung von Pigmentschmutz	68
3.3.3	Schmutzablösung von stark polarem Schmutz	70
3.3.4	Tensidmischungen	70
	Literatur	71
4	Warenkunde der Waschmittel	73
4.1	Waschmitteltypen im Überblick	73
4.2	Vollwaschmittel	76
4.2.1	Vollwaschmittel, pulverförmig	76
4.2.2	Vollwaschmittel, flüssig und gelförmig	78
4.3	Colorwaschmittel	79
4.3.1	Colorwaschmittel, pulverförmig	79
4.3.2	Colorwaschmittel, flüssig und gelförmig	80
4.4	Portionierte Waschmittel (Tabs und Flüssig-Tabs)	81
4.5	Feinwaschmittel	81
4.6	Spezialwaschmittel	82
4.7	Waschmittel mit Zusatznutzen	83
	Literatur	83
5	Inhaltsstoffe von Waschmitteln	85
5.1	Tenside	85
5.2	Enthärter (Gerüststoffe)	88
5.2.1	Pentatanatriumtriphosphat	91
5.2.2	Zeolithe	92
5.2.3	Spezielle Silicate	95
5.2.4	Citronensäure und Citrate	96
5.2.5	Polycarboxylate	97
5.2.6	Nitrilotriessigsäure und deren Salze (NTA)	99
5.3	Waschalkalien und pH-Wert	100
5.4	Bleichsysteme	101
5.4.1	Bleichmittel auf Sauerstoffbasis	103
5.4.2	Bleichmittel auf Chlorbasis	106
5.4.3	Bleichaktivatoren	107
5.4.4	Bleichkatalysatoren	109
5.4.5	Peroxocarbonsäuren	110
5.5	Enzyme	111
5.6	Sonstige Inhaltsstoffe	116
5.6.1	Polymere Inhaltsstoffe	116
5.6.1.1	Vergrauungsinhibitoren und Soil Release Polymere	117
5.6.1.2	Farbübertragungsinhibitoren	120
5.6.1.3	Farbpflegepolymere	122
5.6.1.4	Folien für Portionierungen	122
5.6.2	Optische Aufheller	123

5.6.3	Stabilisatoren und Komplexbildner	125
5.6.4	Schauminhibitoren	128
5.6.5	Korrosionsinhibitoren	129
5.6.6	Duftstoffe	129
5.6.7	Farbstoffe	130
5.6.8	Füllstoffe und Konfektionierungshilfen	131
5.6.9	Konservierungsstoffe	131
5.6.10	Sprengmittel	132
5.6.11	Geruchsabsorber	132
	Literatur	134
6	Waschhilfsmittel und Nachbehandlungsmittel	137
6.1	Waschhilfsmittel (Vorbehandlungsmittel und Waschmittel-additive)	138
6.2	Weichspülmittel und Gewebeconditioner	141
6.3	Weitere Nachbehandlungsmittel	148
6.4	Textilerfrischer	149
	Literatur	150
7	Technologie der Waschmittelherstellung	151
7.1	Herstellung von pulverförmigen Waschmitteln nach dem Tennungsverfahren	152
7.2	Herstellung pulverförmiger Waschmittel nach dem Hochdruck-sprühverfahren	153
7.3	Herstellung von Kompakt- und Superkompaktwaschmitteln	155
7.4	Herstellung von Waschmittel-Tabs	157
7.5	Herstellung von flüssigen Waschmitteln	159
7.6	Herstellung von Flüssig-Tabs	161
	Literatur	161
8	Waschmittel aus Sicht der Verbraucher	163
8.1	Geschichte der Waschmittel	163
8.2	Waschgewohnheiten heute	173
8.2.1	Verwendung von Waschmitteln in Deutschland	177
8.2.2	Waschverfahren	183
8.3	Der Waschmittelmarkt im internationalen Vergleich	187
8.4	Hinweise zum richtigen Waschen	192
8.4.1	Sechs „goldene“ Regeln zum Waschen	192
8.4.2	Vorbehandlung der Wäsche und Fleckentfernung	198
8.4.3	Hinweise zum Trocknen der Wäsche	201
8.4.4	Informationen auf der Waschmittelpackung	201
8.5	Verbraucherschutz, Hygiene und Gesundheit	203
8.5.1	Welche Warnhinweise und Gefahrenkennzeichnungen finden sich auf einer Waschmittelpackung?	204

- 8.5.2 Gibt es mögliche Risiken durch Waschmittelrückstände auf den Textilien? 208
- 8.5.3 Welche Wirkung haben Waschmittel und Weichspülmittel auf die Haut? 209
- 8.5.4 Wie groß ist die Gefahr bei Unfällen mit Waschmitteln? 212
- 8.5.5 Gibt es hygienische Probleme, wenn die Wäsche häufiger bei Temperaturen von 20 °C bis 40 °C gewaschen wird? 213
- Literatur 218

9 Ökologie der Waschmittel 221

- 9.1 Allgemeine Problemstellung 221
- 9.2 Abwasserbelastung durch Waschmittel 225
- 9.3 Vorkommen von Tensiden in der Umwelt 230
 - 9.3.1 Tenside in Oberflächengewässern 230
 - 9.3.2 Tenside im Klärschlamm und Boden 235
- 9.4 Biologische Abbaubarkeit von Tensiden 235
 - 9.4.1 Überblick 236
 - 9.4.2 Der Primärabbau von Tensiden 238
 - 9.4.3 Der Totalabbau von Tensiden 239
 - 9.4.4 Vergleich der biologischen Abbaubarkeit wichtiger Tenside 243
- 9.5 Wirkung von Tensiden auf Gewässerorganismen (aquatische Toxizität) 245
 - 9.5.1 Die akute Toxizität 245
 - 9.5.2 Die Langzeit-Toxizität 246
- 9.6 Ökologische Bewertung wichtiger Tenside 248
- 9.7 Ökologische Auswirkungen weiterer Inhaltsstoffe von Waschmitteln 250
 - 9.7.1 Phosphate 250
 - 9.7.1.1 Phosphorkonzentration und Gewässergüte in stehenden Gewässern 252
 - 9.7.1.2 Phosphorkonzentration in Fließgewässern 253
 - 9.7.1.3 Ursache der Phosphorbelastung 253
 - 9.7.1.4 Maßnahmen zur Reduktion der Phosphorkonzentration in der Umwelt 254
 - 9.7.2 Phosphatfreie Enthärterssysteme und Komplexbildner 255
 - 9.7.3 Bleichmittel 257
 - 9.7.4 Enzyme 258
 - 9.7.5 Sonstige Inhaltsstoffe 259
 - 9.7.6 Umweltbelastung durch Waschmittelinhaltsstoffe im Überblick 261
 - Literatur 263

10 Ökobilanzen 265

- 10.1 Was sind Ökobilanzen? 265
- 10.2 Was können Ökobilanzen leisten? 267

10.3	DIN/EN/ISO-Normen	268
10.4	Wer führt Ökobilanzen durch?	268
10.5	Grundlagen zum Erstellen von Ökobilanzen	269
10.5.1	Bestimmung von Ziel und Untersuchungsrahmen einer Ökobilanz	269
10.5.2	Sachbilanz (Dateninventar)	269
10.5.3	Wirkungsabschätzung	270
10.5.4	Auswertung und Kritische Prüfung	272
10.6	Ökobilanz des Waschens	273
	Literatur	280
11	Waschmittel und Nachhaltigkeit	283
11.1	Allgemeine Betrachtungen	283
11.2	FORUM WASCHEN – eine Initiative zum nachhaltigen Waschen	285
11.3	Hersteller und Verbraucher tragen Verantwortung für eine nachhaltige Entwicklung	286
11.4	Weitere Initiativen und Ansätze zum „Nachhaltigen Waschen“	288
11.4.1	Umweltzeichen für Waschmittel	288
11.4.2	Europäische Nachhaltigkeitsinitiative „Nachhaltiges Waschen und Reinigen“	289
11.4.3	Der „Product Carbon Footprint (PCF)“ – Ein Maß für Ressourcenverbrauch und Klimarelevanz?	290
11.5	Der Beitrag nachwachsender Rohstoffe für eine nachhaltige Entwicklung der Waschmittel	291
11.6	Ausblick – Wie sieht die Zukunft des Waschens aus?	296
	Literatur	298
12	Allgemeine Literatur, Übersichtswerke und Internetadressen	299
A1	Methoden zur Synthese von Tensiden	301
A1.1	Herstellung von Seife	301
A1.2	Herstellung von linearen Alkylbenzolsulfonaten (LAS)	304
A1.3	Herstellung von sekundären Alkylsulfonaten (SAS)	305
A1.4	Herstellung von Fettalkoholen und Fettalkoholsulfaten (FAS)	306
A1.5	Herstellung von Fettalkoholethersulfaten (FAES)	308
A1.6	Herstellung von Fettalkoholethoxylaten (FAEO)	308
A1.7	Herstellung von Alkylpolyglucosiden (APG)	310
A1.8	Herstellung von Kationtensiden (Esterquats)	311
A2	Messverfahren zur biologischen Abbaubarkeit	313
A2.1	Methoden zur Untersuchung des Primärabbaus	314
A2.2	Methoden zur Untersuchung des Totalabbaus	316

A3	Gesetzliche Regelungen, Selbstverpflichtungen und freiwillige Vereinbarungen	319
A4	Rahmenrezepturen	323
A5	Abkürzungsverzeichnis	327
	Stichwortverzeichnis	330

Vorwort

Waschmittel begegnen uns täglich im Haushalt, in der Werbung und im Supermarkt. Sie werden von uns allen mit großer Selbstverständlichkeit genutzt, doch wissen wir eigentlich, wie moderne Waschmittel zusammengesetzt sind und wie die Inhaltsstoffe wirken? Was ist z. B. das Besondere an Colorwaschmitteln? Wie kann ich nachhaltig umweltverträglich waschen? Seit wann gibt es eigentlich moderne Waschmittel?

Diese und viele andere Fragen wird Ihnen das vorliegende Buch „Waschmittel – Chemie, Umwelt, Nachhaltigkeit“ beantworten. Das Werk bietet eine naturwissenschaftlich fundierte Einführung in das umfangreiche Gebiet der Waschmittelchemie, stellt die wichtigen Neuentwicklungen der letzten Jahre vor und beschreibt die Auswirkungen des Waschens auf die Umwelt. Seinen besonderen Reiz erhält der Themenkreis Waschmittel durch die enge Verknüpfung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse mit technologischen, ökologischen, wirtschaftlichen und kulturhistorischen Aspekten. Die Entwicklung der modernen Waschmittel wird dabei am Beispiel der Rezeptur eines Markenwaschmittels von 1907 bis heute genauer nachvollzogen.

Jedes Jahr sind Innovationen und Veränderungen im Bereich der Waschmittelchemie und insbesondere auch beim Waschen insgesamt zu verzeichnen. Nachdem die dritte Auflage aus dem Jahr 2005 schon wenige Jahre nach Erscheinen vergriffen war, haben wir – Autor und Verlag – uns entschlossen, für die vierte Auflage alle Kapitel zu überarbeiten und zu aktualisieren, um den vielen Innovationen der letzten Jahre Rechnung zu tragen. Die Strukturierung des Buches hat sich bewährt und ist deshalb beibehalten worden, zu einigen Themen sind neue Unterkapitel hinzugekommen. Insgesamt sind alle wesentlichen Neuentwicklungen der letzten Jahre in der Neuauflage berücksichtigt worden. Dazu zählen u. a. die Niedrigtemperaturwaschmittel, lösliche Enthärterssysteme bei Pulverwaschmitteln, hochkonzentrierte Flüssigwaschmittel oder die Aktivitäten zum „nachhaltigen Waschen“.

Die einzelnen Kapitel des Buches sind weitgehend eigenständig konzipiert, so dass sie auch sehr gut auszugsweise genutzt und gelesen werden können. In jedem Kapitel finden sich Querverweise zu anderen Kapiteln, so dass Zusammenhänge deutlich werden. Dies macht das Buch zu einem Nachschlagewerk, Lehrbuch und Studienbuch in einem. Alle zentralen Themen werden mit der

nötigen fachlichen Tiefe abgehandelt, jedoch soll eine Beschränkung auf das Wesentliche helfen, den Überblick zu bewahren. Im Text häufig benutzte Abkürzungen sind in einem Abkürzungsverzeichnis am Ende des Buches zusammengefasst.

Das Buch wendet sich an alle Leserinnen und Leser, die sich mit dem Thema Waschmittel näher beschäftigen wollen. Die Konzeption des Buches ist so angelegt, dass ein breiter Leser- und Benutzerkreis angesprochen werden kann: Alle, die beruflich mit dem Thema Waschmittel und Waschen zu tun haben; Lehrerinnen und Lehrer der naturwissenschaftlichen Fächer; interessierte Schülerinnen und Schüler; Studierende der Naturwissenschaften an Universitäten und Fachhochschulen; Arbeitskreise, Initiativen und Verbände, die sich mit dem Thema Waschmittel näher auseinandersetzen wollen; Fachkräfte im Bereich der Beratungstätigkeit für Verbraucher- und Umweltfragen und interessierte Auszubildende und Berufstätige im Bereich der Chemie, der Textilberufe und der Hauswirtschaft.

Viel Freude beim Lesen wünscht Ihnen

Günter Wagner

Kassel, im Dezember 2009

1

Partner beim Waschprozess

1.1

Einführung

Das Ziel des Waschens ist die Wäschepflege. Dazu gehören nicht nur die Schmutzentfernung, sondern auch ein einwandfreier hygienischer Zustand der Wäsche und die Erhaltung des Gebrauchswertes. Die Ansprüche an das Waschergebnis sind sehr hoch und nur erfüllbar durch das optimale Zusammenwirken der am Waschprozess beteiligten Partner

- Wäscheschmutz,
- Wasser,
- Textilien,
- Waschgeräte,
- Waschmittel.

Waschmittel können also nicht isoliert gesehen werden, sondern sind im Waschprozess eng mit den anderen genannten Faktoren verbunden. Kapitel 1 wird alle Partner im Waschprozess kurz vorstellen, bevor näher auf die Waschmittelchemie eingegangen wird.

Die Abhängigkeiten der Waschfaktoren untereinander lassen sich sehr anschaulich am sogenannten *Waschkreis* nach *Sinner* zeigen (Abb. 1.1). In dieser Abbildung wird beispielhaft das Waschen in der Trommelwaschmaschine aus den 1960er Jahren (90 °C-Waschgang) einem heute gebräuchlichen Verfahren (40 °C-Waschgang) gegenübergestellt. Man sieht, dass sich die Bedeutung der Waschfaktoren deutlich verlagert hat.

Vor ca. 50 Jahren (in den sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts) war der Kochwaschgang zumindest bei stärker verschmutzter Wäsche üblich. Der überwiegende Anteil der Textilien war aus Baumwolle und weiß. Die Waschmaschinen waren auf starke mechanische Reinigungswirkung ausgelegt. Der Wasserverbrauch war hoch.

Heute ist eine zentrale Forderung ein möglichst geringer Energieeinsatz und Wasserverbrauch beim Waschen. Zusätzlich steht der Wunsch nach wenig Zeitaufwand im Vordergrund. Dabei erwarten die Verbraucher eine unverändert hohe Waschqualität sowie Schonung und Werterhalt auch von farbigen und emp-

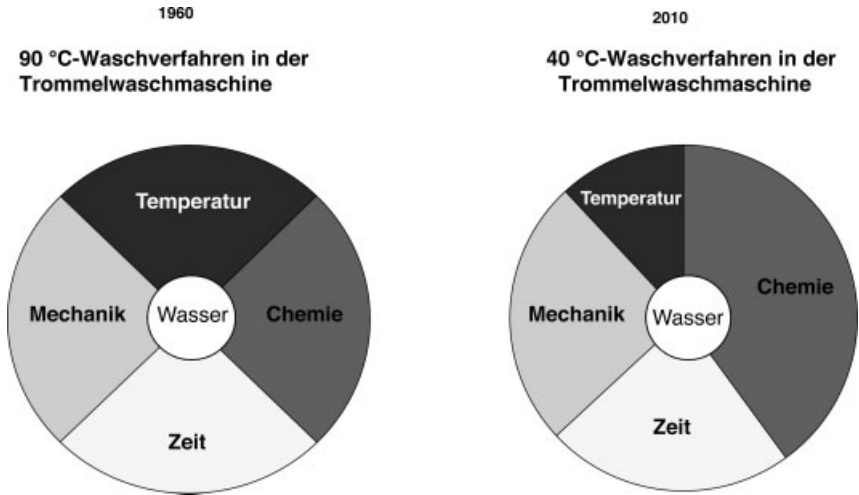


Abb. 1.1 Vergleich der Einflussfaktoren beim Waschen unter verschiedenen Waschbedingungen (Waschkreis nach Sinner).

findlichen Textilien. Als Folge davon ist die Waschtemperatur deutlich gesunken, die Waschgänge sind kürzer und die Mechanik der Waschmaschinen ist schonender geworden. Der Anteil der Chemie am Waschprozess muss notwendigerweise höher sein als früher. Leistungsfähige Waschmittel sind heute der wichtigste Faktor für den Wascherfolg.

1.2

Der Wäscheschmutz

Unter Schmutz versteht man gemeinhin alles, was nicht auf Textilien gehört und von Auge, Nase und Haut als unangenehm empfunden wird bzw. aus hygienischen Gründen entfernt werden muss. Hinsichtlich seiner chemischen Zusammensetzung ist der Schmutz nahezu unbegrenzt variabel. Trotzdem lässt sich eine Einteilung in sechs große Gruppen von Schmutzarten vornehmen, die grundsätzlich unterschiedliche Eigenschaften aufweisen (Abb. 1.2).

Der durchschnittliche Schmutzanteil bei normal verschmutzter Wäsche beträgt 1,3 % des Wäschegewichtes. Bei einer Waschladung von 5 kg entspricht dies etwa 65 g Schmutz. Nur ein geringer Teil des Schmutzes (20–25 %) ist wasserlöslich. Der weitaus größte Teil lässt sich erst durch Tenside und mit Hilfe von Mechanik vom Waschgut entfernen. Ein Teil des Wäscheschmutzes (dazu gehören u. a. Farbstoffe und proteinhaltiger Schmutz) lässt sich erst nach chemischer Veränderung beseitigen.

Über 60 % der Wäschestücke kommen beim Tragen mit dem Körper in Berührung (Abb. 1.3) [1].

Schmutzarten	Beispiele	Herkunft (Beispiele)
Wasserlösliche Stoffe	Kochsalz, Harnstoff	Schweißrückstände, Speisereste, Urin
Fette	Triglyceride, Wachse, Kohlenwasserstoffe	Hautfett, Mineralöle, Speisen, Kosmetika
Proteine	Gelatine, Hühnereiweiß	Hautschuppen, Blut, Ei, Kakao, Milch und Milchprodukte, Süßspeisen, Süßwaren (z. B. Gummibärchen)
Kohlenhydrate	Stärke, Cellulose, Pektine, Galactomannane u. a.	Mehl, Faserreste, Soßen, Kartoffelbrei, Verdickungsmittel (z. B. Johannisbrotkernmehl E 410, Guarkernmehl E 412, u. a.)
Farbstoffe	β -Carotin, Curcumin (vergl. Kap. 5.4)	Fruchtsäfte, Rotwein, Obst, Gemüse, Gras, Tee, Kaffee
Pigmente	-	Straßenstaub, Ruß, Asche, Erde

Abb. 1.2 Wichtige Bestandteile von Wäscheschmutz.

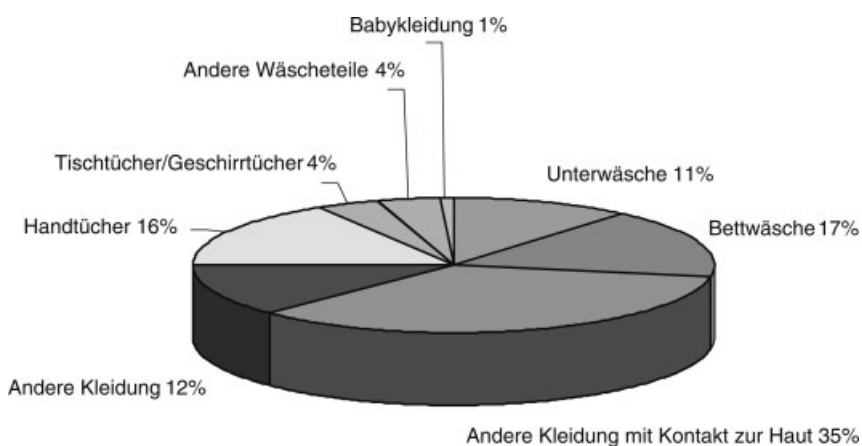


Abb. 1.3 Textilien in einer durchschnittlichen Waschladung.

Daher ist es nicht verwunderlich, dass der mengenmäßig größte Anteil des Wäscheschmutzes durch den direkten Kontakt zwischen Wäsche und dem menschlichen Körper verursacht wird (Abb. 1.4).

Für die Schmutzhaftung auf der Faser sind folgende Effekte von Bedeutung:

Mechanische Haftung: Feinverteilter Schmutz lagert sich in Faserhohlräume oder zwischen den Fäden ein und wird dort praktisch „eingeklemmt“.

Intermolekulare Wechselwirkungen: Dipolkräfte, Wasserstoffbrückenbindungen und Van-der-Waals-Kräfte begünstigen eine Schmutzhaftung auf Faseroberflä-

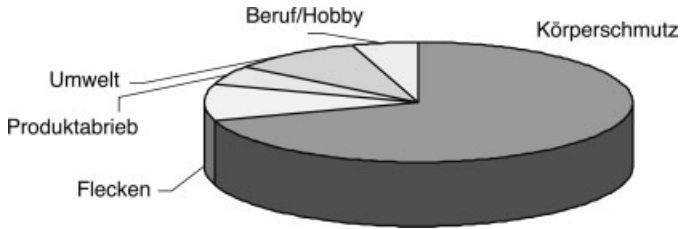


Abb. 1.4 Durchschnittliche Zusammensetzung von Wäscheschmutz.

chen. Je kleiner ein Schmutzteilchen ist, desto stärker werden die intermolekularen Wechselwirkungen.

Coulomb-Kräfte: Elektrostatische Aufladungen und Ionenbildung haben Einfluss auf die Haftung des Schmutzes.

Zusätzlich zur chemischen Zusammensetzung spielen Zustand und Teilchengröße des Schmutzes eine wesentliche Rolle. Typisch sind Alterungserscheinungen des Schmutzes. So lassen sich z. B. frische Blutflecken mit kaltem Wasser sehr leicht entfernen. Im angetrockneten Zustand ist eine Beseitigung ohne Hilfe von Enzymen kaum noch möglich. Bei Fetten treten ebenfalls Alterungsprozesse auf. Hier spielen Oxidationsprozesse mit Luftsauerstoff die entscheidende Rolle.

Grundsätzlich gilt: Kleine Teilchengrößen bedingen große Oberflächen des Schmutzes. Dadurch können Adsorptionerscheinungen und intermolekulare Wechselwirkungen zwischen Schmutz und Faser stärker wirksam werden. Schmutz mit Teilchengrößen kleiner als 0,2 Mikrometer lässt sich deshalb nur sehr schwer von der Wäsche entfernen.

Darüber hinaus spielen Struktur und Polarität der Textilfaser eine wesentliche Rolle für die Schmutzhaftung bzw. Schmutzentfernung. Naturfasern haben eine wesentlich größere spezifische Oberfläche als Chemiefasern (Baumwolle 20 bis 200 m²/g; Polyester 0,2 bis 2 m²/g [2]) und sind wesentlich polarer aufgebaut. Die Schmutzhaftung auf der Faser ist daher insgesamt ein komplexes Geschehen, das von vielen Faktoren beeinflusst wird.

1.3

Wasser und Wasserhärte

Wasser spielt beim Waschprozess eine wichtige Rolle. Es muss gleich mehrere Aufgaben erfüllen:

- Lösen der wasserlöslichen Schmutzteile;
- Transport des Waschmittels zum Waschgut;
- Übertragung der mechanischen Bewegung und der Temperatur auf das Waschgut;
- Aufnahme des von der Faser abgelösten Schmutzes in Form einer Emulsion oder Suspension.

Die Menge des pro Bundesbürger in Deutschland verbrauchten Wassers ist enorm. Durchschnittlich 122 Liter wurden in der Bundesrepublik pro Tag und Einwohner im Jahr 2007 verbraucht, davon rund 15 Liter täglich zum Wäschewaschen. Im zeitlichen Vergleich hat der personenbezogene Wasserverbrauch seit 1990 um 25 Liter (17 %) pro Person und Tag abgenommen [3].

Zu den für den Waschprozess störenden Inhaltsstoffen des Wassers gehören in erster Linie die Elemente Calcium und Magnesium in Form ihrer Ionen. Diese Erdalkalien bestimmen die Qualität des Wassers beim Waschen. Calcium- und Magnesium-Ionen bilden mit Seife schwerlösliche Salze, die Kalk- und Magnesiumseife. Auch mit einigen anderen anionischen Tensiden können schwerlösliche Verbindungen entstehen. Weiterhin können sich schwerlösliche Erdalkalicarbonate auf der Wäsche und den Heizstäben der Waschmaschinen ablagern. Beim Waschen sind Erdalkali-Ionen daher grundsätzlich unerwünscht.

Eine vergleichbar störende Wirkung beim Waschen zeigen auch Eisen- und Mangan-Ionen, die ebenfalls in geringer Konzentration im Trink- und Oberflächenwasser vorkommen. Auch sie bilden in wässriger Lösung schwerlösliche Salze, die durch ihre gelbe bis braune Färbung identifiziert werden können und die zu Wäschevergilbungen führen. Zusätzlich stören diese Schwermetall-Ionen den Bleichvorgang (vgl. Kap. 5.4).

Die Summe der Erdalkalien wird in Form der *Wasserhärte* (Gesamthärte) erfasst. Man bezeichnet Wasser mit hohem Gehalt an Calcium- und Magnesium-Ionen als hart, solches mit geringem Gehalt als weich. Entstanden ist der Begriff „Härte“ des Wassers, weil calcium- und magnesiumreiches Wasser in früheren Zeiten beim Waschen mit Seife zu bretharter Wäsche führte. Die zahlenmäßige Festlegung geschieht in Form von Härtegraden (Abb. 1.5). Die gesetzlich vorgeschriebene Maßeinheit lautet Millimol Erdalkali-Ionen pro Liter Wasser (mmol/L). In Deutschland ist aber auch immer noch die traditionelle Einheit Grad deutscher Härte (°d) gebräuchlich.

Die internationale Standardisierung der Maßeinheit hat sich noch nicht überall durchgesetzt, so dass es von Land zu Land noch weitere unterschiedliche Maßeinheiten gibt. Gemäß der Neufassung des Wasch- und Reinigungsmittelgesetzes v. 29.04.2007 (WRMG) bezeichnet man Wasser mit mehr als 2,5 mmol Erdalkali-Ionen pro Liter (> 14 °d) als hart (Abb. 1.6).

Entscheidend für die Konzentration der Erdalkalien ist die Herkunft des Wassers. Die Carbonate von Calcium und Magnesium sind sehr schwerlöslich und

1 mmol/L ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$)	=	5,60 °d (Grad Deutsche Härte)	40,06 mg/L (Ca^{2+})	24,3 mg/L (Mg^{2+})	100 mg/L (CaCO_3)
1 °d (Grad Deutsche Härte)	=	0,178 mmol/L ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$)	7,15 mg/L (Ca^{2+})	4,33 mg/L (Mg^{2+})	17,8 mg/L (CaCO_3)

Abb. 1.5 Umrechnungstabelle zur Ermittlung der Wasserhärte.

Härtebereich	Beschreibung	
Weich	Weniger 1,5 Millimol Calcium- und Magnesiumcarbonat je Liter	0 bis 8,4 Grad deutscher Härte (°d)
Mittel	1,5 bis 2,5 Millimol Calcium- und Magnesiumcarbonat je Liter	8,4 bis 14 Grad deutscher Härte (°d)
Hart	Mehr als 2, 5 Millimol Calcium- und Magnesiumcarbonat je Liter	mehr als 14 Grad deutscher Härte (°d)

Abb. 1.6 Wasserhärtebereiche in Deutschland gemäß Wasch- und Reinigungsmittelgesetz.



Abb. 1.7 Carbonatgleichgewicht.



Abb. 1.8 Wasserhärteverteilung in Deutschland nach Regionen.

würden für sich allein nicht zu einer nennenswerten Belastung des Wassers mit diesen Ionen führen. In Verbindung mit Kohlenstoffdioxid aus der Luft oder aus Oberflächengewässern kann sich jedoch in wässriger Lösung leichtlösliches Calciumhydrogencarbonat bilden (Abb. 1.7).

Als Folge dieses Carbonatgleichgewichtes kann es unter bestimmten Bedingungen zu sehr hohen Erdalkalikonzentrationen im Wasser kommen. Im Extremfall können Konzentrationen von mehr als 100 Grad deutscher Härte (entspricht mehr als 18 mmol/L Ca^{2+} - und Mg^{2+} -Ionen) entstehen. Beim Erwärmen, z. B. beim Waschen und Kochen im Haushalt, kann Calciumcarbonat wieder zurückgebildet werden und sich in Form von Kesselstein ablagern oder als Inkrustation auf der Wäsche niederschlagen. Für Magnesium-Ionen gelten ähnliche Überlegungen, allerdings kann in alkalischer Lösung zusätzlich schwerlösliches Magnesiumhydroxid ausfallen. Regenwasser besitzt eine Wasserhärte unter 0,2 mmol/L (1 °d).

Deutschland gehört zu den Gebieten mit relativ hoher durchschnittlicher Wasserhärte. Innerhalb von Deutschland wiederum ist die Wasserhärte je nach geologischen Gegebenheiten unterschiedlich. Eng benachbarte Gebiete können sehr differierende Wasserhärten besitzen (Abb. 1.8).

Beispielsweise kommen im Stadtgebiet Frankfurt a. M. abhängig von der genauen Wohnlage im Trinkwasser alle Wasserhärtebereiche von weich bis hart vor. Durch die Wiedervereinigung ist seit 1990 eine Verschiebung hin zu härterem Wasser erfolgt. Überwiegend hartes Wasser findet man in Großbritannien, ausgesprochen niedrige Wasserhärten z. B. in Japan oder den USA (Abb. 1.9).

Für die richtige Dosierung des Waschmittels ist die Kenntnis der Wasserhärte notwendig. Sie kann in Deutschland bei den örtlichen Wasserwerken jederzeit erfragt werden. Einmal jährlich wird sie allen Haushalten (meist als Bestandteil der Wasserjahresabrechnung) bekannt gegeben.

Wasserhärtebereich	bis 0,9 mmol · L ⁻¹	0,9 – 2,7 mmol · L ⁻¹	> 2,7 mmol · L ⁻¹
Frankreich	5	50	45
Großbritannien	1	37	62
Spanien	33,2	24,1	42,7
Schweiz	2,8	79,7	17,5
Japan	92	8	0
USA	60	35	5

Abb. 1.9 Verteilung der Wasserhärte in ausgewählten Ländern in Prozent der jeweils im angegebenen Härtebereich befindlichen Haushalte.

1.4

Textilien

Die Textilfasern stellen in ihrer chemischen Struktur und ihren Eigenschaften ein sehr weites Spektrum dar [4, 5]. Sie lassen sich je nach ihrer Gewinnung bzw. Herstellung in zwei große Klassen teilen, die Naturfasern und die Chemiefasern (Abb. 1.10).

Die Unterschiede im chemischen Aufbau und der Struktur der Faser (Abb. 1.11) bestimmen gemeinsam mit der Textilkonstruktion die physiologischen Eigenschaften der Kleidung und haben auch einen großen Einfluss auf die Waschbarkeit der Textilien. Die Kenntnis der Art der Textilfasern ist notwendig für die Wahl von Waschtemperatur und Waschmittel.

Textile Faserstoffe					
Naturfasern			Chemiefasern		
Pflanzlicher Herkunft		Tierischer Herkunft		Fasern auf Basis natürlicher Polymere	Synthetische Fasern
Baumwolle	CO	<i>Wollen und Haare</i>		<i>Cellulosebasis</i>	Polyacryl PAN
Kapok	KP	Wolle	WO	Acetat CA	Polyamid PA
Flachs (Leinen)	LI	Schurwolle	WV	Cupro CUP	Polyester PES
Hanf	HA	Alpaka	WP	Lyocell CLY	Polyethylen PE
Jute	JU	Angora	WA	Modal CMD	Polypropylen PP
Ramie	RA	Kamel	WK	Triacetat CTA	Polyurethan PUR
Kokos	CC	Kaschmir	WS	Viskose CV	Polyvinylchlorid CLF
Sisal	SI	Lama	WL		Elastan EL
		Mohair	WM	<i>Gummifasern</i>	
		Vikunja	WG	Gummi LA	
		<i>Seiden</i>			
		Maulbeerseide	SE		
		Tussahseide	ST		

Abb. 1.10 Einteilung der Textilfasern (mit der zugehörigen standardisierten Kurzbezeichnung).

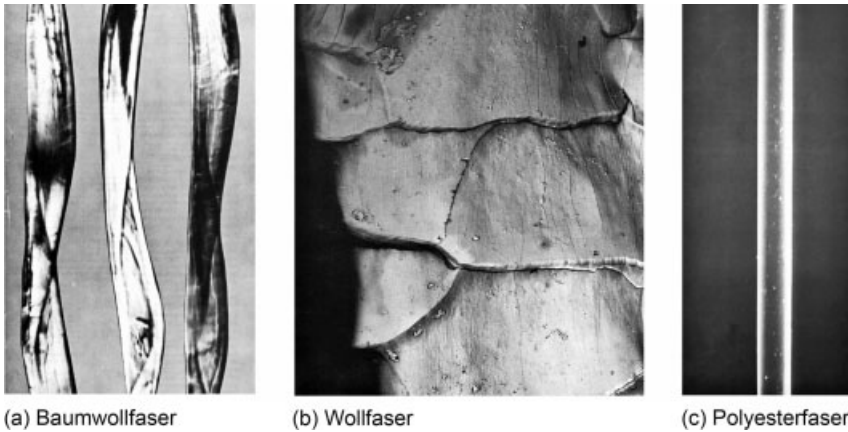


Abb. 1.11 Stark vergrößerte Textilfasern (Vergrößerung: (a) 675:1; (b) 6800:1; (c) 2200:1).

Naturfasern

Naturfasern besitzen eine weitaus größere und rauere Oberfläche als Synthefasern. Sowohl Baumwolle als auch Wolle können relativ viel Wasser einlagern. Nach bekleidungsphysiologischen Gesichtspunkten sind Naturfasern, bedingt durch ihren komplexen Faseraufbau mit stark hydrophiler Beschaffenheit, auch heute noch unübertroffen.

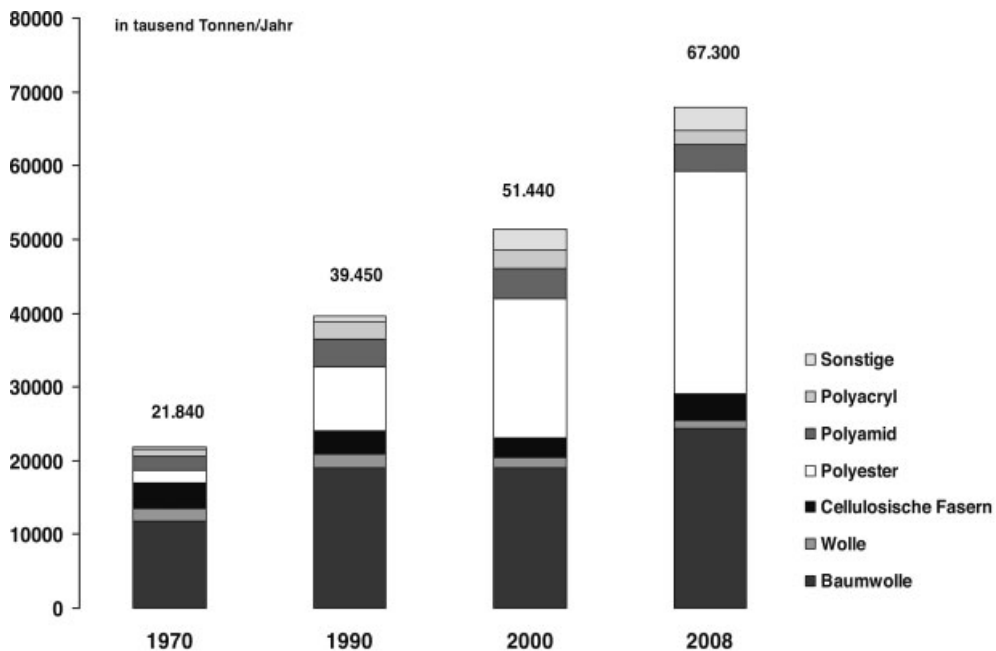
Die *Baumwolle* stellt die weitaus wichtigste Naturfaser dar. 2008 wurden weltweit 24,3 Millionen Tonnen dieser Faser produziert (Abb. 1.12).

Baumwolle ist preiswert, sehr hautfreundlich, lässt sich leicht verarbeiten und färben.

Baumwolle besteht aus nahezu reiner Cellulose, einem Polysaccharid, welches aus 8.000 bis 14.000 Glucoseeinheiten aufgebaut ist. Die Glucose liegt als β -D-Glucose vor, und die Moleküle sind stets über die 1,4-Stellung miteinander verknüpft. Daraus resultiert ein langgestrecktes fadenförmiges Makromolekül (Abb. 1.13).

Etwa 30 Celluloseketten lagern sich, über Wasserstoffbrückenbindungen zusammengehalten, zu kleinen Einheiten, den Elementarfibrillen zusammen. Mehrere Elementarfibrillen bilden miteinander verdrehte größere Verbände, die Mikrofibrillen, die sich wiederum zu Makrofibrillen zusammenlagern. Mehrere Makrofibrillen bilden einen Fibrillenstrang. Eine Baumwollfaser ist aus vielen Fibrillensträngen aufgebaut, die sich schichtweise anordnen. Im Faserinnern verbleibt ein kleiner Hohlraum, den man Lumen nennt. Die äußere Wand der Baumwollfaser (Cuticula) besteht aus besonders widerstandsfähigen Kohlenhydraten (Hemicellulose und Pektine) und einer Wachsschicht. Die äußere Form der Baumwollfaser ist flach und verdreht (Abb. 1.14).

Die Fibrillenstränge werden leicht von Wasser durchdrungen, so dass Baumwolle bis zu 65 % ihres Gewichtes an Wasser aufnehmen kann, ohne zu tropfen.



Quelle: Industrievereinigung Chemiefaser e. V. (IVC)

Abb. 1.12 Welttextilfaserproduktion 1970 bis 2008.

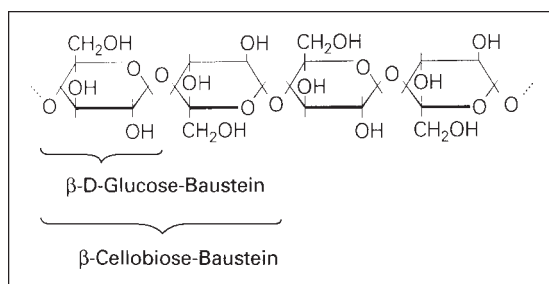


Abb. 1.13 Ausschnitt aus einem Cellulosemolekül.

Die *Wolle* ist in ihren Gebrauchseigenschaften unübertroffen. Durch ihre gekräuselte Struktur schließt sie große Mengen Luft ein und hat dadurch sehr gute wärmeisolierende Eigenschaften. Weiterhin kann Wolle größere Mengen an Wasser speichern. Die Schmutzaufnahmebereitschaft ist gering. Diesen Gebrauchseigenschaften stehen aufwendige Pflegeeigenschaften gegenüber, denn Wolle kann verfilzen. Nicht zuletzt deshalb haben Textilien aus Wolle heute nur noch einen geringen Anteil am Textilmarkt.

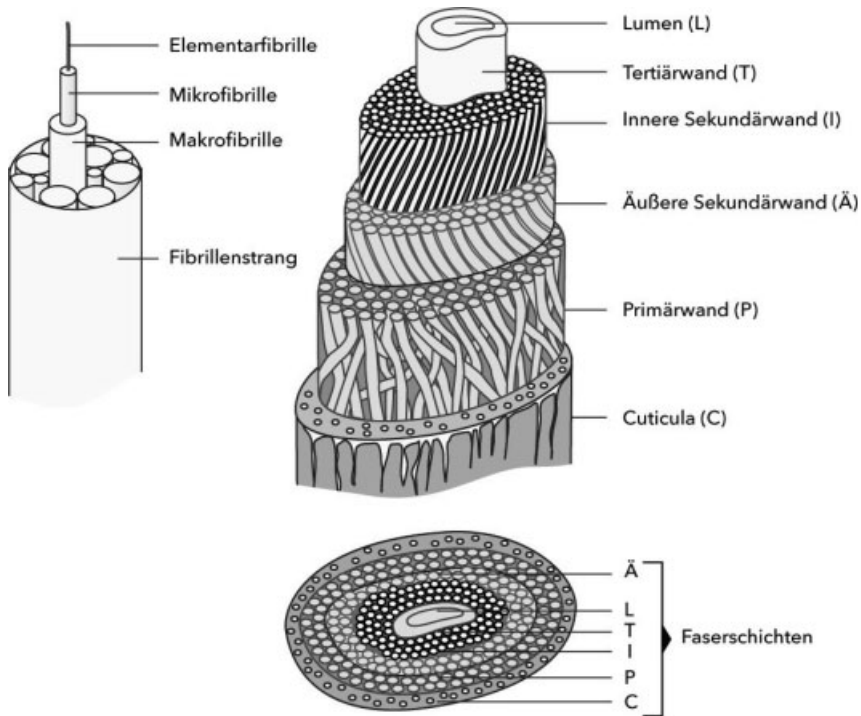


Abb. 1.14 Aufbau einer Baumwollfaser.

Die raue äußere Schuppenschicht der Wollfasern neigt zum Verhaken und Verzahnen untereinander, dadurch werden die Wollfasern verdichtet und räumlich fixiert. Das findet insbesondere im feuchten, aufgequollenen Zustand unter mechanischer Beanspruchung statt. Die Wolle verliert dabei einen Großteil ihrer positiven Gebrauchseigenschaften. Das Verfilzen wird durch stark alkalische Waschlauge, erhöhte Temperatur und mechanische Einflüsse (Stauen und Drücken) begünstigt.

Die Ursachen für die besonderen Eigenschaften der Wolle liegen in ihrer chemischen Struktur begründet. Wolle besteht aus Eiweißmolekülen, den Keratinen. Grundbausteine sind 18 Aminosäuren, die über Peptidbindungen miteinander verknüpft sind. Die Keratine liegen als spiralförmige Moleküle (α -Helix) vor. Vier Helices sind miteinander zu einer Superhelix verdreht, die ähnlich wie Cellulosemoleküle zu kleinen Einheiten, den Mikrofibrillen, assoziieren. Diese lagern sich in regelmäßigen, komplexen Strukturen zu einer Wollfaser zusammen (Abb. 1.15).

Die Helixstruktur ist die Ursache der großen Faserelastizität. Bei Belastung können die gedrehten Proteinketten in einen gestreckten Zustand übergehen. Tritt Entlastung ein, bildet sich die ursprüngliche Helixstruktur zurück. In den Hohlräumen der Helixstruktur ist ausreichend Platz für die kleinen Wassermole-

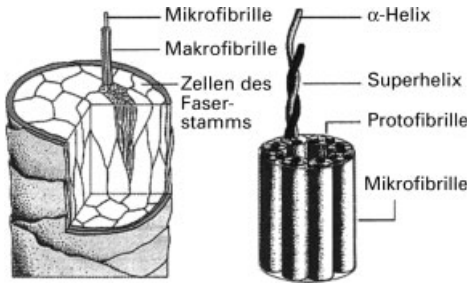


Abb. 1.15 Aufbau einer Wollfaser.

küle, dadurch kann Wolle bis zu 30 % ihres Eigengewichtes an Wasser speichern, ohne sich feucht anzufühlen. Wolle ist bei allen Tierarten, unter anderem Schaf, Ziege, Kamel, Lama, chemisch ähnlich aufgebaut.

Auch *Seide*, das Spinnsekret des Seidenspinners (*Bombyx mori*), besteht aus Proteinen. Diese liegen aber nicht wie Keratine als Helixstruktur, sondern in einem fast gestreckten Zustand, der Faltblattstruktur, vor. Seide kann dadurch keine größeren Mengen an Wasser speichern, ist dafür aber extrem reißfest. Seide zeigt einen charakteristischen Glanz.

Chemiefasern

Chemiefasern auf Cellulosebasis (cellulosische Fasern) gehören zu den ältesten synthetischen Fasern, nehmen wegen der Rohstoffbasis Cellulose genau genommen eine Zwischenstellung zwischen Natur- und Chemiefasern ein.

Viskose ist die weitaus wichtigste cellulosische Faser. Zur ihrer Herstellung wird Cellulose aufgelöst und durch Spinnndüsen bei gleichzeitiger Ausfällung in die neue gewünschte Form gebracht. Das wichtigste Lösungsmittel ist Schwefelkohlenstoff in Verbindung mit Natronlauge. Viskosefasern haben eine glatte glänzende Oberfläche. Rein optisch zeigt Viskose durch ihren Glanz eine große Ähnlichkeit mit Seide und wird daher auch Kunstseide genannt.

Weitere auf Cellulose basierende Fasern – Cupro, Modal, Acetat und Triacetat – haben nur einen geringen Anteil an den Textilfasern.

Die *Lyocell-Faser* ist eine neuartige cellulosische Faser, die durch Regenerieren der Cellulose in Faserform aus einer Lösung von Cellulose in einem organischen Lösungsmittel gewonnen wird. Dadurch lässt sich diese viskoseähnliche Faser auf besonders umweltschonende Weise herstellen, denn das eingesetzte Lösungsmittel (N-Methylmorpholin-N-oxid) lässt sich nahezu vollständig zurückgewinnen. Zusätzlich lassen sich über dieses Produktionsverfahren Fasereigenschaften, z. B. die Nassfestigkeit, verbessern.

Zwischen 1950 und 1960 wurden die klassischen Chemiefasern *Polyamid* und *Polyester* eingeführt. Es begann ein neuer Zeitabschnitt für Textilien, denn die pflegeleichten Chemiefasern waren bügelfrei, ließen sich leicht säubern, schnell trocknen und erleichterten dadurch die Hausarbeit erheblich. Leider waren die

bekleidungsphysiologischen Eigenschaften von synthetischen Fasern der ersten Generation unbefriedigend, denn sie hatten eine relativ glatte Oberfläche, konnten keine größeren Mengen Wasser binden und luden sich häufig elektrostatisch auf.

In der Folgezeit war die Industrie bestrebt, die bekleidungsphysiologischen Eigenschaften der Chemiefasern zu verbessern. Dies gelang durch Texturieren, d. h. Kräuseln der thermoplastischen Fasern und durch Mischungen mit Naturfasern, z. B. Baumwolle/Polyester. Bei den Fasermischungen übernimmt die Naturfaser den Feuchtigkeitsaustausch, die Chemiefaser sorgt für eine pflegeleichte Stoffkonstruktion. Solche pflegeleichten Stoffe aus Natur- und Chemiefasern machen heute den größten Anteil des Bekleidungsmarktes aus. Polyesterfasern sind weltweit die mengenmäßig wichtigsten Chemiefasern [6], mit Handelsnamen z. B. Trevira[®], Diolen[®] oder Dacron[®] bezeichnet (Abb. 1.16).

Vollkommen neue Eigenschaften bieten elastische Fasern aus Polyurethan, die Elastanfasern (Lycra[®], Dorlastan[®]). Sie sind aus der Bade- und Sportmode heute nicht mehr wegzudenken. Interessante Neuentwicklungen sind auch im Bereich der funktionellen Oberbekleidung, z. B. wetterfeste Kleidung oder Berufs- und Sportkleidung, entstanden. Textilkonstruktionen mit *mikroporösen Membranen* aus Teflon[®] (Gore-Tex[®]) oder hydrophilen Membranen aus Polyester (Sympatex[®]) sind undurchlässig für Regen und Wind, sind aber durchlässig für Wasserdampf, so dass die Körperfeuchte sich nicht staut. Diese modernen Textilkonstruktionen verbinden gute bekleidungsphysiologische Eigenschaften mit hohem Tragekomfort. Einen ähnlichen Charakter zeigen Textilien aus *Mikrofasern*. Die Mikrofaser ist eine äußerst feine Chemiefaser (hundertmal feiner als Menschenhaar), die sich problemlos mit anderen Natur- oder Chemiefasern kombinieren lässt. An Bedeutung gewonnen haben auch Polypropylenfasern, die für funktionelle Sportunterwäsche und Outdoorbekleidung Verwendung finden. Um die Gebrauchseigenschaften dieser modernen Textilien zu erhalten, ist eine genaue Beachtung der Pflegeanweisungen notwendig.

Monomere	Polykondensationsprodukt	Handelsnamen
$\text{HOOC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COOH}$ Terephthalsäure $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$ 1,2-Ethandiol	$\cdots - \text{O} - \text{C}(=\text{O}) - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{C}(=\text{O}) - \text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \cdots$ linearer Polyester	Trevira [®] Diolen [®] Dacron [®]
$\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$ Hexandisäure (Adipinsäure) $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$ 1,6-Diaminohexan (Hexamethylendiamin)	$\cdots - \text{C}(=\text{O}) - (\text{CH}_2)_4 - \text{C}(=\text{O}) - \text{NH} - (\text{CH}_2)_6 - \text{NH} - \cdots$ Polyamid	Nylon [®]

Abb. 1.16 Die chemische Struktur von Polyester und Polyamid.

Zukunftsperspektiven

Ganz neue Perspektiven bieten sich durch sogenannte „intelligente“ und „funktionale“ Textilien. Viele *Innovationen* sind hier in der Entwicklung: Textilien, die Strom leiten können, ihre Form und Elastizität äußeren Belastungen anpassen, unangenehme Gerüche aufnehmen, kontrolliert über längere Zeiträume Wohlgerüche abgeben, ihre Farbe ändern, gut dosiert pharmakologische Wirkstoffe abgeben, antibakterielle Eigenschaften aufweisen, schmutzabweisende oder selbstreinigende Oberflächen besitzen (Lotus-Effekt, katalytische Schmutzentfernung), heizbar sind oder Wärme speichern oder zusätzlich mikroelektronische Sensoren (z. B. für Puls, Blutdruck, Temperatur u. a.) und Steuerfunktionen besitzen. Darüber hinaus könnten zukünftig auch Wegwerftextilien, die heute schon im medizinischen Bereich eingesetzt werden, eine Rolle spielen oder Textilien aus Spraydosen, die mit Wasser wieder abgewaschen werden können [7].

Diese Innovationen werden in Zukunft den Bekleidungsmarkt ergänzen und erweitern und auch Einfluss auf die Waschgewohnheiten und Waschbarkeit von Textilien haben.

Kennzeichnung der Textilfasern

Das Textilkennzeichnungsgesetz (TKG) ist den Textilkennzeichnungsrichtlinien der Europäischen Gemeinschaft angepasst und regelt die Rohstoffangabe fast aller im Handel angebotenen Textilerzeugnisse. Ziel ist es, den Verbraucher darüber zu informieren, aus welchen textilen Rohstoffen z. B. ein Kleidungsstück besteht. Zusätzlich ist die Mengenangabe der jeweiligen Faser in Gewichtsprozent vorgeschrieben. Im Zuge der europäischen Vereinheitlichung wird heute zunehmend die Faserart nicht mehr ausgeschrieben, sondern nur noch als international genormte Kurzbezeichnung angegeben (s. Abb. 1.10).

Waschbarkeit von Textilien

Ein sicherer Leitfaden zur Waschbarkeit von Textilien ist die *Pflegekennzeichnung* (Abb. 1.17). Sie ist in Europa einheitlich und meist in die Kleidungsstücke eingenaht. Die Pflegekennzeichnung beruht auf einer freiwilligen Übereinkunft der Textilhersteller. Textilien ohne Pflegekennzeichnung sollten besser nicht gekauft werden. Vor dem Waschen, Trocknen oder Bügeln sollten in jedem Fall die Pflegehinweise auf dem Etikett des Kleidungsstücks beachtet werden. Bei starker Verschmutzung und sichtbaren Flecken empfiehlt sich vor dem Waschen eine Vorbehandlung der Flecken (vgl. auch Kap. 8.4).

Baumwolle lässt sich mit Vollwaschmittel bei 60 °C bis 95 °C waschen, soweit die Färbung nicht dagegen spricht. Die Waschtemperatur von 95 °C ist nur notwendig, wenn aus gesundheitlichen Gründen, z. B. bei infektiösen Krankheiten, eine besonders weitgehende Keimreduzierung erforderlich ist.

Die Pflege von *Wolle* und *Seide* erfordert besondere Sorgfalt. Textilien aus diesen Fasern sind gegenüber erhöhter Temperatur und alkalischen Waschlaugen sehr empfindlich. Ist Wolle nicht besonders vorbehandelt (Waschbar-Ausrüstung), darf sie nur von Hand und mit speziellen Wollwaschmitteln oder einem Haarsampoo gewaschen werden.

Waschen

Die Zahlen im Waschbottich entsprechen den maximal empfohlenen Waschttemperaturen in Grad Celsius.

 Normal- wasch- gang	 Schon- wasch- gang	 Normal- wasch- gang	 Schon- wasch- gang	 Normal- wasch- gang	 Schon- wasch- gang
 Spezial- schon- waschgang	 Normal- wasch- gang	 Schon- wasch- gang	 Spezial- schon- waschgang	 Hand- wäsche	 Nicht waschen

— Schonwaschgang == Spezielschonwaschgang

Bleichen

 Chlor- und Sauer- stoffbleiche zulässig	 Sauerstoffbleiche (z. B.: Vollwaschmittel) zulässig, keine Chlorbleiche	 Nicht bleichen (Color- & Fein- waschmittel erlaubt)
--	--	--

Bügeln

Die Punkte im Bügelsymbol kennzeichnen die Temperaturbereiche.

 Heiß bügeln: <i>Baumwolle, Leinen</i> (max. 200°C)	 Mäßig heiß bügeln: <i>Wolle, Seide, Polyester, Viskose (Modal)</i> (max. 150°C)	 Nicht heiß bügeln. Vorsicht beim Bügeln mit Dampf: <i>Polyacryl, Polyamid (Nylon), Acetat</i> (max. 110°C)	 Nicht bügeln
---	--	--	--

Gewerbliche Reinigung

Kleidungsstücke mit dem Kreissymbol dürfen nur in einer Putzerei/Reinigung gereinigt werden. Die Buchstaben im Kreis geben den Profis einen Hinweis auf die möglichen Reinigungsverfahren.

 Beispiel für professionelle Textilreinigung	 Nicht nass reinigen
--	---

Trocknen

Die Punkte kennzeichnen die Trocknungsstufen der Wäschetrockner.

 Trocknen mit normaler thermischer Beanspruchung	 Trocknen mit reduzierter thermischer Beanspruchung	 Nicht im Wäsche- trockner trocknen
---	--	--

Abb. 1.17 Symbole für die Pflegebehandlung von Textilien (Quelle: IKW).

Chemiefasern lassen sich aufgrund ihrer glatten Oberfläche meist leicht waschen. Allerdings ist nicht jede Form des Schmutzes gleichermaßen gut zu entfernen. Pigmentschmutz lässt sich leicht ablösen, fettige Anschmutzungen, in ihren lipophilen Eigenschaften der Faser ähnlich, können auch sehr schwer entfernbar sein. Synthetisch hergestellte Fasern sind temperaturempfindlich, sie werden meist bei 30 °C oder 40 °C, höchstens jedoch bei 60 °C gewaschen. Oberhalb dieser Temperaturen kann es zur Fasererweichung kommen. Irreversible Formveränderungen sind die Folge. Chemiefasern neigen leichter zum Vergrauen als Naturfasern, weil insbesondere bei höherer Temperatur fettähnlicher (lipophiler) Schmutz durch Diffusionsprozesse tief in die Faser hineinwandern kann, was zu einer dauerhaften Schmutzbindung führt. Synthetefasern haben ferner die unerwünschte Eigenschaft, sich bei mechanischer Bewegung stark elektrostatisch aufzuladen, dies führt zu einer erhöhten Schmutzablagerung. Textilien aus diesen Fasern müssen daher häufig gewaschen werden.

Neben dem oben beschriebenen unterschiedlichen Aufbau der Fasern spielen Färbe- und Veredlungstechniken für die Waschbarkeit der Textilien eine wichtige Rolle. Gefärbte Textilien dürfen in der Regel höchstens bei 60 °C gewaschen werden. Meist ist schon 40 °C die Obergrenze, oberhalb der es zum Ausfärben der Textilien kommen kann. Heute ist der überwiegende Teil der Wäsche gefärbt, der Anteil rein weißer Textilien an den Waschartikeln ist verhältnismäßig gering (s. auch Kap. 8.2).

Funktionelle Sport- und Oberbekleidung sollte mit Feinwaschmitteln oder flüssigen Colorwaschmitteln und im Schonwaschgang gewaschen werden. Für *Membrantextilien* sollten keine Weichspüler verwendet werden, da diese die Funktionsfähigkeit der Membran vermindern können.

1.5

Waschmaschinen

Historische Entwicklung

Über Jahrtausende hinweg wurde die Wäsche mit der Hand gewaschen, wobei je nach Zeitalter und Kulturkreis verschiedene mechanische Hilfsmittel zum Waschen genutzt wurden. Erst mit der Versorgung der Haushalte mit Wasser und Elektrizität konnten elektrische Waschmaschinen, wie wir sie heute als selbstverständlich ansehen, zum Einsatz kommen.

Ende des 18. Jahrhunderts begann in Deutschland die Versorgung der Haushalte mit Trinkwasser. In den Jahren von 1910 bis 1930 wurden viele Haushalte, zuerst in den großen Städten, an das Stromnetz angeschlossen. Parallel dazu kamen erste, noch recht einfach aufgebaute Bottich-Waschgeräte auf den Markt, teilweise schon mit einem elektrischen Antrieb. Ab ca. 1930 ermöglichte ein Bottich aus Metall das Beheizen des Waschwassers mit Gas oder Kohle (Abb. 1.18).

Die flächendeckende Elektrifizierung des Waschvorgangs und der Siegeszug der elektrischen Haushaltswaschmaschinen begannen in der Bundesrepublik



Abb. 1.18 Historische Waschmaschine von 1939.

und anderen europäischen Ländern in den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts [8]. Zu Beginn der fünfziger Jahre wurde die Wäsche häufig noch in der Waschküche im Waschkessel von Hand gewaschen. In der ersten Hälfte der fünfziger Jahre hielten Bottichwaschmaschinen Einzug in die Haushalte. Diese Maschinen waren noch recht einfach aufgebaut und standen im Allgemeinen in der Waschküche.

Ab Mitte der fünfziger Jahre eroberten die neu entwickelten Trommelwaschmaschinen zunehmend den Markt. Anfangs als teilautomatische Maschinen (eingebaute Heizung, Laugenpumpe und Wasserzulaufventile), kurze Zeit später auch als Waschvollautomaten, die waschen, spülen und schleudern konnten. Aufgrund der beim Schleudern entstehenden Unwuchtkräfte mussten die Waschmaschinen fest am Boden verankert werden. Zu Beginn der sechziger Jahre verloren die Bottichwaschmaschinen stark an Bedeutung und Trommelwaschmaschinen setzten sich in den Haushalten durch. 1961 kamen erste freistehende Vollautomaten auf den Markt, die nicht mehr am Boden verankert werden mussten. Dadurch wurde das Waschen zunehmend in die Wohnung verlagert.

1960 besaßen 29 % der deutschen Haushalte eine elektrische Waschmaschine, 1970 waren es bereits 74 % [9]. Heute gehört eine Waschmaschine in den hochindustrialisierten Ländern zur Grundausstattung eines Haushaltes (Abb. 1.19).

2008 sind in Deutschland ca. 97 % der Haushalte mit einer elektrischen Waschmaschine ausgestattet [10]; die restlichen Haushalte waschen ihre Wäsche entweder in Waschalons oder lassen Waschen. Weitere Fakten und Daten zum Waschverhalten in deutschen Haushalten finden sich im Kapitel 8.2.

Die weite Verbreitung der Geräte und die damit verbundene hohe Stückzahl bei der Herstellung hatten zur Folge, dass die Waschmaschinen, gemessen an der absoluten Kaufkraft, immer billiger wurden. Ein Waschvollautomat kostete 1962 etwa 2.300 DM (umgerechnet 1.200 €), ein moderner Waschautomat 2010 zwi-



Abb. 1.19 Waschmaschinen im Wandel der Zeit.

schen 300 € und 1.000 €, Spitzengeräte auch darüber. Berücksichtigt man den Kaufkraftverlust seit 1962 (ca. ein Faktor 3,75), so ist der Preis einer Waschmaschine in den letzten fünfzig Jahren auf etwa ein Zehntel des damaligen Preises gesunken, obwohl die Waschmaschinen sich qualitativ und quantitativ seit dem wesentlich verbessert haben.

Waschmaschinen im weltweiten Vergleich

Die Waschtechnik und der technische Aufbau der Waschmaschinen haben sich weltweit nicht einheitlich entwickelt. Neben der unterschiedlichen Wasserhärte in den verschiedenen Weltregionen sind die andersartigen Lebensgewohnheiten in den einzelnen Ländern Ausdruck dafür, dass sich Waschgewohnheiten und Waschbedingungen kulturell unterschiedlich entwickelt haben. Während in West-Europa seit Ende der 1950er Jahre überwiegend Trommelwaschmaschinen im Einsatz sind, haben sich in Nord-Amerika und Asien vor allem Bottichwaschmaschinen durchgesetzt (Abb. 1.20).

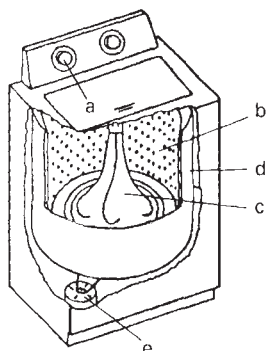
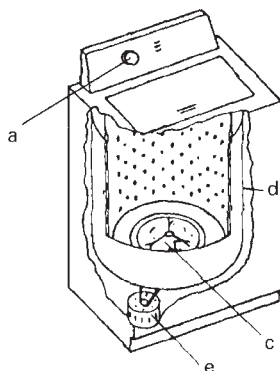
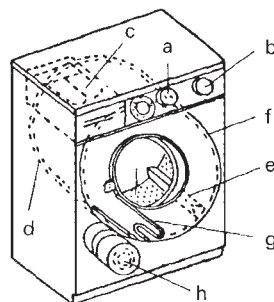


Abb. 1.19 Waschmaschinen im Wandel der Zeit. (Fortsetzung)

Bei der *Trommelwaschmaschine* taucht die Wäsche nur zu einem geringen Teil in die Waschlauge ein und wird von den Rippen der sich drehenden Trommel in regelmäßigen Abständen aus der Waschlauge herausgehoben. Sie fällt anschließend in das Wasser zurück. Die mechanische Bearbeitung der Wäsche durch Quetschen und Stauchen ist stark und führt damit zu einer effektiven und gleichmäßigen Reinigung. Die Drehachse der Trommel ist horizontal ausgerichtet; die Wäschebeladung erfolgt über eine Öffnung auf der Vorderseite der Trommel (*Frontlader*) oder über eine Tür im Mantel der Trommel (*Toplader*).

Agitator-Bottichwaschmaschinen sind mit einem rotierenden Wäschebeweger (sog. Agitator) mit vertikaler Drehachse ausgestattet, der die Wäsche in der Waschlauge rührt. Dazu muss die Wäsche vollständig in der Waschlauge schwimmen.

Pulsator-Wellenradwaschmaschinen sind ähnlich aufgebaut wie Agitator-Bottichwaschmaschinen. Sie besitzen eine gerippte Scheibe am Boden (sog. Pulsator) mit ebenfalls vertikaler Drehachse, die für die mechanische Bewegung der Wäsche sorgt.

I Bottichwaschmaschine
(USA)

II Wellenradwaschmaschine
(Japan)

III Trommelwaschmaschine
(Europa)


- I) a) Steuerung; b) Waschtrommel; c) Waschflügel; d) äußerer Laugenbehälter; e) Motor;
 II) a) Steuerung; b) Waschtrommel; c) Wellenrad; d) äußerer Laugenbehälter; e) Motor;
 III) a) Steuerung; b) Thermostat; c) Waschmitteleinspülvorrichtung; d) Waschtrommel; e) Mitnehmerrippen; f) äußerer Laugenbehälter; g) Heizstäbe; h) Motor;

Abb. 1.20 Vergleich von amerikanischen, japanischen und europäischen Waschmaschinen.

Sowohl die Verbrauchergewohnheiten als auch die Waschbedingungen sind in verschiedenen Ländern äußerst unterschiedlich (Abb. 1.21) [11].

Ausgehend von europäischen Verhältnissen wäscht der japanische Verbraucher seine Wäsche etwa dreimal so häufig und der US-amerikanische etwa 70 % häufiger. Auch sind Vor- und Nachbehandlungen (Fleckenentfernung, Hygiene) der Wäsche in diesen Ländern weitaus gebräuchlicher. Während in den Agitator-Waschmaschinen das Waschen mit extern vorerwärmtem Wasser (Cold – Warm – Hot) erfolgt, wird in Pulsator-Waschmaschinen meist kalt gewaschen. Da dadurch die Waschtemperatur meist niedriger ist, ist der Beitrag der Waschmaschine zur Erzielung eines notwendigen Reinigungseffektes an Textilien in diesen Regionen deutlich geringer als in Europa. Auch ist der Einsatz an (externer) Energie (Agitator) und Wasser (Agitator und Pulsator) deutlich höher als bei europäischen Maschinen.

	Nord-Amerika	Europa	Japan
Wäschten pro Haushalt und Jahr	290	170	520
Wasserhärte	im wesentlichen 'weich'	'weich' bis 'sehr hart'	'weich'
durchschn. Wasserverbrauch pro Waschgang	144 Liter	60 Liter	120 Liter
Wasserverbrauch jährlich	42 m ³	10 m ³	62 m ³
durchschn. Energieverbrauch pro Waschgang	0,43 kWh	0,95 kWh	0,10 kWh
Energieverbrauch jährlich	124 kWh	160 kWh	52 kWh
Waschmaschinentyp	Agitator	Frontlader	Pulsator
Wasseranschluss	warm und kalt	kalt	kalt
Heizung	nein	ja	nein

Abb. 1.21 Waschgewohnheiten und Waschbedingungen weltweit [11].

Die Waschmaschine des 21. Jahrhunderts ist die Trommelwaschmaschine. Sie ist wegen der guten Waschleistung und des geringen Energie- und Wasserbedarfs den Bottichwaschmaschinen überlegen. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass in jüngster Zeit sowohl in Amerika als auch in Japan und anderen asiatischen Ländern Trommelwaschmaschinen mit beachtlichem Erfolg auf den Markt gebracht wurden, ja sogar solche Geräte von den dortigen Herstellern auch nach Europa exportiert werden. Dazu wurde nicht nur das Waschprinzip kopiert, sondern wurden auch viele Innovationen der europäischen Trommelwaschmaschine der letzten Jahrzehnte gleich mit umgesetzt.

Innovationen bei europäischen Waschmaschinen

In den letzten Jahren bzw. Jahrzehnten haben sich europäische Waschmaschinen nochmals deutlich verbessert. Wichtige Entwicklungsrichtungen waren dabei [12]:

- Energieeinsparung,
- Wassereinsparung,
- Optimierung des Waschprozesses,
- Verbesserung der Sicherheit,
- einfache Bedienung.

Seit der Zeit der ersten Ölkrise Mitte der siebziger Jahre sind bei Trommelwaschmaschinen beträchtliche Neuerungen hinsichtlich Wasser- und Energieeinsparung erzielt worden. Brauchte eine Waschmaschine mit einem Fassungsvermögen von ca. 4,5 kg 1970 4,3 kWh für die Kochwäsche, so lag der Verbrauch 2010 bei 1,5 kWh. Der Wasserverbrauch ist im gleichen Zeitraum von 200 L auf 45 L zurückgegangen (Abb. 1.22). Bei einigen Modellen ist sogar bis auf 39 L reduziert worden.

Aus Gründen des Klimaschutzes gewinnt ein möglichst geringer Energieverbrauch beim Waschen eine immer größere Bedeutung. Seit 2009 sind deshalb Waschmaschinen auf dem Markt, die über spezielle Waschprogramme im Niedrigtemperaturbereich (Kaltwasch- oder 20 °C-Programme) verfügen. Demgegenüber verliert der Kochwaschgang (90 °C) immer mehr an Bedeutung. Manche Waschmaschinen verfügen über einen separaten Warmwasseranschluss, um extern, z. B. über Solarenergie, erwärmtes Wasser zu nutzen und den Energiebedarf nochmals zu reduzieren.

Die Reduktion der Verbrauchswerte in der oben genannten Größenordnung war nur möglich durch die Einführung vieler technischer Neuerungen (Abb. 1.23).

Präzisere Sensoren für Wassermengen- und Temperaturregelungen, die computergesteuert häufig auf dem Prinzip der Fuzzylogik beruhen, haben zum Beispiel eine genauere Anpassung der Waschparameter an die Beladungsmenge und die Programmwahl ermöglicht. Dazu kommt der Einsatz von immer ausgefeilteren elektronischen Steuerungen und Regelungen, die eine punktgenaue Führung des Waschprozesses durch die Waschmaschine erlauben und zum Teil sogar lernfähige und mit Expertenwissen ausgestattete Prozessführungen implementiert haben [13]. Die größte Wasserersparnis bei Waschmaschinen wurde durch mo-

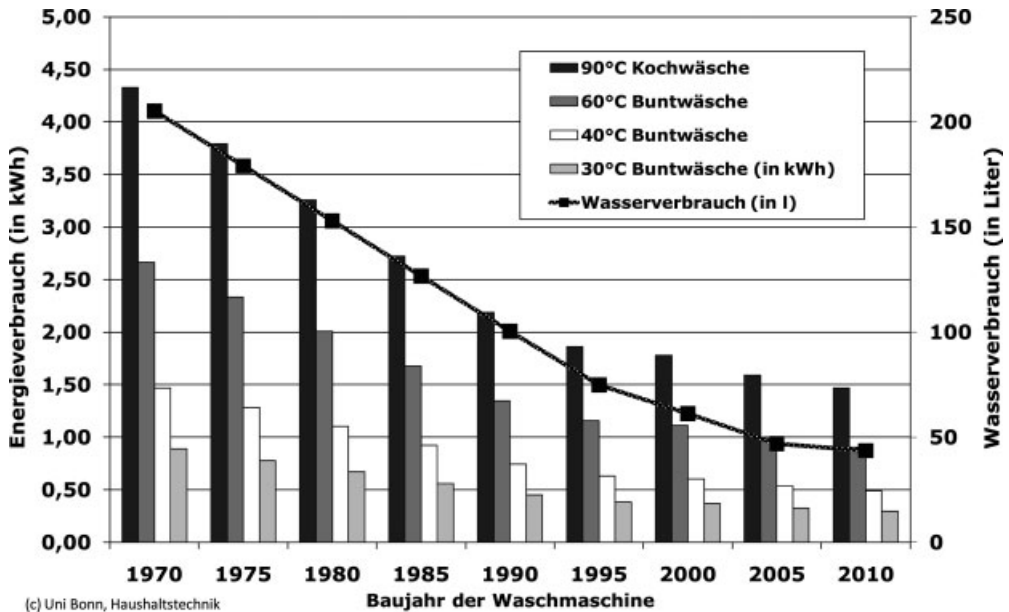


Abb. 1.22 Entwicklung der Verbrauchswerte bei Waschmaschinen (1970 bis 2010).

derne Spülprogramme erzielt. Durch kombinierte Spül- und Zwischenschleuderschritte gelingt es, mit sehr viel weniger Wasser als früher Schmutz und Waschmittelreste auszuspülen. Den Ablauf eines typischen Wasch- und Spülprogramms (Temperatur- und Bewegungsverlauf) zeigt Abbildung 1.24.

Dementsprechend hat heute jede moderne Waschmaschine eine Vielzahl von Programmvariationen, die eine optimale, teilweise automatische Anpassung an die zu waschende Wäsche erlaubt.

Im Folgenden werden ausgewählte Innovationen genauer betrachtet:

Mitte der 1980er Jahre waren wichtige Neuerungen der Waschmaschinentechnik die Verhinderung von Waschmittelverlust (Stichwort: Öko-Schleuse) und wassersparende Befeuchtungssysteme der Wäsche (z. B. Schöpfripen- und Sprühsystem) (Abb. 1.25).

Die 1990er Jahre waren geprägt durch viele Neuerungen zur Erzielung einer einfacheren Bedienbarkeit, wie etwa größere oder geneigte Trommeleinfüllöffnungen und insbesondere übersichtlichere und einfachere Bedienblenden. Neben der bis dahin üblichen Größe von 5 kg Fassungsvermögen für Frontlader werden nun auch größere Waschmaschinen angeboten, die bis zu 7 kg Fassungsvermögen haben.

Dieser Trend zur Verbesserung des Bedienungskomforts setzt sich im 21. Jahrhundert fort, z. B. durch die Einführung von großflächigen graphischen Displays zur Programmeinstellung oder gar zur Fernbedienung oder Fernabfrage mittels Anschluss der Waschmaschine an ein hausinternes Kommunikationssystem

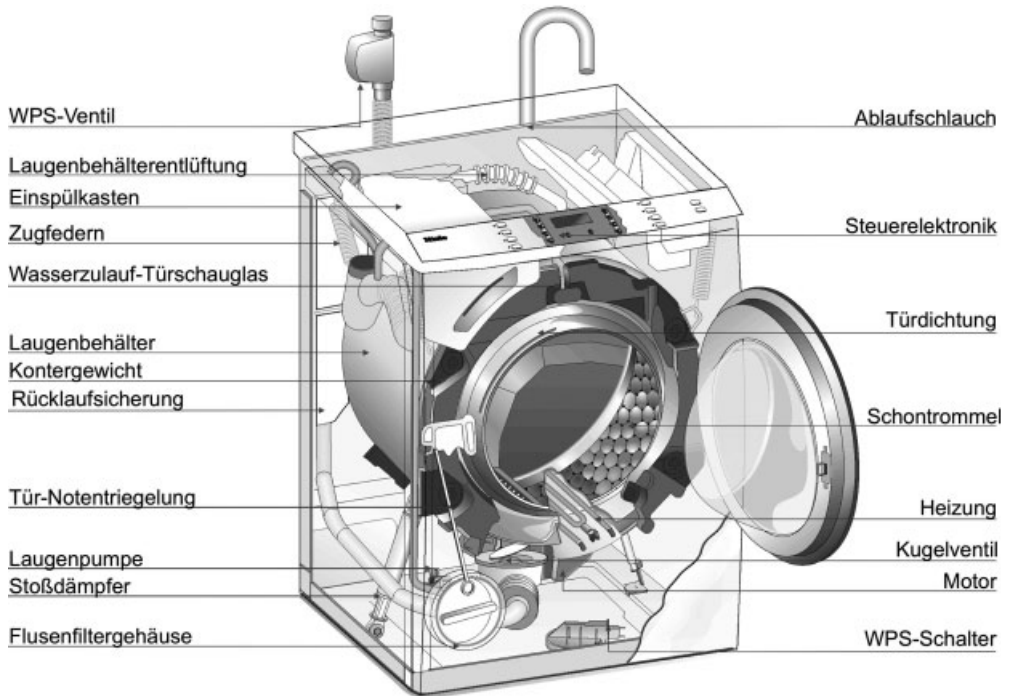


Abb. 1.23 Aufbau einer modernen Trommelwaschmaschine (Quelle: Miele)

WPS = Waterproof-System: An der Verschraubung des Wasserzulaufs ist ein Doppel-Magnetventil angebracht. Erkennt der Waschvollautomat einen Defekt, verschließt er automatisch das Ventil und sperrt damit den

Wasserzulauf ab. Ein Hüllschlauch umschließt den Zulaufschlauch und ist maschinenseitig mit der Rückwand verbunden. In der Bodenwanne befindet sich ein Schwimmerschalter, der bei Nässe das Wasserzulaufventil sofort verschließt.

oder das Internet. Möglich ist auch ein zeitversetztes Waschen mittels Timer, um so den oft günstigen Nachtstrom zu nutzen. Durch eine veränderte und optimierte Konstruktion der Waschtrommeloberfläche ist es gelungen, die Wäsche-schonung während des Waschens nochmals zu verbessern.

Die weitaus größte Marktbedeutung haben Frontlader. Das Fassungsvermögen der Frontlader ist gegenüber den 1990er Jahren weiter erhöht worden und es gibt 2009 Waschmaschinen mit bis zu 8 kg Fassungsvermögen am Markt, Maschinen mit 6 kg Inhalt stellen 2009 das wichtigste Marktsegment dar. Toplader haben durchschnittlich ein geringeres Fassungsvermögen von 4 bis 5 kg. Die Schleuderdrehzahlen sind ebenfalls erhöht worden. Waschmaschinen mit 1.400 und mehr Schleuderdrehungen pro Minute haben 2009 einen Marktanteil von rund 70 % [14].

Die Steuerungssysteme wurden nochmals verbessert, so dass heute beispielsweise bei manchen Modellen eine automatische, der Wäsche angepasste Dosierung

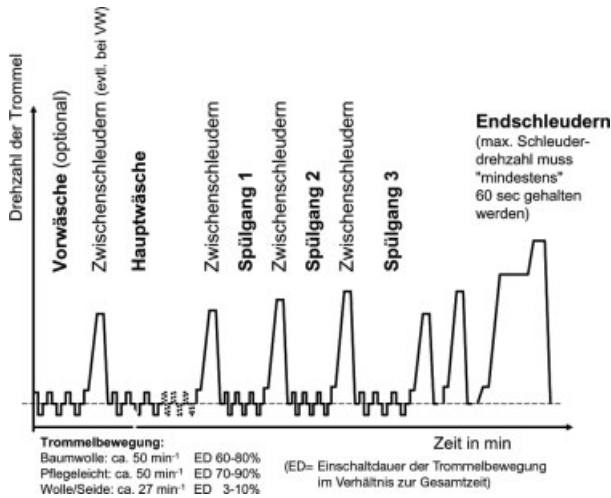
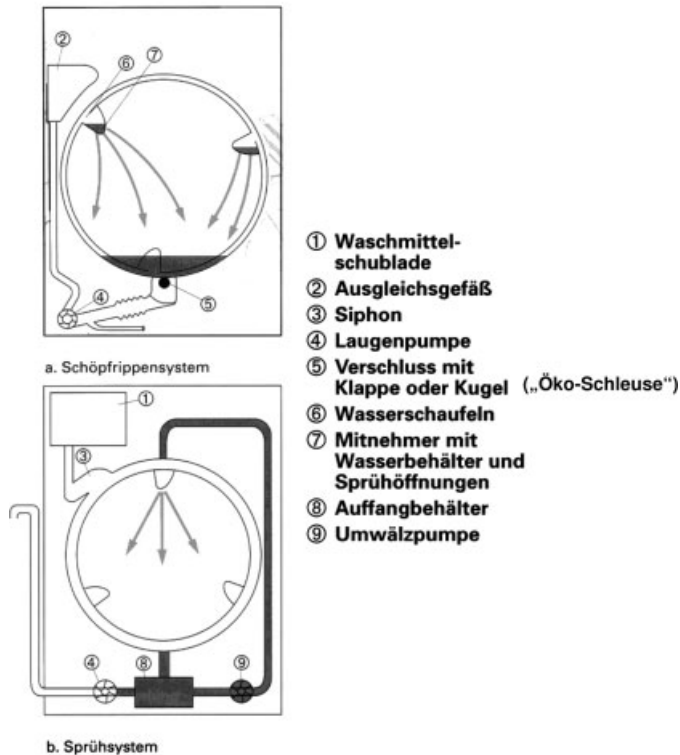


Abb. 1.24 Schema eines durchschnittlichen Waschprogramms.

Einrichtungen zur Einsparung von Wasser



Quelle: HEA

Abb. 1.25 Wasserführungssysteme bei Waschmaschinen.

flüssiger Waschmittel möglich ist [15]. Über die so genannte *Mengenautomatik* ermitteln Sensoren, wie viel des einlaufenden Wassers von der Wäsche aufgesogen wird, berechnen daraus die Wäschemenge und passen das Waschprogramm und auch, falls vorhanden, die Waschmitteldosierung dieser Menge an. Die erweiterte Mengenautomatik berücksichtigt zusätzlich die Temperaturabkühlung der Wäsche beim ersten Spülwassereinlauf und ermittelt daraus die optimale Anzahl der Spülgänge. Mit Hilfe der *Beladungserkennung* wird die Wäschemenge in der Trommel per Sensor ermittelt, der das geringfügige Absinken der Wäschetrommel beim Befüllen erfasst und anzeigt, so dass eine optimale Beladung der Maschine und die Angabe der benötigten Waschmittelmenge möglich wird.

Bezüglich der Sicherheit sind Wasserschutzsysteme weiterentwickelt worden, die bei einem unkontrollierten Auslaufen von Wasser, z. B. bei defektem Zulaufventil, Undichtigkeiten oder Platzen des Zulaufschlauches, den Wasserzulauf sofort unterbrechen und dadurch größere Wasserschäden verhindern.

Ab Frühjahr 1996 führen alle Waschmaschinen das europäische Energielabel (Abb. 1.26), das Auskunft zu Waschleistung, Energie- und Wasserverbrauch, Schleudwirkung und Geräuscentwicklung gibt.

In einer Skala, die von A bis G reicht, wird dem Verbraucher eine Information über die Rangordnung der Effizienz der Maschinen gegeben, wobei A die effizienteste Klasse bezeichnet. Allerdings beziehen sich diese Angaben nur auf ein Vergleichsprogramm (für 60 °C Baumwollwäsche), so dass es durchaus große Unterschiede in anderen Programmen, die nicht relevant für das Energielabel sind, gibt.

Das Energielabel hat dazu geführt, dass sich alle Anbieter auf dem europäischen Markt darauf konzentriert haben, in den Angaben des Energielabels gut dazustehen. Gelitten hat darunter z. B. die Dauer der Waschprogramme, da dieser Parameter nicht auf dem Energielabel angegeben wird (nur in der Tabelle der Verkaufsbroschüre und in der Gebrauchsanweisung), eine längere Waschprogrammdauer sich aber positiv auf die damit erzielbare Reinigungsleistung auswirkt. Ebenso wird der Standby-Energieverbrauch beim Energielabel bisher nicht berücksichtigt.

2009 haben fast alle Waschmaschinen eine Einstufung für Energieeffizienz, Waschwirkung und Schleudwirkung in der Klasse A. Als Differenzierungskriterium für die Verbraucher ist es damit kaum noch geeignet. Dabei gibt es je nach Hersteller und Preisniveau deutliche Unterschiede in der Leistungsfähigkeit der Waschmaschinen bezüglich Waschleistung, Wäscheschonung, Energie- und Wasserverbrauch sowie Bedienungsfreundlichkeit und Lebensdauer [16]. Beispielsweise stehen extrem wassersparende Waschmaschinen im Zielkonflikt mit einem möglichst weitgehenden Ausspülen von Waschmittelresten aus der Wäsche (auf die Frage, inwieweit Waschmittelrückstände nach dem Waschen auf den Textilien verbleiben können, wird in Kapitel 8.5 näher eingegangen).

Seit einiger Zeit wird auf europäischer Ebene (EU Kommission, Rat und Parlament) das Energy Label für Haushaltsgroßgeräte grundlegend überarbeitet. Das neue Label soll voraussichtlich ab 2011 in Kraft treten. Bezogen auf Waschmaschinen wird sich voraussichtlich Folgendes ändern:

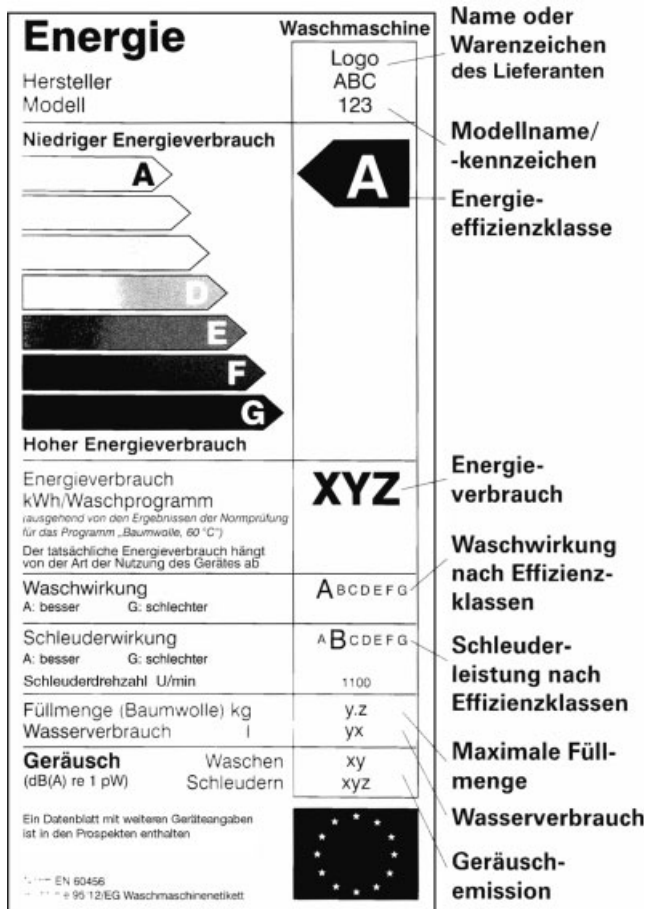


Abb. 1.26 Energielabel bei Waschmaschinen.

- Zu dem bisherigen Label werden drei neue Klassen A+, A++ und A+++ hinzugefügt.
- Das Layout wird länderübergreifend angepasst.
- Die maximale Anzahl der Effizienzklassen ist auf 7 begrenzt.
- Die Farbskala bleibt wie bei der bisherigen Klassifizierung von dunkelgrün (bisher A) bis rot (bisher G) und wandert mit.
- Die Daten und Klassen auf dem Label beziehen sich nicht mehr nur auf ein Standard-Waschprogramm, sondern es wird ein gewichteter Mittelwert aus mehreren Programmen gebildet.
- Die Energieklassen werden nicht mehr nach dem Energieverbrauch pro Kilogramm Fassungsvermögen eingeteilt, sondern nach einer komplexen Formel als „Energy Efficiency Index (EEI)“ berechnet, wobei auch der Standby-Verbrauch mit einbezogen wird.

Insgesamt soll durch die Neuregelung die Transparenz der Verbraucherinformation bezüglich der Vergleichbarkeit von Waschleistung und Ressourcenverbrauch von Waschmaschinen verbessert werden und sollen Anreize für die Hersteller zur Weiterentwicklung ressourcenschonender Waschmaschinen geschaffen werden.

Berücksichtigt werden muss, dass sich aufgrund einer mittleren Lebensdauer der Waschmaschinen von etwa 12 Jahren Innovationen erst mit längerer Verzögerung am Markt durchsetzen. Geräte, die älter als zehn Jahre sind, verbrauchen mitunter ein Vielfaches an Wasser und Strom und bieten darüber hinaus nicht immer die Möglichkeiten einer hohen Schleuderdrehzahl, was insbesondere beim Einsatz eines Wäschetrockners Grundvoraussetzung sein sollte. Allerdings gibt es auch hier deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Waschmaschinentypen. Wann aus ökonomischer oder ökologischer Sicht ein Austausch eines Altgerätes gegen ein Neugerät sinnvoll ist, muss im Einzelfall entschieden werden [17].

Wäschetrockner

Der elektrische *Wäschetrockner* hat sich in Deutschland in den Haushalten mit größerem Wäscheanfall als unverzichtbares Gerät zur schnellen und vor allem disponiblen Nachbehandlung der Wäsche heute fest etabliert. So nennen im Jahr 2008 43 % aller deutschen Haushalte [10] ein solches Gerät ihr Eigen, mit deutlich höheren Anteilen bei 3- und Mehr-Personenhaushalten. Prinzipiell gibt es bei Wäschetrocknern mehrere Bauarten, die sich entweder in ihrem Heizungsprinzip, ihrem Funktionsprinzip bezüglich der Behandlung der feuchten Luft oder ihrer Steuerung unterscheiden.

Am häufigsten findet man den Wäschetrockner mit elektrischer *Beheizung*. Hier wird über ein Heizelement die Luft erwärmt, die dann beim Durchstreichen der feuchten Wäsche die Feuchtigkeit aus ihr aufnimmt. Als Alternative dazu gibt es gasbeheizte Ablufttrockner und Wärmepumpen-Wäschetrockner. Letztere arbeiten nach folgendem Prinzip: Die beim Kondensieren der Feuchtigkeit aus der mit Wasserdampf gesättigten Prozessluft freiwerdende Wärmemenge wird der entfeuchteten Luft vor Eintritt in die Wäschetrommel teilweise wieder zugeführt, so dass die zuströmende Luft dabei vorgewärmt wird. Wärmepumpen-Trockner kommen dadurch mit deutlich weniger Energie aus im Vergleich zu den klassischen elektrisch beheizten Wäschetrocknern, dafür liegen die Anschaffungskosten höher.

Nachdem die Trockenluft die Feuchtigkeit aus der Wäsche aufgenommen hat, kann sie entweder direkt über eine Abluftleitung ins Freie geleitet werden (*Ablufttrockner*), oder es wird die Feuchtigkeit im Wäschetrockner selbst auskondensiert und die so getrocknete Luft im Kreislauf geführt (*Kondensationstrockner*) (Abb. 1.27). Die zur Kondensation notwendige Kühlluft wird dabei aufgeheizt und kann zur Erwärmung z. B. im Badezimmer genutzt werden. Außerdem ist das kondensierte Wasser gut geeignet zum Bügeln oder Blumengießen. Dem gegenüber entzieht der Ablufttrockner dem Aufstellraum die Luft, die, je nach Jahreszeit, durch mehr oder weniger kalte Luft ersetzt wird, die anschließend aufgeheizt werden muss.



Abb. 1.27 Funktionaler Aufbau von Wäschetrocknern (Quelle: Miele).

Je nach Art der Textilien und ihrer Weiterbehandlung wird man unterschiedliche Feuchtigkeiten am Ende des Trockenprozesses wünschen. Wäsche die noch gebügelt werden soll, sollte feuchter sein als Wäsche die direkt in den Kleiderschrank eingelagert wird. Dementsprechend sollte der Trockenprozess im Wäschetrockner so ablaufen, dass möglichst die gewünschte Trockenstufe direkt erreicht wird. Dies kann zum einen dadurch erreicht werden, dass am Wäschetrockner eine feste Trockenzeit eingestellt wird, die sich allerdings nach der Menge und Feuchtigkeit der Wäsche sehr unterschiedlich darstellen kann. Nach Ablauf dieser *Zeitsteuerung* wird der Verbraucher prüfen müssen, ob sich die Wäsche in dem gewünschten Trockenheitszustand befindet und ggf. noch eine Zeitverlängerung einstellen. Dieses Problem wird bei Wäschetrockner mit *Feuchtigkeitssteuerung* elegant umgangen, denn hier messen Sensoren im Gerät die Feuchtigkeit der Wäsche und lassen den Trockenprozess solange laufen, bis die gewünschte Endfeuchte erreicht wird.

Ähnlich wie bei Waschmaschinen gibt es seit 1996 auch eine europaweit einheitliche Deklaration der Effizienz von Wäschetrocknern nach dem Energielabel, bei dem der Energieverbrauch (bzw. Energieeffizienz), die Trocknerart („Abluft“ oder „Kondensation“) und ggf. die Geräuscentwicklung dem Verbraucher in seiner Entscheidung helfen. Abhängig von der Art der Beheizung werden Geräte mit konventioneller elektrischer Beheizung in den Klassen B bis D zu finden sein, während die Energieeffizienzklasse A den Geräten mit Wärmepumpe vorbehalten bleibt. Ab 2011 wird bei Wäschetrocknern voraussichtlich wie bei den Waschmaschinen eine Neufassung des Energy Labels in Kraft treten.

Der Bedarf an elektrischer Energie liegt bei Abluft- und Kondensationstrocknern in einer vergleichbaren Größenordnung von ca. 0,6 bis 0,7 kWh pro kg

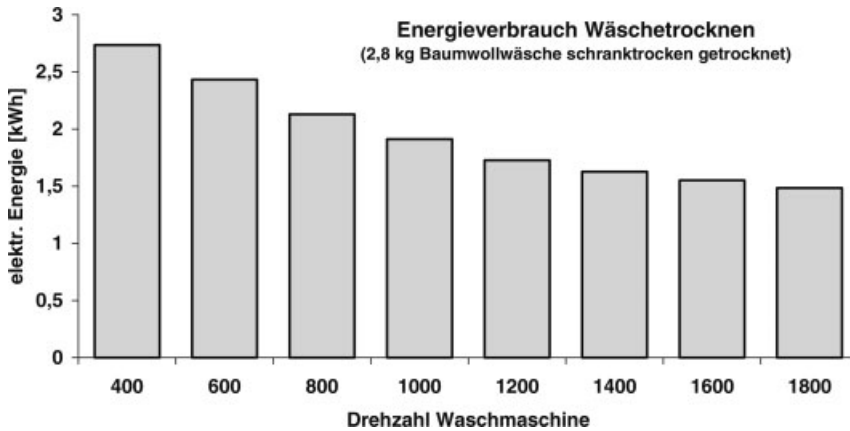


Abb. 1.28 Energieverbrauch Wäschetrockner.

Wäsche (Normprogramm), je nach Energieeffizienzklasse. Wärmepumpen-Trockner kommen mit der Hälfte an Energie aus: 0,3 bis 0,4 kWh pro kg Wäsche [18]. Obwohl Wärmepumpen-Trockner im Sinne der Nachhaltigkeit die effizientesten und ressourcenschonendsten Wäschetrockner sind, ist ihr Marktanteil 2009 noch sehr gering und liegt deutlich unter 5 %.

Allgemein gilt bei Wäschetrocknern die Devise, dass auf eine gute Vorentwässerung der Wäsche zu achten ist, denn je weniger Wasser verdampft werden muß, um so weniger Energie wird dafür verbraucht, unabhängig woher die Energie im Einzelfall kommt (Abb. 1.28). Eine hohe Schleuderdrehzahl der Waschmaschine (mind. 1.400 Umdrehungen pro Minute) ist aus Gründen des Klimaschutzes zu empfehlen.

Das Trocknen der Wäsche ist zweifellos klimarelevant, wenn man berücksichtigt, dass der Energieaufwand zum Trocknen der Wäsche erheblich höher ist als der Energieaufwand zum Waschen der gleichen Wäschemenge – wenn nicht im Freien oder unbeheizten Räumen getrocknet wird. Berücksichtigt werden muss auch, dass beim Trocknen der Wäsche in der beheizten Wohnung der Energieverbrauch ähnlich hoch liegt wie beim Trocknen im Wäschetrockner, unter ungünstigen Umständen sogar noch höher [18, 19].

Literatur

- 1 Metzger-Groom, S.: The importance of soil in laundry process. 49. SEPAWA Kongress, Conference proceedings 2002, S. 134 ff.
- 2 Hauthal, H. G.: Organische Polymere in Wasch- und Reinigungsmitteln. SOFW-Journal 132 (2006), H.10, 2-22
- 3 Statistisches Bundesamt, www.destatis.de (aufgerufen 10/2009)
- 4 www.wikipedia.org, Stichworte Faser, Naturfasern, Chemiefasern u. a. (aufgerufen 10/2009)
- 5 Fonds der Chemischen Industrie: Folienreihe „Textilchemie“, Frankfurt 2007
- 6 Industrievereinigung Chemiefaser e. V./ www.ivc-ev.de (aufgerufen 09/2009)
- 7 Schambil, F./Buchmeier, W./Glüssen, B./Bohnen, J./Hloch, H. G.: Werden Waschmittel vom Markt verschwinden? Eine Untersuchung alternativer Waschtechnologien. 55. SEPAWA Kongress, und 4. European Detergents Conference, Würzburg 2008.
- 8 Harder, H./Löhr, A.: Der Wandel der Waschverfahren im Haushalt seit 1945. Tenside Detergents 18(1981), H. 5, 246-252
- 9 Henkel & Cie GmbH (Hrsg.): Waschmittelchemie. Dr. Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg 1976
- 10 ZVEI Zahlenspiegel des deutschen Elektro-Hausgerätemarktes 2009
- 11 Pakula, C./Stamminger, R.: Electricity and Water Consumption for Laundry Washing by Washing machine in Selected Countries Worldwide. In *Energy Efficiency online*, Springer Verlag, Januar 2010.
- 12 Wendker, C.: Neue Entwicklungen bei Waschmaschinen. Forum Waschen, Vortrag Multiplikatorenseminar Bonn 2007
- 13 Tschulena, G./Lahrman, A. (eds.): Sensors in Household Appliances. Verlag Wiley VCH, Weinheim 2003
- 14 Persönliche Mitteilung, Thomas Benne, Bauknecht Hausgeräte GmbH, Oktober 2009
- 15 Rüdénauer, I./Gensch, C.-O.: Einsparpotentiale durch automatische Dosierung bei Waschmaschinen. Studie des Öko-Instituts e. V., Freiburg 2008
- 16 Stiftung Warentest. Zeitschrift Test, verschiedene Beiträge zum Thema Waschmaschinen
- 17 Eco-Efficiency Analysis of Washing mashines. Studie des Öko-Instituts, Freiburg 2005
- 18 Vergleich der Umweltauswirkungen und Kosten verschiedener Wäschetrocknungssysteme. Studie des Öko-Instituts, Freiburg 2008
- 19 Gensch, C.-O./Rüdénauer, I.: Ökologische und ökonomische Betrachtung von Wäschetrocknungssystemen. Hauswirtschaft und Wissenschaft 1/2004, 12-19

2

Chemie der Tenside

2.1

Überblick und wirtschaftliche Bedeutung

Dem französischen Chemiker *Michel Eugène Chevreul* gelang es in den Jahren 1811 bis 1823 die Struktur der Fette und Öle und damit auch der Seife aufzuklären. Als Folge davon konnte man nun einen Zusammenhang zwischen der molekularen Struktur und Reinigungswirkung der Seife herstellen und weitere Substanzen mit ähnlichen waschaktiven Eigenschaften synthetisieren. Alle diese Substanzen gehören zur Stoffklasse der Tenside.

Der Begriff Tensid (lat.: *tensio* = Spannung) wurde von *Götte* 1960 zur Bezeichnung dieser Stoffe vorgeschlagen. Er hat sich im deutschsprachigen Raum heute durchgesetzt und andere, veraltete Begriffe wie waschaktive Substanzen (WAS) verdrängt. Im anglo-amerikanischen Sprachraum verwendet man üblicherweise den Begriff „*surfactant*“. Alle Tenside zeigen eine typische Besonderheit des Molekülbaus. Sie bestehen aus einem *hydrophoben* und einem *hydrophilen* Anteil im Molekül. Ein solches Teilchen bezeichnet man als *amphiphil* (Abb. 2.1).

Tenside besitzen charakteristische Stoffeigenschaften, die sich mit den Begriffen Grenzflächenaktivität und Waschaktivität beschreiben lassen. Diese Thematik erläutert Kapitel 3. Im nun folgenden Kapitel werden Struktur, Eigenschaften, Herstellung und wirtschaftliche Bedeutung dieser Substanzen vorgestellt. Vertiefende Informationen zur Synthese von Tensiden finden sich in Anhang 1.

In der Literatur ist oft eine getrennte Beschreibung von Seife und synthetischen Tensiden üblich. Diese begriffliche Trennung ist fachlich gesehen nicht korrekt, denn Seife ist als klassisches Tensid zu bezeichnen. Die Bezeichnungen

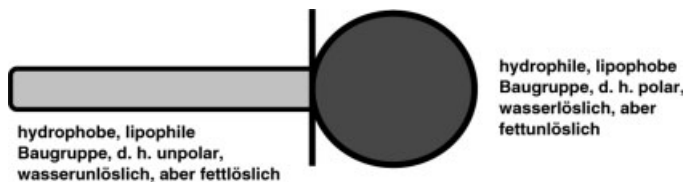


Abb. 2.1 Schematischer Aufbau von Tensiden.

synthetisch und *natürlich* eignen sich auch nicht zur Unterscheidung, denn Seife muss erst aus natürlichen Rohstoffen durch einen chemischen Prozess gewonnen werden. Dies gilt genauso für „synthetische“ Tenside, die in steigendem Maße ebenfalls aus Fetten und Ölen hergestellt werden. Die Sonderstellung der Seife ist durch die Jahrtausende alte Kulturgeschichte des Waschens entstanden. Auch heute noch gehört die Seife zu den weltweit wichtigsten Tensiden, in Waschmitteln haben moderne Tenside aufgrund ihrer besseren Eigenschaften Seife jedoch weitgehend verdrängt.

Die Impulse zur Herstellung neuartiger Tenside gingen von der sich Mitte des 19. Jahrhunderts entwickelnden Textilindustrie aus. Die Industrialisierung der Textilverarbeitung brachte erhöhte Anforderungen an grenzflächenaktive Substanzen mit sich. Eine Hauptforderung war dabei die Unabhängigkeit von der Wasserhärte. 1875 kamen die sogenannten Türkischrotöle auf den Markt. Diese Tenside wurden durch Einwirkung von Schwefelsäure auf Rizinusöl gewonnen (Abb. 2.2). Türkischrotöle verwendete man in der Textilindustrie. Sie haben heute keine wirtschaftliche Bedeutung mehr.

Bereits in den Jahren 1929 bis 1935 wurden die ersten Tenside für Waschmittel entwickelt, von denen einige noch heute kommerzielle Bedeutung haben. Die dominierende Stellung der modernen Tenside ist aber erst nach 1945 mit der Entwicklung elektrischer Waschmaschinen entstanden.

Jedes Tensid lässt sich schematisch als Kopf-Schwanz-Modell darstellen (s. Abb. 2.1). Der hydrophobe Rest ist bei allen Tensiden ähnlich und besteht aus einem langkettigen Kohlenwasserstoffrest, manchmal in Verbindung mit einem Benzolring. Der hydrophile Anteil kann jedoch sehr unterschiedlich sein. Deshalb werden die Tenside je nach dem Charakter ihrer hydrophilen Gruppe in vier Klassen eingeteilt: anionische, kationische, nichtionische und amphotere Tenside (Abb. 2.3).

Die wirtschaftliche Bedeutung der Tenside ist enorm. Weltweit wurden 2008 etwa 19 Millionen Tonnen dieser Stoffe hergestellt, davon 8 Millionen Tonnen Seife [1].

Zu etwa 55 % werden moderne Tenside in Wasch- und Reinigungsmitteln verarbeitet. Darüber hinaus finden Tenside außerdem mannigfaltige Verwendung in

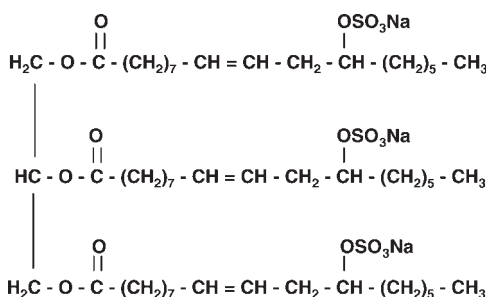


Abb. 2.2 Türkischrotöl (sulfatiertes Rizinusöl).

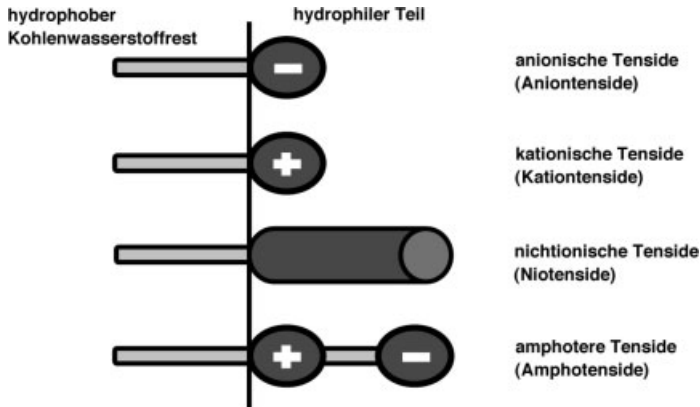


Abb. 2.3 Tensidklassen.

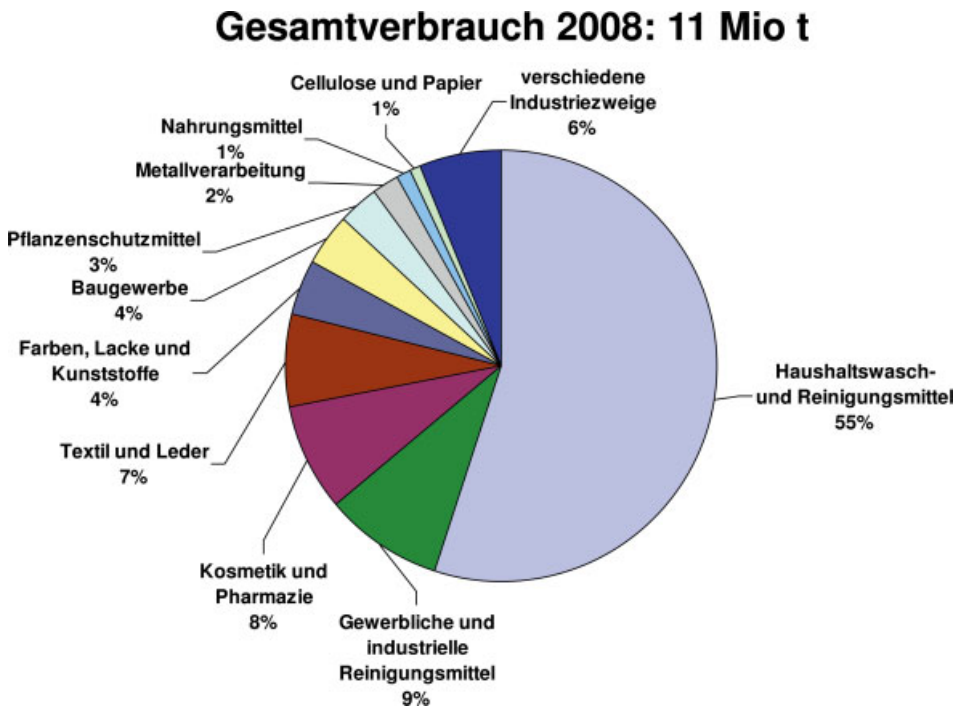


Abb. 2.4 Tensidverbrauch weltweit 2008 (ohne Seifen).

sehr vielen Bereichen von Industrie, Technik und Kosmetika. Sie dienen dort als Reinigungs- und Entfettungsmittel, Emulgatoren, als Hilfsmittel in der Textil-, Leder- und Papierverarbeitung, erleichtern die Aufarbeitung von Erzen und Rohöl und vieles andere mehr (Abb. 2.4).

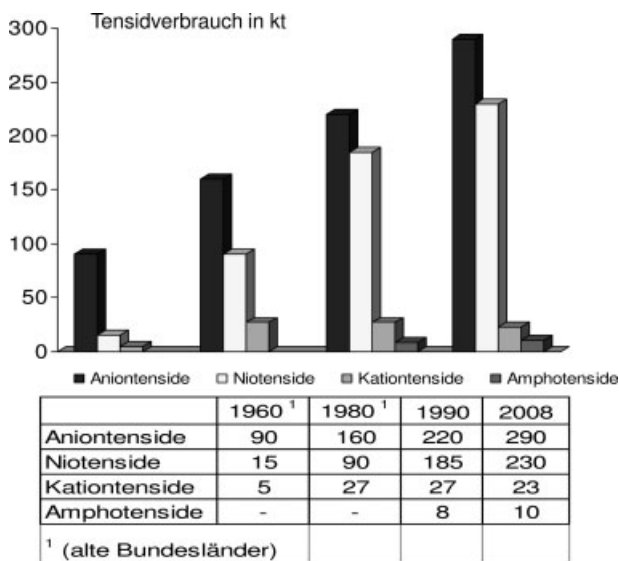


Abb. 2.5 Tensidverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland 1960 bis 2008 (ohne Seifen).

In den letzten zehn Jahren ist in der Bundesrepublik Deutschland der jährliche Gesamtverbrauch von Tensiden annähernd konstant geblieben. Der gestiegene Verbrauch im Jahre 1990 ist auf die Wiedervereinigung zurückzuführen und bezieht die neuen Bundesländer mit ein (Abb. 2.5).

Etwa 46 % des gesamten Tensidverbrauchs entfielen 2008 in der Bundesrepublik Deutschland auf Wasch- und Reinigungsmittel [1]. Neben der Herstellung von Shampoos und Kosmetika stellt die Herstellung von technischen Produkten für die Industrie wichtige Anwendungen von Tensiden dar. Im Gegensatz zu industriellen Produkten, wo eine Vielzahl unterschiedlicher Tenside eingesetzt werden, dominieren in Haushaltswasch- und Reinigungsmitteln drei wichtige Tensidgruppen: (LAS, FAES, FAEO). Sie machten 2008 fast 70 % der gesamten jährlichen Tensidmenge in Wasch- und Reinigungsmitteln in der Bundesrepublik aus (Abb. 2.6).

Die Auswahl der Tenside, die in Wasch- und Reinigungsmitteln Verwendung finden, hängt einerseits von technologischen, anwendungstechnischen und ökologischen Erfordernissen ab, andererseits aber auch von der Entwicklung der Rohstoffpreise. Tenside in den wirtschaftlich erforderlichen Größenordnungen herzustellen, ist nur möglich, wenn Rohstoffe in ausreichender Menge, jederzeit und zu einem günstigen Preis zur Verfügung stehen. Diese Forderungen erfüllen die zwei wichtigsten Rohstoffquellen für Tenside, die natürlichen Fette und Öle sowie die Erdölprodukte. Zusätzlich zu den eigentlichen Rohstoffen werden je nach Syntheseweg noch weitere Grundchemikalien wie Schwefelsäure, Natronlauge und Chlor benötigt. Seit einigen Jahren haben auch Kohlenhydrattenside, auch Tenside aus Zucker genannt, Bedeutung erlangt. Sie sind heutzutage groß-

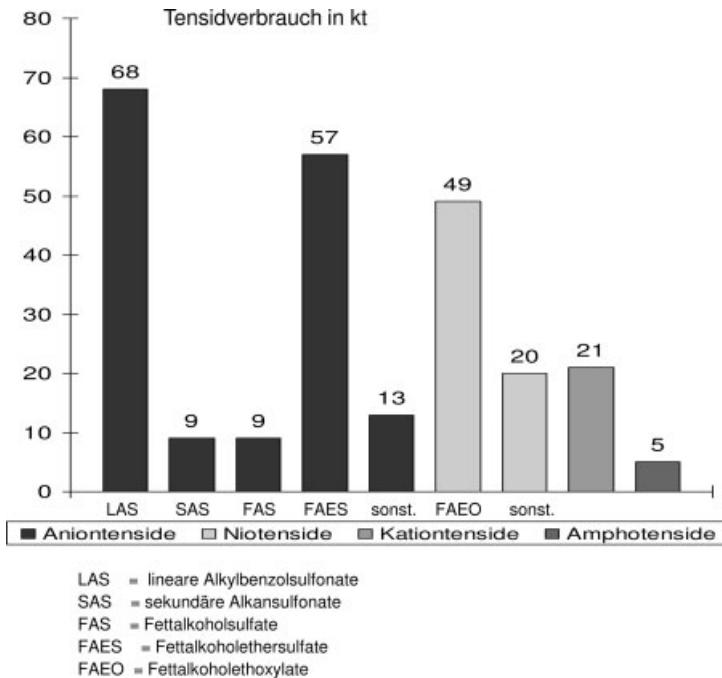


Abb. 2.6 Tenside in Wasch- und Reinigungsmitteln nach Substanzklassen in Deutschland 2008.

technisch produzierbar, mit dem Effekt, dass der Preis deutlich gesunken ist. Aufgrund der eingesetzten Rohstoffe und vor allem wegen der aufwendigeren Synthese sind sie dennoch deutlich teurer als die anderen drei genannten wichtigen Basistenside. Nach dem Syntheseweg lassen sich drei Gruppen von Tensiden unterscheiden (Abb. 2.7):

- Ausschließlich aus natürlichen Fetten und Ölen hergestellte Tenside, z. B. Seifen, Alkylpolyglucoside;
- Ausschließlich aus petrochemischen Grundstoffen erzeugte Tenside, z. B. lineare Alkylbenzolsulfonate;
- Gemischte Produkte, z. B. Fettalkoholethoxylate.

Die für die Herstellung von Tensiden besonders wichtigen Fettalkohole lassen sich sowohl aus fettchemischen als auch aus petrochemischen Rohstoffen herstellen. Je nach dem Herstellungsverfahren wird das Tensid dann der jeweiligen aufgeführten Gruppe zuzuordnen sein (s. Anhang 1).

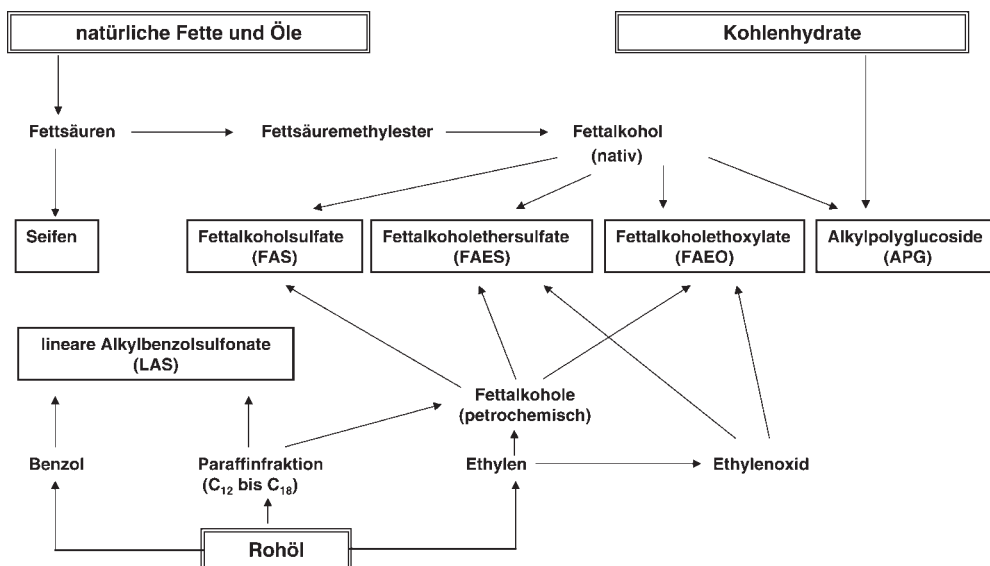


Abb. 2.7 Fließschema zur Herstellung wichtiger anionischer und nichtionischer Tenside.

Aniontenside	Anwendungen (Beispiele)	Gebräuchliche Abkürzung
$\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_n-\text{COO}^-\text{Na}^+$ $n = 10 \text{ bis } 20$ Seifen	Handwasch- und Toilettenseifen, Flüssigwaschmittel, Schaum-inhibitoren für Waschmittel (C_{18} bis C_{22})	
$\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_n$ $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_m$ <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> $\text{CH} \begin{array}{c} \diagup \\ \diagdown \end{array} \text{C}_6\text{H}_4 \text{SO}_3^-\text{Na}^+$ $n + m = 7 \text{ bis } 10$ Lineare Alkylbenzol-sulfonate </div>	Waschmittel, Geschirrspülmittel, Haushaltsreiniger	LAS
$\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_n$ $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_m$ <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> $\text{CH-SO}_3^-\text{Na}^+$ $n + m = 9 \text{ bis } 13$ Sekundäre Alkan-sulfonate </div>	Flüssigwaschmittel, Geschirrspülmittel, Haushaltsreiniger	SAS
$\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_n-\text{O-SO}_3^-\text{Na}^+$ $n = 11 \text{ bis } 17$ Fettalkoholsulfate	Waschmittel, Feinwaschmittel, Schaumbäder, Shampoos	FAS
$\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_n-\text{O}-(\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O})_m-\text{SO}_3^-\text{Na}^+$ $n = 11 \text{ bis } 15$ $m = 2 \text{ bis } 3$ Fettalkohoether-sulfate	Geschirrspülmittel, Flüssigwaschmittel, Schaumbäder, Shampoos	FAES

Abb. 2.8 Wichtige anionische Tenside im Überblick.

2.2

Anionische Tenside

Bei den anionischen Tensiden ist der hydrophobe Kohlenwasserstoffrest mit einer hydrophilen negativ geladenen Gruppe verbunden. Die wichtigsten hydrophilen Gruppen sind (Abb. 2.8):

- Carboxylat-Anion ($-\text{COO}^-$),
- Sulfonat-Anion ($-\text{SO}_3^-$),
- Sulfat-Anion ($-\text{O}-\text{SO}_3^-$).

Die Aniontenside werden überwiegend als preiswerte Natriumsalze hergestellt, doch finden auch Kalium (K^+), Ammonium (NH_4^+) und Triethanolammonium ($(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3\text{NH}^+$) als Kationen Verwendung. Während die Ammonium- bzw. Ethanolammoniumsalze der Aniontenside eine wesentlich bessere Wasserlöslichkeit als die Natriumsalze besitzen, ist jedoch ihre chemische Stabilität in Formulierungen nicht so ausgeprägt. Auch die biologische Abbaubarkeit dieser Tensidtypen ist im Vergleich zu den entsprechenden Natrium- und Kaliumsalzen schlechter.

2.2.1

Seife

Die Seife kann als das älteste Waschmittel, sozusagen als Ursubstanz im Waschprozess, angesehen werden. Es begleitet die Menschheitsgeschichte schon seit mindestens 4.500 Jahren. Schriftlich erwähnt wurde die Seife zum ersten Mal von den Sumerern ca. 2.500 v. Chr. auf Keilschrifttafeln (s. Abb. 8.2). Die Seife gehört damit zu den ältesten Gebrauchskemikalien der Menschheit.

Als Seife bezeichnet man die Gemische in Wasser löslicher *Alkalisalze höherer Fettsäuren* (C_{10} bis C_{22}). Die festen Natriumsalze werden als Kernseifen, die halbfesten, weichen Kaliumsalze als Kali- oder Schmierseifen bezeichnet.

Wesentliche Bestandteile der meisten Seifen (Kernseifen) sind beispielsweise Natriumlaurinat oder Natriumstearat. Sie können als typische Beispiele dienen, wenn man Seife formelmäßig darstellen will (Abb. 2.9). Die genaue chemische Zusammensetzung der Seifen hängt von den für die Herstellung der Seife verwendeten Fetten und Ölen ab. Weitere Informationen zur Synthese von Seifen sind im Anhang 1 zu finden.

Mit einer Produktion von jährlich fast 8 Millionen Tonnen weltweit ist Seife das in den größten Mengen hergestellte Tensid überhaupt. In Deutschland werden jährlich etwas mehr als 120.000 Tonnen Seife verbraucht. Der Verbrauch ist seit vielen Jahren konstant geblieben.

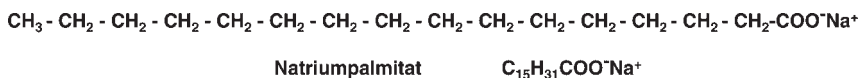


Abb. 2.9 Typisches Beispiel für Seife.

Seife dient heute zum großen Teil als Körperpflegemittel und zur Reinigung im Haushalt (vorwiegend als Kaliseifen). In Waschmitteln wurde Seife zumindest in den Industrieländern weitgehend durch moderne Tenside ersetzt, da sie in hartem Wasser schwerlösliche Kalkseifen bildet, die sich auf Textilien und Wascheinrichtungen als schmieriger Film ablagern. In vielen Ländern der dritten Welt wird aber auch heute noch die Wäsche mit Seife gewaschen.

Ihre besondere Bedeutung hat die Seife durch ihre wohl wichtigsten Eigenschaften, die *Grenzflächen- und Waschaktivität*, erlangt. In Kapitel 3 werden die genannten Eigenschaften ausführlich erläutert. In diesem Kapitel werden die klassischen Eigenschaften *Löslichkeit*, *Leitfähigkeit* und *Protolys*e behandelt.

Löslichkeit von Seife

Seifen sind in verschiedenen Lösungsmitteln löslich. Trotz des langkettigen hydrophoben Restes ist die Löslichkeit in Wasser und kurzkettigen Alkoholen (Methanol, Ethanol) signifikant besser als in unpolaren organischen Lösungsmitteln, z. B. Benzin. Erwartungsgemäß nimmt die Löslichkeit in Wasser mit zunehmender Kettenlänge des Kohlenwasserstoffrestes ab und mit steigender Temperatur zu. Die Löslichkeit beträgt bei typischen Kettenlängen (C_{14} bis C_{18}) ca. 1–3 g/L ($c = 5$ mmol/L). Die Kaliumsalze der Fettsäuren (Schmierseifen) zeigen eine wesentlich bessere Löslichkeit als die entsprechenden Natriumsalze.

Zwischen einer alkoholischen und einer wässrigen Seifenlösung besteht ein prinzipieller Unterschied, der schon mit dem bloßen Auge sichtbar ist. Wässrige Seifenlösungen wirken immer schwach trübe, alkoholische Lösungen erscheinen klar. Viel deutlicher wird dieser Effekt beim seitlichen Durchstrahlen der Lösung mit einer hellen zentrierten Lichtquelle. In der wässrigen Lösung wird das Licht gestreut. Der Weg des Lichtes durch die Lösung kann gut verfolgt werden (Abb. 2.10). Man spricht in diesem Fall vom *Tyndall-Effekt*. Eine alkoholische Seifenlösung zeigt diesen Effekt nicht.

In wässriger Lösung lagern sich Seifenmoleküle zu Micellen (s. Kap. 3.2.2) zusammen. Micellen sind Assoziationen von 50–100 Seifenmolekülen, die durch



Abb. 2.10 Tyndall-Effekt von Seife.

die Van-der-Waals-Kräfte des hydrophoben Anteils zusammengehalten werden. An diesen Teilchenverbänden kann das Licht gestreut werden. Aufgrund der großen Teilchendurchmesser handelt es sich um eine *kolloidale Lösung*.

Eine alkoholische Lösung zeigt keine Trübung bei seitlicher Lichtdurchstrahlung – ein Beweis, dass es sich um eine *echte Lösung* ohne Teilchenassoziationen handelt.

Leitfähigkeit von Seifenlösungen

Wässrige Seifenlösungen leiten den elektrischen Strom, wenn auch aufgrund der niedrigen Ionenkonzentration nur in geringem Maße. Vergleichbar leitfähig sind auch alkoholische Seifenlösungen – ein Beweis, dass es auch hier zur Ionenbildung kommt. In anderen organischen Lösungsmitteln ist keine Leitfähigkeit messbar.

Protolyse von Seifenanionen

Nach dem Massenwirkungsgesetz bestimmt der K_S -Wert die Stärke einer Säure.

Der K_S -Wert ist für alle typischen Fettsäuren ähnlich, da sie nur geringe Strukturunterschiede zeigen, und beträgt $K_S \approx 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$ ($pK_S \approx 4,85$). Die freien Fettsäuren sind in Wasser schwerlöslich, sie zeigen keine nennenswerte Protolyse. Ein K_S -Wert ist deshalb für die freien Säuren nur eine Rechengröße. Anders liegen die Verhältnisse, wenn man vom Säureanion ausgeht, das wesentlich besser wasserlöslich ist und auch eine Protolyse zeigt (Abb. 2.11).

Eine Seifenlösung reagiert also alkalisch. Der pH-Wert ist dabei konzentrationsabhängig. Im Falle einer gesättigten Lösung (ca. 5 mmol/L) liegt der pH-Wert bei etwa 10.

Säuert man eine Seifenlösung an, so reagieren die Seifenanionen mit den Protonen und es bilden sich die freien, wasserunlöslichen Fettsäuren. Diese sammeln sich in Form weißer Flocken an der Oberfläche der Lösung an. Die Seife verliert ihre typischen Eigenschaften und ihre Waschaktivität. Abbildung 2.12 zeigt wichtige chemische Reaktionen der Seife im Überblick.

Bildung von Kalkseife

Von besonderer Bedeutung ist die Reaktion von Seife mit Erdalkali-Ionen, die z. B. als Wasserhärtebildner in natürlichem Wasser vorkommen. In Gegenwart von Calcium- oder Magnesiumsalzen bildet Seife mit diesen Ionen schwerlösliche Salze, die *Kalkseife* bzw. Magnesiumseife (Abb. 2.12). Die Seife verliert dabei ihr Waschvermögen. Kalkseife kann sich z. B. auf der Wäsche niederschlagen und dort unangenehm bemerkbar machen (Geruchsbildung, Vergrauungseffekte). Diese Reaktion ist äußerst unerwünscht, da Erdalkali-Ionen als Härtebildner in



Abb. 2.11 Protolyse von Seifenanionen.

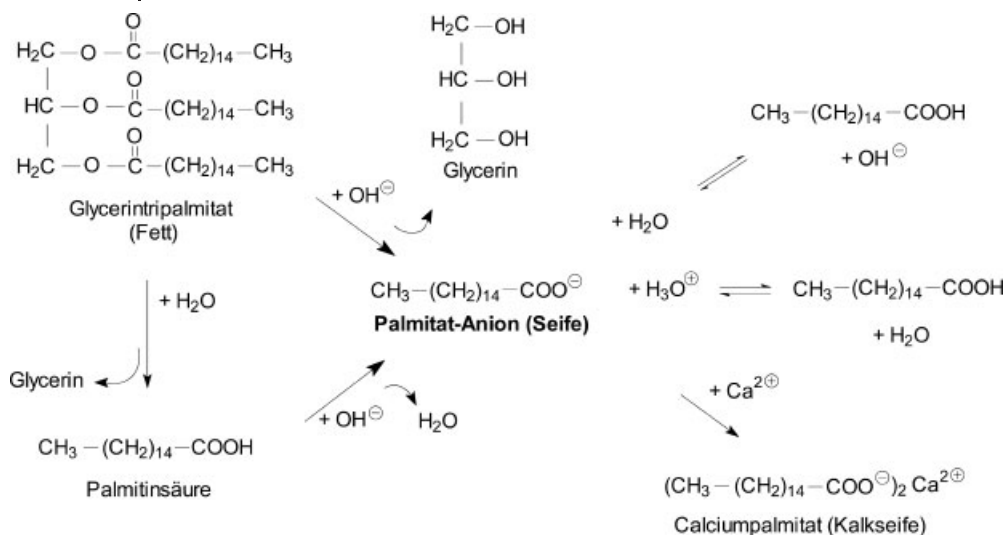


Abb. 2.12 Synthese von Seife und wichtige Reaktionen der Seife am Beispiel der Palmitinsäure im Überblick.

wässriger Lösung praktisch immer vorhanden sind. Die Bildung von Kalkseife schränkt das Anwendungsspektrum der Seife stark ein und ist der Grund, warum weitgehend wasserhärteunempfindliche Tenside die Seife in vielen Bereichen ersetzt haben.

2.2.2

Alkylbenzolsulfonate (TPS, LAS)

Die Alkylbenzolsulfonate stellen die wirtschaftlich bedeutendste Tensidklasse dar. Bis Mitte der sechziger Jahre stand in der Gruppe der Alkylbenzolsulfonate das *Tetrapropylenbenzolsulfonat* (TPS) im Vordergrund, das in den fünfziger Jahren in Wasch- und Reinigungsmitteln die Seife als waschaktive Substanz weitgehend verdrängt hatte (Abb. 2.13).

Entwickelt wurde TPS als erstes technisch wichtiges Tensid auf rein petrochemischer Basis, weil im Anschluss an den 2. Weltkrieg große Anlagen zur Produktion verzweigter Alkane zur Verfügung standen, die nun nicht mehr ausgelastet waren. Die verzweigten Alkane wurden durch Oligomerisierung aus Propylen hergestellt und zur Produktion von hochwertigem Benzin benötigt. Propylen reagiert unter Druck bei 200–240 °C in Gegenwart von Katalysatoren zu Tetrapropylen, dem Ausgangsstoff für TPS.

TPS besaß gute technologische und anwendungstechnische Eigenschaften und ließ sich preisgünstig herstellen, hatte aber einen großen Nachteil: Eine völlig unzureichende biologische Abbaubarkeit. Große Schaumberge auf Flüssen und Seen waren die Konsequenzen der schlechten Abbaubarkeit. In Deutschland

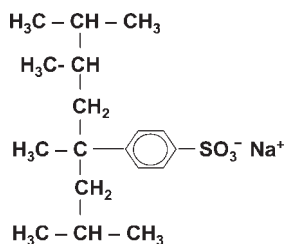


Abb. 2.13 Tetrapropylenbenzolsulfonat (TPS).

wurde es daher bereits wenige Jahre nach der Markteinführung im Zeitraum von 1961 bis 1964 durch die biologisch wesentlich besser abbaubaren *linearen Alkylbenzolsulfonate* (LAS) ersetzt. In den Industrieländern besitzt TPS heute keine wirtschaftliche Bedeutung mehr. Da TPS ein sehr gutes Kristallisationsvermögen besitzt, ist es gut geeignet, mit einfachen Mitteln billige Waschpulver herzustellen. Aus diesem Grunde wurden in den Entwicklungsländern 2008 weltweit noch 200.000 Tonnen TPS verbraucht, ein Teil davon auch in Waschmitteln. Die Produktion von TPS ist weltweit stark rückläufig.

Die linearen Alkylbenzolsulfonate unterscheiden sich vom Tetrapropylenbenzolsulfonat durch einen unverzweigten Alkylrest. Obwohl LAS ein Stoffgemisch ist, also aus mehreren Substanzen besteht, hat sich als Abkürzung die Bezeichnung „das LAS“ und nicht „die LAS“ durchgesetzt. Weltweit wurden 2008 ca. 4 Millionen Tonnen lineare Alkylbenzolsulfonate (LAS) hergestellt. Zur Synthese von LAS werden als Ausgangssubstanzen unverzweigte Alkane, Benzol, Chlor, Schwefeltrioxid und Natronlauge benötigt (Abb. 2.14). Moderne Herstellungsverfahren verwenden anstatt von Chlor Fluorwasserstoff als Katalysator. Die genauen Reaktionsgleichungen zur Synthese von LAS sind im Anhang 1 beschrieben.

Lineare Alkylbenzolsulfonate sind grenzflächenaktiv ab einer Kettenlänge von C₈ im Alkylrest. Technisch von Bedeutung sind Kettenlängen von C₁₀ bis C₁₃. Alkylbenzolsulfonate stellen immer ein Isomeren- und Homologengemisch dar. In Waschmitteln findet das Natriumsalz von LAS mit einer durchschnittlichen Kettenlänge von C_{11,6} Verwendung. Es besteht aus C₁₀-, C₁₁-, C₁₂- und C₁₃-Alkylbenzolsulfonaten in unterschiedlichen Mengenanteilen und unterschiedlicher Stellung des Benzolringes an der Alkylkette.

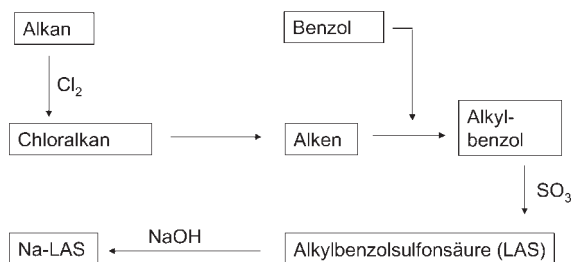


Abb. 2.14 Fließschema zur Herstellung von linearen Alkylbenzolsulfonaten.

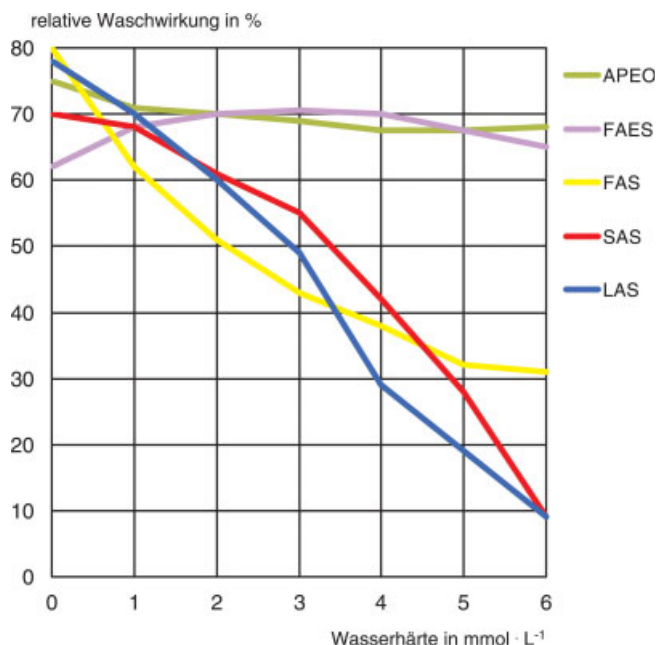


Abb. 2.15 Härteempfindlichkeit ausgewählter Tenside.

LAS kommt sowohl als Säure in Reinform als auch als wässrige Na-Salzlösung in den Handel. Es enthält etwa 1 % unsulfonierte Anteile (Neutralöle), bestehend aus nicht umgesetztem Alkylbenzol, Dialkyltetralin und anderem. Reines Na-LAS ist ein weißes bis gelbliches Pulver, in 50 bis 75%iger wässriger Konzentration erhält man eine zähfließende Paste.

LAS ist aufgrund seines geringen Preises und seiner günstigen technologischen Eigenschaften zum wichtigsten Waschmitteltensid geworden. Es zeigt ein gutes Schaumverhalten bei allen Temperaturen und eine hinreichende Kaltwasserlöslichkeit. In Waschmitteln wird es wegen des starken Schaumvermögens grundsätzlich in Verbindung mit Schaumregulatoren, z. B. Seife, eingesetzt. LAS zeigt ähnlich wie Seife eine ausgeprägte Härteempfindlichkeit (Abb. 2.15).

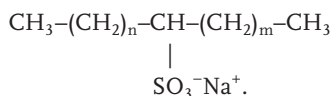
2.2.3

Alkansulfonate (SAS)

Alkansulfonate lassen sich in primäre und sekundäre Alkansulfonate unterteilen, wobei nur die *sekundären Alkansulfonate* (SAS) technisch von Bedeutung sind:

- primäre Alkansulfonate
 $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{SO}_3^-\text{Na}^+$;

- sekundäre Alkansulfonate

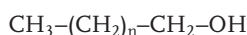


Primäre Alkansulfonate spielen als Waschmitteltenside keine Rolle, weil sie schlecht wasserlöslich sowie stark wasserhärteempfindlich sind und keine gute Waschaktivität besitzen. Die sekundären Alkansulfonate kommen in ihren Eigenschaften dem LAS am nächsten, sind jedoch im Gegensatz zu LAS aufgrund ihrer hygroskopischen Eigenschaften zur Herstellung von Waschpulvern wenig geeignet. Man verwendet sie in flüssigen Waschmitteln.

2.2.4

Fettalkoholsulfate (FAS)

Als Fettalkoholsulfate bezeichnet man die Salze der Schwefelsäureester von Fettalkoholen. Fettalkohole sind einwertige, primäre Alkohole (Alkanole) mit einer Kohlenstoffkette von 8 bis 16 Kohlenstoffatomen:



Je nach Art der Herstellung (s. Anhang 1) erhält man geradkettige oder verzweigte Alkohole. Der Begriff Fettalkohol wird hier als Oberbegriff für langkettige Alkanole verwendet, unabhängig von der Art der Herstellung. Der Begriff bezieht sich dabei auf die fettähnliche, langkettige Struktur der Fettalkohole und nicht auf die Art der Herstellung oder die zur Herstellung verwendeten Rohstoffe. Im fertigen Produkt, z. B. Waschmittel, ist die Herkunft der Fettalkoholsulfate – petrochemisch oder aus nachwachsenden Rohstoffen oder eine Mischung aus beiden – häufig nicht mehr zu ermitteln. Fettalkohole haben in der chemischen Industrie eine enorme Bedeutung. Sie dienen als Rohstoffe zur Herstellung einer ganzen Produktpalette, darunter wichtige anionische, nichtionische und kationische Tenside. Im Anhang 1 werden die verschiedenen Methoden zur Herstellung von Fettalkoholen beschrieben.

Fettalkoholsulfate (FAS) sind gut wasserlöslich, mäßig härteempfindlich und lassen sich gut aus Lösungen auskristallisieren. Wie alle Ester sind auch Fettalkoholsulfate in gewissem Maße hydrolyseempfindlich, im sauren Milieu deutlich stärker als im alkalischen. Unter Waschbedingungen sind sie bis 95 °C ausreichend beständig. Die technisch wichtigsten Fettalkoholsulfate leiten sich vom Lauryl- und Myristylalkohol ab ($\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{OH}$ bzw. $\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{OH}$). Da die Löslichkeit mit erhöhter Temperatur stark zunimmt, eignen sich die langkettigen FAS-Typen (C_{16} bis C_{18}) sehr gut zum Waschen bei höheren Temperaturen. Alle Fettalkoholsulfate haben gute Schaum- und Dispergiereigenschaften. Weltweit wurden 2008 ca. 450.000 Tonnen Fettalkoholsulfate verbraucht.

2.2.5

Fettalkoholethersulfate (FAES)

Die Fettalkoholethersulfate sind eng mit den Fettalkoholsulfaten verwandt, haben aber eine bessere Löslichkeit und bessere Hautverträglichkeit. Weiterhin sind sie wesentlich unempfindlicher gegenüber Erdalkali-Ionen als die Fettalkoholsulfate. Die bessere Hautverträglichkeit und das starke Schäumen bei höheren Temperaturen führen dazu, dass sie bevorzugt in Feinwaschmitteln sowie Handgeschirrspülmitteln Verwendung finden. Besonders gut geeignet sind sie für Schaumbäder und Shampoos, wo starkes Schäumen und gute Hautverträglichkeit erwünscht sind. In den letzten Jahren hat die Verwendung von FAES in Flüssigwaschmitteln stark zugenommen.

2.3

Nichtionische Tenside

Im Gegensatz zu den ionischen Tensiden bilden die nichtionischen Tenside (abgekürzt: Niotenside) in wässriger Lösung keine hydratisierten Ionen. Der hydrophile Anteil der Niotenside besteht aus stark polaren chemischen Bindungen, der hydrophobe Anteil wie bei den anderen Tensidgruppen aus einem langkettigen Kohlenwasserstoffrest. Die wichtigsten hydrophilen Baugruppen bei Niotensiden sind Ethergruppen und Hydroxylgruppen, einzeln oder in Kombination miteinander. Da eine polare chemische Bindung eine wesentlich geringere hydrophile Potenz besitzt als eine ionische Gruppe, ist immer eine größere Anzahl polarer Gruppen notwendig, um ein ausgewogenes Verhältnis von hydrophiler und hydrophober Gruppe im Molekül zu gewährleisten (Abb. 2.16). Niotenside haben daher immer einen sehr voluminösen hydrophilen Molekülteil.

Nichtionische Tenside zeigen einige Besonderheiten gegenüber ionischen Tensiden:

- Beim Schmutzablösevorgang fehlen elektrostatische Wechselwirkungen mit dem Schmutz und der Textilfaser.
- Durch gezielte Synthese können die waschaktiven Eigenschaften stufenweise verändert werden.
- Bestimmte Niotenside zeigen eine Löslichkeitsanomalie, eine zurückgehende Löslichkeit mit steigender Temperatur.

Die wirtschaftlich bedeutendsten Niotenside sind die Fettalkoholethoxylate (Abb. 2.17).

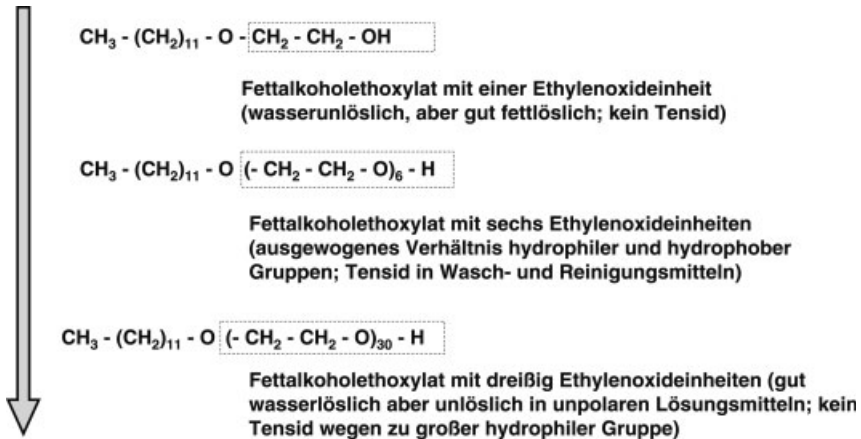


Abb. 2.16 Zunehmende Hydrophilie von Niotensiden mit wachsender Anzahl der Ethylenoxideinheiten.

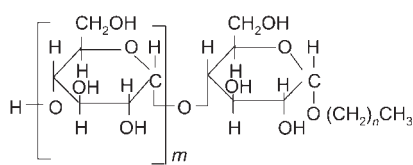
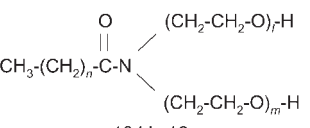
Niotenside	Anwendungen (Beispiele)	Gebräuchliche Abkürzung
$\text{H}_3\text{C} - (\text{CH}_2)_n - \text{O} - (\text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{O})_m - \text{H}$ $n = 9 \text{ bis } 17$ $m = 3 \text{ bis } 15$ 	Fettalkoholethoxylate Wasch- und Reinigungsmittel, Emulgatoren Alkylpolyglucoside $n = 7 \text{ bis } 13$ $m = 0 \text{ bis } 5$ Flüssigwaschmittel, Geschirrspülmittel, Reinigungsmittel, Schaumbäder, Shampoos	FAEO APG
 $n = 10 \text{ bis } 16$ $i = 1 \text{ bis } 2$ $m = 0 \text{ bis } 1$	Fettsäureethanolamide (Fettsäurealkanolamide) Schaumstabilisatoren, Verdickungsmittel, Erhöhung der Hautverträglichkeit und Erhöhung des Dispergiervermögens anderer Anion- und Niotenside	FAA

Abb. 2.17 Wichtige nichtionische Tenside in Wasch- und Reinigungsmitteln.

2.3.1

Fettalkoholethoxylate (FAEO)

Die Bezeichnung dieser Substanzklasse ist in der Literatur nicht einheitlich geregelt. Gebräuchlich sind neben dem Begriff Fettalkoholethoxylate auch „Fettalkoholpolyglykoether“ oder „Fettalkoholoxethylate“. In diesem Buch wird der Begriff Fettalkoholethoxylat (FAEO) verwendet.

Durch geeignete Syntheseverfahren lässt sich die Kettenlänge des hydrophilen Teils, der Ethylenoxideinheit, genau festlegen. Daher lassen sich die Tenseigenschaften der Fettalkoholethoxylate den technologischen Anforderungen in weiten Bereichen anpassen. 2008 wurden weltweit 1.300.000 Tonnen dieser Substanzen verbraucht.

Das Waschvermögen der Fettalkoholethoxylate durchläuft mit steigender Etherkette ein Optimum. Bei einem hydrophoben Anteil von einer C_{14} -Kette sinkt das Waschvermögen oberhalb 10 Ethylenoxideinheiten stark ab (Abb. 2.18). Wird der hydrophobe Rest vergrößert, so verschiebt sich auch der optimale Ethoxylierungsgrad zu höheren Werten. Bei einer C_{18} -Kohlenstoffkette kann der Ethoxylierungsgrad bis zu 30 Ethylenoxideinheiten betragen. Produkte dieser Art werden aufgrund ihrer Eigenschaften als Dispergiermittel eingesetzt.

Eine weitere wichtige Besonderheit der Niotenside ist eine abnehmende Löslichkeit mit steigender Temperatur. Die Löslichkeit nimmt dabei nicht stetig ab, sondern oberhalb einer bestimmten kritischen Temperatur – dem *Trübungspunkt* – kommt es zur Entmischung von Tensid und wässriger Phase. Die Ursache hierfür liegt in der voluminösen hydrophilen Gruppe der Fettalkoholethoxylate. Die Wasserlöslichkeit wird erreicht durch die Hydratisierung der Ethergruppen

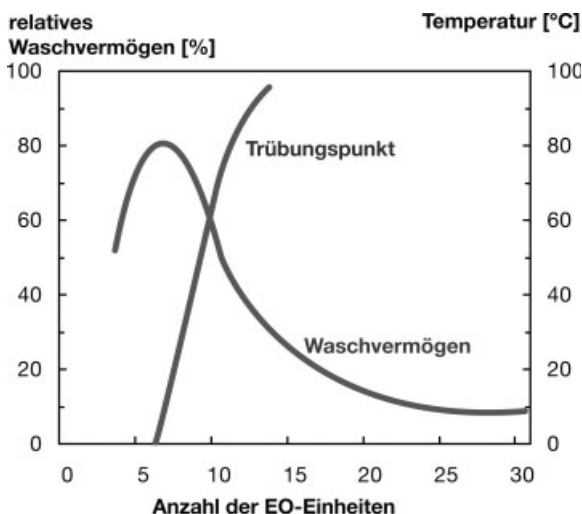


Abb. 2.18 Waschvermögen und Trübungspunkt der C_{14} -Fettalkoholethoxylate in Abhängigkeit von der Anzahl der Ethylenoxideinheiten (EO-Einheiten).

über schwache Wasserstoffbrücken. Aufgrund der abnehmenden Ordnung durch zunehmende thermische Bewegung der Wassermoleküle nimmt der Hydratisierungsgrad mit steigender Temperatur ab; die Löslichkeit geht zurück, bis sie oberhalb des Trübungspunktes zur Entmischung führt.

Grundsätzlich erzielt man die besten Waschergebnisse bei Temperaturen, die in der Nähe des Trübungspunktes liegen. In diesem Bereich zeigen die Produkte auch die beste Netzwirkung an Oberflächen und Geweben. Die Anwendungstemperatur ist daher die entscheidende Größe für die Auswahl der Tenside. Durch gezielte Steuerung des Ethoxylierungsgrades ist es möglich, maßgeschneiderte Fettalkoholethoxylate für die gewünschten Anwendungsgebiete zu synthetisieren (s. Anhang 1). Zu beachten ist, dass sich der Trübungspunkt durch Zugabe von anionischen Tensiden nach oben verschiebt. Niotenside zeigen wichtige Vorteile gegenüber anionischen Tensiden:

- Absolute Härteunempfindlichkeit;
- Sehr gute Wasch- und Entfettungswirkung bei niedriger Temperatur;
- Schaumarme Tenside;
- Niedrige kritische Micellbildungskonzentration, dadurch ist eine niedrigere Dosierung möglich;
- Gute Vergrauungsinhibierung bei Synthesefasern.

Eine Kombination von anionischen mit nichtionischen Tensiden ist in den meisten modernen Wasch- und Reinigungsmitteln zu finden. Die Vorteile der einzelnen Tenside können sich so optimal ergänzen. In den letzten Jahren ist eine starke Zunahme des Einsatzes von Niotensiden zu beobachten. Ein Grund hierfür ist Trend zum Waschen bei niedrigen Temperaturen, ein anderer der verstärkte Einsatz von maschinellen Wasch- und Reinigungssystemen. In letzteren werden Niotenside aufgrund ihrer relativen Schaumarmut und der besseren Entfettungswirkung bevorzugt.

2.3.2

Tenside auf Zuckerbasis

Mono- und Polysaccharide, gewonnen aus nachwachsenden Rohstoffen, gehören zu den Produkten, die als Ausgangsmaterial für Tenside an Bedeutung gewonnen haben. Tenside auf Zuckerbasis sind schon lange bekannt und wurden früher überwiegend im Bereich spezieller technischer Reinigungsmittel als Emulgatoren eingesetzt. Der großtechnische Einsatz von Zuckertensiden im Bereich der Wasch- und Reinigungsmittel als Co-Tenside ist eine relativ neue Entwicklung.

Die für Waschmittel weitaus wichtigsten Zuckertenside sind die Alkylpolyglucoside (APG). Ähnlich wie die Fettalkoholethoxylate gehören auch die Alkylpolyglucoside zu den nichtionischen Tensiden.

Als Glucoside bezeichnet man Ether von Glucose mit einem an dem Zucker gebundenen Rest, dem Aglykon. Bei den Alkylpolyglucosiden ist dies ein langkettiger Alkylrest. Handelt es sich nicht um Glucose, sondern ganz allgemein um einen beliebigen Zucker, so spricht man als Oberbegriff von Glycosiden. Auf-

grund der relativ geringen Kettenlänge des Zuckerrestes von maximal sechs Glucoseeinheiten sollte eigentlich besser von Alkyloligoglucosiden gesprochen werden, allerdings hat sich dieser Begriff in der Fachwelt nicht durchgesetzt.

Die Ausgangsprodukte zur Herstellung von Alkylpolyglucosiden sind Kartoffeln, Mais, Zuckerrohr oder Zuckerrübe als Glucoselieferanten und Kokosöl oder Palmkernöl. Kokos- bzw. Palmkernöl wird zu den entsprechenden Fettalkoholen reduziert, Glucose und Fettalkohole reagieren miteinander unter dem katalytischen Einfluss einer Säure zu Alkylpolyglucosiden (Abb. 2.19). Die Synthese wird im Anhang 1 im Einzelnen beschrieben.

Obleich Alkylpolyglucoside seit längerer Zeit bekannt sind, war ihre kommerzielle Nutzung über viele Jahrzehnte unbedeutend, da keine geeigneten Synthesemethoden zur Verfügung standen, die Produkte in heller Farbe zu akzeptablen Preisen herzustellen. Erst in jüngerer Zeit sind moderne Herstellungsmethoden entwickelt worden, die sie zu einer möglichen Alternative zu herkömmlichen Tensiden werden ließen.

Alkylpolyglucoside (APG) besitzen eine Reihe positiver Eigenschaften wie z. B. gute Elektrolytverträglichkeit, hohes Schmutzlöse- und Schmutztragevermögen sowie eine gute Verträglichkeit mit anderen Waschmittelinhaltsstoffen. Insbesondere in Kombination mit anderen anionischen Tensiden zeigen Alkylpolyglucoside hervorragende technische Eigenschaften schon bei geringen Anwendungskonzentrationen. Da APG außerdem stark schäumen und entfetten, werden sie überwiegend als Co-Tensid in flüssigen Formulierungen eingesetzt. Für den Einsatz in Waschpulvern sind sie hingegen weniger geeignet. Überdies werden sie vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt und weisen zusätzlich gute ökologischen Eigenschaften wie leichte biologische Abbaubarkeit bei geringer Toxizität auf [2]. Da APG sich auch durch eine gute Hautverträglichkeit auszeichnen, andererseits aber eine stark entfettende Wirkung zeigen, werden sie gerne in Spülmitteln und Shampoos als mildes Co-Tensid eingesetzt.

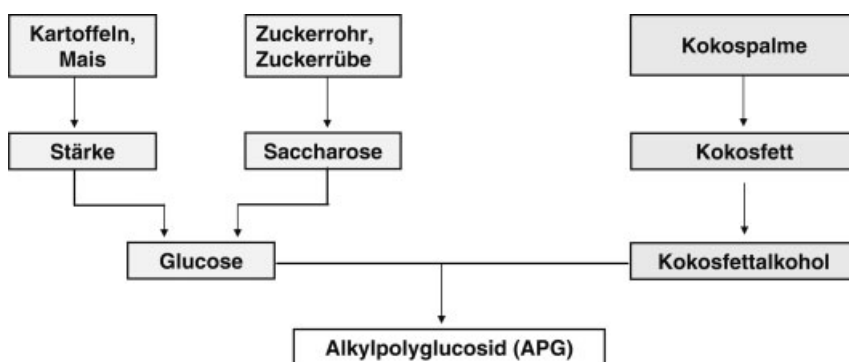


Abb. 2.19 Syntheschema zur Herstellung von Alkylpolyglucosiden.

2.3.3

Sonstige Niotenside**Fettsäurealkanolamide**

Fettsäureethanolamide (Alkanolamide) sind keine Tenside im klassischen Sinne, da sie weder schäumen noch netzen oder waschen. Dennoch verfügen sie über ein breites Anwendungsspektrum. Sie werden zur Unterstützung des Dispergier- und Schmutztragevermögens anderer Tenside in geringen Mengen in Spezialwasch- und Reinigungsmitteln eingesetzt. Weiterhin finden sie Verwendung zur Schaumstabilisierung in amerikanischen Waschmitteln.

Weit verbreitet waren Alkanolamide in kosmetischen Präparaten, z. B. Shampoos, in Spezialreinigern, z. B. Teppichreinigern, und in Handgeschirrspülmitteln. Sie dienten dort zur Erhöhung der Hautverträglichkeit, zur Schaumstabilisierung und zur Beeinflussung der Viskosität. Aufgrund der potentiellen Gefahr der Bildung von gefährlichen Nitrosaminen ist ihre Anwendung in den letzten Jahren stark zurückgegangen.

Alkylphenoethoxylate

Die nach Kriegsende entwickelten *Alkylphenoethoxylate* (APEO) (Abb. 2.20) stellen preiswerte Niotenside mit sehr guten technologischen Eigenschaften dar.

Da jedoch beim biologischen Abbau dieser Tenside (s. Kap. 9.4) toxische und schwer abbaubare Zwischenprodukte entstehen, ist ihre Verwendung in der EU in abwasserrelevanten Anwendungen 2003 verboten worden. In Deutschland werden APEO's aufgrund einer freiwilligen Verzichtserklärung der Waschmittelinindustrie schon seit 1986 nicht mehr in Waschmitteln eingesetzt. Weltweit gesehen ist die wirtschaftliche Bedeutung der Alkylphenoethoxylate immer noch enorm. Außerhalb Westeuropas, vorwiegend in Asien und Osteuropa, werden jährlich etwa 400.000 Tonnen dieser Substanzen verwendet. Der Verbrauch in den USA ist stark zurückgegangen.

Von den verschiedenen möglichen Alkylphenoethoxylaten ist das verzweigte Nonylphenol-ethoxylat das wirtschaftlich bedeutendste. Es enthält herstellungsbedingt einen verzweigten C₉-Alkylrest. Der verzweigte Alkylrest ist mitverantwortlich für die ungünstigen ökologischen Eigenschaften dieser Tensidgruppe.

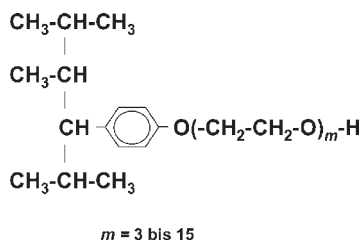


Abb. 2.20 Alkylphenoethoxylat (APEO) (vor 1984 eingesetztes nichtionisches Tensid in Wasch- und Reinigungsmitteln).

Saponine

Extrakte aus Seifenkraut wurden seit Jahrtausenden bis ins 19. Jahrhundert hinein zum Waschen und Reinigen benutzt, denn besonders die Wurzeln dieser Pflanze (*Saponaria officinalis*) sind reich an natürlichen waschaktiven Substanzen, den Saponinen. Dies sind kompliziert aufgebaute Naturstoffe mit grenzflächenaktiven Eigenschaften (lat.: *sapo* = Seife). Sie bestehen immer aus einem Kohlenhydrat- und einem Nicht-Kohlenhydrat-Anteil, dem Sapogenin, die über Etherbrücken miteinander verknüpft sind. Saponine gehören also zur Stoffklasse der Glykoside. Sie enthalten als Nicht-Kohlenhydrat-Anteil miteinander verknüpfte 5- und 6-Ringe vom Typ der Triterpene oder Steroide.

Saponine sind in der Natur weitverbreitet. Sie kommen in vielen Pflanzenarten vor. In hoher Konzentration (10 bis 15 %) treten Saponine außer in den Wurzeln des Seifenkrautes u. a. in den Samen von Rosskastanien (*Aesculus spec.*), in der Rinde des südamerikanischen Seifenrindenbaumes (*Quillaja saponaria*) und in den Nüssen des asiatischen Waschnussbaumes (*Sapindus mukorossi*) auf. Jede Pflanzenart besitzt spezifische Saponine, so dass es eine schwer zu überschauende Anzahl strukturell verwandter Verbindungen gibt. Abbildung 2.21 zeigt eines von rund 30 Saponinen der Gewöhnlichen Rosskastanie (*Aesculus hippocastanum*), das β -Aescin. Selten sind Saponine im Tierreich zu finden. Seesterne und Seegurken enthalten z. B. diese Verbindungen.

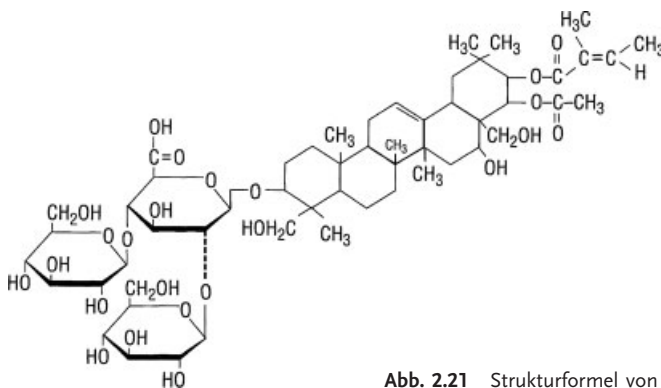
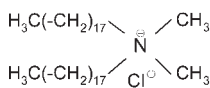


Abb. 2.21 Strukturformel von β -Aescin ($C_{55}H_{86}O_{24}$).

2.4

Kationische Tenside

Bei den kationischen Tensiden ist der hydrophobe Kohlenwasserstoffrest mit einer hydrophilen, stickstoffhaltigen Gruppe verbunden, die eine positive Ladung trägt (R_4N^+), als Gegenion wirkt das Chlorid-Ion (Cl^-) oder das Methylsulfat-Ion ($CH_3OSO_3^-$). Da sich die kationischen Tenside von quaternären Ammoniumsalzen ableiten, werden sie oft auch als Quats oder QAV bezeichnet (Abb. 2.22).



Wird seit 1992 aus ökologischen Gründen in Deutschland nicht mehr zur Herstellung von Wäscheweichspülmitteln eingesetzt.

Abb. 2.23 Distearylammoniumchlorid (DSDMAC).

chen führt dazu, dass elektrostatische Aufladungen kompensiert werden. Dies ist von Bedeutung beim Waschen von Chemiefasern, die zur elektrostatischen Aufladung neigen, und in Bereichen der industriellen Verarbeitung, in denen elektrische Aufladungen stören können. Wasserlösliche kationische Tenside, z. B. Benzalkoniumchlorid, haben einen ausgeprägten mikrobioziden Effekt, d. h. sie hemmen das Wachstum von Bakterien oder töten sie ab. Man setzt sie daher als Desinfektions- oder Konservierungsmittel ein [3].

Äquivalente Mischungen aus Aniontensid und Kationtensid werden an Oberflächen praktisch nicht adsorbiert und sind auch nicht waschwirksam. Durch Reaktion zwischen Anion- und Kationtensid bilden sich neutrale Salze, die in Wasser extrem schwer löslich sind. In waschtechnischer Hinsicht verhalten sie sich ähnlich wie eine Fettschmutzbelastung. Weitgehend verträglich sind jedoch Mischungen aus Niotensiden und Kationtensiden. Solche Mischungen werden zum Teil in Spezialwaschmitteln mit Weichspüleffekt verwendet.

Das wirtschaftlich bedeutendste Kationtensid war lange Zeit das *Distearyl-dimethylammoniumchlorid* (DSDMAC) (Abb. 2.23).

Wegen der unzureichenden biologischen Abbaubarkeit wurde es Anfang der neunziger Jahre in Wäscheweichspülmitteln durch andere Kationtenside mit ökologisch günstigeren Eigenschaften, die *Esterquats*, ersetzt. Es gibt, je nach Hersteller, verschiedene Esterquat-Typen mit unterschiedlicher chemischer Struktur. Abbildung 2.22 zeigt die drei wichtigsten Vertreter. In einigen europäischen Ländern hat auch das Kationtensid DAIS (Abb. 2.22) noch eine gewisse Bedeutung mit abnehmender Tendenz. Die Synthese von Kationtensiden wird am Beispiel des wirtschaftlich bedeutendsten Kationtensids, des TEA-Esterquats, im Anhang 1 näher beschrieben.

2.5

Amphotere Tenside

Tenside, die eine negativ und eine positiv geladene Gruppe im Molekül enthalten, werden als amphotere Tenside bezeichnet. Die wichtigsten Vertreter sind die *Alkylbetaine*, häufig kurz *Betain* genannt (Abb. 2.24).

Betaine lassen sich gut mit anderen Tensiden kombinieren, sind unempfindlich gegenüber hartem Wasser, wenig toxisch und gut hautverträglich. Aufgrund dieser Eigenschaften werden sie bevorzugt in Shampoos und Geschirrspülmitteln eingesetzt. Auch in Feinwaschmitteln gelangen sie häufig zur Anwendung.

Amphotenside	Anwendungen (Beispiele)	Gebräuchliche Abkürzung
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_n-\text{N}^{\oplus}-\text{CH}_2-\text{COO}^{\ominus} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ <p>Alkylbetain $n = 11 \text{ bis } 13$</p>	Handgeschirrspülmittel, nur in wenigen Spezialwaschmitteln	Betain
$\begin{array}{c} \text{OH} \quad \text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{H}_3\text{C}^+(\text{CH}_2)_n-\text{C}-\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{N}^{\oplus}-\text{COO}^{\ominus} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ <p>Alkylamidopropylbetain $n = 11 \text{ bis } 13$</p>	Shampoos, Badepräparate, Handgeschirrspülmittel	Betain

Abb. 2.24 Amphotere Tenside in Wasch- und Reinigungsmitteln.

Literatur

- 1 Persönliche Mitteilungen, Dr. Claus-D. Hager, Sasol AG, 2009.
- 2 Hill, K.: Alkylpolyglucosides – Where „green“ meets performance. *SÖFW-Journal* 135 (2009), H. 1–2, 6–14.
- 3 Hauthal, H. G./Wagner, G.: *Reinigungsmittel und Pflegemittel im Haushalt – Chemie, Anwendung, Ökologie und Verbrauchersicherheit*. Verlag für chemische Industrie, Aktualisierte Ausgabe, Augsburg 2007.

Weiterführende Literatur

- Kosswig, K. und Stache, H.: *Die Tenside*. Hanser Fachbuchverlag, München 1993.
- Kosswig, K.: Surfactants. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Volume A 25, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1994.
- Hill, K., von Rybinski, W., Stoll, G.: *Alkyl Polyglycosides – Technology, Properties and Applications*. Verlag VCH, Weinheim 1997.
- Lange, K. R. (Hrsg.): *Surfactants – A Practical Handbook*. Hanser Verlag, München 1999.

3

Eigenschaften der Tenside

3.1

Anordnung von Tensiden an Phasengrenzflächen

Alle Tenside haben eine charakteristische Molekülstruktur, auf die sich ihre Waschaktivität zurückführen lässt – einen langen hydrophoben, wasserabweisenden Kohlenwasserstoffrest und eine hydrophile, wasserliebende Molekülgruppe. Aus dieser besonderen Struktur resultiert die Eigenschaft der Tenside, sich bevorzugt an Grenzflächen anzureichern. Die Anordnung an Phasengrenzflächen ist für Tenside energetisch günstig, denn der hydrophobe und hydrophile Molekülteil des Tensids kann sich dort so orientieren, dass molekulare Abstoßungskräfte mit der jeweiligen Phase minimiert und molekulare Anziehungskräfte maximiert werden. Diese *Grenzflächenaktivität* unterscheidet die Tenside von anderen Stoffgruppen.

Unter einer Grenzfläche versteht man ganz allgemein die Grenze zwischen zwei nicht mischbaren Phasen, wobei für den Waschvorgang die in Abb. 3.1 gezeigten Grenzflächen von besonderer Bedeutung sind.

Aus der Grenzflächenaktivität leiten sich charakteristische und außergewöhnliche, für Tenside spezifische Eigenschaften ab:

- Tenside setzen die Oberflächenspannung des Wassers herab;
- Tenside bilden in wässriger Lösung Micellen aus;
- Tenside besitzen ein Schaumvermögen;
- Tensidlösungen benetzen hydrophobe Flächen;
- Tenside besitzen ein Schmutzablösevermögen, genannt *Primärwaschvermögen*;
- Tenside besitzen ein Dispergier- und Schmutztragevermögen, genannt *Sekundärwaschvermögen*.

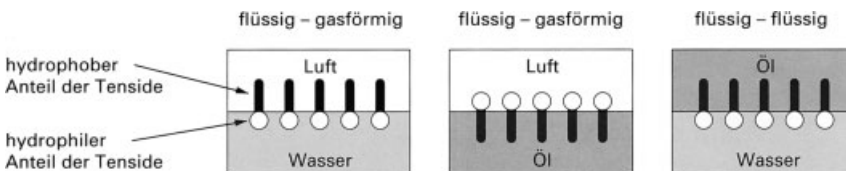


Abb. 3.1 Orientierung von Tensiden an Phasengrenzflächen.

Der Waschvorgang ist aus naturwissenschaftlicher Sicht ein sehr komplizierter Prozess, der in den folgenden Kapiteln genauer erklärt werden soll, wobei hier betont werden muss, dass nur die wichtigsten Aspekte angesprochen werden können und an einigen Stellen vereinfacht wurde.

3.2

Das Verhalten von Tensiden in wässriger Lösung

3.2.1

Herabsetzung der Oberflächenspannung des Wassers durch Tenside

Betrachtet man einen Wassertropfen auf einer Glasplatte aus der Sicht eines Physikers, der die im Tropfen herrschenden Kräfte untersucht, so entsteht ein erstaunlich komplexes System. Die zwischen den Molekülen herrschenden Anziehungskräfte (Wasserstoffbrückenbindungen) wirken im Inneren der Flüssigkeit gleichmäßig nach allen Seiten und kompensieren sich dadurch gegenseitig. An der Oberfläche fehlt dagegen die Komponente, die aus der Flüssigkeit heraus in die umgebende Gasphase weist. Es wirkt auf die Oberflächenmoleküle deshalb eine resultierende Kraft, die ins Innere der Flüssigkeit gerichtet ist (Abb. 3.2).

Als Folge davon hat ein Wassermolekül an der Oberfläche einen ungünstigeren Energiezustand als im Inneren der Flüssigkeit. Eine Wasserportion wird daher immer eine möglichst kleine Oberfläche auszubilden versuchen. Wirken keine weiteren Kräfte, so ist dies die Kugelform. Unter der Einwirkung zusätzlicher Kräfte (Schwerkraft, Wechselwirkung mit Unterlage) entsteht die typische Tropfenform.

Wird die Oberfläche des Wassers vergrößert, so ordnen sich mehr Moleküle dort an. Da dies für die Wassermoleküle energetisch ungünstig ist, muss für diesen Vorgang Arbeit verrichtet werden: Je größer der Flächenzuwachs, je größer die verrichtete Arbeit.

Aus dieser Überlegung lässt sich die Definition der Oberflächenspannung ableiten:

$$\text{Oberflächenspannung} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Fläche}} \left(\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}} \right)$$

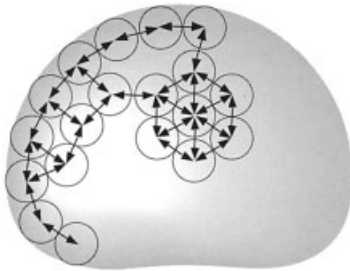


Abb. 3.2 Kräfteverteilung im Wassertropfen.

Die Einheit der Oberflächenspannung wird häufig in mN/m (Millinewton pro Meter) angegeben. Die Größe der Oberflächenspannung hängt im Wesentlichen von der Stärke der Anziehungskräfte zwischen den Flüssigkeitsmolekülen ab. Diese Kräfte werden in ihrer Summe als Kohäsionskräfte bezeichnet. Wasser hat infolge der hohen Polarität der Wassermoleküle und der dadurch bedingten starken Wasserstoffbrückenbindungen eine sehr große Oberflächenspannung. Quecksilber hat einen noch wesentlich höheren Wert, den größten Wert aller Flüssigkeiten überhaupt, weil dort die sehr starke metallische Bindung zwischen den Atomen wirkt. Zwischen Molekülen unpolarer Flüssigkeiten, z. B. Hexan, Benzol oder Diethylether, wirken dagegen relativ schwache Van-der-Waals-Kräfte. Entsprechend gering ist die Oberflächenspannung dieser Substanzen. Ethanol hat trotz vorhandener Wasserstoffbrückenbindungen eine relativ geringe Oberflächenspannung. Die im Verhältnis zur OH-Gruppe größere unpolare Alkylgruppe verhindert eine räumliche Vernetzung der Wasserstoffbrückenbindungen, wie sie z. B. bei Wassermolekülen gegeben ist. Oberflächenspannung einiger Flüssigkeiten gegen Luft (bei 20 °C):

Quecksilber	470 mN/m
Wasser	73 mN/m
Ethanol	23 mN/m
Benzol	29 mN/m
n-Hexan	18 mN/m
Diethylether	17 mN/m

Wird ein Fremdkörper, z. B. eine Stecknadel oder ein Wasserläufer, auf die Wasseroberfläche gebracht, so sinkt er nicht unbedingt unter, auch wenn seine Dichte viel größer als die des Wassers ist. *Wasser scheint eine Haut zu haben.*

Zum Absinken muss vorübergehend die Oberfläche des Wassers vergrößert werden – ein Vorgang, der Arbeit erfordert. Da die Oberflächenspannung beim Wasser verhältnismäßig groß ist, können auch Gegenstände großer Dichte auf der Oberfläche gehalten werden.

Wird ein Tensid in Wasser gelöst, so verhält es sich grundsätzlich anders als zum Beispiel Kochsalz. Die Tensidmoleküle verteilen sich nicht gleichmäßig in der Lösung, sondern es bildet sich an der Oberfläche eine monomolekulare Tensidschicht im Gleichgewicht mit gelösten Molekülen aus (Abb. 3.3).

Dieser Zustand ist für die Tensidmoleküle energetisch am günstigsten. Der hydrophile Molekülteil ragt dabei in Richtung wässriger Lösung. Die Grenzfläche Wasser-Luft besteht nun aus hydrophoben Kohlenwasserstoffresten, die darunter liegende Schicht je nach Art des Tensides aus hydratisierten ionischen oder nicht-ionischen Molekülanteilen. Die Tensidmoleküle haben aufgrund des energetisch günstigen Zustands an der Wasseroberfläche die Triebkraft, diese Oberfläche zu vergrößern und erzeugen dadurch einen nach außen gerichteten (2-dimensionalen) Oberflächendruck, welcher der Oberflächenspannung des Wassers entgegengesetzt ist und diese dadurch um einen gewissen Betrag verringert. Dieses Verhalten erklärt die Herabsetzung der Oberflächenspannung durch Tenside. Der Rückgang der Oberflächenspannung ist bei allen in Waschmitteln verwendeten

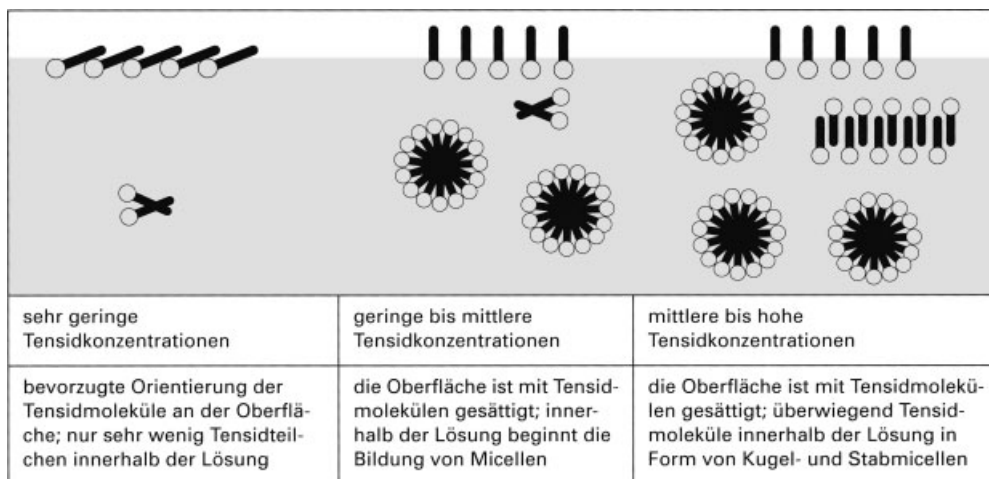


Abb. 3.3 Orientierung von Tensidmolekülen in wässriger Lösung.

Tensid	Oberflächenspannung In mN/m	kritische Micellbildungskonzentration cmc in g/L
Seife (Kali-Seife)	25,5	0,35
Lineares Alkylbenzolsulfonat (LAS)	35	0,5
Alkansulfonat (SAS)	34,5	0,44
Fettalkoholsulfat (FAS) (C ₁₂ -Alkylrest)	39	2,3
Fettalkoholethersulfat (FAES)	36,5	0,17
Fettalkoholethoxylat (FAEO mit 6 Ethylenoxid-Einheiten)	30,5	0,008
Alkylpolyglucosid (APG) (C ₁₂ /C ₁₄ -Alkylrest)	25	0,02

Abb. 3.4 Oberflächenspannung und kritische Micellbildungskonzentration (CMC).

Tensiden ähnlich. Oberflächenspannungen von Tensidlösungen liegen im Bereich von 25– 40 mN/m (Abb. 3.4). Reines Wasser hat eine Oberflächenspannung von 73 mN/m.

3.2.2

Micellbildung von Tensiden

Schon eine geringe Menge Tensid in Wasser gegeben reicht aus, um die Oberfläche und vorhandene Grenzflächen, z. B. die Gefäßwandungen, vollständig zu belegen. Wird weiteres Tensid zugegeben, so können sich die Tensidmoleküle nicht mehr an der Oberfläche anordnen und beginnen, sich innerhalb der Lösung zu

Micellen (lat.: *mica* = Körnchen) zusammenzuschließen. Dies sind Teilchenverbände von 50 bis 1.000 Molekülen mit unterschiedlicher Form.

Innerhalb der Micelle ordnen sich die Tensidmoleküle so an, dass ihr hydrophiler Anteil in Richtung wässriger Lösung ragt, ihr hydrophober Anteil untereinander assoziiert ist (Abb. 3.3). Tensidmoleküle innerhalb der Micelle stehen in einem dynamischen Gleichgewicht mit einzelnen Tensidmolekülen in der Lösung und an der Oberfläche. Micellen sind daher keine starren Gebilde, sondern unterliegen einer permanenten Veränderung.

Es gibt Unterschiede in der Micellgröße und -form bei ionischen und nichtionischen Tensiden. Bei ionischen Tensiden sind die hydrophilen Kopfgruppen durch das fester gebundene Hydratwasser, das bei der Abschätzung der relativen Molekülgröße immer mit berücksichtigt werden muss, relativ groß. Weiterhin kommt es zu elektrostatischen Abstoßungskräften der ionischen Kopfgruppen untereinander. Daraus ergeben sich in der Regel relativ kleine kugelförmige Micellen mit 50 bis 100 Molekülen als günstigste Anordnung.

Die Micellen der nichtionischen Tenside sind durch ein anderes relatives Größenverhältnis von hydrophobem und hydrophilem Molekülanteil zueinander gekennzeichnet. Die Hydrathülle ist weniger fest gebunden und durch die fehlende ionische Ladung können sich die hydrophilen Molekülanteile der Tensidmoleküle stärker annähern. Als Folge davon sind Micellen aus nichtionischen Tensiden größer, sie enthalten 100 bis 1.000 Moleküle, und nicht so sehr kugelförmig, sondern überwiegend zylindrisch aufgebaut.

Die Form der Micellen hängt u. a. auch von der Tensidkonzentration ab. In verdünnten Tensidlösungen bilden sich bevorzugt Kugelmicellen (ionische Tenside) oder zylindrische Micellen (nichtionische Tenside). Bei höherer Tensidkonzentration formieren sich größere stabförmige Micellen (Abb. 3.3). Steigt die Tensidkonzentration noch weiter an, kommt es zu Assoziationen der Micellen untereinander und es können sich flüssigkristalline Phasen ausbilden. Dabei steigt die Viskosität stark an. Die Tensidlösung wird sehr dickflüssig und pastenförmig.

Für jedes Tensid gibt es eine spezifische Konzentration, oberhalb derer die Micellbildung beginnt. Man bezeichnet diese Konzentration als *kritische Micellbildungskonzentration* (CMC). Die kritische Micellbildungskonzentration hängt stark von der Struktur der Tenside ab. Aufgrund ihrer Ladung stoßen sich ionische Tensidmoleküle gegenseitig ab. Die Micellbildung setzt daher bei ihnen erst bei einer recht hohen Konzentration ein. Nichtionische Tenside tragen keine Ladung, so dass ihre Micellbildungskonzentration wesentlich geringer ist (Abb. 3.4). Dies hat zur Folge, dass Grenzflächenaktivität und Schaumbildung bei Niotensiden schon bei sehr geringen Konzentrationen einsetzen.

Die Micellbildungskonzentration ist eine wichtige physikalische Größe zur Charakterisierung der Tenside. Oberhalb der kritischen Micellbildungskonzentration liegen Tensidlösungen als kolloidale Lösungen vor, unterhalb als „echte“ (molekulare) Lösungen. Viele Eigenschaften von Tensidlösungen, z. B. Waschwirkung, Emulgiervermögen u. a., kommen erst oberhalb der kritischen Micellbildungskonzentration voll zum Tragen.

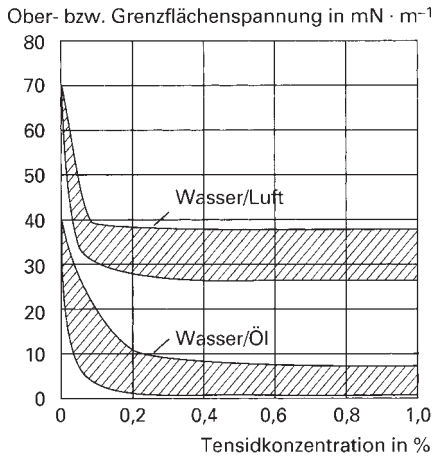


Abb. 3.5 Oberflächenspannung bzw. Grenzflächenspannung gegen Mineralöl als Funktion der Tensidkonzentration in wässriger Lösung. Die schraffierten Flächen kennzeichnen den jeweiligen Schwankungsbereich bei Verwendung unterschiedlicher Tenside.

Die kritische Micellbildungskonzentration (CMC) lässt sich u. a. bestimmen, indem man die Oberflächenspannung einer Tensidlösung in Abhängigkeit von der Konzentration misst. Oberhalb der CMC bleibt die Oberflächenspannung, unabhängig von der Tensidkonzentration, konstant (Abb. 3.5). Auch andere physikalische Eigenschaften einer Tensidlösung, z. B. die Lichtstreuung, die Leitfähigkeit, der osmotische Druck u. a., verhalten sich ähnlich, d. h. die entsprechenden Größen ändern, als Funktion der Tensidkonzentration betrachtet, oberhalb der kritischen Micellbildungskonzentration ihre Steigung oder werden dort konzentrationsunabhängig. Messungen der Lichtstreuung, der Leitfähigkeit oder anderer physikalischer Eigenschaften von Tensidlösungen können daher ebenfalls zur Bestimmung der CMC herangezogen werden.

3.2.3

Schaumbildung von Tensidlösungen

Bringt man durch mechanische Bewegung einer wässrigen Tensidlösung, z. B. durch kräftiges Schütteln, Luft in die Tensidlösung ein, entstehen Schaumblasen. Beim Stehenlassen bildet sich auf der Tensidlösung eine metastabile Schaumschicht, die über einen mehr oder weniger langen Zeitraum bestehen bleibt.

Die Vorgänge auf molekularer Ebene, die zur Bildung, Stabilisierung und Zerstörung von Schaumblasen führen, zeigt Abb. 3.6 am Beispiel eines anionischen Tensides.

Voraussetzung für die Bildung einer Schaumblase ist eine *Tensiddoppelschicht*, die durch eine dünne Schicht Wasser voneinander getrennt ist. Diese Doppelschicht wird Lamelle genannt. Volumen und Stabilität des Schaumes hängen in teilweise komplizierter Weise von mehreren Einflussgrößen ab, z. B.

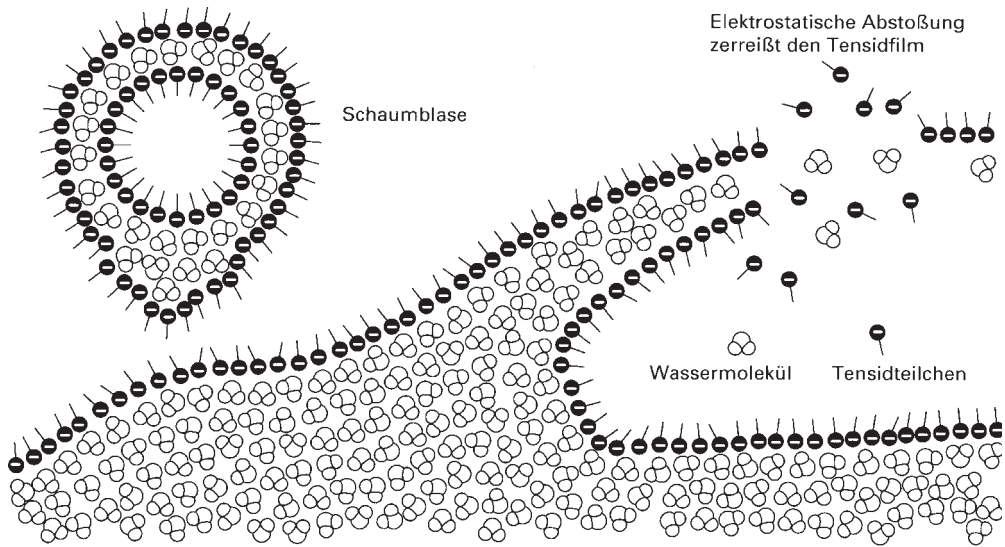


Abb. 3.6 Mechanismus der Schaumbildung (modellhafte Darstellung für anionische Tenside).

- begünstigt eine schnelle Diffusion der Tensidmoleküle an die Oberfläche die Schaumbildung;
- begünstigt eine möglichst geringe Oberflächenspannung die Schaumbildung;
- erhöhen möglichst elastische Lamellen die Schaumstabilität;
- erhöhen starke Anziehungskräfte (Van-der-Waals-Kräfte) zwischen den Tensidmolekülen die Schaumstabilität;
- bewirken elektrostatische Abstoßungskräfte zwischen anionischen Tensidmolekülen ein leichtes Zerreißen des Tensidfilms (Abb. 3.6);
- verringert Wasserhärte die Schaumstabilität bei anionischen Tensiden.

Durch die unterschiedliche Gewichtung dieser Effekte ist erklärbar, dass das Schaumverhalten von Tensiden oder Tensidmischungen sehr verschieden ausfallen kann. Anionische Tenside und hier besonders die Fettalkoholethersulfate (FAES) schäumen meist stark, nichtionische Tenside sind allgemein schaumärmer. Durch die geeignete Auswahl der Tenside kann das Schaumverhalten dem jeweiligen Verwendungszweck angepasst werden:

- In *Vollwaschmitteln* ist Schaumarmut im Temperaturbereich von 30 °C bis 95 °C erwünscht. Dies lässt sich durch zugesetzte Schauminhhibitoren (z. B. Siliconöle) erreichen, die die Elastizität der Lamellen herabsetzen. Gebildete Schaumblasen sind nicht stabil und platzen.
- Bei *Wollwaschmitteln*, *Schaumreinigern*, *Shampoos* und anderen Reinigungsmitteln ist ein stabiler, kleinblasiger Schaum erwünscht. Dies kann durch sogenannte Schaumbooster, z. B. die Fettsäureethanolamide, erreicht werden, die die Lamellen stabilisieren.

- Für bestimmte Anwendungen, z. B. Klarspüler oder industrielle Reiniger, werden schaumarme Tenside eingesetzt, deren Schaum sehr schnell zerfällt. Geeignet dafür sind spezielle nichtionische Tenside.

3.2.4

Das Benetzungsvermögen von Tensidlösungen

Für den Waschprozess ist der Einfluss der Tenside auf die Grenzflächen Wasser-Öl (flüssig-flüssig), Wasser-Faser (flüssig-fest) und Schmutz-Faser (flüssig-fest oder fest-fest) von entscheidender Bedeutung. In diesen Fällen muss die Grenzflächenspannung zwischen den beiden entsprechenden Phasen betrachtet werden.

Grenzfläche flüssig-flüssig

Öffnet man unter Wasser ein enghalsiges, mit unpolarem Öl gefülltes Fläschchen, so tritt dieses Öl nicht aus der Flasche aus, obwohl es aufgrund der geringen Dichte zur Wasseroberfläche treiben müsste. Die Vergrößerung der Oberfläche zwischen den beiden Phasen erfordert mehr Energie, als mittels Schwerkraft zur Verfügung gestellt werden kann. Zwischen Wasser und Öl besteht offensichtlich eine große Grenzflächenspannung. Die Ursache dafür ist (wie bei der Oberflächenspannung) die starke Wasserstoffbrückenbindung zwischen den Wassermolekülen. Wird durch Zugabe einer Tensidlösung die Grenzflächenspannung der wässrigen Phase verringert, steigt das Öl spontan zur Oberfläche (Abb. 3.7).

Eine große Differenz zwischen den Oberflächenspannungen, dies ist bei Wasser-Öl der Fall, hat auch eine große Grenzflächenspannung zur Folge. Durch ihr Vermögen, die Oberflächenspannung des Wassers herabzusetzen, verringern Tenside die Grenzflächenspannung zwischen Wasser und Öl erheblich (Abb. 3.5).

Im Grenzfall, wenn die Oberflächenspannung zweier Phasen genau gleich groß ist, wird die Grenzflächenspannung gleich Null, die Grenzfläche verschwindet.

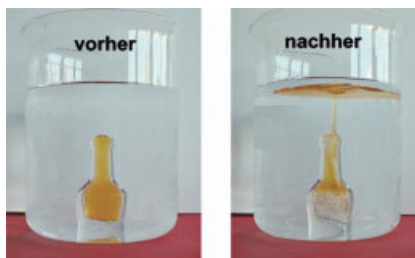


Abb. 3.7 Ölfäschchen in Wasser vor und nach Tensidzugabe.

Grenzfläche flüssig-fest

Bringt man einen Flüssigkeitstropfen auf eine feste Oberfläche, so wird man beobachten, dass sich der Tropfen je nach Art der Oberfläche mehr oder weniger stark auf dieser ausbreitet. Die Flüssigkeit benetzt die feste Oberfläche, wobei der Grad der Benetzung abhängig ist von der Oberflächenspannung der Flüssigkeit und der Struktur des Festkörpers. Unter Benetzung versteht man den Ersatz der Grenzfläche fest-gasförmig durch die Grenzfläche fest-flüssig. Zwischenmolekulare Anziehungskräfte zwischen flüssiger und fester Phase, die Adhäsionskräfte, begünstigen die Benetzung. Eine starke Oberflächenspannung der Flüssigkeit, verursacht durch Kohäsionskräfte, vermindert die Benetzung.

Ein Maß für das Benetzungsvermögen einer Flüssigkeit ist der Randwinkel Θ (Theta) an der Grenze fest-flüssig-gasförmig (Abb. 3.8). Je kleiner dieser Winkel, desto besser der Benetzungsgrad. Für einen effektiven Waschprozess sollte eine möglichst vollständige Benetzung von Schmutz und Faser angestrebt werden. Der Randwinkel Θ muss in diesem Fall möglichst klein sein. Je größer die Anziehungskräfte zwischen einer festen und einer flüssigen Phase sind, desto kleiner ist der Benetzungswinkel Θ .

Zur Abschätzung des Benetzungsgrades der Wäsche durch Waschmittellösungen ist also die Kenntnis der Oberflächenspannung von Festkörper und Flüssigkeit notwendig. Eine geringe Oberflächenspannung der Flüssigkeit und eine hohe Oberflächenspannung des Festkörpers begünstigen eine Benetzung. Weil z. B. Glas eine deutlich höhere Oberflächenspannung als viele Kunststoffe hat, wird Glas von Wasser benetzt, hydrophobe Oberflächen wie Polyester oder Polyamid jedoch nicht. Wird die Oberflächenspannung des Wassers durch Tensidzugabe verringert, so wird die Benetzung hydrophober Flächen stark erleichtert (Abb. 3.9).

Ein einfaches Experiment verdeutlicht den Unterschied. Taucht man eine Kapillare aus Polyethylen und eine weitere aus Glas in Wasser ein, so steigt das Wasser in der Glaskapillare empor, aus der Polyethylenkapillare wird es verdrängt

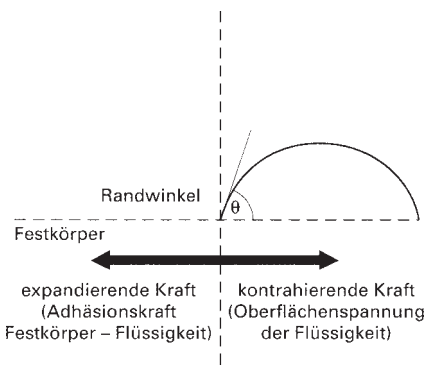


Abb. 3.8 Deutung der Benetzung eines Festkörpers mit Hilfe von zwischenmolekularen Kräften zwischen flüssiger und fester Phase.

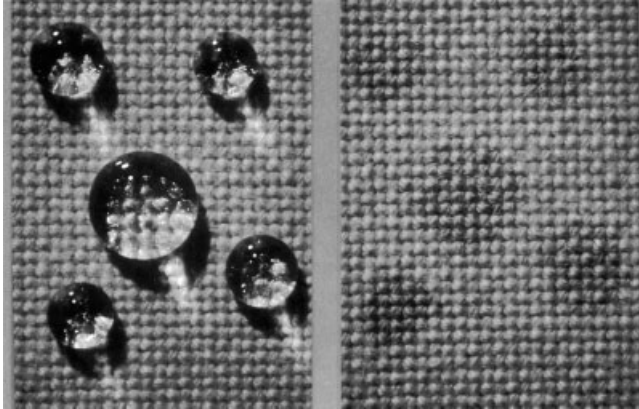


Abb. 3.9 Wassertropfen auf hydrophobem Gewebe vor und nach Tensidzugabe.

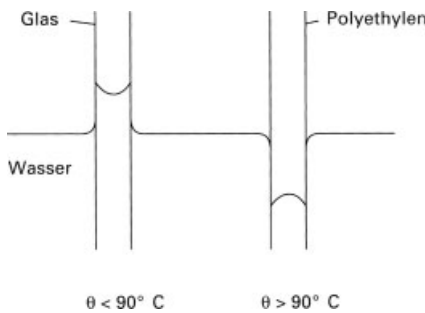


Abb. 3.10 Ansteigen bzw. Absinken einer Wassersäule in einer Kapillare bei Wandmaterialien mit unterschiedlicher kritischer Oberflächenspannung.

(Abb. 3.10). Polyethylen kann hier als Modell für eine hydrophobe Faser, z. B. Polyamid oder Polyester, dienen. Im Fall der Grenzfläche Wasser-Glas ist der Benetzungswinkel Θ kleiner als 90° . Zwischen Glas und Wasser bilden sich Anziehungskräfte aus, das Wasser haftet auf dem Glas. Die schlechte Benetzung von Polyethylen durch Wasser führt zum Absinken der Wassersäule in der Kapillare.

3.3

Die Waschwirkung von Tensiden

Wäscheschmutz ist von sehr heterogener Zusammensetzung (s. Kap. 1.2). Er enthält wasserlösliche und wasserunlösliche Bestandteile und kann sowohl flüssiger wie fester Natur sein. Entsprechend komplex ist der Prozess der Schmutzablösung. Aus Gründen des besseren Verständnisses ist es sinnvoll, die Schmutzablösung für verschiedene idealisierte Schmutzarten gesondert zu betrachten. Hierzu zählen fett- und ölhaltige Substanzen, hydrophober Pigmentschmutz und hydrophile Verschmutzungen.

3.3.1

Schmutzablösung von öl- und fetthaltigem Schmutz

Aufgrund des mehr oder weniger hydrophoben Charakters von Textilgewebe, dies gilt besonders für die synthetischen Fasern, haftet öliger und fetthaltiger Schmutz, der ja ebenfalls hydrophoben Charakter hat, sehr fest auf der Faser. Versucht man, den fetthaltigen Schmutz mit Wasser zu entfernen, so führt dies nicht zum Erfolg.

Taucht man dagegen ein mit Öl verschmutztes Gewebe in eine Tensidlösung, so lösen sich die Öltröpfchen nach einiger Zeit von der Faser (Abb. 3.11).

Der Schmutzablösevorgang lässt sich modellhaft in vier Phasen unterteilen (Abb. 3.12).

Benetzung

Die niedrige Oberflächenspannung der Tensidlösung ermöglicht die vollständige Benetzung von Schmutz und Faser. Bedingt durch die Grenzflächenaktivität der Tensidmoleküle lagern sich diese nun bevorzugt an den Grenzflächen Wasser-Faser und Wasser-Öl an. Sowohl Faser als auch Schmutzteilchen werden von einer monomolekularen Tensidschicht umgeben. Der hydrophile Anteil der Tenside ragt dabei in Richtung wässriger Lösung.

Verminderung der Schmutzhaftung

An der Grenze zwischen Faser und Schmutzteilchen bildet sich durch die Anordnung der Tensidmoleküle eine gleichsinnig geladene hydrophile Schicht aus. Diese Schicht führt zu einer elektrostatischen Abstoßung zwischen Schmutz und Faser. Die Schmutzhaftung wird vermindert, und das Öltröpfchen wird teilweise von der Faser verdrängt. Die hydrophobe Phase (Öl) ist nun durch die wässrige Phase ersetzt worden.

Bei dieser sogenannten *Umnetzung* tritt das Benetzungsvermögen des Öltröpfchens in Konkurrenz zu dem der Tensidlösung. Je geringer also die Oberflächenspannung der Tensidlösung ist, desto effektiver wird die Umnetzung ablaufen.

Ablösen des Schmutzes von der Faser

Die vollständige Umnetzung läuft im Allgemeinen nicht spontan ab. Zur restlosen Entfernung des Öltröpfchens von der Faser ist noch mechanische Bewegung notwendig. Eine wirkungsvolle Bewegung der Wäsche während des Waschvorganges bestimmt daher den Wascherfolg ganz wesentlich mit.

Halten des Schmutzes in der Lösung

Für einen effektiven Reinigungsvorgang genügt es nicht, den Schmutz mehr oder weniger kurzfristig von der Faser zu lösen. Es muss verhindert werden, dass sich einmal abgetrennter Schmutz erneut an anderer Stelle auf der Faser wieder absetzen kann. Tenside sind in der Lage, durch ihre Grenzflächenaktivität ein Schmutztragevermögen auszubilden. Dies geschieht, indem sie eine hydrophile Schicht um das von der Faser gelöste Öltröpfchen bilden. Dadurch wird

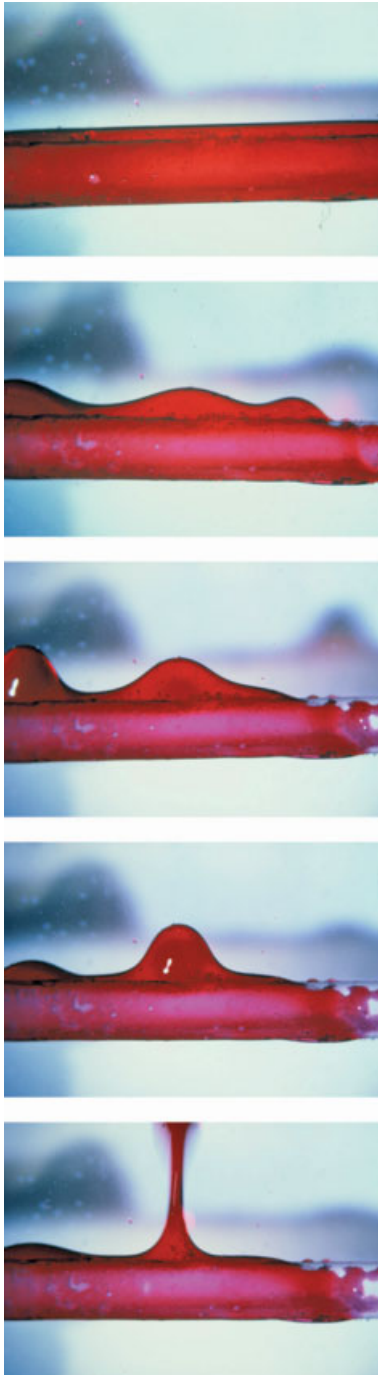


Abb. 3.11 Ablösung einer öligen Anschmutzung von einer Textilfaser (wegen besserer Kontraste rot eingefärbt).

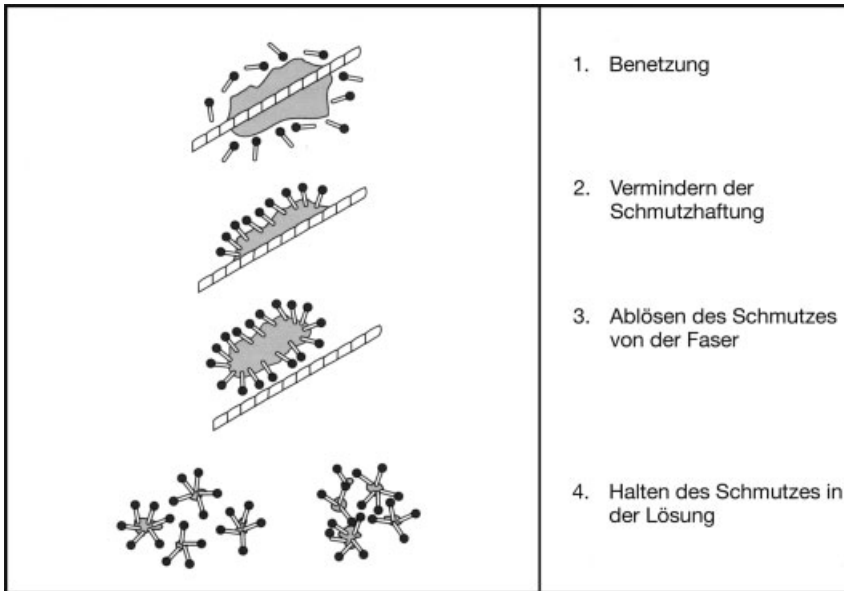


Abb. 3.12 Ablösung einer öligen Anschmutzung von einer Textilfaser im Modell.

die Grenzflächenspannung zwischen Öl und Wasser soweit herabgesetzt, dass die Öltröpfchen in ihrer Form stabil bleiben. Eine weitere Stabilisierung wird durch die gleichsinnige elektrische Aufladung der Tröpfchen erreicht, die durch die Anordnung der ionischen Tenside entsteht (Abb. 3.13). Dies führt zu Abstoßungskräften der Öltröpfchen untereinander. Sie können sich nicht zu größeren Aggregaten vereinigen, die sich dann auf dem Gewebe niederschlagen.

Nichtionischen Tensiden fehlt ein stabilisierender Effekt durch die elektrische Aufladung. Aber auch sie besitzen ein Schmutztragevermögen. Ursache dafür ist die Hülle aus hydratisierten hydrophilen Gruppen der Tensidmoleküle, die die Öltröpfchen umgibt. Diese hydrophile Sperrschicht verhindert ein Zusammenfließen der Tröpfchen. Tenside können eine einmal gebildete Emulsion für längere Zeit stabilisieren. Eine Eigenschaft, die nicht nur für den Waschvorgang von Bedeutung ist, sondern ebenfalls in der Pharmazie, Lebensmitteltechnologie, Kosmetik und in biologischen Systemen genutzt wird. Auf ähnliche Weise stabilisieren Tenside auch Suspensionen. Ganz allgemein spricht man in diesem Zusammenhang vom Dispergiervermögen der Tenside. Als *Dispersion* bezeichnet man eine feine Verteilung fester, flüssiger oder gasförmiger Teilchen in einer kontinuierlichen Phase anderer Zusammensetzung. Eine *Suspension* ist eine Dispersion fester Teilchen in einer Flüssigkeit, eine *Emulsion* eine Verteilung feinsten Tropfen einer Flüssigkeit in einer anderen Flüssigkeit. Dispersionen neigen aufgrund ihrer hohen Grenzflächenenergie dazu, sich zu trennen. Es handelt sich um einen metastabilen Zustand.

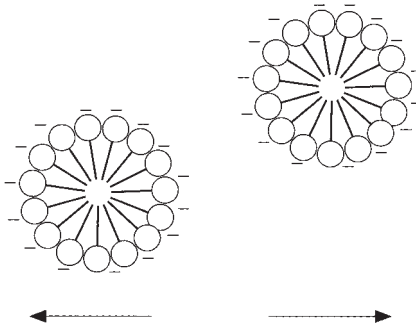


Abb. 3.13 Abstoßungseffekt zwischen gleichsinnig geladenen Öltröpfchen, die von einer Hülle aus anionischen Tensiden umgeben sind.

Unterschiede im Dispergier- und Schmutztragevermögen der Tenside zeigen sich erst nach mehrmaligem Waschen in Form von erhöhter Ablagerung von Substanzen auf dem Gewebe (Inkrustierung und Vergrauung). Das Dispergier- und Schmutztragevermögen der Tenside wird deshalb *Sekundärwaschvermögen* genannt, im Gegensatz zum reinen Schmutzablösevorgang, dem *Primärwaschvermögen*.

Mikroemulsionen

Während der Entfernung ölgiger Anschmutzungen können sich aus den drei Komponenten Wasser, Tensid und Öl unter geeigneten Bedingungen Mikroemulsionen bilden. Diese Mikroemulsionen zeichnen sich durch eine extrem niedrige Grenzflächenspannung sowie ein hohes Solubilisierungsvermögen gegenüber öllöslichen und wasserlöslichen Komponenten aus. Sie unterstützen damit in besonderer Weise die Schmutzentfernung. Die Bildung von Mikroemulsionen ist sehr stark vom Tensidtyp, von der Art des Öls und von der Temperatur abhängig. Der direkte Einsatz von Mikroemulsionen als Waschmittel erfolgt bisher nicht, da hierfür hohe Tensidkonzentrationen notwendig sind.

3.3.2

Schmutzablösung von Pigmentschmutz

Grundsätzlich müssen während des Reinigungsprozesses die zwischen Schmutz und Faser wirkenden Anziehungskräfte überwunden werden, um den Schmutz abzulösen. Bei Pigmentanschmutzungen sind diese Kräfte in starkem Maße vom Abstand und den elektrischen Potentialen von Faser und Schmutz sowie

von der Größe der Schmutzteilchen abhängig. Bei Pigmentschutz wirken mehrere physikalische Vorgänge an der Schmutzablösung mit.

In wässriger Lösung besitzen Schmutz und Faser eine mehr oder weniger große negative elektrische Ladung. Diese Aufladung wird elektrokinetisches Potential oder Zeta-Potential (ζ -Potential) genannt. Die Oberflächenladung beruht auf der Adsorption von Ionen und/oder der Dissoziation von Oberflächengruppen, beispielsweise Carboxylgruppen. Die Aufladung führt zu einer elektrischen Abstoßung zwischen Schmutz und Faser und Schmutzteilchen untereinander und begünstigt die Schmutzablösung (Abb. 3.14).

Durch die Adsorption von Ionen und die Dissoziation an der Oberfläche tritt eine pH-Abhängigkeit der elektrischen Oberflächenladung ein. Je höher der pH-Wert der Lösung ist, desto mehr Hydroxid-Ionen (OH^-) werden adsorbiert und desto mehr saure Gruppen dissoziieren. Die negative elektrische Oberflächenladung wird stärker und damit auch die Abstoßung zwischen Schmutz und Faser. Dies erklärt, warum eine alkalische Lösung, z. B. Sodalösung, auch ohne Zusatz von Tensiden eine gewisse Reinigungswirkung zeigt.

In Gegenwart von Tensiden werden sowohl Schmutzteilchen als auch Faser von einer monomolekularen Schicht von Tensiden umgeben. Daraus resultiert (bei anionischen und nichtionischen Tensiden) eine gleichsinnig geladene hydrophile Oberfläche, welche die durch das Zeta-Potential hervorgerufenen elektrostatischen Abstoßungskräfte zwischen Schmutzteilchen und Faser verstärkt. Die Schmutzablösung wird also in Gegenwart von Tensiden auch bei Pigmentschutz erheblich erleichtert. Wenn das Schmutzteilchen allerdings hydrophil, d. h. sehr polar ist oder ionische Eigenschaften hat, ist die schmutzablösende Wirkung von Tensiden nur sehr gering.

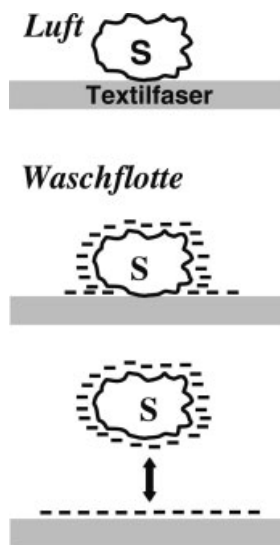


Abb. 3.14 Durch elektrostatische Abstoßungskräfte wird die Schmutzablösung in alkalischer Lösung erleichtert (S = Schmutzteilchen).

3.3.3

Schmutzablösung von stark polarem Schmutz

Wäscheschmutz ist so verschiedenartig, dass Tenside allein nicht in jedem Fall die notwendige Reinigungswirkung entfalten können. Bei der Ablösung hydrophiler Anschmutzungen von der Faser sind sie praktisch wirkungslos. Soweit der Schmutz wasserlöslich ist, stellt die Schmutzablösung auch kein Problem dar. Zur Ablösung von wasserunlöslichem hydrophilem oder stark polarem Schmutz benötigt man dagegen Waschlösungsmittel, die eine Reinigung unterstützen:

- Wasserunlöslicher, polarer Pigmentschmutz, z. B. Gartenerde, lässt sich in Gegenwart mehrwertiger Anionen, dazu zählen Carbonat-Ionen oder wasserlösliche Silicat-Ionen, von der Faser ablösen.
- Calciumhaltige Anschmutzungen erfordern die Anwesenheit von Komplexbildnern oder Ionenaustauschern. Durch sie wird die Konzentration von Calcium-Ionen in der wässrigen Lösung gesenkt. Aus Gründen des chemischen Gleichgewichts kann sich nun ein Teil des Calciums von der Faser lösen und in die wässrige Phase übergehen. Der Schmutzverband wird dadurch aufgelockert und die Schmutzbeseitigung erleichtert.
- Zur Beseitigung von proteinhaltigem Schmutz werden in Waschmitteln Enzyme (Proteasen) eingesetzt.
- Stärkehaltiger Schmutz lässt sich durch Amylasen entfernen.
- Oxidierbare Anschmutzungen können durch Bleichmittel entfernt werden.

3.3.4

Tensidmischungen

Der Waschvorgang ist aufgrund der intensiven Bewegung während des Waschens ein typischer Nichtgleichgewichtsprozess. Durch die Bewegung der Textilien und des Wassers verändern sich permanent die Grenzflächen. Die typische Zeitskala, auf der diese Grenzflächen gebildet werden, ist im Allgemeinen kürzer als die Zeitskala, auf der die Adsorption der Tenside stattfindet. Dadurch können sich keine Adsorptionsgleichgewichte ausbilden. Die Adsorptions- und Diffusionskinetik der Tenside spielt dementsprechend für die Schmutzablösung eine besonders wichtige Rolle, weniger die thermodynamischen Gleichgewichtsprozesse.

Anionische Tenside zeigen in wässriger Lösung eine deutlich höhere Adsorptions- und Diffusionsgeschwindigkeit als nichtionische Tenside, während letztere eine geringere (Gleichgewichts-) Oberflächenspannung zeigen. Die Adsorptionsgeschwindigkeiten reichen von Millisekunden bei ionischen Tensiden bis zu Minuten oder auch Stunden bei manchen nichtionischen Tensiden.

Weiterhin ist die Micelldynamik (Bildung, Auflösung und Veränderung von Micellen) bei anionischen Tensiden wesentlich größer. Bildet man Mischungen von anionischen und nichtionischen Tensiden, so ergänzen sich beide Effekte – geringe Gleichgewichts-Oberflächenspannung bei hoher Dynamik der Tensidmole-

küle –, so dass beim Waschvorgang synergetische Effekte zu beobachten sind. Dementsprechend werden in allen modernen Waschmitteln heute Tensidmischungen aus anionischen und nichtionischen Tensiden eingesetzt.

Der Zusatz kleiner Mengen von speziellen, kurzkettigen Kationtensiden (< 1 %) zu Mischungen von anionischen und nichtionischen Tensiden (ternäre Tensidsysteme) kann einen positiven Effekt auf die Waschkraft entfalten, wenn das Verhältnis von Anion- und Kationtensid entsprechend gewählt wird und das Aniontensid im Überschuss vorliegt. Derartige ternäre Tensidsysteme sind in einigen Waschmitteln zu finden (vgl. Kap. 5.1).

Literatur

Weiterführende Literatur

- | | |
|---|---|
| <p>Hauthal, H. G. und Wagner, G.: <i>Reinigungsmittel und Pflegemittel im Haushalt – Chemie, Anwendung, Ökologie und Verbrauchersicherheit</i>. Verlag für chemische Industrie, aktualisierte Ausgabe, Augsburg 2007.</p> <p>Holmberg, K.: <i>Handbook of Applied Surface and Colloid Chemistry</i>. Wiley-VCH, Weinheim 2001.</p> <p>Kosswig, K.: Surfactants. In: <i>Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry</i>. Volume A 25, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1994.</p> | <p>Kosswig, K. und Stache, H.: <i>Die Tenside</i>. Hanser Fachbuchverlag, München 1993.</p> <p>Lange, K. R. (Hrsg.): <i>Surfactants – A Practical Handbook</i>. Hanser Verlag, München 1999.</p> <p>Rosen, J. M.: <i>Surfactants and Interfacial Phenomena</i>. J. Wiley & Sons, New York 1978.</p> <p>Schmiedel, P. und von Rybinski, W. (2006): Applied theory of surfactants. In Richard J. Farn (ed.) <i>Chemistry and Technology of Surfactants</i>. Blackwell Publishing.</p> |
|---|---|

4

Warenkunde der Waschmittel

4.1

Waschmitteltypen im Überblick

Als Waschmittel (engl.: *detergents*) bezeichnet man Stoffgemische, die in Wasser gelöst der Reinigung von Textilien dienen.

Obwohl die Verbraucher dem Produkt „Waschmittel“ beim Einkauf und bei der Nutzung häufig wenig Aufmerksamkeit widmen, sind die Ansprüche daran und an den Wascherfolg insgesamt heute enorm groß. Dass die Wäsche nach dem Waschen rundum sauber ist, wird als selbstverständlich angesehen. Darüber hinaus erwarten die Verbraucher heute ein möglichst preiswertes Produkt, eine weitgehende Umweltverträglichkeit, umfassende Schonung und Pflege der Textilien, Verbrauchersicherheit in Form von Hautverträglichkeit, Allergiefreiheit und Hygiene sowie häufig noch weiteren Zusatznutzen (s. Kap. 4.7).

Diese Ansprüche an Waschmittel lassen sich nur erfüllen durch eine ständige Weiterentwicklung der Produkte und ein breites Angebot unterschiedlicher Produkttypen und Angebotsformen, optimiert für den gewünschten Einsatzzweck. Dadurch wird erklärlich, dass heute im Supermarkt eine Vielzahl von Produkten und Angebotsformen zu finden sind. Allein auf dem deutschen Markt werden mehrere hundert verschiedene Waschmittel angeboten.

Zu den aktuellsten Entwicklungen gehört die Erweiterung des Anwendungsbereiches der flüssigen und pulverförmigen Waschmittel bei niedrigen Temperaturen (Kalt-Waschgang, 20 °C-Waschgang). Dieser Trend wurde möglich durch Leistungsverbesserungen der Waschmittelinhaltsstoffe im Niedrigtemperaturbereich, insbesondere bei Enzymen. Er ermöglicht deutliche Energieeinsparungen beim Waschen.

Obwohl aufgrund der international agierenden großen Waschmittelhersteller die Rezepturen und Angebotsformen der Waschmittel in Europa immer ähnlicher werden, sind durchaus größere regionale und nationale Unterschiede des Waschmittelangebots in Europa zu beobachten (vgl. Kap. 8.3). Im folgenden Teil werden die deutschen Waschmittel genauer vorgestellt.

Waschmittel lassen sich je nach Einsatzbereich in vier große Produktgruppen unterteilen: Vollwaschmittel, Colorwaschmittel, Feinwaschmittel und Spezialwaschmittel (Abb. 4.1).

Produkttypen	Angebotsformen
<u>Vollwaschmittel</u>	Pulver, Flüssigkeit, Gel, Tabs, Baukastensysteme
<u>Colorwaschmittel</u>	Pulver, Flüssigkeit, Gel, Tabs
<u>Feinwaschmittel</u>	Pulver, Flüssigkeit
<u>Spezialwaschmittel</u> - Wollwaschmittel - Gardinenwaschmittel - Waschmittel für die Handwäsche, Reisewaschmittel - Waschmittel mit Zusatznutzen Parfümfreie Waschmittel, Duftintensiv-Waschmittel, Sensitiv-Waschmittel, Spezialwaschmittel für schwarze oder weiße Wäsche, Bügelerleichterungswaschmittel, Hygiene-Waschmittel, UV-Schutz-Waschmittel, Waschmittel mit Geruchsabsorber	Pulver, Flüssigkeit Pulver, Flüssigkeit Pulver, Paste, Flüssigkeit Pulver, Paste, Flüssigkeit

Abb. 4.1 Klassifizierung der Waschmittel.

Innerhalb jeder Gruppe gibt es dann eine Anzahl unterschiedlicher Angebotsformen mit verschiedenen Leistungsschwerpunkten. Die Voll- und Colorwaschmittel repräsentieren davon die mengenmäßig und wirtschaftlich weitaus bedeutendsten Gruppen der Waschmittel und bilden dementsprechend auch die größte Angebotsvielfalt im Einzelhandel.

Obwohl ein modernes Waschmittel aus über 20 verschiedenen Inhaltsstoffen bzw. Inhaltsstoffgruppen bestehen kann und die genaue Rezeptur eines Waschmittels streng geheim gehalten wird, lässt sich der grundsätzliche Aufbau eines jeden Waschmittels durch vier Funktionsbausteine beschreiben, die in unterschiedlicher Weise zum jeweiligen Produkt kombiniert werden: Tenside, Gerüststoffe (Enthärterssysteme), Bleichmittel, sonstige Inhaltsstoffe.

- *Tenside* sind die zentralen Inhaltsstoffe aller Waschmittel (s. Kap. 2, 3 und 5.1). Die Waschwirkung dieser Substanzen ist ausgezeichnet. Sie allein sind aber nicht in der Lage, alle Arten von Schmutz zu beseitigen. Des Weiteren kann ihre Wirksamkeit durch hartes Wasser beeinträchtigt werden.
- *Gerüststoffe (Enthärterssysteme)* (Kap. 5.2) sind in jedem Waschmittel zu finden, wobei in festen (Pulver, Perlen oder Tabs) und flüssigen Produkten andere Substanzen zum Einsatz kommen. Gerüststoffe beseitigen die störende Wirkung von hartem Wasser und unterstützen darüber hinaus in vielfältiger Weise den Waschprozess.

Bei den Gerüststoffen hat sich in Deutschland ein grundlegender Wandel vollzogen. In den Jahren 1986 bis 1990 sind die lange Zeit gebräuchlichen Waschmittelposphate vollständig durch Enthärterssysteme auf Basis von Zeolithen und anderen Silikaten ersetzt worden. Durch diese Umstellung haben sich die aktuellen Rezepturen der Waschmittel im Vergleich zu früheren Jahren grundsätzlich verändert.

In flüssigen Waschmitteln können Zeolithe und andere Gerüststoffe nicht ohne Probleme verwendet werden. Entweder sind sie aufgrund der Unlöslichkeit schwer einzuarbeiten (Zeolithe) oder sie sind nicht leistungsfähig genug (Citrat). In flüssigen Waschmitteln übernimmt im Allgemeinen die Seife die Aufgabe des Wasserenthärters (s. Kap. 5.1).

- **Bleichmittel** (Kap. 5.4) beseitigen farbige Verschmutzungen sowie Geruch und tragen wesentlich zur Wäschehygiene bei. Sie sind nur in festen Vollwaschmitteln und speziellen Waschhilfsmitteln zu finden.
- Jedes Waschmittel enthält noch eine Anzahl *weiterer Inhaltsstoffe* mit unterschiedlichen Aufgaben, die in den Kapiteln 5.5 und 5.6 näher beschrieben werden. Flüssige Waschmittel enthalten zusätzlich noch *Lösemittel* in Form von Wasser und/oder Alkoholen.

Wie diese Funktionsgruppen zum jeweiligen Waschmitteltyp kombiniert werden, ist in Abb. 4.2 beispielhaft gezeigt an den verschiedenen Angebotsformen der Voll- und Colorwaschmittel. In Anhang 4 sind Rahmenrezepturen wichtiger Waschmitteltypen zu finden, Kapitel 8.4 gibt Hinweise zur Auswahl des richtigen Waschmitteltyps. Im folgenden Teil werden nun die einzelnen Waschmitteltypen und Angebotsformen genauer vorgestellt.

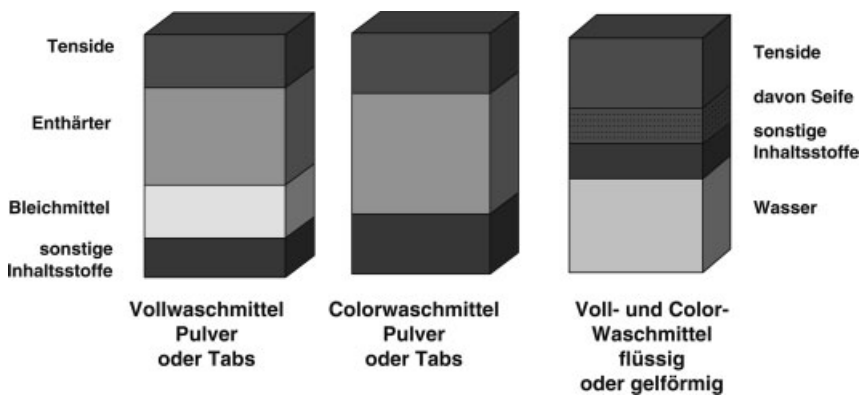


Abb. 4.2 Funktionsbausteine von Voll- und Colorwaschmitteln im Vergleich.

4.2

Vollwaschmittel

Vollwaschmittel, auch als Universalwaschmittel bezeichnet, lassen sich in pulverförmige (Sammelbegriff für Pulver, Granulat oder Perlen), flüssige und portionierte Erzeugnisse (Tabs und Flüssig-Tabs) unterteilen. Die pulverförmigen Produkte bilden davon die wirtschaftlich bedeutendste Gruppe.

Um eine optimale Wirksamkeit zu erreichen, enthalten alle festen Produkte, also Pulver, Perlen, Granulate und Tabs, grundsätzlich Bleichmittel und optische Aufheller. Dagegen fehlen die Bleichmittel in allen flüssigen und gelförmigen Erzeugnissen.

Aufgrund ihrer hohen Alkalität, der Anwesenheit von Bleichmitteln (in festen Produkten) und Enzymen (speziell Proteasen) sind Vollwaschmittel nicht für empfindliche Textilien wie Wolle, Seide oder Feinwäsche geeignet.

4.2.1

Vollwaschmittel, pulverförmig

Vollwaschmittel, insbesondere in fester Form, zählen zu den leistungsstärksten Produkten. Sie eignen sich vor allem für stark verschmutzte und weiße Wäsche und können bei allen Waschtemperaturen eingesetzt werden.

Herkömmliche pulverförmige Vollwaschmittel sind der älteste Waschmitteltyp und seit 1907 (Persil) im Handel. Sie sind bezüglich der Art der Inhaltsstoffe den modernen pulverförmigen Superkompaktwaschmitteln (s. u.) ähnlich, enthalten aber in der Regel geringere Anteile davon sowie häufig einen größeren Anteil an Gerüst- und Füllstoffen (meist Natriumsulfat). Daher benötigen sie gegenüber diesen eine etwas höhere Dosierung pro Waschgang (Abb. 4.3). Durch die meist geringere Schüttdichte ergeben sich allerdings z. T. Vorteile im Löseverhalten, wodurch die Neigung zur Bildung von Zeolithrückständen auf Textilien etwas verringert wird.

1989 kamen die *Kompaktwaschmittel* der ersten Generation mit gegenüber damaligen klassischen Pulvern deutlich verringerter Dosierung pro Waschgang auf den Markt. 1994 folgten dann die noch weiter kompaktierten und mit einer noch niedrigeren Dosierung einsetzbaren *Superkompaktwaschmittel*, auch *Niedrigdosierwaschmittel* oder *Superkonzentrate* genannt. Die Inhaltsstoffe der Superkompaktwaschmittel sind vergleichbar mit denen der herkömmlichen phosphatfreien Vollwaschmittel (s. Anhang 4). Durch eine besonders effektive Rezepturkombination und besonders wirksame Inhaltsstoffe gelingt es, die Dosierungsempfehlung gegenüber den herkömmlichen Vollwaschmitteln und kompakten Produkten der ersten Generation zu reduzieren. Durch moderne Herstellungsverfahren (s. Kap. 7) wird zusätzlich das Litergewicht (die Schüttdichte) des Waschmittels erhöht. Eine Dosierung von 67 g pro Waschgang (5 kg durchschnittlich verschmutzte Wäsche, Wasserhärtebereich II) reicht aus (Abb. 4.3).

Während die Kompaktwaschmittel der ersten Generation seit einigen Jahren vom Markt verschwunden sind, haben sich die Dosierungen der verschiedenen

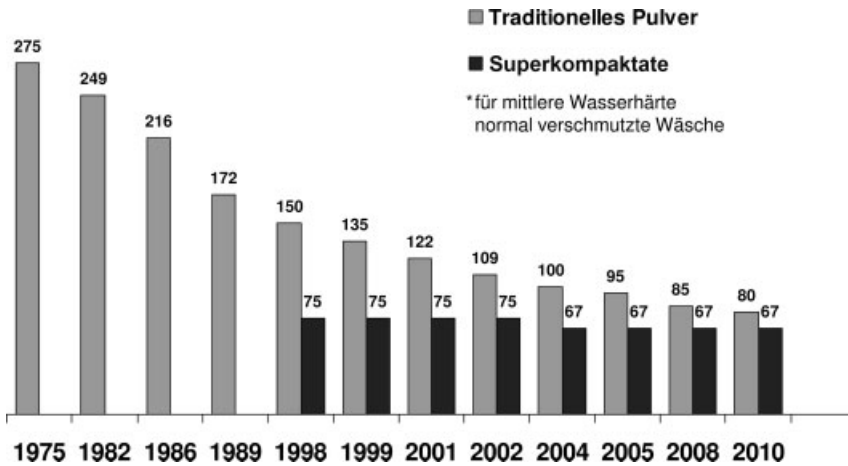


Abb. 4.3 Veränderung der Waschmitteldosierung 1975 bis 2010 in g/Waschgang (normal verschmutzt, Härtebereich II).

Angebotsformen der festen Waschmittel angenähert. Die Dosierung der herkömmlichen Waschmittel konnte durch Rezepturverbesserungen und leistungsfähigere Inhaltsstoffe von 150 g pro Waschgang (durchschnittlich verschmutzte Wäsche, Wasserhärtebereich II) im Jahre 1994 auf 80 g im Jahr 2010 abgesenkt werden (Abb. 4.3). Hilfreich für diese Entwicklung war auch das „Laundry Sustainability Project 2“ der A.I.S.E von 2009, in der sich wichtige europäische Waschmittelhersteller auf freiwilliger Basis auf eine Obergrenze der Waschmitteldosierung von 85 g pro Waschgang verpflichtet haben.

Die herkömmlichen pulverförmigen Vollwaschmittel sind seit 2002 als Kompaktwaschmittel zu bezeichnen, da sie in der Dosierempfehlung den Kompaktwaschmitteln der ersten Generation entsprechen bzw. seitdem noch deutlich darunter liegen. 2010 gibt es also zwei Produktlinien bei pulverförmigen Waschmitteln am Markt, die Kompaktwaschmittel als „Normalware“ und die Superkompaktwaschmittel als Superkonzentrate bzw. Niedrigdosierwaschmittel.

Prinzipiell können sich die Kompaktwaschmittel und die modernen Superkompaktwaschmittel/Niedrigdosierwaschmittel gegenseitig ersetzen. Die Superkompaktwaschmittel vereinigen eine hohe Leistung mit niedriger Dosierung und sind dadurch besonders ressourcenschonend im Sinne eines nachhaltigen Waschens (Kap. 11). Die Kompaktwaschmittel als „Normalware“ zeichnen sich demgegenüber häufig durch einen besonders günstigen Preis aus, erreichen aber nicht immer die Leistungsfähigkeit der Niedrigdosierwaschmittel.

Baukastensysteme sind ebenfalls für den universellen Einsatz erdacht worden. Sie unterscheiden sich von den Vollwaschmitteln durch eine getrennte Anwendung bestimmter Waschmittelkomponenten. Die Mengenverhältnisse werden individuell den Waschbedingungen angepasst. Baukastensysteme bestehen meist aus zwei bis drei Einzelbausteinen. Im *Basiswaschmittel* werden Tenside auf Sei-

fenbasis oder auf Basis moderner Tenside verwendet. Zusätzliche Bausteine sind *separate Wasserenthärter und Bleichmittel*. Nur selten werden mehr als drei Komponenten angeboten, z. B. die „Hobbythek“-Waschmittel. Baukastensysteme haben keine wirtschaftliche Bedeutung.

4.2.2

Vollwaschmittel, flüssig und gelförmig

Erste flüssige Vollwaschmittel kamen in Deutschland 1981 auf dem Markt („Liz“, „Vizir“), in anderen Ländern, z. B. USA, haben sie dagegen schon eine lange Tradition aufgrund der unterschiedlichen Waschgewohnheiten in diesen Ländern (Waschen bei niedrigen Temperaturen, getrennte Dosierung eines Bleichmittels auf Hypochloritbasis).

Flüssige Produkte unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung grundlegend von den pulverförmigen Waschmitteln. Die flüssigen bzw. gelförmigen Waschmittel weisen zwar auch wie pulverförmige Produkte anionische und nichtionische Tenside auf, jedoch in höheren Anteilen und häufig in anderen Mengenverhältnissen. Seifen dienen in flüssigen und gelförmigen Waschmitteln als Wasserenthärter. Bei der Reaktion von Seife mit hartem Wasser bildet sich Kalkseife, die durch nichtionische Tenside dispergiert wird (s. Kap. 5.1). Der Tensidanteil der Flüssigwaschmittel ist dadurch um den Faktor 2 bis 3 höher als in pulverförmigen Produkten (s. auch Anhang 4).

Gerüststoffe (Builder), z. B. Natriumcitrat, kommen nur in geringen Mengen vor. Auch Bleichmittel sind in dieser Produktkategorie nicht anzutreffen, da sie nicht stabil eingearbeitet werden können. Alkohole werden je nach Rezeptur als Lösungsmittel, zur Stabilisierung und Einstellung der Viskosität und Konservierung verwendet. Enzyme, optische Aufheller, Stabilisatoren (Phosphonate) sind in der Regel vorhanden. Der Anteil Wasser in den Rezepturen ist je nach Qualität und Rezepturtyp unterschiedlich.

Die Stärken der flüssigen Vollwaschmittel liegen beim Waschen von synthetischen Fasern und fetthaltigen Anschmutzungen im Temperaturbereich unterhalb 60 °C. Durch die fehlenden Bleichmittel ist die Gewebeschonung gegenüber den festen Produkten größer, bleichbare Flecken können aber kaum entfernt werden. Bei farbiger Wäsche empfiehlt sich die Verwendung von Colorwaschmitteln (Kap. 4.3) anstelle von Vollwaschmitteln, denn durch die Anwesenheit der optischen Aufheller kann es bei empfindlichen Farben unter Umständen zu Farbveränderungen der Wäsche kommen. Insgesamt sind pulverförmige Produkte häufig etwas leistungsfähiger als flüssige Produkte [1].

Gelförmige Vollwaschmittel zeichnen sich durch besonders bequeme Handhabung aus. Weiterhin sind sie sehr gut zur Wäschevorbehandlung und Fleckbehandlung geeignet, wenn sie unverdünnt auf betroffene Textilstücke aufgetragen werden. Die Rezepturen sind ähnlich denen von flüssigen Vollwaschmitteln (Anhang 4), die gelförmige Konsistenz wird erreicht durch eine spezielle Mischung von Tensiden und Polymeren.

Seit 2009 gibt es flüssige Superkonzentrate bei Voll- und Colorwaschmitteln im Markt. Sie haben eine Dosierung von nur noch 37 mL (37 g) gegenüber der Dosierung der Konzentrate von 75 mL (75 g) und der Normalware von ca. 100 mL (100 g).

4.3

Colorwaschmittel

Bereits wenige Jahre nach der Einführung der oben beschriebenen Vollwaschmittel-Kompaktate kamen 1992 die (ebenfalls kompakten) Colorwaschmittel als neue Entwicklungsrichtung auf den Markt. Sie ergänzten das Waschmittelanangebot aufgrund der geänderten Verbrauchergewohnheiten bei den Textilien, denn heute findet man in den Haushalten zu etwa 80 % farbige Kleidung, darunter zunehmend viele leuchtende Farben, die besonders im Bereich der Freizeitbekleidung anzutreffen sind.

Bleichmittel, die in den pulverförmigen Vollwaschmitteln zu finden sind, können empfindliche Textilfarbstoffe schädigen und zum Verblassen der Farben führen. Colorwaschmittel tragen dem Rechnung. Sie enthalten keine Bleichmittel und auch keine optischen Aufheller, weil diese zu Farbveränderungen führen können. Zusätzlich ist meist ein Farbübertragungsinhibitor (s. Kap. 5.6.1.2) enthalten, der einen gewissen Schutz gegen das Verfärben der Textilien bietet, wenn unterschiedlich gefärbte Textilien gemeinsam gewaschen werden. Häufig wird zur Erhaltung der Farbbrillanz auch Cellulase (s. Kap. 5.5) in Colorwaschmitteln eingesetzt. Ebenso wie Vollwaschmittel sind Colorwaschmittel für Wolle und Seide nicht geeignet.

Auch bei den Colorwaschmitteln gibt es verschiedene Angebotsformen: pulverförmige (Pulver, Perlen, Granulate), flüssige, gelförmige und portionierte Erzeugnisse (Tabs). Feste und flüssige Colorwaschmittel sind grundlegend unterschiedlich zusammengesetzt (Rahmenrezepturen s. Anhang 4).

4.3.1

Colorwaschmittel, pulverförmig

Eine durchschnittliche Rezeptur eines pulverförmigen Colorwaschmittels im Vergleich zu einem Vollwaschmittel zeigt Abb. 4.4. Pulverförmige Colorwaschmittel sind aufgrund der höheren Alkalität leistungstärker als die ähnlich zusammengesetzten Feinwaschmittel.

Inhaltsstoffe	Gehaltsangaben in %	
	Colorwaschmittel, Superkompaktat	Vollwaschmittel, Kompaktat
Lineares Alkylbenzolsulfonat (LAS)	15	11
Fettalkoholsulfat (FAS)	5	-
Fettalkoholethoxylat (FAEO)	5	3
Seife	1	1
Zeolith A	30	17
Soda	3	23
Polycarboxylate	3	2
Natriumcitrat	5	-
Natriumsilicat	1	2
Natriumpercarbonat	-	13
Tetraacetylenhydylendiamin (TAED)	-	3
Enzyme Proteasen	+	+
Lipasen	+	+
Amylasen	+	+
Mannanasen	+	+
Cellulasen	+	+
Phosphonate	1	1
Siliconöl/Paraffinöl (Schaum- inhibitoren)	0.5	0.5
Carboxymethylcellulose	1	0,5
Optische Aufheller	-	+
Farbübertragungsinhibitoren (PVP und PVP-Derivate)	0,5	-
Soil-release-Polymere	+/-	+/-
Duftstoffe	< 0.5	< 0.5
Farbstoff	+/-	+/-
Natriumsulfat (produktionsbedingt)	5	4
Wasser	Rest	Rest

+ = in geringen Mengen enthalten (< 1 %)
 - = nicht enthalten

Stand: 2009 (Quelle: Henkel AG & Co. KgaA)

Abb. 4.4 Beispielhafte Rezepturen pulverförmiger Waschmittel im Vergleich.

4.3.2

Colorwaschmittel, flüssig und gelförmig

Flüssige und gelförmige Colorwaschmittel sind ähnlich zusammengesetzt wie flüssige Vollwaschmittel. Der Unterschied besteht im Wesentlichen in der Abwesenheit von optischen Aufhellern und der Anwesenheit von Verfärbungsinhibitoren (s. auch Kap. 5.6.1.2).

Im Vergleich mit pulverförmigen Colorwaschmitteln liegen die Stärken der flüssigen und gelförmigen Produkte beim Waschen von synthetischen Fasern

und fetthaltigen Anschmutzungen im Temperaturbereich unterhalb 60 °C. Vorteile haben flüssige Colorwaschmittel gegenüber zeolithhaltigen Pulverprodukten beim Waschen farbintensiver und dunkler bzw. schwarzer Textilien, dafür sind die pulverförmigen Produkte bei der Fleckentfernung leistungstärker.

4.4

Portionierte Waschmittel (Tabs und Flüssig-Tabs)

Tabs und Flüssig-Tabs zeichnen sich durch eine besonders leichte und bequeme Handhabung aus und ersparen das Abmessen und Portionieren des Waschmittels im Dosierbecher. Die Waschleistung der portionierten Produkte entspricht etwa denen der entsprechenden festen oder flüssigen Voll- bzw. Colorwaschmittel. Durch die vorgegebene Portionsgröße ist man bei der Flexibilität der Dosierung eingeschränkt. Wer besonders genau dosieren möchte, präzise differenziert nach Verschmutzung und Wasserhärte, wird zu den unportionierten Waschmitteln greifen.

Alle *Waschmittel-Tabs* enthalten ein Zerfallsmittel, das in Kontakt mit Wasser für einen schnellen Zerfall und eine gute Löslichkeit der Tablette sorgt. Je nach Art des Sprengmittels werden die Tabletten in die Dosierkammer oder direkt in die Waschtrommel der Waschmaschine gegeben (weitere Informationen hierzu s. Kap. 5.6.10).

Zwei-Schichten-Tabs enthalten unterschiedliche Inhaltsstoffe in beiden Schichten. Sie bieten den Vorteil, dass empfindliche Rohstoffe, z. B. Enzyme, von aggressiven, z. B. dem Bleichmittel, separiert werden können. Die Lagerfähigkeit und der Aktivitätserhalt empfindlicher Rohstoffe werden dadurch verbessert.

Flüssig-Tabs sind von einer wasserlöslichen Folie aus Polyvinylalkohol umgeben. Diese Folie löst sich bei Kontakt mit Wasser schnell auf. Der Wassergehalt des Waschmittels in der Folie darf deshalb nur gering sein und 12 % nicht übersteigen. Als Lösungsmittel für Flüssig-Tabs dient Propylenglykol. Flüssig-Tabs müssen in die Waschtrommel gegeben werden, da der Auflöseprozess in der Einspülkammer nicht schnell genug abläuft.

4.5

Feinwaschmittel

Auch Feinwaschmittel, früher auch „Buntwaschmittel“ genannt, sind immer frei von Bleichmitteln und optischen Aufhellern. In der Farbschonung sind sie vergleichbar mit den Colorwaschmitteln, ihre Reinigungsleistung ist jedoch meist etwas geringer. Der Grund dafür ist die im Allgemeinen geringere Alkalität der Feinwaschmittel, die zu einer schonenden Reinigung feiner Gewebe führt. Feinwaschmittel sind für den Einsatz bei niedrigen Waschtemperaturen konzipiert. Ihre Fähigkeit, einen sehr feinporigen Schaum zu bilden, schützt besonders empfindliche Textilien vor stärkeren mechanischen Belastungen bei der Wäsche.

Feinwaschmittel werden sowohl pulverförmig als auch flüssig angeboten.

Pulverförmige Feinwaschmittel enthalten in der Regel Stellmittel (Natriumsulfat), die als Trägermaterial für die Tenside dienen und für die notwendige Rieselfähigkeit und Lagerstabilität sorgen.

4.6

Spezialwaschmittel

Spezialwaschmittel sind Produkte, die auf ganz bestimmte Textilien oder Problemlösungen zugeschnitten sind. Ihr konkreter Anwendungsbereich lässt sich häufig bereits am Namen des Produktes erkennen.

Auch hier gibt es sowohl pulverförmige als auch flüssige Produkte. Eine Vielzahl unterschiedlicher Rezepturen wird verwendet. Flüssige Spezialwaschmittel haben schon eine längere Tradition als die flüssigen Vollwaschmittel. Ähnlich wie bei flüssigen Vollwaschmitteln übernimmt in diesen Fällen häufig die Seife die Funktion eines Wasserenthärters. Es gibt aber auch flüssige Spezialwaschmittel, die überwiegend oder ausschließlich wasserhärte-unempfindliche nichtionische Tenside enthalten. In diesem Fall sind dann keine weiteren Wasserenthärter oder Gerüststoffe notwendig, wenn unterhalb 60 °C gewaschen wird.

Manche Spezialwaschmittel enthalten besondere Schichtsilicate (Bentonite). Bentonite, auch Walk- oder Fullererden genannt, sind natürlich vorkommende Schichtsilicate, die chemisch als Aluminiumhydrosilicate zu bezeichnen sind. Sie werden schon seit Anfang dieses Jahrhunderts in einigen Wasch- und Reinigungsmitteln verwendet und besitzen einige aus waschtechnischer Sicht interessante Eigenschaften.

Aufgrund ihrer Wasserunlöslichkeit und ihres Adsorptionsvermögens lagern sich Bentonite in einer dünnen Schicht auf den Textilfasern ab, wirken dadurch glättend zwischen den Fasern und erzeugen einen milden weichmachenden Effekt. Weiterhin können sie durch ihr Adsorptionsvermögen Schmutzanteile und Farbstoffe binden und weisen dadurch eine, wenn auch geringe vergrauungsinhibierende Wirkung auf. Dagegen besitzen Bentonite trotz ihrer Silicatstruktur keinen nennenswerten wasserenthärtenden Effekt.

Bei *Wollwaschmitteln* wird auf den Zusatz des Waschmittelenzyms Protease verzichtet. Sie eignen sich daher bestens für alle Textilien aus Wolle. Durch eine hohe Schaumentwicklung reduzieren Wollwaschmittel die Reibungsbewegungen in der Waschmaschine und können einer Verfilzung der Wäschestücke entgegenwirken. Wollwaschmittel sind immer pH-neutral eingestellt und entfalten schon bei 30 °C ihre volle Reinigungskraft.

Gardinenwaschmittel empfehlen sich insbesondere für alle weißen Gardinen aus Mischgewebe und Synthetik. Ein hohes Schaumvolumen sorgt für eine äußerst schonende Reinigung der Gardinen in einem Temperaturbereich zwischen 30 °C und 40 °C. Gardinenwaschmittel sind alkalisch eingestellt. Sie enthalten sehr wirksame Vergrauungsinhibitoren, oft auch Bleichmittel und optische Aufheller.

Handwaschmittel mit hoher Waschkraft sind für die „Zwischendurch-Wäsche“ entwickelt worden. Sie enthalten einen hohen Tensidanteil und oft auch Enzyme. Für die Waschmaschine sind Handwaschmittel aufgrund einer starken Schaumentwicklung ungeeignet. Handwaschmittel für unterwegs in besonders handlichen Verpackungen werden als *Reisewaschmittel* bezeichnet.

4.7

Waschmittel mit Zusatznutzen

Seit Ende der 1990er Jahre gewinnen Waschmittel mit Zusatznutzen an Bedeutung. Diese Konzepte sind auf spezielle Anwendungsgebiete ausgerichtet. So gibt es beispielsweise Waschmittel speziell für schwarze oder weiße Textilien, aber auch weitere Spezialitäten: Parfümfreie Waschmittel, Duftintensiv-Waschmittel, Sensitiv-Waschmittel, Öko-Waschmittel, Bügelerleichterungswaschmittel, Hygiene-Waschmittel, UV-Schutz-Waschmittel, Waschmittel mit Geruchsabsorber, Daunen-Waschmittel, medizinische Waschmittel u. a.

Literatur

- 1 Stiftung Warentest, Zeitschrift Test: Heft 02/2007 „Colorwaschmittel“; Heft 03/2009 „Vollwaschmittel“.

Weiterführende Literatur

- Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e. V. (IKW): *Waschen und Geschirrspülen*. 2. überarbeitete Auflage, Frankfurt 2006.
- Smulders, E.: *Laundry Detergents*. Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2002, Kapitel 4: Household laundry products.

5

Inhaltsstoffe von Waschmitteln

Waschmittel enthalten immer eine größere Anzahl von Inhaltsstoffen, die eine unterschiedliche Funktion im Waschprozess erfüllen. So sind in einem Vollwaschmittel über 20 verschiedene Rohstoffe bzw. Rohstoffgruppen zu finden. Abbildung 5.1 zeigt alle wichtigen Inhaltsstoffe im Überblick, in den folgenden Unterkapiteln werden sie im Einzelnen vorgestellt.

5.1

Tenside

Die Tenside sind die zentralen Inhaltsstoffe aller Waschmittel. Ihre Aufgabe ist die Schmutzablösung (Primärwaschvermögen) und zusammen mit anderen Hilfsstoffen die Verhinderung der Wiederablagerung des Schmutzes auf der Faser (Sekundärwaschvermögen). Aufgrund ihrer großen Bedeutung werden sie in den Kapiteln 2 und 3 ausführlich vorgestellt. Für den Einsatz eines Tensids in Waschmitteln müssen die folgenden Eigenschaften erfüllt sein:

- gutes Primär- und Sekundärwaschvermögen;
- toxikologische Unbedenklichkeit;
- gute biologische Abbaubarkeit und ökologische Verträglichkeit;
- möglichst wenig empfindlich gegenüber hartem Wasser;
- gute technische Eigenschaften: Verarbeitbarkeit, günstiges Schaumverhalten u. a.;
- Verfügbarkeit zu ökonomisch annehmbaren Bedingungen (günstiger Preis).

Moderne Waschmittel enthalten immer Kombinationen aus mehreren Tensiden. So gelingt es, eine gute Schmutzablösung und ein gutes Schmutztragevermögen über ein breites Spektrum der Anwendungen zu erhalten. Durch optimierte Tensidmischungen lässt sich weiterhin die Gesamtmenge an Tensiden bei gleicher Waschleistung deutlich reduzieren. Bewährt hat sich die Kombination von anionischen mit nichtionischen Tensiden.

Nur wenige Tenside bzw. Tensidgruppen erfüllen alle oben genannten Kriterien. Basistenside für Waschmittel sind die linearen Alkylbenzolsulfonate (LAS) als Anionenside und die Fettalkoholethoxylate (FAEO) als nichtionische Tenside.

Inhaltsstoffe	Funktion
Tenside	lösen den Schmutz von der Faser (Primärwaschwirkung) und verhindern die Wiederablagerung auf dem Gewebe (Sekundärwaschwirkung).
Enthärter (Gerüststoffe)	beseitigen die Wasserhärte. Sie sind in der Lage, mit Calcium- und Magnesium-Ionen, den Härtebildnern des Wassers, zu reagieren und sie für die Dauer des Waschvorganges zu binden, so dass sich keine Ablagerungen auf Textilien oder Maschinenbauteilen bilden. Darüber hinaus unterstützen sie die Waschwirkung der Tenside und sorgen für einen alkalischen pH-Wert der Waschflotte.
Bleichmittel	oxidieren die im Wäscheschmutz vorkommenden organischen Farbstoffe und entfärben sie dadurch. <i>Bleichaktivatoren</i> erhöhen die Wirksamkeit von Bleichmitteln bei niedrigen Temperaturen. Sie tragen zur Hygiene und Entfernung von Geruchsschmutz bei.
Enzyme	<i>Proteasen</i> zum Beseitigen von eiweißhaltigem Schmutz; <i>Amylasen</i> zum Entfernen von stärkehaltigen Anschmutzungen; <i>Lipasen</i> zum Spalten natürlicher Fette; <i>Mannanasen</i> zum Ablösen von gallactomannanhaltigen Verdickern; <i>Cellulasen</i> zum Glätten von Baumwollfasern und damit zur Erhaltung der Farbbrillanz und der Textilstruktur.
Weitere Inhaltsstoffe und Hilfsstoffe	besitzen unterschiedliche Funktionen: <i>Optische Aufheller</i> zur Erzeugung eines strahlenden Weißtones der Wäsche; <i>Stabilisatoren</i> (Komplexbildner) zur Bindung störender Schwermetall-Ionen; <i>Korrosionsinhibitoren</i> gegen Metallkorrosionen; <i>Vergrauungsinhibitoren</i> zur Verhinderung der Wiederablagerung bereits abgelösten Schmutzes; <i>Soil Release Polymere</i> zur Erleichterung der Entfernung von Fett- und Ölschmutz; <i>Schauminhibitoren</i> zur Schaumsteuerung; <i>Farbübertragungsinhibitoren</i> zur Verminderung von Farbübertragungen; <i>Duft- und Farbstoffe</i> zur besseren Produktakzeptanz. <i>Sprengmittel</i> zum schnellen Zerfall tablettenförmiger Produkte; <i>wasserlösliche Folien</i> zur Herstellung von Flüssig-Tabs, <i>Konservierungsstoffe</i> zur Verbesserung der Haltbarkeit wasserhaltiger Produkte; <i>Geruchsabsorber</i> als Zusatzstoff für Spezialwaschmittel.
Füllstoffe	werden vorwiegend zur Strukturverbesserung von pulverförmigen Waschmitteln eingesetzt.
Lösungsmittel/ Lösungs- vermittler	Bei flüssigen Waschmitteln dient Wasser als Lösungsmittel. Zugesezte Alkohole und Lösungsvermittler verbessern die Homogenität und Lagerstabilität flüssiger Produkte. In Flüssig-Tabs dienen Alkohole als Lösungsmittel.

Abb. 5.1 Waschmittelinhaltsstoffe im Überblick.

Sie finden seit vielen Jahren in Waschmitteln Verwendung, allerdings ist sowohl ihr Mischungsverhältnis als auch die chemische Zusammensetzung der FAEO einer dauernden Veränderung unterworfen. Der Einsatz der Tenside wird regelmäßig optimiert und den veränderten Waschgewohnheiten angepasst.

Seit Mitte der neunziger Jahre gewinnen Fettalkoholsulfate (FAS) insbesondere in Kombination mit LAS und FAEO eine gewisse Bedeutung. Diese Tensidkombination bietet neben günstigen ökologischen Eigenschaften auch technologische Vorteile (z. B. besseres Kristallisationsvermögen) in der Herstellung von phosphatfreien Kompaktwaschmitteln.

Fettalkoholethersulfate (FAES) werden bevorzugt in flüssigen Waschmitteln eingesetzt. Sie dienen dort u. a. auch zur Viskositätseinstellung flüssiger Produkte. Durch den gestiegenen Marktanteil der Flüssigwaschmittel hat ihre Bedeutung in den letzten Jahren stark zugenommen. Der Verbrauch ist in Deutschland von 34.000 Tonnen im Jahr 2003 auf 57.000 Tonnen im Jahr 2008 gestiegen. Nach LAS sind FAES die mengenmäßig wichtigsten anionischen Tenside für Wasch- und Reinigungsmittel (vgl. Abb. 2.6).

Tenside auf Zuckerbasis (APG) sind aufgrund ihrer stark schäumenden Eigenschaften zur Herstellung von Waschmitteln für die Maschine wenig geeignet. Sie werden in einigen Flüssigwaschmitteln eingesetzt sowie in Feinwaschmitteln für die manuelle Anwendung.

Nahezu allen Waschmitteln werden in mehr oder weniger geringer Menge Seifen zugesetzt. Pulverförmige Waschmittel enthalten zur Schaumregulierung in geringer Menge (ca. 1 %) Seife von langkettigen Fettsäuren (C_{16} bis C_{22}). In flüssigen Waschmitteln wird meist Seife aus Kokos- oder Palmkernöl (vorwiegend C_{12} bis C_{14}) eingesetzt. Die Seife dient hier nicht nur zur Schmutzentfernung, sondern sie bildet mit anwesenden Calcium-Ionen schwerlösliche Salze, die Kalkseife. Diese Kalkseife wird durch die in hoher Konzentration vorliegenden nicht-ionischen Tenside in Lösung gehalten (dispergiert). Seife hat also in flüssigen Waschmitteln die Funktion eines Wasserenthärters übernommen. Darum ist ein hoher Tensidanteil von 30–50 % erforderlich, davon 5–20 % Seife. Aufgrund seiner besonders guten Löslichkeit sowie Elektrolytverträglichkeit wird in flüssigen Waschmitteln anstatt LAS auch häufig Alkansulfonat (SAS) in Kombination mit FAEO sowie Seife eingesetzt.

Die Kaliumsalze und besonders die Alkanolaminsalze der anionischen Tenside, z. B. Seife und LAS, sind wesentlich besser löslich als die entsprechenden Natriumsalze. In flüssigen Produkten werden deshalb häufig Tensidsalze der Alkanolamine verwendet, während in pulverförmigen Produkten, auch aufgrund des besseren Kristallisationsvermögens, die Natriumsalze zum Einsatz kommen.

Spezielle Tensidkombinationen

In manchen Fein- und Wollwaschmitteln werden in geringer Menge Fettsäureethanolamide eingesetzt. Diese Additive zeigen keine tensidischen Eigenschaften, verbessern jedoch das Schmutztragevermögen im unteren Temperatur- sowie im

pH-neutralen Bereich. Sie verbessern weiterhin die Griffigkeit der Textilien und sorgen für einen stabilen Schaum in Wollwaschmitteln.

Auch Kombinationen von nichtionischen Tensiden mit kationischen Tensiden finden in einigen flüssigen Wollwaschmitteln Verwendung. Man erreicht so einen weichen Wäschegriff. Wolle und Synthefasern fühlen sich angenehm flauschig an. Bei Synthefasern werden elektrostatische Aufladungen verhindert. Anionische Tenside dürfen in diesem Fall nicht angewendet werden, da sie mit kationischen Tensiden unlösliche Verbindungen bilden.

Ein Zusatz kleiner Mengen von speziellen Kationtensiden ($< 1\%$) verstärkt teilweise die Waschkraft von Waschmitteln, wenn nichtionische Tenside zugegen sind und das Aniontensid im deutlichen Überschuss vorliegt (ternäres Tensidsystem). Das spezielle Anion-/Kationtensidverhältnis schränkt allerdings die Rezepturmöglichkeiten deutlich ein. Ein ternäres Tensidsystem ist sowohl bei einigen Voll- als auch Fein- und Spezialwaschmitteln zu finden. Die hier erwähnten kationischen Tenside unterscheiden sich in ihrer Struktur von den Weichspülerwirkstoffen.

5.2

Enthärter (Gerüststoffe)

Eine unzureichende Wasserenthärtung beim Waschen macht sich durch verstärkte Ablagerung anorganischer Verbindungen auf der Wäsche (Inkrustation) bemerkbar, welche den Griff und die Saugfähigkeit der Wäsche negativ beeinflusst und zur Vergrauung führt. Die Wäsche verliert dadurch nach mehreren Waschgängen spürbar an Gebrauchswert. Des Weiteren kommt es bei höherer Temperatur zu Verkalkungen der Heizstäbe der Waschmaschinen (Abb. 5.2).

So stellt die moderne Waschmittelchemie hohe Anforderungen an Wasserenthärter. Sie bestimmen entscheidend den Wascherfolg, unterliegen aber wegen ihres hohen Masseanteils besonderen ökologischen Anforderungen.



Abb. 5.2 Heizstäbe einer Waschmaschine. Neu (unten), verkalkt (oben).

Der Begriff *Enthärter* stellt nur eine der vielen notwendigen Eigenschaften dieser Stoffklasse heraus. Richtiger ist es deshalb, diese Stoffe als *Gerüststoffe* oder *Builder* zu bezeichnen.

Moderne Gerüststoffe sollten möglichst alle der folgenden Kriterien erfüllen:

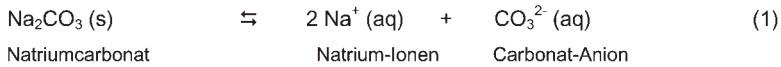
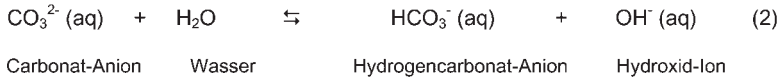
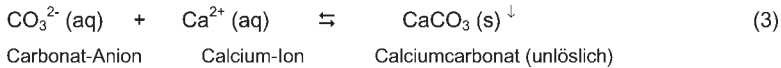
- *Eliminierung der Erdalkalien* aus dem Wasser, von Wäscheschmutz, von Ablagerungen auf Textilien;
- *Primärwaschwirkung*, d. h. hohe spezifische Waschwirkung gegenüber Pigmenten, Verbesserung der Tensideigenschaften, Dispergierung von Schmutz in Waschflotten;
- *Sekundärwaschwirkung*, d. h. gutes Schmutztragevermögen, Verhinderung von Inkrustation auf Textilien, Verhinderung von Ablagerungen in Waschmaschinen;
- *gute technische Eigenschaften*, d. h. chemische Beständigkeit und Lagerstabilität, keine Hygroskopizität, technische Verarbeitbarkeit, einwandfreie Farb- und Geruchsqualitäten, Verträglichkeit mit anderen Waschmittelinhaltsstoffen, gesicherte Rohstoffbasis;
- *humantoxikologische Unbedenklichkeit*;
- *unbedenkliches Umweltverhalten*, d. h. Eliminierbarkeit durch biologischen Abbau oder andere Mechanismen, keine negative Einwirkung auf biologische Systeme in Kläranlagen und Oberflächengewässern, keine Eutrophierung, keine unkontrollierte Akkumulierung, keine Schwermetallremobilisierung, keine Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität;
- *Wirtschaftlichkeit*.

Die Gerüststoffe lassen sich entsprechend ihrer chemischen Wirkung in drei große Klassen einteilen: Fällungsenhärter, Komplexbildner und Ionenaustauscher.

Die ersten in modernen Waschmitteln verwendeten Enthärter waren *Soda* und *Silikat* (Fällungsenhärter). Dadurch wurden die im Wasser gelösten Calcium-Ionen als schwerlösliches Calciumcarbonat bzw. Calciumsilicat ausgefällt. Die Erhöhung des pH-Wertes erleichterte gleichzeitig die Schmutzablösung. Abbildung 5.3 zeigt die ablaufenden Reaktionen am Beispiel von Soda. Es handelt sich dabei um Gleichgewichtsreaktionen, so dass der Reaktionsverlauf von den Konzentrationen der beteiligten Partner abhängt.

Durch die Ausfällung des Calciumcarbonats wurde beim Waschen die Bildung von Kalkseife verhindert und die Reinigungswirkung der Seife erheblich verbessert. Beim anschließenden Spülen mit hartem (calciumhaltigen) Wasser wurden jedoch in Kontakt mit Seife und Soda schwerlösliche Calciumsalze gebildet, die sich auf der Wäsche niederschlugen und zu einer starken Verkrustung führten.

In den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts begann der Einsatz von *Phosphaten* als Waschmittel-Gerüststoffe – zunächst als Diphosphat, seit etwa 1946 trat Pentanatriumtriphosphat seinen Siegeszug in Pulverwaschmitteln an. Die Wirkung beruht auf der Komplexbildung der Erdalkali- und anderer Metall-Ionen. Phosphate sind sehr wirksame und preisgünstige Gerüststoffe, tragen jedoch zur Eutrophierung von Gewässern bei (s. auch Kap. 9.7). Daher wurden sie seit 1980 in

Lösungsvorgang**Reaktion mit Wasser unter Bildung von OH⁻-Ionen****Reaktion mit Calcium-Ionen****Abb. 5.3** Reaktionen von Natriumcarbonat in wässriger Lösung.

Westeuropa zunehmend durch phosphatfreie Systeme, meist auf Basis von *Zeolith*, ersetzt. Zeolith wirkt durch Ionenaustausch und kann in Kombination mit Alkalien (Soda) und sogenannten Co-Buildern (meist Polycarboxylate) Phosphat vollständig ersetzen. Seit 2002 sind auch zeolithfreie wasserlösliche Enthärtersysteme auf Soda/Silicat-Basis bzw. seit 2009 auf Trinatriumcitrat-Basis in Waschmitteln zu finden und gewinnen zunehmend an Bedeutung. Abbildung 5.4 zeigt die zeitliche Entwicklung der Waschmittel-Gerüststoffe in Deutschland.

Weltweit betrachtet ist die Entwicklung der Enthärtersysteme nicht einheitlich verlaufen. Es finden heute alle hier vorgestellten Enthärtersysteme Verwendung. Dafür gibt es mehrere Gründe [1]:

- Die lokale Gesetzgebung in den einzelnen Ländern und Weltregionen (In einigen Ländern gibt es Phosphatbeschränkungen oder -verbote, in anderen Ländern, z. B. Ägypten und im Nahen und Mittleren Osten, sind dagegen Mindestgehalte für Phosphat vorgeschrieben);
- Umweltsituation (Bevölkerungsdichte, Beschaffenheit der Oberflächengewässer) und Umweltbewusstsein;
- Waschbedingungen und -gewohnheiten;
- Verfügbarkeit und Kosten der Enthärterkomponenten.

1907 Na-Silicat (Wasserglas) + Soda
 1933 Na-Diphosphat
 1946 Na-Tripolyphosphat
 1976 Zeolith A + Na-Tripolyphosphat
 1983 Zeolith A + Soda + Co-Builder*
 1994 Zeolith A + spezielle Silicate + Co-Builder*
 1994 Zeolith P
 2002 Soda + Silicat + Co-Builder*

*Co-builder = z. B. Polycarboxylate, Citrat, Phosphonate

Abb. 5.4 Zeitliche Entwicklung der Waschmittelenthärter für Pulverwaschmittel in Deutschland.

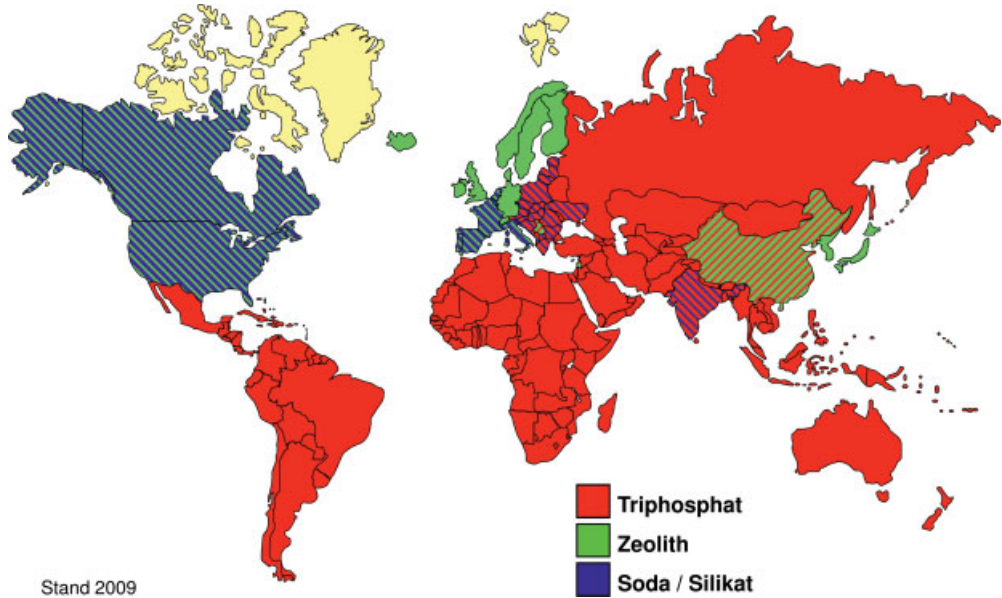


Abb. 5.5 Enthärterssysteme im weltweiten Vergleich (Quelle: Henkel AG & Co. KGaA).

Zeolithhaltige Waschmittel haben sich bisher überwiegend in Mittel- und Nordeuropa, Nordamerika, Südkorea und Japan durchgesetzt. In Teilen Süd- und Osteuropas sind auch weiterhin noch phosphathaltige Waschmittel vertreten (vgl. Kap. 8.3). Weltweit gesehen sind Phosphate immer noch die dominierenden Gerüststoffe in vielen Teilen Osteuropas, in Südamerika, Afrika, Australien und vielen Teilen Asiens. Für sehr preiswerte Produkte wird oft allein Soda als Enthärter verwendet, z. B. in Indien, wo noch überwiegend mit Seife und von Hand gewaschen wird. Abbildung 5.5 zeigt die Verbreitung der verschiedenen Gerüststoffe im weltweiten Vergleich.

5.2.1

Pentanatriumtriphosphat

Beim Lösen in Wasser dissoziiert Pentanatriumtriphosphat, auch Natriumtripolyphosphat (NTPP) genannt, in ein fünffach negativ geladenes Triphosphat-Anion und Natrium-Kationen. Liegt das Triphosphat-Anion im Überschuss vor, bildet es mit Erdalkali-Ionen, im begrenzten Umfang auch mit Schwermetall-Ionen, in Wasser leichtlösliche und stabile Chelatkomplexe¹⁾ im Stoffmengenverhältnis 1:1 (Abb. 5.6).

1) Liganden, die mehr als ein freies Elektronenpaar besitzen, wie z. B. Triphosphat, können gleichzeitig mehrere Bindungen mit einem Zentralatom eingehen, wenn die

Elektronenpaare genügend weit auseinander liegen. Es entstehen dadurch ring- oder scherenförmige, besonders stabile Chelatkomplexe (griech.: *chele* = Krebsschere).

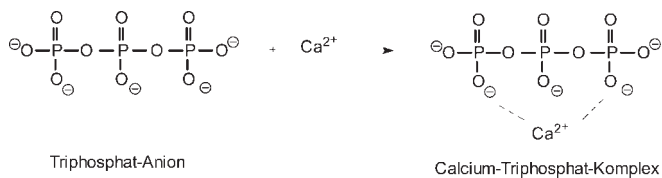


Abb. 5.6 Bindung von Calcium-Ionen durch Komplexbildung mit dem Triphosphat-Anion.

Bei einem Überschuss von Calcium-Ionen können sich schwerlösliche Calciumphosphate bilden, die zu Ablagerungen auf den Textilien führen. Die Phosphatkonzentration in der Waschlauge muss daher immer hinreichend hoch sein. Wird der Phosphatanteil im Waschmittel verringert, kann durch Zusatz von Polycarboxylaten oder anderen Co-Buildern die Ausfällung schwerlöslicher Calciumsalze verhindert werden.

Zusätzlich zur wirksamen Enthärtung von Calcium- und Magnesium-Ionen entfaltet das Triphosphat-Ion noch eine Reihe weiterer günstiger Eigenschaften beim Waschprozess:

- Der pH-Wert liegt bei etwa 9,5 und damit im waschtechnisch günstigen Bereich.
- Das negativ geladene Triphosphat-Anion wird an elektrostatisch geladenen Schmutzteilchen und an der Faser adsorbiert und verstärkt die negative Ladung. Dadurch verhindert Pentanatriumtriphosphat die Wiederablagerung von Schmutz. Die Waschwirkung von Pentanatriumtriphosphat ist bei polarem Pigmentschmutz größer als die der Tenside.
- Das Triphosphat-Anion ist in der Lage, Calcium-Ionen durch Komplexbildung aus dem Schmutz herauszulösen. Dadurch wird der Schmutz „aufgelockert“ und eine Schmutzablösung insgesamt erleichtert.
- Pentanatriumtriphosphat hat eine adsorptionsverdrängende Wirkung, d. h., es erleichtert die Ausspülbarkeit der anionischen Tenside mit dem letzten Spülwasser und verhindert dadurch mögliche Tensidreste auf der Wäsche.

Die aufgeführten Eigenschaften lassen die Vorteile von Pentanatriumtriphosphat und ihre Bedeutung in modernen Waschmitteln erkennen. Entsprechend schwierig gestaltete sich die Suche nach Ersatzstoffen.

5.2.2

Zeolithe

Als Zeolithe²⁾ bezeichnet man Natriumaluminiumsilicate unterschiedlicher Zusammensetzung mit der allgemeinen Formel $\text{Na}_x\text{Al}_y\text{SiO}_2$. Sie werden in der Natur gefunden oder synthetisch hergestellt. Strukturell einheitliche Produkte hoher Qualität sind immer synthetischen Ursprungs. Man unterscheidet dabei je nach dem Aufbau der Kristalle Zeolith A, Zeolith P und andere Typen.

2) Ihr Entdecker, A. F. Cronstedt (1722–1765), gab ihnen den Namen Zeolith nach dem griechischen Wort für „siedender Stein“,

weil sich wasserhaltige Alkalialuminosilicate beim Erhitzen aufblähen und so das Bild eines „siedenden Steines“ abgaben.

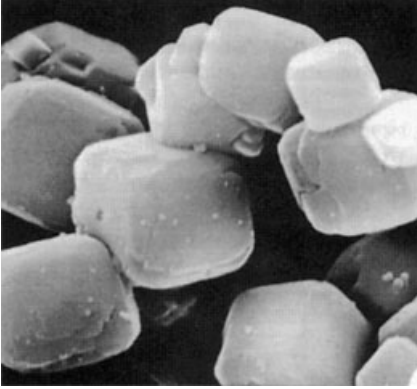


Abb. 5.7 Zeolith A als rasterelektronenmikroskopische Aufnahme.

Da alle Zeolithe wasserunlöslich sind, wurde eine Verwendung in Waschmitteln bis Ende der sechziger Jahre nicht ernsthaft in Erwägung gezogen. Erst die systematische Suche nach Phosphatersatzstoffen brachte Fortschritte auf diesem Gebiet. Es gelang, Zeolithe von sehr kleiner, dabei aber einheitlicher Korngröße herzustellen. Dieser Typ wurde Zeolith A (Markenname Sasil®) genannt. Er besteht aus Kristallen würfelförmiger Struktur mit abgerundeten Ecken (Abb. 5.7).

Der mittlere Durchmesser der Zeolith-Teilchen liegt bei nur etwa $4\ \mu\text{m}$. Dadurch wird die Faser geschont. Ablagerungen auf der Wäsche und in der Waschmaschine sind in Verbindung mit geeigneten Zusatzstoffen sehr gering.

Zeolith A hat einen charakteristischen Kristallaufbau (Abb. 5.8).

Das Grundgerüst besteht aus SiO_4 -Tetraedern. Durch eine geeignete Synthesemethode gelingt es, etwa jedes zweite Silicium-Atom im Kristall durch Aluminium-Ionen (Al^{3+}) zu ersetzen. Daraus resultiert im Mittel ein Überschuss an negativer Ladung, der durch Natrium ausgeglichen wird. Die Ionen des Siliciums, Aluminiums und Sauerstoffs sind ortsfest im Kristallgitter eingebunden. Durch

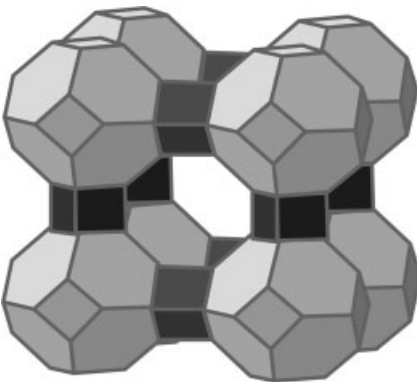


Abb. 5.8 Räumliche Darstellung der Kristallstruktur von Zeolith A.

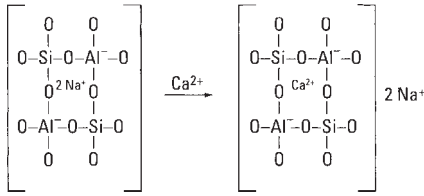


Abb. 5.9 Calciumbindung durch Ionenaustausch im Zeolith A.

ihre räumliche Struktur bilden sie kleine Hohlräume, die im Zeolith A einen Durchmesser von 0,42 nm haben, also in der Größenordnung der Ionendurchmesser von Alkali- und Erdalkali-Ionen liegen. Die Natrium-Ionen in diesen Hohlräumen sind frei beweglich und können in wässriger Lösung gegen andere Ionen mit einem ähnlichen Ionendurchmesser ausgetauscht werden. Calcium-Ionen lagern sich wegen ihrer zweifach positiven Ladung und ihrer mit Natrium-Ionen vergleichbaren Größe bevorzugt im Zeolith-Gitter ein (Abb. 5.9).

Die bedeutend kleineren Magnesium-Ionen bilden im Vergleich zu Calcium-Ionen in wässriger Lösung eine größere und festere Hydrathülle. Die hydratisierten Magnesium-Ionen sind dadurch insgesamt größer als die entsprechenden Calcium-Ionen und können nicht in gleicher Weise wie Calcium-Ionen in das Zeolith-Gitter eingelagert werden. Zeolith A hat also im gewissen Maße ein selektives Calciumbindevermögen. Aufgrund der größeren Ionenbeweglichkeit nimmt mit steigender Temperatur die Ionenaustauschgeschwindigkeit zu. Das Calciumbindevermögen steigt ebenfalls mit der Temperatur an.

Zum Ionenaustausch müssen die mehrwertigen Kationen in die inneren Hohlräume des Zeoliths hineindiffundieren, ein vergleichsweise langsamer Vorgang, so dass beim Waschen Fällungsreaktionen von Calcium- und Magnesium-Ionen, die zur Ablagerung auf dem Gewebe führen, trotz Anwesenheit von Zeolith A möglich sind.

Neben Zeolith A wird seit 1994 in einigen Waschmitteln das strukturell ähnliche Zeolith P eingesetzt. Zeolith P zeichnet sich gegenüber Zeolith A durch eine schnellere Ionenaustauschkinetik aus, der Zusatz von Co-Buildern (s. unten) lässt sich dadurch reduzieren. Zeolith P zeigt gegenüber Zeolith A Vorteile in einigen technischen Eigenschaften, so besitzt es ein höheres Aufnahmevermögen für Tenside. Nachteilig wirkt sich der höhere Preis aus.

In phosphatfreien Waschmitteln nehmen verschiedene Komponenten mit unterschiedlichen Leistungsschwerpunkten die Aufgaben als Gerüststoffe wahr. So kann Phosphat nicht durch Zeolith oder Soda allein ersetzt werden, es werden in jedem Fall Mischungen verschiedener Enthärterbestandteile benötigt, um die volle Leistung zu erzielen (Abb. 5.10). Als Alkalibildner werden Natriumcarbonat oder Natriumsilicat zugesetzt, als sogenannte Co-Builder wirken Polycarboxylate (s. Kap. 5.2.4).

Zeolith-basierte Builder haben gegenüber Phosphat den Vorteil, dass deren Waschleistung wesentlich weniger härteabhängig ist. Hervorzuheben ist auch, dass Zeolith A aufgrund seiner Stabilität und guten Trägereigenschaften für Tenside die Entwicklung von Kompaktwaschmitteln erleichtert hat.

Pentatriumtriphosphat

- Komplexierung von Härtebildnern
- Adsorption an Fasern und Schmutz, dadurch Verbesserung der Wascheffekte
- Herauslösen von calciumhaltigem Schmutz
- Schmutztragevermögen durch Komplexierung
- Pufferung im alkalischen pH-Bereich
- Verbesserung der Waschwirkung durch Elektrolyteffekte

Zeolith A

- Ionenaustausch von Härtebildnern
- Adsorption von molekular dispersem Schmutz, Koagulation mit Pigmentschmutz, keine Adsorption an Fasern

Polycarboxylate

- Verzögerung des Kristallwachstums (Threshold-Effekt)
- Gutes Schmutztragevermögen, elektrostatische Effekte

Soda

- Alkalität
- Verbesserung der Waschwirkung durch Elektrolyteffekte

Abb. 5.10 Vergleich wichtiger Enthärtersysteme.

5.2.3

Spezielle Silicate

Bei Zeolithen kann sich ihre Unlöslichkeit nachteilig auswirken, z. B. durch sichtbare weiße Rückstände nach dem Waschen auf dunkel gefärbten Textilien. Diese Rückstände treten u. U. dann auf, wenn ein pulverförmiges Waschmittel höher dosiert wird und wenn Waschprogramme mit extrem niedrigen Wasserverbräuchen verwendet werden. Die Rückstände lassen sich leicht ausbürsten, sind aber grundsätzlich unerwünscht. Seit einigen Jahren werden daher Enthärtersysteme auf Basis von wasserlöslichen Silicaten entwickelt.

Amorphe und kristalline Natriumsilicate

Die Suche nach alternativen Waschmittelenthärtern führte Ende der achtziger Jahre zur Entwicklung synthetischer *kristalliner und amorpher Silicate*. Der bedeutendste kristalline Vertreter ist ein kristallwasserfreies δ -Natriumdisilicat $\delta\text{-Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$, Markenname SKS-6. Es ist ein in Wasser lösliches kristallines Schichtsilicat mit Schichten aus SiO_4 -Tetraedern. Zwischen den Schichten befinden sich Natrium-Ionen, die in wässriger Lösung gegen Calcium- oder Magnesium-Ionen ausgetauscht werden können. Dieser Ionenaustausch findet statt, bevor sich die Schichtsilicate vollständig aufgelöst haben. Dadurch bilden sich schwerlösliche, feinverteilte Calcium- und Magnesiumsilicate, die aufgrund ihrer kleinen Teilchengröße gut in der Waschflotte suspendiert werden und sich nicht auf den Textilien ablagern. Ein weiterer Teil des SKS-6 löst sich auf, wirkt wie eine Wasserglaslösung und sorgt für die nötige Alkalität und den Korrosionsschutz. Soweit sie nicht bereits in der Waschlauge entfernt wurden, lösen sich Calcium- und Magnesiumsilicate beim Spülvorgang in der Waschmaschine langsam auf,

wenn der pH-Wert in den neutralen Bereich sinkt. Ähnlich, wenn auch im einzelnen mit komplexen Auflösungs- und Fällungskinetiken, wirken amorphe Natriumsilikate. Amorphe und kristalline Silicate können Zeolith A oder Zeolith P im Waschmittel ganz oder teilweise ersetzen.

Enthärtersysteme auf Basis von Soda und Silicat

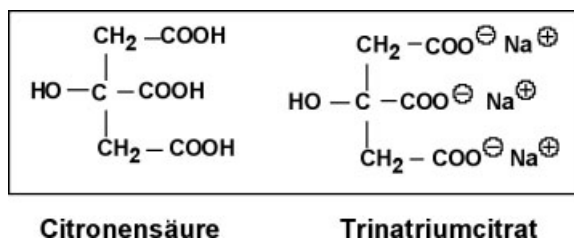
Die Soda/Silicat-Builder wirken durch die Ausfällung von Erdalkali-Ionen. Dabei ist es wichtig, dass ausgefälltes Calciumcarbonat ebenso wie Calcium-Magnesium-Silikate in der Waschflotte fein verteilt bleiben und keine kristallinen Strukturen bilden können, die dann zu Inkrustationen und Rückständen auf der Wäsche oder in Waschmaschinen führen würden. Mit den heute bekannten Polycarboxylaten oder auch Phosphonaten lassen sich solche Inkrustationen wirksam vermeiden. Polycarboxylate komplexieren nicht nur selber Erdalkali-Ionen, sondern verhindern auch das Wachstum von Kalkkristallen und stabilisieren so die ausgefällte Wasserhärte ebenso wie abgelöste Schmutzteilchen in der Waschflotte. Dadurch wird die Sekundärleistung des Enthärtersystems deutlich erhöht.

Bei einem genügend hohen Anteil von Polycarboxylaten kann ganz auf Zeolith verzichtet werden [2]. Seit 2002 werden zeolithfreie Enthärtersysteme auf Basis von Soda/Silicat in europäischen Waschmitteln eingesetzt. Seitdem haben diese Enthärtersysteme in Europa und auch in Deutschland stark an Bedeutung gewonnen. Diese Enthärtersysteme bieten Vorteile durch ihre gute und schnelle Wasserlöslichkeit und können preisgünstig hergestellt werden. Die Entwicklung sehr gut löslicher pulverförmiger Waschmittel wird begünstigt durch Trends wie der Zunahme dunkelbunter Textilien, der Verringerung des Wasserverbrauchs bei Waschmaschinen und kürzeren Waschzeiten.

5.2.4

Citronensäure und Citrate

Citronensäure und ihre Salze, die *Citrate*, (s. Abb. unten) weisen nur im unteren Temperaturbereich ($< 60^{\circ}\text{C}$) ein befriedigendes Calciumbindevermögen auf. Dieser Aspekt verliert allerdings bei den heutigen Waschttemperaturen zunehmend an Bedeutung. Weitere erforderliche Enthärtereigenschaften – Umweltverträglichkeit, technische Verarbeitbarkeit, Lagerstabilität und Wirtschaftlichkeit – werden von Citraten durchaus erfüllt. Sie werden seit vielen Jahren in Verbindung mit Zeolith A als Co-Builder in pulverförmigen Waschmitteln eingesetzt, insbe-



Begünstigt durch den Trend zu niedrigeren Waschttemperaturen wurde 2009 das erste Vollwaschmittel auf Basis von Trinatricitrat im deutschen Markt eingeführt. Es erfüllt die strengen Kriterien des europäischen Umweltzeichens. Die Citronensäure bzw. deren Salz ist als nachwachsender Rohstoff und durch die sehr gute Wasserlöslichkeit sowie physiologische Unbedenklichkeit hervorragend für den Einsatz in Waschmitteln geeignet. Problematisch ist jedoch die starke Abnahme des Calciumbindevermögens bei Temperaturen oberhalb 60 °C sowie der hohe Preis. Außerdem sind Waschpulver mit hohen Anteilen kristallinen Materials schwierig in für den Verbraucher gewohnter Konsistenz zu formulieren.

Polycarboxylate

Die Kristalle können somit während des Waschvorganges nicht wachsen. Ein Niederschlag auf der Wäsche oder den Heizstäben der Waschmaschine wird dadurch vermieden. Darüber hinaus haben Polycarboxylate weitere günstige Eigenschaften beim Waschprozess [3]:



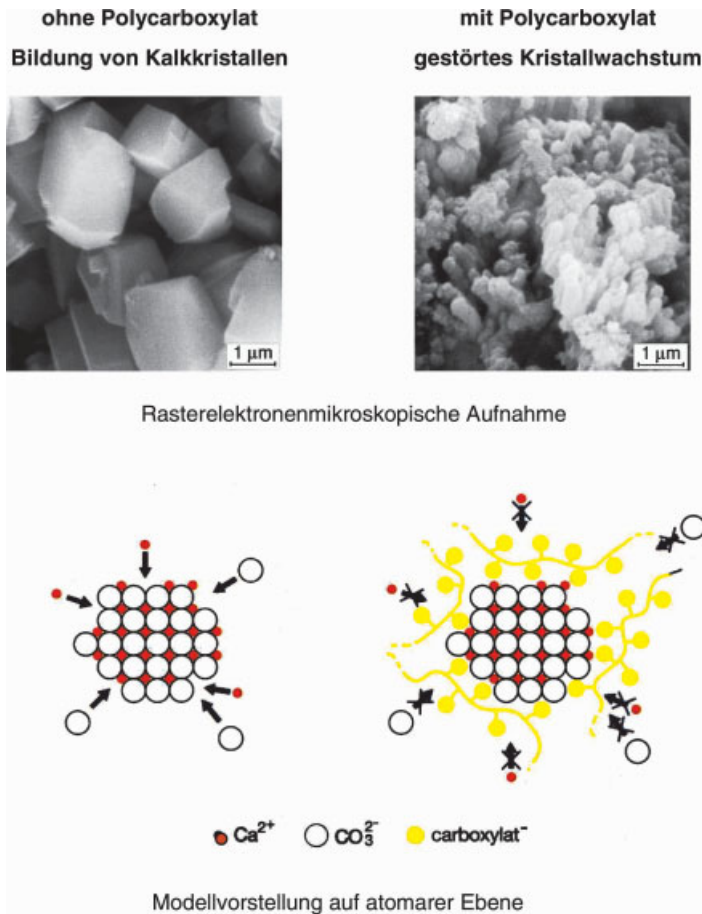
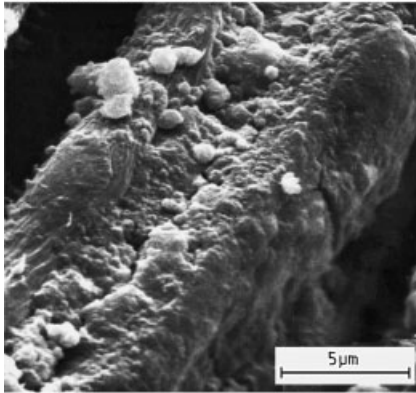


Abb. 5.12 Wirkungsweise von Polycarboxylaten (Quelle: BASF AG).

- Sie wirken als Komplexbildner für Calcium-Ionen und erleichtern dadurch die Schmutzablösung von calciumhaltigen Verschmutzungen.
- Sie sind sehr wirksame Vergrauungsinhibitoren, verringern Ablagerungen auf den Textilfasern insgesamt und erhalten die Farbbrillanz der Wäsche (Abb. 5.13).

Aufgrund der schlechten biologischen Abbaubarkeit wird intensiv an besser abbaubaren Ersatzstoffen für Polycarboxylate gearbeitet. Entwickelt wurden z. B. Polyasparaginsäuren (Abb. 5.11), Copolymere aus Acrolein und Vinylacetat oder Produkte auf Basis von Stärke. Diese Ersatzstoffe haben sich aber bisher noch nicht durchsetzen können und finden aktuell nur in Nischenprodukten ihren Einsatz.

Waschmittel ohne Polycarboxylat



Waschmittel mit Polycarboxylat

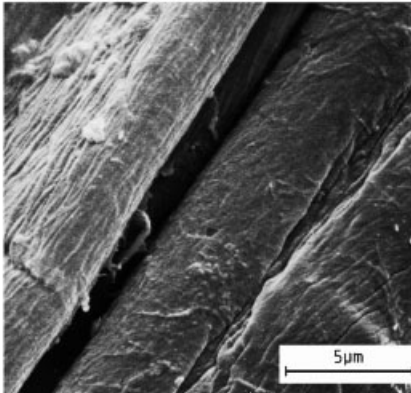


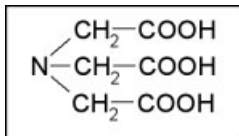
Abb. 5.13 Wirkung von Polycarboxylaten als Vergrauungsinhibitoren (rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Baumwollgewebe) (Quelle: BASF AG).

5.2.6

Nitrilotriessigsäure und deren Salze (NTA)

Nitrilotriacetat (NTA), das Trinatriumsalz der Nitrilotriessigsäure (s. Abb. unten) wurde aufgrund seiner Wirtschaftlichkeit und seiner waschtechnischen Eigenschaften einige Zeit als Phosphatersatzstoff favorisiert und kann Waschmittelphosphate ohne weitere Zusätze ersetzen. In Kombination mit Zeolith A sind zur Herstellung phosphatfreier Waschmittel vergleichsweise geringe Mengen NTA ausreichend. Die ökologische Unbedenklichkeit von NTA ist im Lauf der Jahre nachgewiesen worden, dennoch werden Nitrilotriessigsäure und ihre Salze, auch aufgrund des Verdachtes auf carcinogene Wirkung, in Deutschland nicht in Waschmitteln eingesetzt.

Die zu den Komplexbildnern gehörenden *Phosphonate* verhindern ähnlich wie Polycarboxylate das Wachstum schwerlöslicher Kristalle, werden aber in erster Linie als Stabilisatoren für empfindliche Inhaltsstoffe (Bleichmittel und Enzyme) eingesetzt. Sie werden deshalb im Kapitel 5.6.3 näher vorgestellt.



Nitriloessigsäure

5.3

Waschalkalien und pH-Wert

Für eine gute Schmutzentfernung ist ein möglichst hoher pH-Wert der Waschflotte erforderlich. Ein alkalischer pH-Wert hat mehrere Funktionen beim Waschen:

- Hydroxyl-Ionen (OH^-) werden an Oberflächen adsorbiert. Dadurch entsteht eine leicht negative Aufladung von Schmutz und Faser, die eine Schmutzablösung erleichtert.
- Kohlenhydrate und Proteine quellen in alkalischer Lösung auf und lassen sich dadurch leichter von den Textilien entfernen.
- Fette und Öle werden durch Alkalien zumindest teilweise in Fettsäure-Anionen (Seife) und Glycerin gespalten. Auch das erleichtert die Schmutzablösung.
- Die Wirksamkeit der sauerstoffhaltigen Bleichmittel wird erhöht.

Übliche Vollwaschmittel weisen deshalb in der Waschlauge (gemessen als 1%ige Lösung) einen pH-Wert von 10 bis 11 auf. Bei einzelnen Produkten kann der pH-Wert auch geringer sein (pH-Bereich 8 bis 10). Ein höherer pH-Wert ist aus Gründen der begrenzten Alkali-Stabilität der Enzyme, der Verbrauchersicherheit und der Textilschonung nicht zweckmäßig. Die notwendige Alkalität des Waschmittels kann erreicht werden durch

- die verwendeten Enthärter (Natriumtriphosphat, kristalline Schichtsilikate);
- alkalische Bleichmittel (z. B. Natriumpercarbonat);
- Zusatz von Waschalkalien (z. B. Soda).

Wird Zeolith A als Enthärterbasis verwendet, so ist ein Zusatz von Waschalkalien notwendig. Üblicherweise wird dafür Natriumcarbonat (Soda) verwendet. Darüber hinaus unterstützt Soda die wasserenthärtende Wirkung von Zeolith A durch Ausfällung von Calcium-Ionen aus der Waschlauge. Die Bildung größerer Kristalle und eine Ablagerung schwerlöslicher Salze auf dem Gewebe werden durch zugesetzte Polycarboxylate (Kap. 5.2.4) wirksam verhindert. Zudem verbessert Soda die Granulierungseigenschaften pulverförmiger Waschmittel. Neben Soda kann auch Natriumsilicat als Alkaliträger in Waschmitteln wirken.

Während Voll- und Colorwaschmittel die höchste Alkalität aufweisen (im pH-Bereich zwischen 9 und 11), besitzen Feinwaschmittel eine deutlich geringere Alkalität. Die Wäsche wird dadurch geschont, allerdings sinkt die Waschleistung ab. Als Alkaliträger in Feinwaschmitteln findet neben Soda auch das geringer alkalische Natriumhydrogencarbonat Verwendung. Die Alkalität der verschiedenen Spezialwaschmittel richtet sich nach dem Verwendungszweck. Wollwaschmittel sind weitgehend pH-neutral eingestellt, Gardinenwaschmittel sind aus Leistungsgründen ähnlich alkalisch wie Vollwaschmittel.

5.4

Bleichsysteme

Unter Bleiche versteht im weitesten Sinne jede Farbveränderung eines Körpers nach helleren Farben hin. Auf den Waschprozess übertragen bedeutet dies die Entfernung farbiger Anschmutzungen von den Textilien. Bestimmte farbige Verschmutzungen können äußerst fest auf der Textilfaser haften und führen schon in sehr geringer Menge zu deutlich sichtbaren Flecken. Derartige Flecken lassen sich mit Tensidbehandlung allein nicht mehr entfernen. Zu solchen besonders hartnäckig haftenden Substanzen zählen u. a.:

- rote bis blaue Anthocyanfarbstoffe aus Kirschen, Heidelbeeren;
- rotes Betanidin der roten Beete;
- orangerote Carotinoide der Möhre und Tomate;
- gelbe Curcumafarbstoffe aus Curry und Senf;
- braune Gerbstoffe von Tee, Obst und Rotwein;
- tiefbraune Huminsäuren aus Kaffee, Tee und Kakao;
- grünes Chlorophyll;
- technische Farbstoffe aus Kosmetika, Farbstiften und Tinten.

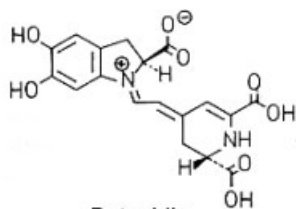
Allen hier genannten Farbstoffen gemeinsam ist ein ausgedehntes System von konjugierten Doppelbindungen. In Abb. 5.14 ist eine kleine Auswahl von Naturfarbstoffen zusammengestellt.

Zur Entfernung der genannten Verschmutzungen hat sich beim Waschen die oxidative Bleiche bewährt. Die Struktur des Farbstoffes wird dabei durch ein starkes Oxidationsmittel zerstört. Die konjugierten Doppelbindungen, die für die Absorption von sichtbarem Licht und damit für die Farbgebung verantwortlich sind, werden gespalten oder hydroxyliert. Der Farbstoff verliert seine farbgebenden Eigenschaften und die starke Faserhaftung. Gleichzeitig wird die Wasserlöslichkeit erhöht.

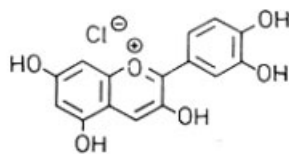
Alle Bleichmittel haben noch eine weitere wichtige Aufgabe beim Waschen. Durch ihre stark oxidierende Wirkung sind sie in der Lage, Bakterien und andere Mikroorganismen abzutöten. Sie tragen deshalb zu einer deutlichen Verminderung der Keimzahl und damit zu einer wirksamen Wäschehygiene bei.

Noch bis Anfang des 20. Jahrhunderts war die Rasenbleiche üblich zum Aufhellen der damals überwiegend weißen Wäsche (s. Abb. 8.4). Die Rasenbleiche ist eine Form der Fotobleiche und das Oxidationsmittel ist dabei aktivierter Sauerstoff („Singulett-Sauerstoff“ $^1\text{O}_2$). Dieser bildet sich beim Bestrahlen der Wäsche mit Sonnenlicht – insbesondere dem UV-Anteil des Lichts – in Gegenwart von Wasser und Chlorophyll als Katalysator. Deshalb wurde die Wäsche angefeuchtet. In einigen Ländern der Welt ist auch heute die Rasenbleiche noch üblich.

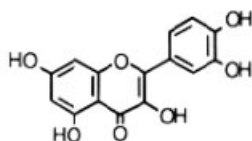
1898 wurde Natriumperborat entdeckt, welches in Wasser gelöst Wasserstoffperoxid freisetzt. 1907 wurde Natriumperborat zum ersten Mal in einem Waschmittel (Persil) eingesetzt, damals ein wichtiger Fortschritt, da es die Frauen, die ja fast ausschließlich für das Wäschewaschen zuständig waren, von der mühsamen Rasenbleiche befreite.

**Betanidin**

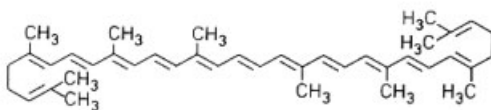
(Rot, z. B. in Roter Beete)

**Cyanidin**

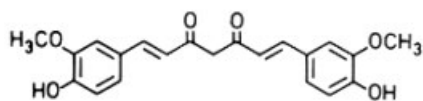
(Rot, z. B. in Heidelbeeren)

**Quercetin (= 3,3',4',5,7-Penta-hydroxyflavon)**

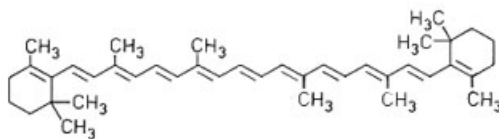
(Gelb, in vielen Obst- und Gemüsesorten)

**Lycopin**

(Rot, z. B. in Tomaten)

**Curcumin**

(Gelb, z. B. in Curry oder Senf)

 **β -Carotin**

(Orange, z. B. in Mohrrüben)

Abb. 5.14 Strukturformeln ausgewählter Naturfarbstoffe.

Weltweit gesehen haben sich zwei Formen der oxidativen Bleiche durchgesetzt, die Sauerstoffbleiche mit Natriumperborat oder Natriumpercarbonat und die Chlorbleiche mit Natriumhypochlorit. Die Chlorbleiche ist besonders in Ländern mit überwiegend niedrigen Waschttemperaturen verbreitet, z. B. Japan, Südamerika oder Teilen Südeuropas, weil sie schon ab 20 °C sehr wirksam ist.

Die in Europa üblichen Bleichsysteme auf Sauerstoffbasis bestehen heute aus mehreren Funktionsbausteinen, den eigentlichen Bleichmitteln, den Bleichaktivatoren und den Stabilisatoren (s. Kap. 5.6.3).

5.4.1

Bleichmittel auf Sauerstoffbasis**Natriumperborat**

Natriumperborat existiert in zwei unterschiedlichen Formen:

- Natriumperborat-Tetrahydrat $\text{Na}_2\text{B}_2\text{H}_4\text{O}_8 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$;
- Natriumperborat-Monohydrat $\text{Na}_2\text{B}_2\text{H}_4\text{O}_8$

Die auch heute noch üblichen Bezeichnungen „Tetrahydrat“ und „Monohydrat“ sind fachlich eigentlich nicht korrekt und aus der historischen Schreibweise $\text{NaBO}_3 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ (Tetrahydrat) und $\text{NaBO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Monohydrat) entstanden. (In älteren Büchern ist für das Tetrahydrat noch die heute unübliche Bezeichnung als Natriumperborat-Trihydrat in der Schreibweise $\text{NaBO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}_2 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ zu finden.)

Das Tetrahydrat ist preiswerter, das Monohydrat zeigt ein besseres Löslichkeitsverhalten, eine bessere Lagerstabilität und besitzt einen höheren Peroxidanteil (Abb. 5.15).

Natriumperborat wird in Europa seit der Einstufung von Borverbindungen als „reproduktionstoxisch, Kategorie 2“ kaum noch verwendet und wird durch die verschärften Anforderungen der Europäischen Chemikaliengesetzgebung (REACH) an Stoffe, die ein cancerogenes, mutagenes oder reproduktionstoxisches Potential haben, in absehbarer Zeit vom Markt völlig verschwinden. 2002 wurden noch über 30.000 Tonnen Perborat in Wasch- und Reinigungsmitteln verwendet, 2008 waren es noch rund 100 Tonnen.

	Natriumperborat-Tetrahydrat	Natriumperborat-Monohydrat	Natriumpercarbonat
Summenformel (historisch)	$\text{NaBO}_3 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	$\text{NaBO}_3 \cdot 1 \text{H}_2\text{O}$	-
Summenformel (heutige Schreibweise)	$\text{Na}_2\text{H}_4\text{B}_2\text{O}_8 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{H}_4\text{B}_2\text{O}_8$	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 1,5 \text{H}_2\text{O}_2$
Strukturformel	$2 \text{Na}^+ \left[\begin{array}{c} \text{HO} \quad \text{O} - \text{O} \quad \text{OH} \\ \diagdown \quad \diagup \quad \diagdown \quad \diagup \\ \text{B} \quad \quad \text{B} \\ \diagup \quad \diagdown \quad \diagup \quad \diagdown \\ \text{HO} \quad \text{O} - \text{O} \quad \text{OH} \end{array} \right]^{2-} \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	$2 \text{Na}^+ \left[\begin{array}{c} \text{HO} \quad \text{O} - \text{O} \quad \text{OH} \\ \diagdown \quad \diagup \quad \diagdown \quad \diagup \\ \text{B} \quad \quad \text{B} \\ \diagup \quad \diagdown \quad \diagup \quad \diagdown \\ \text{HO} \quad \text{O} - \text{O} \quad \text{OH} \end{array} \right]^{2-}$	-
Molare Masse	153,8 g/mol	99,8 g/mol	ca. 157 g/mol
Gehalt an Aktivsauerstoff	ca. 10 %	ca. 16 %	ca. 12 – 16 %
Löslichkeit bei 20 °C	23 g/L	15 g/L	150 g/L
Lösegeschwindigkeit	6 – 8 Minuten	< 1 Minute	1 – 2 Minuten
pH-Wert (1%ige Lösung)	ca. 10,4	ca. 10,4	ca. 10,5

Abb. 5.15 Formeln und Eigenschaften wichtiger sauerstoffhaltiger Bleichmittel.

Natriumpercarbonat

Die Bleichwirkung von *Natriumpercarbonat* $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 1,5 \text{H}_2\text{O}_2$ ist vergleichbar mit der von Perborat (Abb. 5.15). Im Gegensatz zu Perborat handelt es sich bei Percarbonat um ein Peroxyhydrat, eine Anlagerungsverbindung von Wasserstoffperoxid. Beim Auflösen in Wasser zerfällt Natriumpercarbonat unter Bildung von Wasserstoffperoxid. Dabei bildet sich Natriumcarbonat (Soda), so dass Natriumpercarbonat im Waschmittel multifunktionell wirkt – gleichzeitig als Bleichmittel und Enthärterbestandteil.

In den letzten Jahren sind die Waschmittel aus Umwelt- und Gesundheitsgründen zumindest in Europa vollständig von Perborat auf Percarbonat umgestellt worden. Zur Erreichung einer guten Lagerstabilität im Waschmittel wird granuliertes bzw. kristallisiertes Natriumpercarbonat eingesetzt, das zusätzlich beschichtet ist, z. B. mit Natriumcarbonat, Natriumsulfat oder unter Verwendung von Stabilisatoren auf Bor- und/oder Silicatbasis.

Wasserstoffperoxid

Wegen der geringen Lagerstabilität kann Wasserstoffperoxid nicht direkt, sondern nur in Form von Perborat oder Percarbonat in Pulverwaschmitteln eingesetzt werden. Seit einiger Zeit gibt es aber sogenannte „Milde Bleichen“ als flüssige Waschhilfsmittel, die Wasserstoffperoxid als Bleichkomponente enthalten (s. auch Kap. 6.1). Die Stabilisierung wird durch Komplexbildner und einen schwach sauren pH-Wert ($\text{pH} \approx 3,5$) erreicht.

Mechanismus der Peroxidbleiche

In Wasser zerfallen Natriumperborat und Natriumpercarbonat unter Bildung von Wasserstoffperoxid (Abb. 5.16).

Die Bleichwirkung von Wasserstoffperoxid ist stark temperatur- und pH-abhängig. Unterhalb von 60°C ist die Bleichwirkung gering. In saurer oder neutraler Lösung besitzt Wasserstoffperoxid kein ausreichendes Bleichvermögen, das Maximum der Bleichwirkung wird bei $\text{pH} = 10$ bis 11 erreicht.

Der genaue Mechanismus des Bleichvorganges ist bis heute noch nicht in allen Einzelheiten aufgeklärt, ebenso welche aktiven Teilchen im Einzelnen für die Oxidationsvorgänge verantwortlich sind [4–9]. Die Bleichwirkung beruht vermutlich auf der in Abb. 5.17 gezeigten Umsetzung.

Das gebildete Perhydroxyl-Radikal und das zugehörige Anion („Superoxid“) bieten zumindest näherungsweise eine gute Erklärung für den Ablauf der chemischen Reaktionen bei der Bleiche, besonders unter Berücksichtigung der pH-Abhängigkeit mit dem Maximum der Bleichwirkung bei $\text{pH} = 10$ bis 11. Die Bildung von atomarem Sauerstoff O konnte unter Bleichbedingungen bisher nicht nachgewiesen werden und ist thermodynamisch eher unwahrscheinlich, da sich atomarer Sauerstoff nur in einer endothermen Reaktion aus dem Zerfall von Wasserstoffperoxid bilden kann.

Das Perhydroxyl-Radikal und das zugehörige Anion („Superoxid“) greifen Doppelbindungen oxidativ an unter Bildung von Hydroxy-Verbindungen und anderen Oxidationsprodukten. Es bilden sich farblose und gut wasserlösliche Fragmente

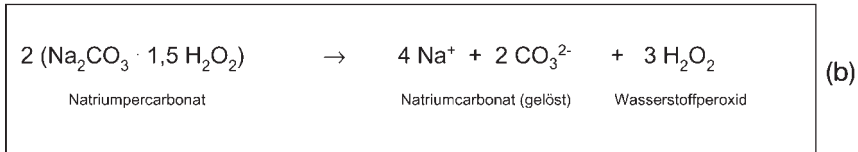
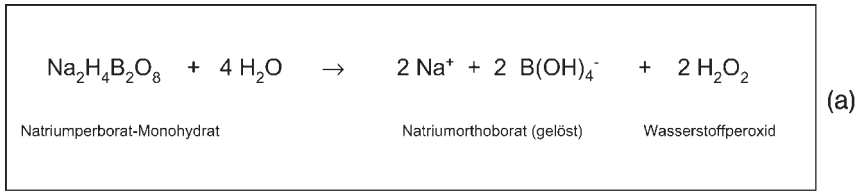


Abb. 5.16 Bildung von H_2O_2 aus Natriumperborat (a) bzw. Natriumpercarbonat (b) in wässriger Lösung.

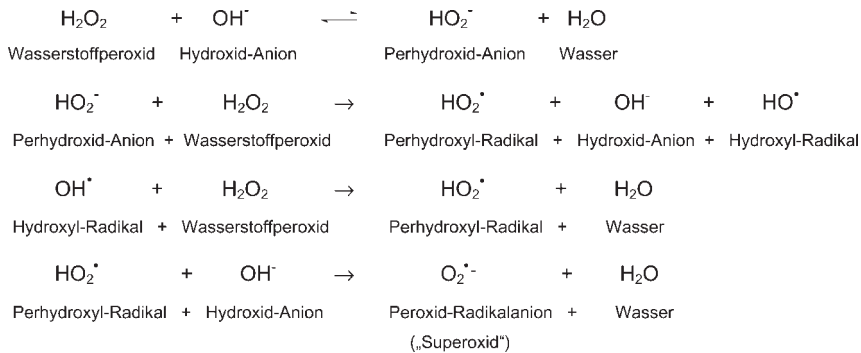


Abb. 5.17 Mechanismus der Bleichwirkung von Wasserstoffperoxid – Bildung von bleichaktiven Teilchen.

der Farbstoffe (Abb. 5.18), die optisch nicht mehr in Erscheinung treten und sich leicht aus den Textilien auswaschen lassen. Da auch einige Textilfarbstoffe durch Oxidationsreaktionen angegriffen werden können, sollten zumindest stärker gefärbte Textilien nur in Ausnahmefällen mit einem bleichmittelhaltigen Waschmittel gewaschen werden, z. B. bei stärkerer Verschmutzung.

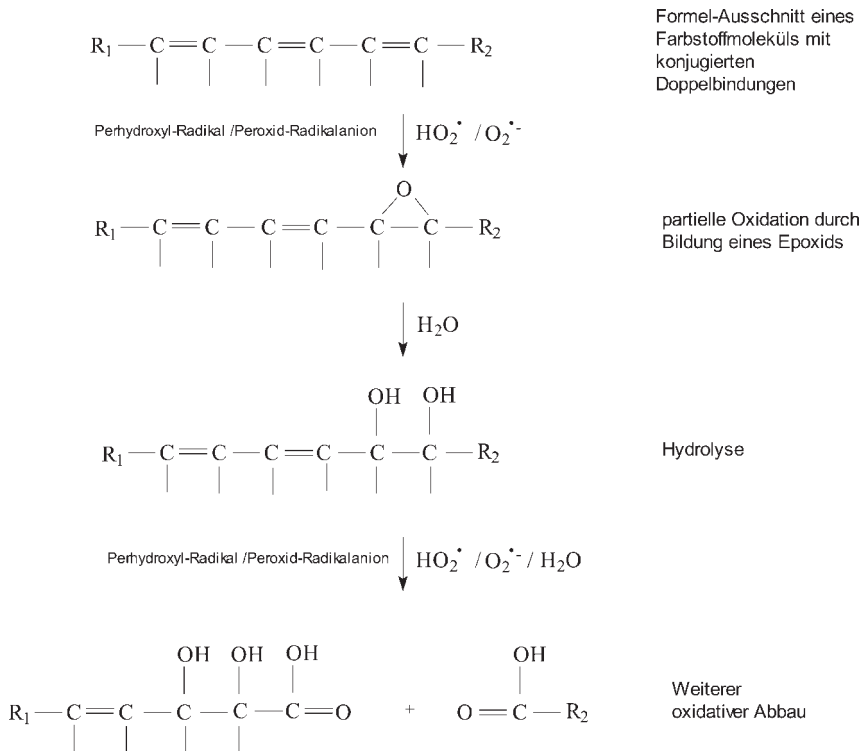


Abb. 5.18 Mögliche chemische Reaktionen beim Bleichvorgang (Sauerstoffbleiche) (Modifiziert nach [6]).

5.4.2

Bleichmittel auf Chlorbasis

In Amerika, Japan, Teilen von Südeuropa und anderen Regionen wird traditionell mit Natriumhypochlorit gebleicht – insbesondere dann, wenn die Wirksamkeit der sog. Aktivsauerstoffträger wie Percarbonat durch niedrigere Waschttemperaturen stark eingeschränkt ist. Hypochlorit kann sowohl im Hauptwasch- als auch im Spülgang eingesetzt werden. Natriumhypochlorit-Lösungen sind in der Regel unverträglich mit anderen Waschmittelinhaltsstoffen, so dass in diesen Fällen das Bleichmittel getrennt dosiert werden muss. Zur Stabilisierung der Bleichmittellösung wird eine stark alkalische wässrige Lösung von Natriumhypochlorit verwendet.

Die Hypochlorige Säure (HOCl) zählt zu den schwachen Säuren ($\text{pK}_\text{S} = 7,5$). Sie ist instabil, so dass Natriumhypochlorit-Lösung beim Ansäuern unterhalb $\text{pH} = 5$ unter Bildung von Chlorgas zerfällt (Abb. 5.19) [10]. Bei Kontakt von Hypochlorit-Lösungen mit Säuren, z. B. sauren Reinigungsmitteln (WC-Reiniger, Entkalker), kann es dadurch zur Freisetzung von Chlorgas kommen.

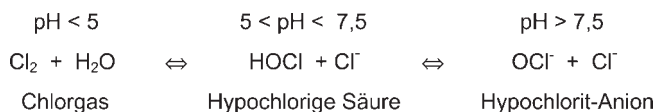


Abb. 5.19 Stabilität der Hypochlorigen Säure bei verschiedenen pH-Werten.

Mechanismus der Chlorbleiche

An der Bleichwirkung einer Hypochlorit-Lösung sind verschiedene aktive Teilchen beteiligt: die Hypochlorige Säure (im pH-Bereich von 5 bis 9), das Hypochlorit-Anion (oberhalb pH = 9) und aktivierter Sauerstoff, der sich durch Zerfall der Hypochlorigen Säure bilden kann ($\text{HOCl} + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O} + \text{<O>}$). Davon übt die Hypochlorige Säure HOCl die effektivste Bleichwirkung aus. Im neutralen bzw. schwach alkalischen pH-Bereich besitzt Natriumhypochlorit dementsprechend die stärkste Bleichwirkung, im stark alkalischen Bereich verläuft der Bleichvorgang deutlich langsamer.

Den Vorteilen wie hohe Bleichkraft (aufgrund des hohen Oxidationspotentials) und gute Hygieneleistung stehen als Nachteile der hohen Reaktivität beispielsweise das vorhandene Schädigungspotential gegenüber Textilfärbungen und Waschmittelinhaltsstoffen (Aufheller) gegenüber.

5.4.3

Bleichaktivatoren

Im Kapitel 5.4.2 wurde bereits darauf hingewiesen, dass Wasserstoffperoxid unter den in Haushaltswaschmaschinen gegebenen Einwirkungszeiten nur bei Temperaturen oberhalb von 60 °C genügend wirksam ist. Da heute aus Gründen des Energiesparens und der Verwendung von temperaturempfindlichen Synthesefasern zunehmend bei niedrigen Temperaturen gewaschen wird, werden bleichmittelhaltigen Waschmitteln Bleichaktivatoren zugesetzt.

Der wichtigste Bleichaktivator ist *Tetraacetylenylendiamin* (TAED). TAED greift chemisch in den Bleichmechanismus ein, indem es in wässriger Lösung mit dem aus Natriumperborat oder Natriumpercarbonat gebildeten Wasserstoffperoxid Peressigsäure bzw. das Peracetat-Anion bildet (Abb. 5.20).

Peressigsäure und das Peracetat-Anion sind deutlich stärkere Oxidationsmittel als Wasserstoffperoxid und entfalten schon bei Temperaturen ab 30 °C eine ausreichende Bleichwirkung (Abb. 5.21). Da TAED nur mit dem Perhydroxid-Anion hinreichend schnell reagiert, bildet sich das Peracetat-Anion nur oberhalb von pH = 9 mit ausreichender Reaktionsgeschwindigkeit.

TAED hat in den letzten Jahren an wirtschaftlicher Bedeutung gewonnen. Durch den Zusatz des Bleichaktivators konnte die Bleichwirksamkeit der Waschmittel im unteren Temperaturbereich entscheidend verbessert werden. Moderne „Kaltwaschmittel“ enthalten entsprechend hohe Anteile an TAED, zum Teil über 10%.

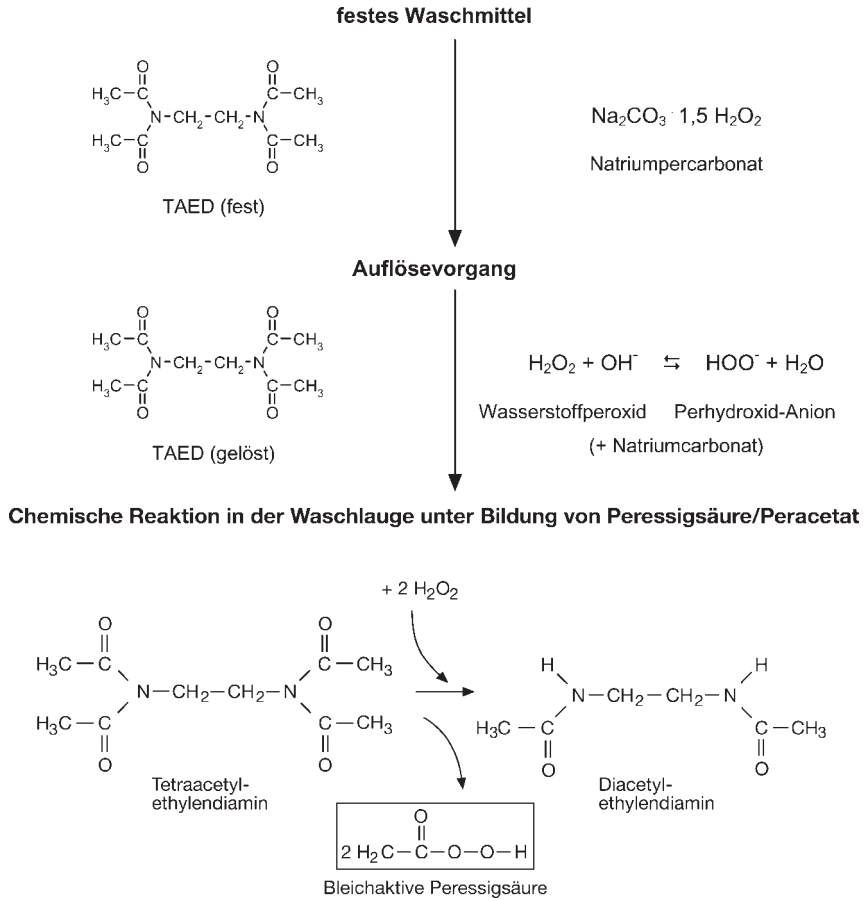


Abb. 5.20 Wirkungsweise eines Bleichaktivators – Bildung von Peressigsäure aus einem bleichmittelhaltigen Waschmittel.

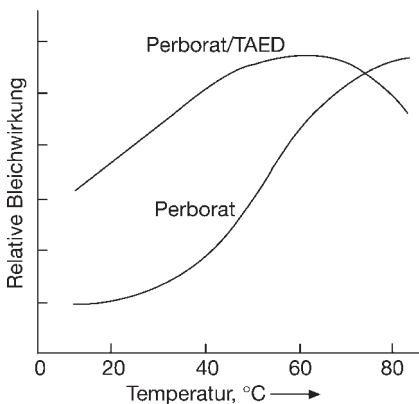


Abb. 5.21 Bleichwirkung mit und ohne TAED als Funktion der Temperatur (Quelle: Jakobi/Löhr, 1987).

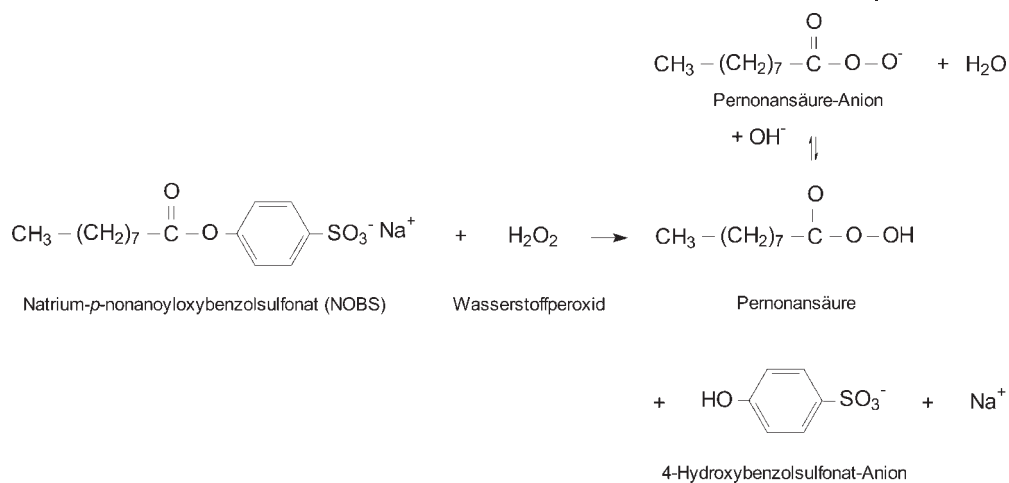


Abb. 5.22 Bildung von Nonan-Persäure (Bleichaktivator) aus Natrium-nonanoyloxy-benzolsulfonat (NOBS).

In den USA und neuerdings auch in Japan wird anstelle von TAED der Bleichaktivator *Natrium-nonanoyloxybenzolsulfonat* (NOBS) verwendet. NOBS bildet in Verbindung mit Wasserstoffperoxid unter alkalischen Bedingungen das Pernonansäure-Anion (Abb. 5.22), das eine ähnliche Bleichwirkung entfaltet wie das Peracetat-Anion, allerdings wesentlich lipophiler ist. Die Verwendung von NOBS ist auf die anderen Waschgewohnheiten in den USA und Japan zurückzuführen (kurze Waschzeiten, große Wassermengen, schwache Mechanik). Unter europäischen Waschbedingungen hat die Verwendung von NOBS keine Vorteile gegenüber TAED. Mischungen von TAED und NOBS werden seit 2009 in einigen europäischen Wasch- und Waschhilfsmitteln verwendet.

In der Erprobungsphase befindet sich ein neuer hydrophober Bleichaktivator DOBA (*Decanoyloxybenzoesäure*), der in Mischungen mit TAED gute anwendungstechnische Eigenschaften zeigt [11]. DOBA wird bisher (Stand Ende 2009) nicht in europäischen Waschmitteln eingesetzt.

5.4.4

Bleichkatalysatoren

Die Effektivität der Sauerstoffbleiche kann nicht nur durch Bleichaktivatoren, sondern auch durch Katalysatoren gesteigert werden. Als *Bleichkatalysatoren* verwendet man spezielle Mangan- oder Cobalt-Verbindungen (Abb. 5.23), die aufgrund ihrer katalytischen Wirkung schon in sehr geringen Mengen (ab ca. 0,005 % Produktanteil) wirksam sind. Man vermutet, dass Bleichkatalysatoren mit dem Perhydroxid-Anion (HOO^-) zu einem Peroxokomplex reagieren, das Perhydroxid-Anion dadurch aktivieren und die Oxidationswirkung bei tieferen Waschttemperaturen verstärken. Radikale treten bei diesem Prozess nicht auf.

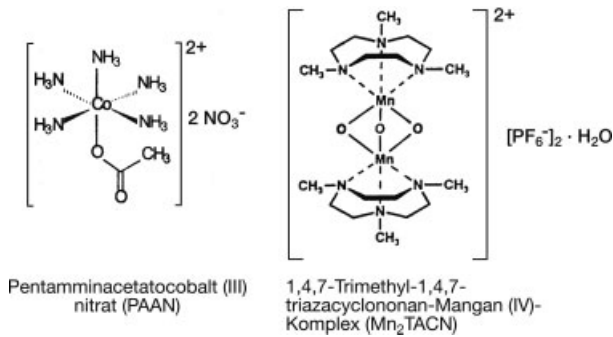


Abb. 5.23 Beispiele für Bleichkatalysatoren auf Basis von Cobalt und Mangan.

Sie übertreffen in phosphatfreien Rezepturen die Leistung von TAED, in phosphathaltigen Rezepturen sind sie vergleichbar leistungsfähig.

Bleichkatalysatoren besitzen neben der Verbesserung der Bleichwirkung bei tieferen Temperaturen auch eine farbübertragungsinhibitorische Wirkung. In Lösung befindliche Farbstoffe, die sich von den Textilien abgelöst haben, werden von Bleichkatalysatoren sehr effektiv oxidiert und dadurch entfärbt.

Während sich Bleichkatalysatoren in maschinellen Geschirrspülmitteln gut bewährt haben, sind die Probleme beim Einsatz in Waschmitteln bisher nicht befriedigend gelöst. Erste Versuche mit Bleichkatalysatoren in Waschmitteln 1994 in Großbritannien und den Niederlanden führten zu deutlichen Wäscheschäden. Bleichkatalysatoren befinden sich weiterhin in der Entwicklungs- und Erprobungsphase, werden aber seit 1994 nicht mehr in Waschmitteln verwendet. Zwischenzeitlich wurden sie in einigen Fleckensalzen im Bereich der Waschhilfsmittel eingesetzt.

5.4.5

Peroxocarbonsäuren

Bei Temperaturen unterhalb 60 °C zeigen viele Peroxocarbonsäuren eine deutlich bessere Bleichaktivität als Wasserstoffperoxid. Dieser Effekt wird z. B. durch den Einsatz des Bleichaktivators TAED ausgenutzt, der in der Waschlauge durch eine chemische Reaktion Peroxoessigsäure (Peressigsäure) bildet. Warum setzt man nicht gleich direkt Peroxocarbonsäuren in Waschmitteln ein, um die Bleichwirkung bei tieferen Temperaturen zu verbessern? In der Praxis bereitet dies aufgrund der hohen Reaktivität der Peroxosäuren mehrere Probleme, die bisher nicht befriedigend gelöst werden konnten:

- unzureichende Lagerstabilität;
- Unverträglichkeit mit anderen Waschmittelinhaltsstoffen, z. B. Enzymen oder optischen Aufhellern;
- aufwändige Synthese und damit verbunden hohe Produktionskosten;
- keine Verfügbarkeit in ausreichenden Mengen.

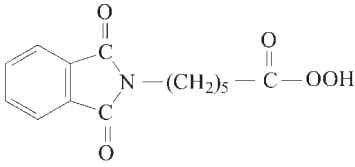


Abb. 5.24 Strukturformel von *N,N*-Phthalimidoperoxyhexansäure (PAP).

Eine interessante Perspektive im Bereich der Wasch- und Reinigungsmittel bietet die *N,N*-Phthalimidoperoxyhexansäure (PAP) (Abb. 5.24).

Sie ist unter Waschbedingungen hinreichend stabil und aus ϵ -Caprolactam relativ einfach in hinreichend großen Mengen herzustellen [12]. Ein Einsatz sowohl in Waschmitteln als auch als separates Waschhilfsmittel ist möglich und in der Praxis in einzelnen Fällen auch schon erfolgt (z. B. in Hobbytheke-Waschmitteln). Gegen einen breiteren Einsatz sprechen noch der höhere Preis, die unzureichende Lagerstabilität in Waschpulvern und die Einschränkungen bei der Rezepturgestaltung. So ist PAP nur in einem engen pH-Bereich ($\text{pH} \approx 9$) hinreichend wirksam.

Die Vorteile von PAP sind eine sehr gute Bleichwirkung im unteren Temperaturbereich (30°C bis 40°C) und eine ausgesprochen gute antimikrobielle Wirksamkeit.

5.5

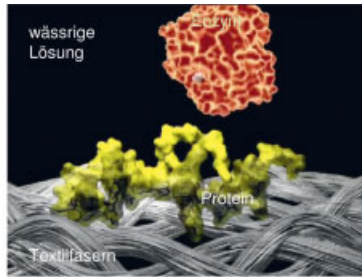
Enzyme

Häufig sind im Wäscheschmutz protein- und stärkehaltige Bestandteile zu finden, z. B. aus Rückständen von Kakao, Eigelb, Bratensoßen, Blut u. a. Sind derartige Verschmutzungen erst einmal angetrocknet und gealtert, so lassen sie sich nur noch mit Hilfe von Enzymen aus den Textilien entfernen, Tenside und Bleichmittel reichen zur Säuberung nicht aus. Nur sofortiges Einweichen kann eine starke Schmutzhaftung verhindern. Man kann nur in diesem Fall eiweiß- und stärkehaltigen Schmutz verhältnismäßig leicht auswaschen.

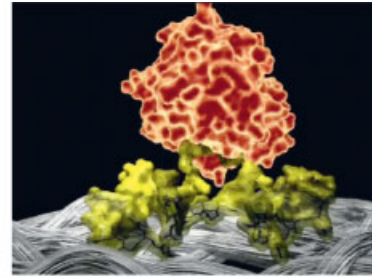
Enzyme sind kompliziert aufgebaute Eiweißkörper. Sie wirken als Biokatalysatoren und sind schon in sehr geringer Konzentration wirksam, da sie sich während der Reaktion nicht verbrauchen. In Waschmitteln eingesetzte Enzyme wirken spezifisch gegenüber einer bestimmten Stoffklasse und spalten große wasserunlösliche Moleküle in kleinere Fragmente, die sich anschließend leicht aus dem Gewebe herauswaschen lassen. In Abb. 5.25 ist dies am Beispiel einer Protease gezeigt.

Dabei wird ihre Wirksamkeit stark von den angewendeten Waschbedingungen wie Temperatur und pH-Wert beeinflusst (Abb. 5.26).

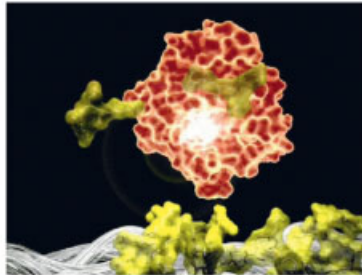
Man unterscheidet Proteasen (Eiweiß spaltende Enzyme), Amylasen (Stärke spaltende Enzyme), Lipasen (Fett spaltende Enzyme), Mannanasen (Galactomannan spaltende Enzyme) und Cellulasen (Cellulose spaltende Enzyme) (Abb. 5.27).



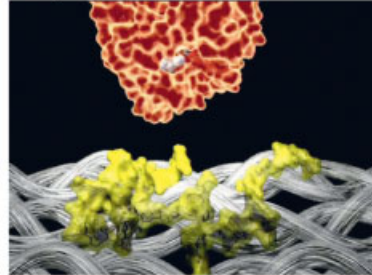
Das Enzym nähert sich an das Protein (Substrat) an.



In der Nähe des Substrates orientiert sich das Enzym mit seinem aktiven Zentrum in Richtung des Proteinstranges. Ein passender Teil des Proteins gelangt durch zwischenmolekulare Anziehungskräfte zum aktiven Zentrum des Enzyms und es entsteht ein Enzym-Substrat-Komplex.



Der Proteinstrang wird in Gegenwart von Wasser durch Hydrolysereaktionen im aktiven Zentrum des Enzyms in Peptidfragmente gespalten. Die wasserlöslichen Peptide entfernen sich anschließend vom Enzym.



Das Enzym steht nun unverändert für weitere Reaktionen mit dem Substrat zur Verfügung und kann erneut einen Enzym-Substrat-Komplex bilden.

Computergraphiken: Henkel AG & Co. KGaA

Enzyme wirken als spezifische Biokatalysatoren, d. h. sie beschleunigen und/oder ermöglichen eine chemische Reaktion ohne sich dabei selbst zu verbrauchen.

Enzyme vom Typ der Proteasen sind in der Lage, Eiweißverbindungen (Proteine) zu spalten und in kleinere wasserlösliche Bruchstücke (Aminosäuren und Peptide) zu zerlegen, die sich anschließend leicht aus dem Gewebe herauswaschen lassen.

Abb. 5.25 Schema einer enzymkatalysierten Proteinspaltung im Simulationsmodell.

Die Verwendung von Enzymen in Waschmitteln wurde zum ersten Mal 1913 beschrieben. Es fehlte jedoch an Enzymen, die unter Waschbedingungen bei den dort herrschenden Temperaturen und dem hohen pH-Wert ausreichend wirksam waren. Man kannte nur die empfindlichen, aus der Pankreas von Schlachttieren gewonnenen Proteasen.

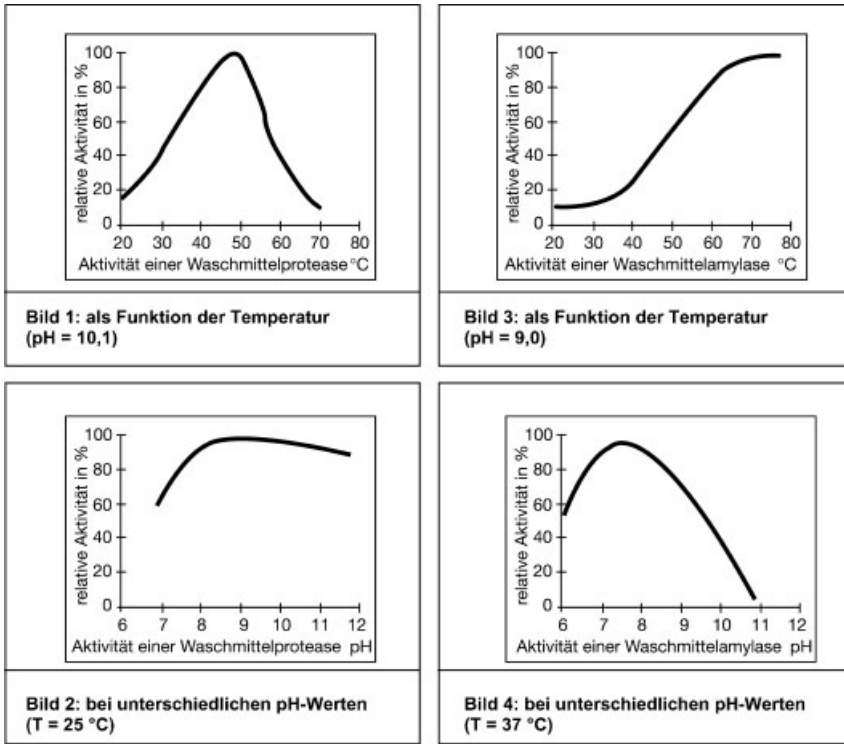


Abb. 5.26 Enzymaktivitäten (Protease, Amylase) bei verschiedenen Temperaturen und pH-Werten.

Heute werden sehr häufig gentechnisch modifizierte Enzyme mit veränderter, neuartiger Proteinsequenz („protein engineering“) eingesetzt.

Proteasen beseitigen eiweißhaltigen Schmutz

Lipasen spalten natürliche Fette und Öle

Amylasen entfernen stärkehaltige Verschmutzungen

Cellulasen glätten Baumwollfasern und erhalten die Farbbrillanz

Mannanasen bewirken Spaltung von Verdickern (Guar, Johannisbrotkernmehl) bei industriell hergestellten Lebensmitteln

Gentechnisch ausgetauschte Aminosäuren im Vergleich zum Ausgangsmolekül

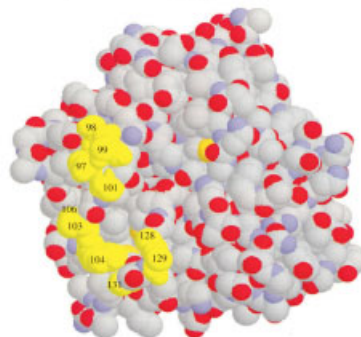


Abb. 5.27 Enzyme in Wasch- und Reinigungsmitteln im Überblick.

Ab 1960 gelang es, aus Bakterien gewonnene Proteasen im großen Maßstab herzustellen. Diese Enzyme wurden aus speziellen Bakterienstämmen (z. B. *Bacillus subtilis*) isoliert und waren unter den üblichen Waschbedingungen bis ca. 65 °C ausreichend aktiv. Schon 1969 waren 80 % der Waschmittel mit Enzym-Zusatz versehen (Werbung: „biologisch aktiv“). Zu dieser Zeit wurden Erkrankungen und Allergien bekannt, die besonders die Arbeiter bei der Herstellung dieser enzymhaltigen Waschmittel betrafen. Die Ursache war der feine Enzymstaub, der diese Überempfindlichkeiten hervorrief. Die Enzymproduktion wurde daraufhin umgestellt und die Enzyme in kleinen Kügelchen, „Prills“ genannt, eingekapselt. Der Feinstaub konnte so vermieden werden, und 1972 erklärte das Bundesgesundheitsamt Enzyme in Waschmitteln als unbedenklich. Der Marktanteil enzymhaltiger Waschmittel, der vorübergehend stark zurückgegangen war, hat sich heute bei ca. 90 % stabilisiert [13, 14].

1988 wurde in Japan zum ersten Mal ein gentechnisch produziertes Enzym in Waschmitteln verwendet, seit 1989 sind derartige Enzyme auch in deutschen Waschmitteln enthalten. Bestimmte Waschmittelenzyme, z. B. die Lipasen, lassen sich wirtschaftlich erst mittels gentechnischer Verfahren herstellen.

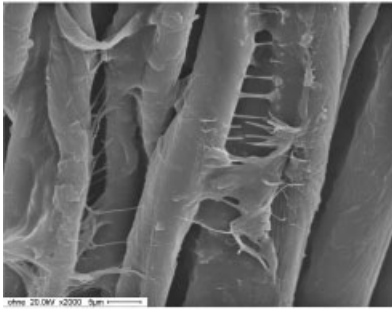
Die *Proteasen* sind die wichtigsten und ältesten Waschmittelenzyme. Sie wurden in den vergangenen Jahren immer weiter optimiert. Heute werden moderne Proteasen mit verbesserter Wirkung im alkalischen Bereich in Waschmitteln eingesetzt, die mit Hilfe gentechnisch optimierter Bakterienkulturen hergestellt werden. Gentechnisch produziert werden sowohl naturidentische (2. Generation) als auch grundlegend neue Enzyme (3. Generation). Bei Letzteren werden gezielte Veränderungen der Aminosäuresequenz durchgeführt, Protein-Engineering genannt (s. Abb. 5.27). Hinsichtlich Verbrauchersicherheit und Umweltverträglichkeit werden gentechnisch produzierte Enzyme ebenso gut beurteilt wie klassisch hergestellte (s. auch Kap. 9.7.4).

Seit 1975 werden außer den Proteasen auch *Amylasen* in Waschmitteln eingesetzt, die zu verbesserten Waschergebnissen gegenüber kohlenhydrathaltigen Anschmutzungen führen.

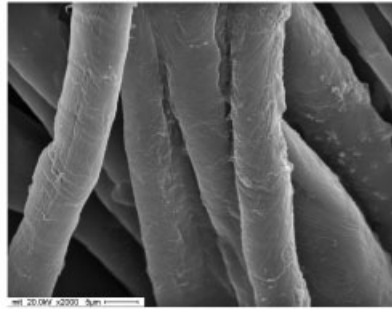
Die in neuerer Zeit untersuchten *Lipasen* (Fett spaltende Enzyme) entfalten ihre größte Wirkung praktisch schon bei Zimmertemperatur. Oberhalb dieser Temperatur sind die Tenside für fettähnliche Anschmutzungen ausreichend wirksam oder überlegen. Die Kombination von Tensiden mit Lipasen erhöht die Waschwirkung – Lipasen lösen die Fettverschmutzung an, den Tensiden wird dadurch die Schmutzablösung erleichtert. Mit Hilfe der Gentechnik sind ausreichend leistungsfähige Lipasen für Waschmittel entwickelt worden. Lipasen werden in Deutschland seit 1991 in Waschmitteln eingesetzt. Bereits 1993 waren in etwa der Hälfte der deutschen Pulverwaschmittel diese Enzyme enthalten.

Cellulasen führen indirekt ebenfalls zu einer verbesserten Schmutzablösung (nur bei Baumwolle und anderen baumwollhaltigen Cellulosefasern), da sie amorphe Anteile der Cellulose und abstehende Mikrofibrillenbündel ablösen. Die Zugänglichkeit der Anschmutzung für Tenside wird dadurch erleichtert [15]. Durch die Entfernung der Mikrofibrillenbündel wird ebenfalls der optische Eindruck der Oberfläche positiv verändert (Abb. 5.28).

**Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen eines neuen Baumwoll-Textils
nach 25maligem Waschen mit einem Colorwaschmittel bei 40°C**



ohne Cellulase



mit 0,5% Cellulase

Abb. 5.28 Wirkungsweise von Cellulasen.

Eine Farbtrübung und ein Verblässen des Gewebes können so in gewissem Maße rückgängig gemacht werden (Abb. 5.29). Cellulasen werden deshalb besonders den Waschmitteln für farbige Textilien (Colorwaschmittel, Feinwaschmittel) zugesetzt und in Deutschland seit 1992 verwendet.

Eine Neuentwicklung bei Waschmittelenzymen ist die *Mannanase*. Dieses Enzym ist in der Lage das Polysaccharid Galactomannan in kleinere Einheiten zu spalten und damit wasserlöslich zu machen. Galactomannan ist u. a. Bestandteil von Guarkernmehl oder Johannisbrotkernmehl, das als Verdickungsmittel oder Strukturgeber für Lebensmittel und Kosmetika Verwendung findet. Mannanase kann die Schmutzablösung von galactomannanhaltigen Rückständen auf

**Vorschädigung des Gewebes durch 25x Waschen mit einem Vollwaschmittel bei 60°C
danach:**



**25x gewaschen mit einem
Colorwaschmittel bei 40°C
ohne Cellulase**



**25x gewaschen mit einem
Colorwaschmittel bei 40°C
mit 0,5% Cellulase**

Abb. 5.29 Demonstration des Effektes von Cellulase.

der Wäsche verbessern und zur Leistungssteigerung der Waschmittel besonders im unteren Temperaturbereich beitragen [16]. Das Enzym Mannanase ist seit 2002 in deutschen Waschmitteln zu finden und wird seitdem in zahlreichen Waschmitteln in Europa und Nordamerika eingesetzt.

Auf einigen Waschmittelpackungen ist die Inhaltsstoffdeklaration „Glycosidase“ als Oberbegriff für Enzyme zu finden, die glykosidische Bindungen spalten können. Dazu zählen die Amylasen, Cellulasen und Mannanasen.

Ein besonderes Problem stellt die Lagerstabilität von Enzymen in flüssigen Waschmitteln dar, weil die Gefahr des Aktivitätsverlustes bei längeren Lagerzeiten besteht. Eine gute Stabilisierung von Enzymen in Flüssigwaschmitteln wird durch Zusatz von einwertigen Alkoholen, Glykolen und/oder Boraten erreicht. Darüber hinaus wirken auch Polycarboxylate und Komplexbildner (Citrate, Phosphonate) stabilisierend auf Enzyme.

Mit Hilfe der Gentechnik sind in den letzten Jahren große Erfolge durch eine signifikante Erhöhung der Enzymaktivität insgesamt und insbesondere bei tieferen Waschttemperaturen unterhalb 40 °C erzielt worden. Damit ist es heute möglich, Voll- und Colorwaschmittel mit ausreichender Waschleistung schon im Temperaturbereich ab 15 °C zu verwenden. Ebenso haben verbesserte Enzyme einen wesentlichen Anteil daran, dass die Dosierung der Waschmittel in den letzten Jahren bei vollem Erhalt der Waschleistung deutlich zurückgegangen ist. Die Entwicklung grundlegend neuer Enzymklassen, z. B. Oxidasen und Peroxidasen zur Unterstützung der Bleichwirkung, befindet sich bislang noch in der Erforschungsphase.

5.6

Sonstige Inhaltsstoffe

5.6.1

Polymere Inhaltsstoffe

Der Einsatz von Polymerverbindungen in Waschmitteln hat schon eine lange Tradition, ist in den letzten Jahren jedoch deutlich erweitert worden. Zu den ältesten, schon seit 1930 verwendeten Polymeren zählt Carboxymethylcellulose (CMC), die als Vergrauungsinhibitor verwendet wird. Heute ist die Palette der Vergrauungsinhibitoren durch die seit Mitte der neunziger Jahre verwendeten Soil Release Polymere beträchtlich erweitert und den gestiegenen Ansprüchen an Waschmittel und Wäschepflege angepasst worden. Seit Anfang der 1990er Jahre sind die Verfärbungsinhibitoren und Farbschutzpolymere, seit 2002 wasserlösliche Polymere als Folienmaterial für flüssige Waschmittel als weitere Neuentwicklungen hinzugekommen. Auch in Zukunft sind Weiterentwicklungen bei den Waschmittelpolymeren zu erwarten.

Die als Enthärterbestandteile wichtigen Polycarboxylate und damit verwandte Verbindungen wurden bereits in Kapitel 5.2 vorgestellt.

5.6.1.1 Vergrauungsinhibitoren und Soil Release Polymere

Tenside allein zeigen häufig kein ausreichendes Schmutztragevermögen, so dass der einmal abgelöste Schmutz aus der Waschflotte wieder auf die Faser aufziehen kann. Die Textilien vergrauen, wobei dieser Prozess kaum rückgängig gemacht werden kann. Während Seifen mittlerer Kettenlängen (C_{12} bis C_{16}) ein gutes Schmutztragevermögen zeigen, ist dies bei anderen Tensiden nicht immer der Fall. Weiterhin fördert eine zu geringe Dosierung des Waschmittels den Vergrauungsprozess.

Aus diesem Grunde versucht man, durch geeignete Substanzen das Schmutztragevermögen zu verbessern und eine Wiederablagerung auf den Textilfasern zu verhindern [17]. Dies gelingt einerseits durch geeignete Auswahl der verschiedenen Waschmittelkomponenten (Tenside/Gerüststoffe), andererseits durch Zusatz von *Vergrauungsinhibitoren*.

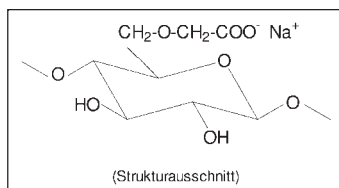
Vergrauungsinhibitoren ziehen irreversibel auf die Faser auf und verhindern so einen engen Kontakt zwischen Schmutz und Faser. Sie verbleiben nach dem Waschvorgang auf der Wäsche. Aufgrund ihrer Wirkung (Faserhaftung) müssen sie eine strukturelle Ähnlichkeit mit der Faser zeigen. Für Cellulosefasern wie Baumwolle haben sich seit langer Zeit Natriumsalze der Carboxymethylcellulose (CMC) bewährt (Abb. 5.30).

Auf Synthesefasern ist CMC praktisch wirkungslos, deshalb ist heute das Angebot an Vergrauungsinhibitoren durch Celluloseether erweitert worden (Abb. 5.30), die bei Synthesefasern aufgrund ihrer geringeren Polarität und der fehlenden ionischen Ladung gegenüber CMC eine etwas bessere Wirkung zeigen. In phosphatfreien Waschmitteln übernehmen auch Polycarboxylate die Funktion von Vergrauungsinhibitoren (s. Kap. 5.2.4).

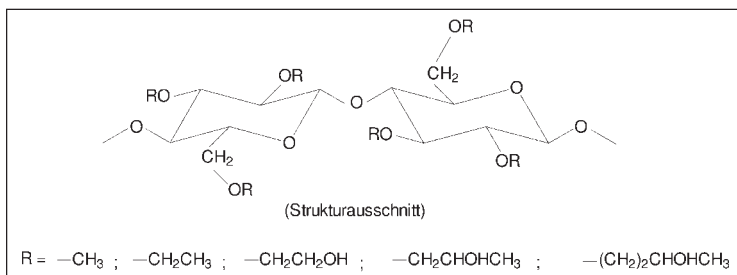
In Waschmitteln, insbesondere modernen Kompaktwaschmitteln, werden seit 1995 Polymere eingesetzt, die überwiegend eine Affinität zu Synthesefasern besitzen. Es handelt sich dabei um verschiedene Polymer-Strukturen aus Polyester- und Polyether-Einheiten auf Basis der Terephthalsäure. Gegebenfalls werden zusätzlich sulfonierte Isophthalsäure-Einheiten verwendet. Durch unterschiedliche Kombination der in Abb. 5.30 gezeigten Molekülgruppen erhält man die verschiedenen Polymerstrukturen. Diese Polymere werden *Soil Release Polymere*, kurz SRP, genannt. Soil Release Polymere führen bei synthetischen Fasern zu einer verbesserten Fett- und Ölentfernung während der Textilwäsche.

Die Wirkung von Soil Release Polymeren lässt sich folgendermaßen erklären: Das Polymer zieht während des Waschvorgangs auf die Faser auf und ordnet sich dort so an, dass der hydrophile Anteil des Moleküls nach außen ragt, während die hydrophoben Gruppen sich in Richtung Faseroberfläche orientieren und dadurch zu einer starken Faserhaftung mit der ebenfalls hydrophoben Synthesefaser führen. Es bildet sich eine hydrophile Schutzschicht um die Faser. Der beim anschließenden Tragen aufziehende Fett- oder Ölschmutz kann nur noch begrenzt auf der Faser haften bzw. in sie eindringen und lässt sich damit beim nächsten Waschvorgang wieder leicht entfernen (Abb. 5.31).

Die leichtere Entfernbarekeit von Fett- und Ölschmutz durch SRP ermöglicht sowohl eine bessere Waschleistung als auch eine Verringerung der Waschetempera-



Carboxymethylcellulose, Natriumsalz



Celluloseether

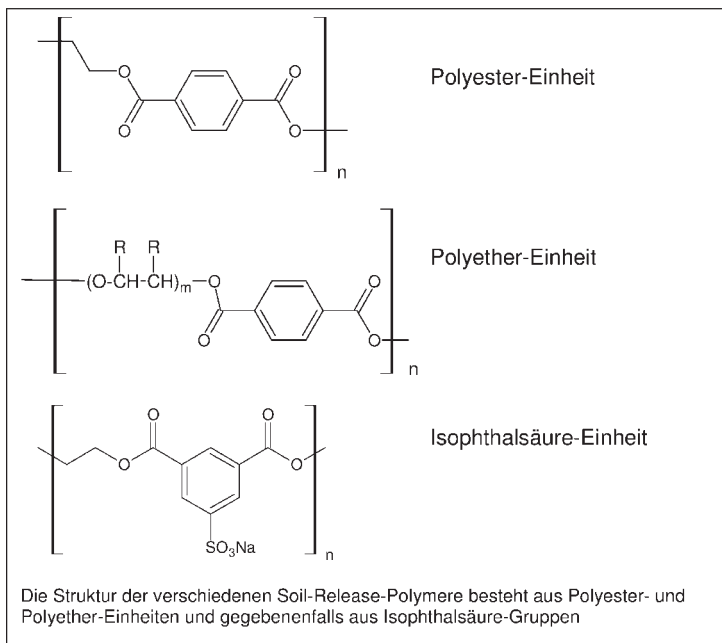


Abb. 5.30 Vergrauungsinhibitoren und Soil Release Polymere.

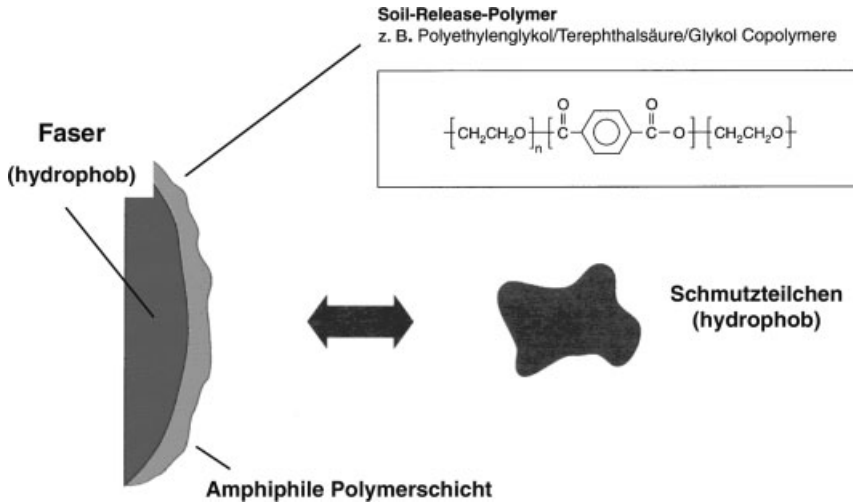


Abb. 5.31 Wirkungsweise von Soil Release Polymeren.

tur und damit Einsparung von Energie [18, 19]. Niedrigere Waschttemperaturen schonen zudem auch Faser und Textilarbe. Soil Release Polymere begünstigen aber nicht nur die Ablösung von Schmutz, sondern binden den Schmutz und verringern damit ähnlich wie CMC eine Redeposition des Schmutzes. Abbildung 5.32 zeigt den Effekt von Soil Release Polymeren nach dem Waschen.

An Baumwolle wirksame Soil Release Polymere werden bisher nicht in Waschmitteln eingesetzt. Die Entwicklung derartiger strukturell unterschiedlicher SRP stellt eine besondere Herausforderung dar, da die Baumwollfasern im Gegensatz

Für den Waschversuch wurden die Textilien 3x mit der jeweiligen SRP-Konzentration bei 40°C mit einem Vollwaschmittel vorgewaschen, angeschmutzt und erneut gewaschen







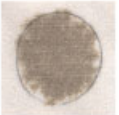


Anschmutzung	Ausgangswert	ohne SRP	mit 0,25% SRP
Lippenstift			
Crème Rouge			
Motoröl, gebr.			

Abb. 5.32 Demonstration des Effektes von Soil Release Polymeren (SRP).

zu synthetischen Fasern keine einheitliche homogene Struktur aufweisen und je nach Textilausrüstung einen breiten Hydrophilie/Hydrophobie-Bereich abdecken.

Um eine ausreichende Wirksamkeit gegen Vergrauung bei den heute verwendeten unterschiedlichen Textilfasertypen (Natur- und Chemiefasern) zu erzielen, werden in modernen Waschmitteln Mischungen verschiedener Vergrauungsinhibitoren eingesetzt.

Eine Neuentwicklung ist *hydrophob modifizierte Carboxymethylcellulose*, z. B. durch partielle Bildung eines Hexylethers an freien OH-Gruppen der Cellulose. Diese Polymere lagern sich beim Waschen auf den Textilfasern (bevorzugt Baumwolle) ab. Die Faser wird geschützt und ein Faserabrieb verringert. Damit lässt sich die Fussel- und die Knötchenbildung von Baumwollfasern reduzieren [20]. Das Erscheinungsbild der Textilien nach dem Waschen lässt sich damit verbessern. Hydrophob modifizierte Carboxymethylcellulose wird seit 2003 in einigen Vollwaschmitteln eingesetzt.

5.6.1.2 Farbübertragungsinhibitoren

Werden unterschiedlich gefärbte Textilien gemeinsam in der Waschmaschine gewaschen, können Farbübertragungen auftreten. Der Farbstoff kann sich während des Waschens von der Faser ablösen, verteilt sich dann in der Waschflotte und zieht an anderer, unerwünschter Stelle erneut auf die Faser auf. Farbübertragungsinhibitoren (auch Verfärbungsinhibitoren genannt) können im begrenzten Rahmen Schutz gegen derartige Verfärbungen bieten, die besonders durch nicht fachgerecht gefärbte Textilien auftreten können [21, 22]. Abbildung 5.33 zeigt den Effekt von Farbübertragungsinhibitoren nach dem Waschen unterschiedlich gefärbter Textilien.

Als erster Farbübertragungsinhibitor in Waschmitteln wurde Polyvinylpyrrolidon (PVP) eingesetzt [23]. PVP findet bevorzugt in Colorwaschmitteln Verwendung, doch lässt es sich prinzipiell in jedem Waschmittel einsetzen, da es mit anderen Waschmittelinhaltsstoffen gut verträglich ist. Das in Waschmitteln eingesetzte PVP ist ein gut wasserlösliches Polymer mit einer mittleren molaren Masse von ca. 40.000 g/mol (Abb. 5.34).

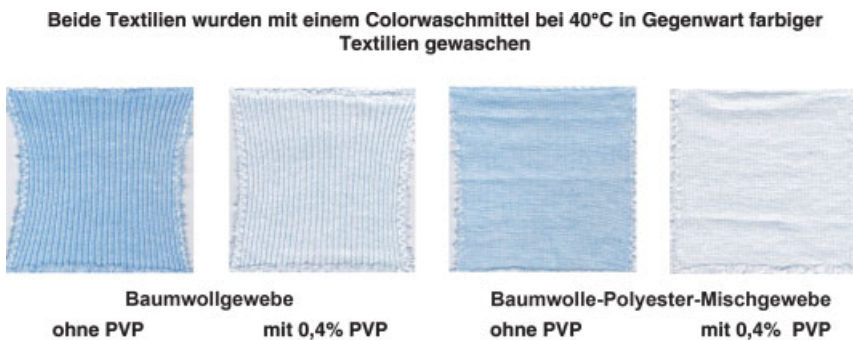
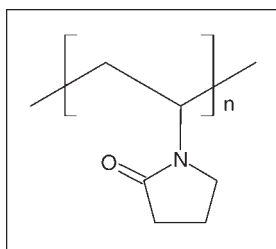


Abb. 5.33 Demonstration des Effektes von Polyvinylpyrrolidon (PVP).

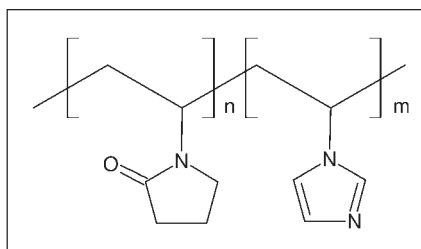
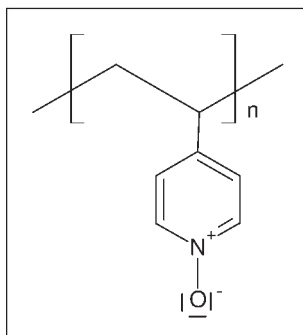
Polyvinylpyrrolidon verhindert in der Regel ein Wiederaufziehen des beim Waschvorgang abgelösten Farbstoffes durch Bildung eines Adduktes von PVP mit dem Farbstoff. Das langkettige Polyvinylpyrrolidon umschließt dabei die Farbstoffmoleküle, wobei die hydrophilen Molekülteile des PVP in Richtung wässrige Lösung ragen. Dadurch wird ein Kontakt zwischen Faser und Farbstoff verhindert und der Farbstoff in der Waschflotte stabilisiert. Daneben kann PVP im geringen Maße auch die Faseroberfläche belegen und dadurch eine Adsorption des Farbstoffes auf der Faser verhindern. Nachteilig wirkt sich aus, dass PVP in höheren Konzentrationen auch bestimmte Farbstoffe, z. B. Direktfarbstoffe, aus der Faser lösen kann und dadurch den Farbeindruck des Textils verschlechtert.

PVP wird im Bereich der Kosmetik, Pharmazie und Lebensmitteltechnologie schon seit vielen Jahren verwendet. Die in Waschmitteln eingesetzte Menge ist demgegenüber gering. Aus ökologischer und toxikologischer Sicht bestehen nach dem derzeitigen Stand keine Bedenken gegen eine Anwendung von PVP.

PVP ist hauptsächlich wirksam beim Waschen von Cellulosefasern (Baumwolle, Leinen, Viskose u. a.). Gegenüber Wolle und Polyamidfasern ist es wenig effektiv. Weiterhin wirkt reines PVP nicht gegen alle Textilfarbstoffe gleichermaßen effektiv, so dass intensiv an verbesserten Farbübertragungsinhibitoren gearbeitet wird.



Polyvinylpyrrolidon (PVP)

Copolymer aus Vinylpyrrolidon
und Vinylimidazol (PVP/VI)

Poly-4-vinylpyridin-N-oxid (PVNO)

Abb. 5.34 Strukturformeln von Verfärbungsinhibitoren.

Als erfolgreiche Weiterentwicklungen mit verbesserter Wirksamkeit haben sich Copolymere aus Vinylpyrrolidon und Vinylimidazol (PVPVI, Handelsname z. B. Sokalan® HP 56 und HP 66) und Poly-4-vinylpyridin-N-oxid (PVNO, Handelsname Chromabond) erwiesen (Abb. 5.34). In modernen Waschmitteln werden inzwischen überwiegend diese Substanzen eingesetzt.

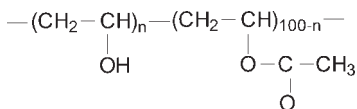
5.6.1.3 Farbpflegepolymere

Farbübertragungsinhibitoren verhindern vorrangig ein Wiederaufziehen des abgelösten Farbstoffes auf die Faser. Das Herauslösen des Farbstoffes aus der Faser („Ausbluten“) können sie nicht oder nur im geringen Maße vermeiden. In einigen Spezialwaschmitteln werden deshalb zusätzlich oder alternativ zu den Farbübertragungsinhibitoren noch weitere Farbpflegepolymere eingesetzt, welche primär die Farbstoffe auf der Textilfaser fixieren und damit eine Farbübertragung auf andere Textilfasern verringern können. Farbpflegepolymere, auch Farbschutzsubstanzen oder „Dye Fixatives“ genannt, besitzen eine relativ hohe Faserhaftung und enthalten häufig Aminogruppen. Sie sind entweder nichtionischer Natur oder enthalten quaternäre Stickstoffgruppen mit kationischer Ladung. Zu diesen Substanzen gehören z. B. Polyaminderivate (Handelsname Texcare®) und Polyethylenpolyamine (Handelsname Tinofix®) [24]. Insgesamt sind Farbübertragungsinhibitoren wirksamer hinsichtlich der Eigenschaftserhaltung der Wäschestücke als Farbpflegepolymere, so dass die Verwendung Letzterer auf einige Spezialwaschmittel beschränkt bleibt.

5.6.1.4 Folien für Portionierungen

Portionierte Flüssigwaschmittel („Flüssig-Tabs“) werden in Form von Dosierbeuteln angeboten, die eine einfache und bequeme Handhabung ermöglichen. Das hochkonzentrierte und weitgehend wasserfreie Waschmittel (s. auch Kap. 4) ist dabei von einer Folie umgeben, die sich schnell und rückstandsfrei auch in kaltem Wasser auflöst.

Als Folienmaterial wird teilverseifter Polyvinylalkohol PVAL verwendet, der gut kaltwasserlöslich ist (Abb. 5.35). Der Auflösungsprozess der Folie beginnt sofort nach Kontakt mit Wasser. Nach 10 bis 90 Sekunden hat sich die Folie gelöst [25]. Anschließend löst sich auch das Waschmittel schnell auf. Portionierbeutel werden direkt in die Waschtrommel gegeben und zwar vor dem Befüllen mit Schmutzwäsche, damit der Folienbeutel gut vom Wasser umspült werden kann.



(Strukturausschnitt)

n = Verseifungsgrad in %

$n \geq 98 \%$ heißwasserlöslich

$n = 80 \text{ bis } 90 \%$ kaltwasserlöslich

Abb. 5.35 Polyvinylalkohol als Folienmaterial für Flüssig-Tabs. Der Verseifungsgrad entscheidet über die Löslichkeit.

5.6.2

Optische Aufheller

Rohweiße Wäsche hat von Natur aus einen leichten Gelbstich (z. B. Leinen, Baumwollnessel). Dieser Gelbschimmer rührt daher, dass von der Wäsche bevorzugt kurzwelliges blaues Licht absorbiert wird. Dem reflektierten Licht fehlt dadurch der Blauanteil. Das menschliche Auge nimmt die Komplementärfarbe der Blau-Absorption als gelbe Farbe wahr.

Der Gelbschimmer wird vom Auge sehr empfindlich wahrgenommen und kann den Weißindruck beeinträchtigen. Schon Mitte des 19. Jahrhunderts versuchte man deshalb, den Gelbstich der Wäsche durch Zusatz von blauen Farbstoffen, die nach der Wäsche auf der Faser verbleiben, zu vermeiden. Dieser Blaustich verstärkt den Weißindruck. Damals wurde pulverisiertes Ultramarinblau, ein anorganischer Pigmentfarbstoff (Waschblau genannt), dem letzten Spülbad zum „Wäschebläuen“ zugesetzt.

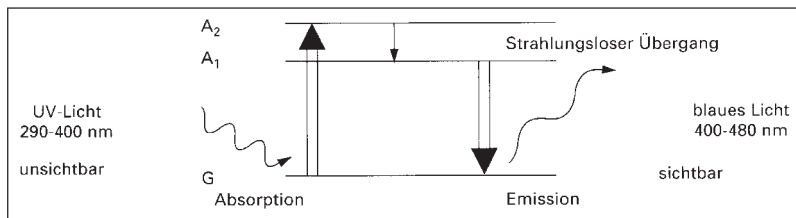
Heute verwendet man optische Aufheller, auch Weißtöner oder Weißmacher genannt. Dies sind organische Substanzen, die einen Teil des im Tageslicht enthaltenen unsichtbaren UV-Lichts in sichtbares blaues Licht umwandeln können. Das von der Wäsche reflektierte Licht hat dadurch einen sehr hohen Blauanteil. Der Mensch nimmt dies als besonders strahlendes Weiß (Waschmittelwerbung: „weißer als weiß“) wahr. Optische Aufheller ziehen beim Waschen oder Spülen auf die Faser auf und verbleiben dann auf der Wäsche. Sie haben dementsprechend keinerlei Waschwirkung, sondern die Funktion von weißverbessernden Hilfsmitteln.

Optische Aufheller sind kompliziert aufgebaute Verbindungen. Sie nutzen das Prinzip der Fluoreszenz zur Umwandlung von UV-Licht in blaues, sichtbares Licht (Abb. 5.36).

Erste Waschmittelaufheller wurden 1950 erprobt. Die Entwicklung geeigneter Substanzen gestaltete sich nicht einfach, da sie ganz unterschiedliche Eigenschaften erfüllen müssen:

- Optische Aufheller sind nur wirksam, wenn sie nach der Wäsche auf der Faser verbleiben. Sie müssen daher auf Textilfasern haften.
- Die Eigenfarbe der Aufheller darf keine Verfärbung verursachen.
- Die optischen Absorptionseigenschaften der Faser dürfen im sichtbaren Bereich nicht verändert werden, sonst kommt es zu Verfärbungen der Wäsche.
- Die Eigenreflexion der Aufheller muss gering gehalten werden.
- Sie müssen unter Waschbedingungen chemisch resistent sein.
- Sie müssen gegenüber Bleichmitteln möglichst unempfindlich sein.
- Sie müssen unempfindlich gegenüber Luftsauerstoff und Licht sein.

Es sind heute verschiedene Waschmittelaufheller bekannt. Allen gemeinsam ist ein relativ komplizierter Molekülbau, bestehend aus einem ausgedehnten System konjugierter Doppelbindungen (verantwortlich für die Fluoreszenz) und funktionellen Gruppen, die für die Faserhaftung sorgen. Abbildung 5.37 zeigt die Strukturformeln von zwei häufig verwendeten optischen Aufhellern.



UV-Licht im Bereich 290-400 nm ist mit geringem Anteil im Sonnenlicht enthalten. Das energiereiche Licht kann ein Elektron aus dem System konjugierter Doppelbindungen (π -System) des Aufhellers aus dem Grundzustand G in einen höheren Energiezustand, den angeregten Zustand A₂, überführen. Die gesamte Energie verbleibt für kurze Zeit (10^{-9} bis 10^{-6} Sekunden) im Molekül. Danach geht das Elektron nicht direkt in den Grundzustand zurück, sondern in einen anderen angeregten Zustand A₁ über und gibt dabei die überschüssige Energie in Form von Schwingungsenergie ab. Dabei wird keine elektromagnetische Strahlung emittiert. Die Rückkehr in den Grundzustand geschieht unter Ausstrahlung von Licht (s. Abbildung). Da die Energieabgabe geringer ist, als die ursprünglich absorbierte Energie, ist die Wellenlänge des ausgestrahlten Lichtes entsprechend länger. Der ganze Vorgang ist in ca. 10^{-6} Sekunden abgeschlossen.

Die Wellenlängen des absorbierten und emittierten Lichtes hängen von der Molekülstruktur ab und lassen sich durch gezielte chemische Synthesen steuern.

Abb. 5.36 Mechanismus der Fluoreszenz.

Name	Konstitution
4,4-Bis-(triazinylamino)-stilben-2,2-disulfon-säure-derivat, Na-Salz	
Dinatrium 4,4'-bis (2-sulfostyryl)-biphenyl	

Abb. 5.37 Strukturformeln häufig verwendeter optischer Aufheller.

Problematisch sind Aufheller bei pastellfarbenen Textilien. Sie können dort zu deutlichen Farbveränderungen führen. Bei kräftig gefärbten Textilien zeigen Aufheller keine sichtbare Wirkung.

5.6.3

Stabilisatoren und Komplexbildner

Über den Schmutz der Wäsche oder das Leitungswasser können Spuren von Eisen-, Kupfer- und Mangan-Ionen in die Waschflotte gelangen. Aber auch herstellungsbedingt können Waschrohstoffe geringe Mengen an Schwermetallen enthalten. Diese Schwermetall-Ionen können die Lagerfähigkeit des Bleichmittels herabsetzen und katalytisch auf die Zersetzung von Wasserstoffperoxid wirken, das in der Waschlauge aus dem Bleichmittel gebildet wird (s. Kap. 5.4). Die Bleichwirkung beim Waschen wird dadurch vermindert und die Textilfaser durch auftretende OH-Radikale geschädigt (Abb. 5.38).

Schwermetall-Ionen müssen durch geeignete Komplexbildner gebunden werden. Gerüststoffe wie Zeolith A haben kein ausreichendes Bindungsvermögen für diese Schwermetalle, so dass Waschmitteln selektiv wirkende starke Komplexbildner zugesetzt werden müssen.

Komplexbildner stabilisieren nicht nur die Bleichmittel, sondern tragen auch zum Stabilitätserhalt der Enzyme bei. Darüber hinaus haben besonders Phosphonate (s. unten) noch weitere günstige Eigenschaften beim Waschprozess. Phosphonate verhindern ähnlich wie Polycarboxylate das Wachstum von Kalkkristallen, verhindern also eine Wäscheinkrustation und unterstützen zum Teil das Auswaschen bleichbarer Flecken. Aus diesem Grunde sind sie in geringer Konzentration auch in vielen bleichmittelfreien Waschmitteln zu finden [26]. In dieser Funktion bezeichnet man sie allgemein als *Stabilisatoren*.

Früher wurde *Ethylendiamintetraacetat* (EDTA) (Abb. 5.39) als Bleichstabilisator eingesetzt.

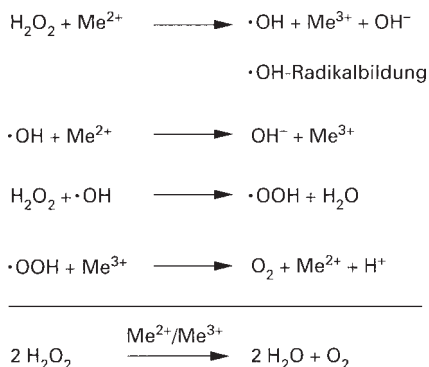


Abb. 5.38 Zersetzungsmechanismus von Wasserstoffperoxid in Gegenwart von Schwermetall-Ionen [4].

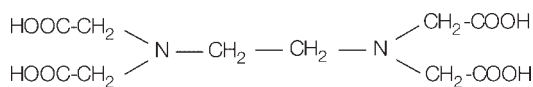
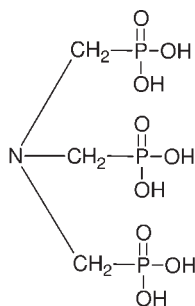
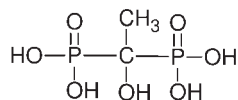


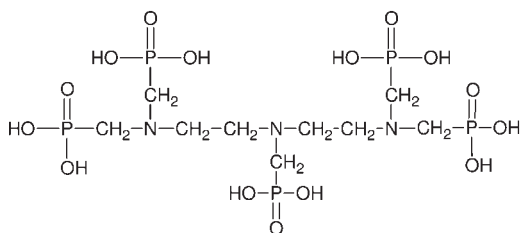
Abb. 5.39 Strukturformel von Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA).



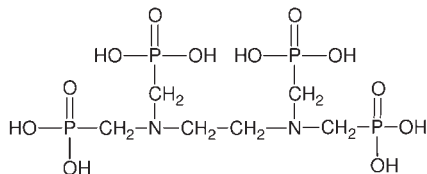
Aminotrismethylen-trisphosphonsäure (ATMP)
(Syn.: (Nitrilotrismethylen)-trisphosphonsäure)
(häufig eingesetzt als Pentanatriumsalz)



1-Hydroxyethan-1,1-diphosphonsäure (HEDP)
(häufig eingesetzt als Tetranatriumsalz)



Diethylentriaminpenta(methylenphosphonsäure) (DTPMP)
(häufig eingesetzt als Heptanatriumsalz)



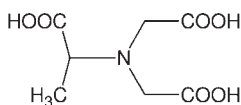
Ethylendiamintetra(methylenphosphonsäure) (EDTMP)
(häufig eingesetzt als Penta- oder Hexanatriumsalz)

Abb. 5.40 In Waschmitteln häufig eingesetzte Phosphonate.

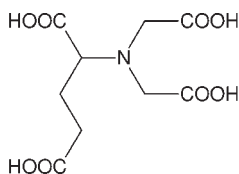
EDTA ist ein sehr starker Komplexbildner und wurde in Form der Natriumsalze in Waschmitteln in geringer Konzentration (< 1 %) verwendet. Aus ökologischen Gründen ist EDTA in Deutschland spätestens seit 1989 aus Waschmitteln verschwunden. Es ist biologisch nicht abbaubar, kann giftige Schwermetalle aus Sedimenten herauslösen und ins Grund- oder Trinkwasser transportieren. EDTA darf nicht mit dem strukturell ähnlichen, aber biologisch gut abbaubaren Bleichaktivator TAED (s. Abb. 5.20) verwechselt werden. Anstelle von EDTA werden heute in erster Linie Phosphonate eingesetzt. Auch *Magnesiumsilicat* MgSiO_3 ist einige Zeit mit Erfolg als Bleichstabilisator eingesetzt worden. Es adsorbiert Schwermetall-Ionen und hebt die katalytische Wirkung dadurch auf.

Als *Phosphonate* werden die Salze der Phosphonsäuren bezeichnet. Es sind ähnlich wie EDTA starke Komplexbildner. Auch sie dienen als Bleichstabilisatoren. In Waschmitteln werden unterschiedliche Phosphonate eingesetzt. Die wichtigsten Vertreter sind: Aminotris(methylenphosphonsäure) (ATMP, Nitrilotrimethylene Triphosphonic Acid), 1-Hydroxyethan-1,1-diphosphonsäure (HEDP, Etidronic acid), Ethylendiamintetra(methylenphosphonsäure) (EDTMP) und Diethylentriaminpenta(methylenphosphonsäure) (DTPMP) sowie deren Salze (Abb. 5.40).

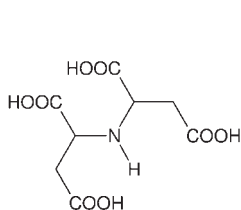
Phosphonate sind biologisch schwer abbaubar, sind von daher ökologisch kritisch zu beurteilen, werden allerdings nur in verhältnismäßig geringen Mengen (3.900 Tonnen im Jahr 2008) verwendet. An besser abbaubaren Komplexbildnern wird intensiv gearbeitet.

**MGDA**

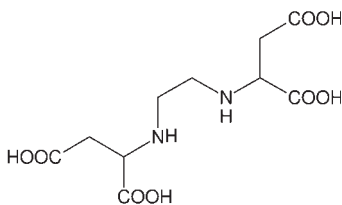
Methylglycindiessigsäure-Trinatrium Salz

**GLDA**

Tetranatrium Glutamat-diacetat

**IDS**

Iminodisuccinat

**EDDS**

Ethylendiamin-N,N'-disuccinat

Die aufgeführten Säuren werden üblicherweise in Form der Natriumsalze verwendet.

Abb. 5.41 Biologisch abbaubare Komplexbildner.

Seit 2009 gibt es ein neues Kokosamin-Phosphonat, das mit einer Abbaurate von 70 % nach OECD 301F die Forderungen der Detergentienverordnung bezüglich eines leichten biologischen Abbaus erfüllt.

Darüber hinaus gibt es seit einigen Jahren eine Reihe von kommerziell angebotenen, biologisch abbaubaren Komplexbildnern, z. B. Methylglycindiessigsäure-Trinatriumsalz (MGDA), Iminodisuccinat (IDS), Ethylendiamin-N,N'-disuccinat (EDDS), Tetranatrium Glutamat-diacetat (GLDA) [27]. Einige dieser Substanzen können die Phosphonate vollständig ersetzen und finden zunehmend in Waschmitteln Verwendung (Abb. 5.41).

5.6.4

Schauminhibitoren

Auch heute noch wird vielfach das Vorhandensein von Schaum als Voraussetzung für einen ausreichenden Wascherfolg angesehen. Dabei hat der Schaum keinen direkten Einfluss auf das Waschergebnis. Im Gegenteil – ein Zuviel an Schaum ist meist unerwünscht. Große Schaummengen dämpfen die mechanische Bewegung in der Waschmaschine sehr stark, so dass die Reinigungswirkung enorm zurückgeht. Unter bestimmten Bedingungen, besonders bei höheren Temperaturen, kann in der Waschmaschine auch soviel Schaum entstehen, dass er aus der Waschmaschine quillt.

Da viele Tenside von Natur aus ein ausgeprägtes Schaumvermögen zeigen, müssen den Waschmitteln sogenannte *Schauminhibitoren* (häufig auch als *Schaumregulatoren* oder *Schaumhemmer* bezeichnet) zugesetzt werden. Voraussetzung für eine Schauminhibierung ist, dass die wirksame Substanz praktisch wasserunlöslich ist. Schauminhibitoren verteilen sich auf der Schaumlamelle, lagern sich zwischen die Tensidmoleküle und bilden einen sogenannten Mischfilm. Der Zusammenhalt der Tensidmoleküle wird dadurch geschwächt. Die Lamelle verliert ihre Elastizität – die Schaumblase platzt. Von den vielen, theoretisch denkbaren Schauminhibitoren haben sich in der Praxis nur wenige durchgesetzt.

Der bekannteste Schauminhibitor ist die Seife. Sie hat aber in der Einsetzbarkeit gewisse Grenzen. Seife wirkt nicht direkt als Schauminhibitor (dagegen spricht schon die gute Löslichkeit), sondern die in Wasser gebildete, unlösliche *Kalkseife*. Es müssen daher genügend Calcium-Ionen im Wasser vorhanden sein, um die Schaumregulierung zu ermöglichen. In Gebieten mit sehr weichem Wasser oder beim Waschen mit Regenwasser können Schwierigkeiten auftreten. Am wirksamsten sind sehr langkettige Seifen (C_{20} bis C_{22}), die extrem schwerlösliche Calciumsalze bilden. Seife ist gegenüber LAS (linearen Alkylbenzolsulfonaten) am wirksamsten. Die Einsatzmöglichkeiten in Verbindung mit anderen Tensiden sind deutlich eingeschränkt.

Weitaus wirkungsvoller gegenüber dem Schaumvermögen von anionischen Tensiden sind spezielle *Siliconöle* oder *Paraffinöle*. Sie sind dadurch universeller einsetzbar als Seife, zumal ihre Wirkung unabhängig von der Wasserhärte ist.

5.6.5

Korrosionsinhibitoren

Kommen Teile aus Aluminium mit der stark alkalischen Waschflotte in Berührung, so kommt es zu Korrosionsschäden. Obwohl die korrosionsempfindlichen Teile moderner Waschmaschinen heute aus Edelstahl bestehen, kann nicht in jedem Fall der Kontakt mit Aluminium ausgeschlossen werden. Dem Waschmittel wird deshalb Natriummetasilicat Na_2SiO_3 (Wasserglas) oder Natriumdisilicat $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ zugesetzt. Das Silicat bildet auf dem Aluminium eine unlösliche Schutzschicht, die einen Kontakt mit der alkalischen Waschlauge verhindert. Darüber hinaus unterstützt Natriumsilicat durch die hohe Alkalität den Waschprozess und hat eine starke Reinigungswirkung für Metalloberflächen, so dass auch bei Edelstahlmaschinen eine positive Wirkung auftritt.

5.6.6

Duftstoffe

Duftstoffe in Waschmitteln wurden erstmals in den fünfziger Jahren verwendet. Sie unterdrücken den typischen und häufig unangenehmen Geruch der Waschlauge und sollen der Wäsche und dem Waschmittel einen angenehmen Duft verleihen. Natürlich soll eine möglichst frische, unaufdringliche Duftnote auch den Verkauf des damit versetzten Waschmittels fördern. Obwohl sie in keiner Weise für die Säuberungswirkung des Waschmittels von Bedeutung sind, können sie die Entscheidung zum Kauf eines bestimmten Waschmittels wesentlich beeinflussen. Wer auf Duftstoffe verzichten möchte, kann auf duftstofffreie Waschmittel zurückgreifen.

Waschmittelparfüms sind komplexe Stoffgemische aus bis zu 50 verschiedenen natürlichen, naturidentischen und synthetischen Duftstoffen. Ihre Zusammensetzung ist immer ein streng gehütetes Geheimnis der Parfümeure. Viele in der Kosmetik verwendete Duftstoffkomponenten sind für die Anwendung in Waschmitteln aufgrund ihrer chemischen Reaktionsfreudigkeit (hierzu zählen Hydrolyseempfindlichkeit, Oxidierbarkeit, Temperaturempfindlichkeit) oder zu hoher Preise nicht geeignet.

Einige Duftstoffkomponenten, die Nitromoschusverbindungen und die polycyclischen Moschusverbindungen (Abb. 5.42), werden aus ökologischer und toxikologischer Sicht kritisch beurteilt (vgl. auch Kap. 9.7) [28, 29]. Seit 1994 wird Moschusxylol, eine früher wichtige Nitromoschusverbindung, in Deutschland in Waschmitteln nicht mehr eingesetzt. Seit 1995 ist der Einsatz von Moschus-Ambrette, seit 1998 von Moschus-Tibeten und Moschus-Mosken EU-weit verboten. Nitromoschusverbindungen insgesamt sind aus Waschmitteln heute weitgehend verschwunden, der Einsatz von polycyclischen Moschusduftstoffen ist stark zurückgegangen. Ersatzstoffe sind andere Duftstoffe, darunter die makrocyclischen Moschusduftstoffe (Abb. 5.42), die den natürlich vorkommenden Moschusduftstoffen strukturell sehr ähnlich sind.

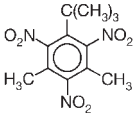
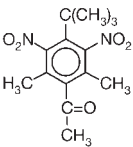
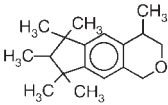
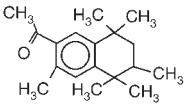
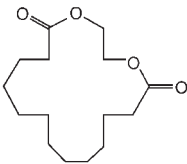
Chemische Bezeichnung (Abkürzung)	Trivialname/ Handelsname	Chemische Strukturformel	Summenformel
Nitromoschusverbindungen			
1- <i>tert</i> -Butyl-3,5-dimethyl-2,4,6-trinitrobenzol	Moschus Xylol		$C_{12}H_{15}N_3O_6$
1- <i>tert</i> -Butyl-3,5-dimethyl-2,6-dinitro-4-acetylbenzol	Moschus Keton		$C_{14}H_{18}N_2O_5$
Polycyclische Moschusverbindungen			
1,3,4,6,7,8-Hexahydro-4,6,6,7,8-hexamethylcyclopenta(g)-2-benzopyran (HHCB)	Galaxolide® Abbalide® Pearlide®		$C_{18}H_{26}O$
7-Acetyl-1,1,3,4,6-hexamethyltetrahydronaphthalin (AHTN)	Tonalide® Fixolide®		$C_{18}H_{26}O$
Macrocyclische Moschusverbindungen			
1,4-Dioxa-cycloheptadecan-5,17-dion	Ethylene brassylate		$C_{15}H_{26}O_4$

Abb. 5.42 Synthetische Moschusduftstoffe.

5.6.7

Farbstoffe

Obwohl alle Waschmittelrohstoffe von Natur aus fast farblos sind, kann man im Waschmittel manchmal Einsprenkelungen beobachten. Dies hat überwiegend eine dekorative Bedeutung und dient der Produktakzeptanz. In bestimmten Fällen, besonders bei den flüssigen Waschmitteln, die immer farbig auf dem Markt angeboten werden, sind die Farbstoffe zur Überdeckung einer gewissen Eigenfärbung der Waschrohstoffe wichtig. Der Anteil der Farbstoffe im Produkt ist immer sehr gering.

5.6.8

Füllstoffe und Konfektionierungshilfen

Als *Füllstoff* oder *Stellmittel* für pulverförmige Waschmittel wird im Allgemeinen Natriumsulfat (Na_2SO_4) verwendet. Es soll für eine gute Rieselfähigkeit, gute Dosierbarkeit und Löslichkeit des Waschmittels sorgen. Ein geringer Anteil Natriumsulfat ist häufig produktionstechnisch (aus der Tensidproduktion) nicht zu vermeiden. Obwohl moderne Superkompaktwaschmittel keine zusätzlichen Füllstoffe mehr benötigen, ist der Verbrauch an Natriumsulfat in Wasch- und Reinigungsmitteln in Deutschland in den letzten Jahren wieder angestiegen. Die Gründe dafür liegen einerseits in der Erhöhung des Marktanteils der „Normalware“ bei pulverförmigen Waschmitteln, die zum Teil höhere Anteile an Füllstoffen aufweisen und andererseits in der Zunahme zeolithfreier bzw. zeolitharmer sogenannter löslicher Enthärterssysteme. Diese benötigen einen Zusatz von Natriumsulfat für eine gute Riesel- und Lagerfähigkeit bei im Vergleich zu zeolithbasierten Rezepturen gleicher Dosierung. Der Verbrauch an Natriumsulfat ist von 63.000 Tonnen im Jahr 2002 auf 83.000 Tonnen im Jahr 2008 gestiegen.

Bei der Herstellung flüssiger Waschmittel werden als *Konfektionierungshilfen* Alkohole und Lösungsvermittler verwendet. Sie dienen der besseren Mischbarkeit der Waschmittelrohstoffe, können Ausfällungen und Phasentrennung bei Temperaturschwankungen verhindern und verbessern die Löslichkeit beim Einspülvorgang in der Waschmaschine. Niedere Alkohole, die wichtigsten sind Ethanol, Isopropanol und 1,2-Propylenglykol, haben mehrere Aufgaben in flüssigen Waschmitteln. Als Lösungsmittel steigern sie die schmutzablösende Wirkung der Tenside. Zusätzlich wirken sie in höherer Konzentration als Konservierungsmittel und dienen zur Stabilisierung von Enzymen in flüssigen Produkten. Zur Unterstützung der stabilisierenden Wirkung werden manchmal zusätzlich Polyethylenglycole, Glycerin, Harnstoff und Borsäure eingesetzt.

5.6.9

Konservierungsstoffe

Wasserhaltige (flüssige) Wasch- und Waschhilfsmittel bedürfen der Konservierung, soweit sie nicht durch die Art der Inhaltsstoffe, z. B. Alkohole oder Tenside, selbstkonservierend sind. Nur so lässt sich eine ausreichende Lagerfähigkeit ohne mikrobiellen Befall auch bei angebrochener Verpackung erreichen. In Wasch- und Waschhilfsmitteln werden üblicherweise Konservierungsstoffe verwendet, die auch für Kosmetika zugelassen sind. Die Obergrenzen für die Konzentration der Konservierungsstoffe richten sich ebenfalls nach der zulässigen Höchstkonzentration gemäß Kosmetikverordnung. Seit 2005 werden die verwendeten Konservierungsstoffe mit der INCI-Bezeichnung auf der Verpackung von Wasch- und Reinigungsmitteln deklariert (EU-Detergenzienverordnung).

Wichtige in flüssigen Wasch- und Waschhilfsmitteln verwendete Konservierungsstoffe sind: Methylisothiazolinon, Octylisothiazolinon, Benzisothiazolinon, Didecyldimethylammoniumchlorid, Formaldehydabspalter (Tetramethyloglycol-

uril, Natriumhydroxymethylglycinat), 2-Brom-2-nitro-1,3-propandiol (Bronopol) sowie Benzoesäure und ihre Salze. Weitere Informationen zu Wirkungsweise und Anwendungen von antimikrobiellen Wirkstoffen finden sich in [30].

5.6.10

Sprengmittel

Tablettenförmige Wasch- und Waschhilfsmittel wie Waschmittel-, Wasserenthärter- oder Bleichbooster-Tabs sollen hinreichend robust und lagerfähig sein und doch in Kontakt mit Wasser schnell zerfallen. Damit das gewährleistet ist, enthalten Tabs Zerfalls- oder Sprengmittel. Diese Hilfsmittel, die teilweise auch im Pharmasektor verwendet werden, lassen sich in vier Gruppen einordnen:

- Brausesysteme, wie z. B. die Kombination von Hydrogencarbonat mit Citronensäure, die bei Einwirkung von Feuchtigkeit Kohlenstoffdioxid-Gas entwickeln;
- quellfähige Sprengmittel, wie z. B. quervernetztes Polyvinylpyrrolidon (PVP) oder kompaktierte Cellulose, die bei Einwirkung von Feuchtigkeit eine starke Volumenzunahme bewirken und einen Quelldruck aufbauen;
- gut lösliche Substanzen wie z. B. Natriumacetat oder -citrat, die vermutlich die Kapillarität von Tabletten erhöhen und damit den Wassertransport in die Tablette hinein fördern;
- wasserlösliche Coatings (Beschichtungen) mit loser Struktur im Innern der Tablette.

In der Praxis werden häufig Kombinationen der verschiedenen Zerfalls- und Sprengmittel eingesetzt. Die Rezepturen der tablettenförmigen Wasch- und Waschhilfsmittel sind den entsprechenden pulverförmigen Produkten ähnlich und unterscheiden sich im Wesentlichen durch den Anteil der Zerfalls- und Sprengmittel. Dieser liegt im Allgemeinen zwischen 5 % und 8 %, im Falle von Natriumacetat auch bis zu 30 % im fertigen Produkt.

Neben der Art und Menge des Zerfalls- und Sprengmittels hängen die Zerfalleigenschaften eines Tabs auch von der Rezeptur, dem Produktionsprozess und den Eigenschaften der Waschrohstoffe ab. Weitere Hilfsmittel, die in der Pharmaindustrie beim Tablettieren verwendet werden, wie z. B. Binde-, Trenn- und Gleitmittel sind nur in einigen Produkten in sehr geringer Menge vorhanden.

5.6.11

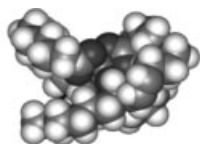
Geruchsabsorber

Synthetische Textilien und ihre Mischungen mit Baumwolle haben für den Verbraucher den unschätzbaren Wert des hohen Tragekomforts und einer langanhaltenden Qualität. Sie bleiben auch unter starken Beanspruchungen formstabil und schön. Nachteilig wirkt sich aus, dass diese Textilien schnell Gerüche aufnehmen und auch entstehen lassen. Hier eröffnet sich ein Problemfeld, dem in der Vergangenheit nur mit überdeckenden Parfüms Einhalt geboten werden konnte. Diese erreichen durch eine erhöhte Substantivität von Parfümkomponenten auf

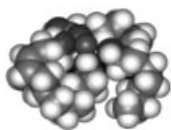
entsprechenden Textilien einen nachhaltigen Dufteindruck und somit in einem gewissen Umfang auch den Eindruck von Frische. Seit Einführung von sogenannten Textiltüpflegemitteln mit Geruchsabsorbieren (Textilerfrischer), wo Salze auf Basis von Zink und Ricinolsäure bzw. sogenannte Cyclodextrine zum Einsatz kommen, finden auch teilweise Anwendungen in Wasch- und Waschlösungsmitteln Raum in den Rezepturen.

Organische Zinksalze, z. B. *Zinkricinoleat*, zeichnen sich durch die besondere Fähigkeit aus, flüchtige Substanzen mit Stickstoff oder Schwefelatomen, die häufig besonders geruchintensiv sind, zu komplexieren und damit unschädlich, d. h. geruchlich nicht mehr wahrnehmbar, zu machen. Durch Molekular Modelling lässt sich berechnen, dass die Komplexbildung zu einer starken Bindungsbildung zwischen Zink und Stickstoff bzw. Schwefelatom führt, wodurch eine erneute Freisetzung von Geruchsstoffen verhindert wird. In wässriger Umgebung wird das System aktiviert und bedarf eines direkten Kontaktes mit dem Emittenten, der dann jedoch nicht mehr freigelassen wird, auch wenn erneut eine feuchte Umgebung für den Geruchsabsorber geschaffen wird. Dadurch lässt sich eine langanhaltende Wirkung erzielen, die durch den gezielten Einsatz von Parfüms verstärkt werden kann (Abb. 5.43).

Cyclodextrine sind helixartig angeordnete Stärkemoleküle, die einen Hohlraum im Innern ausbilden können. Je nach Kettenlänge des Stärkemoleküls ist der Innendurchmesser der Kavität unterschiedlich. Hier werden kleinere Substanzen mit einem bestimmten hydrophil-hydrophoben Profil eingelagert und können über die Zeit langsam freigesetzt werden (Abb. 5.44). Dies geschieht wiederum durch das Ersetzen durch andere kleine Moleküle. Diese Gleichgewichtsreaktion ist auch die Basis für eine Anwendung in Waschmitteln. Hierzu werden die



Zinkricinoleat in der Gasphase oder öligen Umgebung



Zinkricinoleat in wässriger Umgebung. Das Zink tritt an die Oberfläche und kann auf diese Weise mit den flüchtigen Geruchsstoffen reagieren. Dabei werden die beiden Ricinolsäure-Moleküle zurückgedrängt und das Zink wird für weitere Angriffe freigelegt.

Abb. 5.43 Wirkungsweise von Zinkricinoleat als Geruchsabsorber.

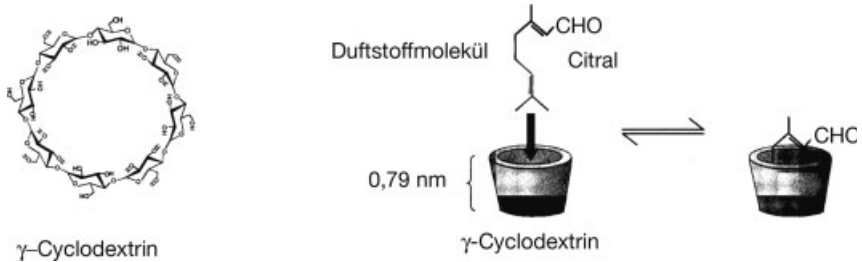


Abb. 5.44 Wirkungsweise von Cyclodextrinen.

Cyclodextrine mit Parfüm gesättigt und in die Waschmittelrezeptur eingearbeitet. In Konkurrenz zu der eingebetteten Parfümsubstanz können nun, z. B. auf dem Textil, theoretisch die Geruchsemitenten treten. Duftstoffe werden freigesetzt, während unerwünschte Geruchsstoffe im Hohlraum der Cyclodextrine eingelagert werden (s. auch Kap. 6.4 und Abb. 6.8).

Literatur

- 1 Jaumann, G. und Wilsch-Irrgang A.: Phosphate und andere Buildersysteme im weltweiten Vergleich. *SÖFW-Journal*, 130 (2004), H. 6, 42–46.
- 2 Olsson, E.: Aktuelle Entwicklungen der Waschmittelformulierungen – Neue Silikat-BUILDER. *SÖFW-Journal* 132 (2006), H. 9, 60–64.
- 3 Ettl, R., Schwendemann, V., Schmidt, K.: Polycarboxylates – essential and multifunctional. *Tenside Surf. Det.* 2009(46), H. 2, 112–117.
- 4 Kuzel, P. und Lieser, Th.: Bleichsysteme. *Tenside Surf. Det.* 27 (1990), 23–28.
- 5 Dannacher, J. und Schlenker, W.: Was ist Aktiv-Sauerstoff? *Textilveredlung* 25 (1990), 205–207.
- 6 Thompson, K., Griffith, W., Spiro, M.: Mechanism of bleaching by peroxides. *J Chem Soc Faraday Trans* 89 (1993), 4035–4043.
- 7 Dannacher, J. and Schlenker, W.: The mechanism of hydrogenperoxide bleaching. *Textile Chemist and Colorist* 28 (1996), 24–28.
- 8 Milne, N. J.: Oxygen bleaching in domestic laundry. *J Surf Det* 1 (1998), 253–261.
- 9 Betz, M. M.: Antimikrobielle Wirksamkeit von Bleichmitteln und Bleichsystemen. Dissertation, Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt; München Mai 2001.
- 10 Broze, G. (ed.): Handbook of Detergents – Part A: Properties. *Surfactant Science Series*, Vol. 84, Marcell Dekker, New York-Basel 1999.
- 11 Reinhardt, G., Cuypers, L., Ince, A., Jeckel, N.: Decanoyloxybenzoesäure (DOBA) – ein effektiver, sicherer und umweltfreundlicher hydrophober Bleichaktivator. *SÖFW-Journal* 132 (2006), H.10, 36–43.
- 12 Reinhardt G.: Imidoperoxycarbonsäuren als potentielle Bleichmittel für die Waschmittelindustrie. *SÖFW-Journal* 120 (1994), H. 7, 411–416.
- 13 Kottwitz, B.: Enzyme für Wasch- und Reinigungsmittel – Herstellung, Wirkung, Verbraucherrelevanz. In: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): Moderne Wasch- und Reinigungsmittel – Umweltwirkungen und Entwicklungstendenzen. Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, Band 54. München 2001, S. 147–162.

- 14 van Ee, J., Misset, O., Baas, E.: Enzymes in Detergency. *Surfactant Science Series*, Volume 69, Marcel Dekker, New York-Basel-Hong Kong 1997.
- 15 Husum, T. L. and Friis-Jensen, S.: Wash the gray away – Ultimate whiteness with a new cellulase. *SÖFW-Journal* 2007 (133), H. 11, 40–44.
- 16 Westdijk, Q., Richter, G., Hulshof, E., Bollier, M.: Mannanase – enzyme functionality for stain removal. *SÖFW-Journal*, 130 (2004), H. 6, 37–40.
- 17 Boeckh, D., Jäger, H.-U., Lux, J.A.: Redepositionsprobleme in der Textilwäsche – wie lange noch ein Problem? *Tenside Surf. Det.* 34 (1997), 394.
- 18 Lang, F.-P. und Morschhäuser, R.: Wachstechnische Eigenschaften von Soil-Release-Polymeren. *SÖFW-Journal* 132 (2006), H.10, 24–35.
- 19 Henning, K.: Entwicklungen bei Flüssigwaschmitteln und Waschmitteladditiven. *SÖFW-Journal* 132 (2006), H. 6, 61–67.
- 20 Leupin Moe, J., Randall, S.L., Pelon Armstrong, M., McLane R.D.: The performance of hydrophobically modified carboxymethylcelluloses in heavy duty detergents. *Tenside Surf. Det.* 39 (2002), H. 6, 217–220.
- 21 Jäger, H.-U. und Denzinger, W.: Wirkungsweise von Polymeren mit farbübertragungsinhibierenden Eigenschaften. *Tenside Surf. Det.* 28 (1991), 428–433.
- 22 Runge, F., Detering, J., Zwissler, G., Boeckh, D., Schade, C.: Binding equilibria of multiazao dyes with polymeric dye transfer inhibitors. *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.* 100 (1996), No. 5, 661–670.
- 23 Fischer, F./Bauer, S.: Polyvinylpyrrolidon – ein Tausendsassa der Chemie. *Chem. Unserer Zeit* 43(2009), H. 6, 376–383.
- 24 Hauthal, H. G.: Organische Polymere in Wasch- und Reinigungsmitteln. *SÖFW-Journal* 132 (2006), H. 10, 2–22.
- 25 Henning, K.: Flüssige Universalwaschmittel – eine erfolgreiche Produktinnovation. *SÖFW-Journal* 129 (2003), H. 3, 52–58.
- 26 Henning, K.: Komplexbildner und Formulierungshilfsmittel für Wasch- und Reinigungsmittel. *SÖFW-Journal*; 2008(134); H. 8, 52–66.
- 27 Hauthal, H. G.: Tagungsbericht – 52. SEPAWA-Kongress in Würzburg Oktober 2005. *SÖFW-Journal* 131 (2005), H. 12, 3–32.
- 28 Rimkus, G. und Brunn, H.: Synthetische Moschusduftstoffe – Anwendung, Anreicherung in der Umwelt und Toxikologie. *Ernährungsumschau*, Teil 1: 43 (1996), 442–449; Teil 2: 44 (1997), 4–9.
- 29 Sommer, C.: The role of musk and musk compounds in the fragrance industry. In: Rimkus, G.: *Synthetic Musk Fragrances in the Environment. The Handbook of Environmental Chemistry*, Volume 3-X, Springer Verlag 2004.
- 30 Hauthal, H. G. und Wagner, G.: Reinigungs- und Pflegemittel im Haushalt – Chemie, Anwendung, Ökologie und Verbrauchersicherheit. Verlag für Chemische Industrie, 2. aktualisierte Auflage, Augsburg, 2007.

6

Waschhilfsmittel und Nachbehandlungsmittel

Im Handel werden eine Reihe verschiedener Produkte angeboten, die den Waschvorgang unterstützen, die Gebrauchseigenschaften der Wäsche erhöhen oder bei problematischen Verschmutzungen Hilfe leisten. Diese Waschhilfsmittel lassen sich in zwei große Gruppen einteilen, die *Waschhilfsmittel* zur Vorbehandlung der Wäsche oder als Additiv zum Waschmittel und die *Nachbehandlungsmittel* zur nachträglichen Beeinflussung der Gebrauchseigenschaften der Wäsche. Zu den Nachbehandlungsmitteln zählt u. a. auch die wirtschaftlich bedeutende Gruppe der Weichspülmittel. Seit einigen Jahren wird das Angebot erweitert durch *Textilerfrischer*, die bei unangenehmen Gerüchen von textilen Faserstoffen jeglicher Art Abhilfe schaffen können. Die Klassifizierung der Waschhilfsmittel zeigt Abb. 6.1 im Überblick.

Produkttypen	Angebotsformen
<u>Waschhilfsmittel</u>	
– Schwerpunktverstärker (Fettentferner)	Paste, Spray, Pumpsprüher, Flüssigkeit
– Einweichmittel	Pulver
– Separate Bleichmittel, Waschkraft-booster	Pulver, Flüssigkeit, Pumpsprüher, Gel, Tabletten
– Separate Enthärter	Pulver, Tabletten, Flüssigkeit
– separate Farbübertragungsinhibitoren	Pulver, Tücher
– Spezialfleckentfernungsmittel	Paste, Spray, Flüssigkeit
<u>Nachbehandlungsmittel</u>	
– Weichspüler, Gewebeconditioner	Flüssigkeit, Vlies
– Wäschesteifen, Formspüler	Pulver, Flüssigkeit
– Hygienespüler	Flüssigkeit
– Gardinen-Weißspüler	Flüssigkeit
– Bügelhilfen, Sprühstärken, Antifaltensprays	Spray, Pumpsprüher
– Bügelwasser	Flüssigkeit
– <u>Textilerfrischer</u>	Spray

Abb. 6.1 Klassifizierung der Waschhilfsmittel.

6.1

Waschhilfsmittel (Vorbehandlungsmittel und Waschmitteladditive)

Im modernen Waschvorgang wird weitgehend auf die Vorwäsche verzichtet, bei tieferen Temperaturen gewaschen bzw. zunehmend häufiger mit Kurzzeit-Waschprogrammen gearbeitet. Damit auch unter diesen Bedingungen stärkere oder hartnäckige Verschmutzungen beseitigt werden, empfiehlt sich gegebenenfalls eine gezielte Vorbehandlung der Wäsche. Waschhilfsmittel haben die Aufgabe, spezifische Waschleistungen der Waschmittel zu unterstützen bzw. zu verstärken. Sie werden als Pulver, Paste, Flüssigkeit, Gel, Spray, Pumpsprüher oder in Form von Tüchern, die mit den Wirkstoffen versetzt sind, angeboten. Aufgrund der Produktvielfalt ist der Markt dieser Mittel recht unübersichtlich.

Waschhilfsmittel lassen sich klassifizieren nach der Art ihrer spezifischen Wirkung:

- *Schwerpunktverstärker* (Waschkraftverstärker, Fleckengel, Vorwaschgel, Vorwaschspray, Fettbooster) dienen zur Entfernung lokal auftretender Fett- und Pigmentverschmutzungen und werden direkt auf die Textilien aufgetragen. Es sind sehr tensidreiche Mittel, die teilweise noch Lösungsmittel enthalten, z. B. aliphatische Kohlenwasserstoffe (Reinigungsbenzin). Schwerpunktverstärker finden bevorzugt zur Vorbehandlung von Fett- und Ölflecken wie Salatöl, Sonnencreme, Soßen, Maschinenöl oder Kragenschmutz Anwendung. Es gibt sie als Flüssigkeit, Paste oder Gel, in Verbindung mit Reinigungsbenzin sind sie auch als Spray (mit Propan oder Butan als Treibgas) oder Pumpsprüher im Handel. In pastenförmiger Form sind Schwerpunktverstärker auch als Handwasch- und Reisewaschmittel geeignet.
- *Einweichmittel* sind stärker alkalisch eingestellte Hilfsmittel (pH-Wert bis etwa 12) mit geringem Tensidanteil. Sie erniedrigen die Schmutzhaftung und begünstigen Quellungsvorgänge bei polymeren Anschmutzungen.
- *Separate Bleichmittel*, zu denen Fleckensalze und -tabs, milde Bleichen und Waschkraftverstärker gehören, sind die wirtschaftlich bedeutendsten Waschhilfsmittel. In den letzten Jahren haben sie durch verbesserte und erweiterte Rezepturen noch an Bedeutung gewonnen. Sie können sowohl zur Wäschevorbehandlung als auch als Waschmittel-Additiv angewendet werden. Grundsätzlich ist jedes separate Bleichmittel, ob fest, flüssig oder gelförmig, als Waschmittel-Additiv geeignet. Die bei Bedarf zusätzliche Dosierung separater Bleichmittel zum Waschmittel entspricht in den Grundzügen der ursprünglichen Idee der Baukastenwaschmittel. Die wichtigsten separaten Bleichmittel sind:
 - a) *Fleckensalze und Fleckentabs* enthalten ein Bleichmittel (in der Regel Natriumpercarbonat) in Verbindung mit einem Bleichaktivator (TAED). Teilweise werden zusätzlich noch Enzyme verwendet. Zur unterstützenden Wirkung sind Gerüststoffe und in geringen Mengen Tenside enthalten. Die Rahmenrezeptur zeigt Abb. 6.2.

b) Seit 1996 sind *flüssige Bleichmittel* („Fleckenlöser“, „Milde Bleichen“, flüssige „Waschkraft-Booster“) auf Basis von Wasserstoffperoxid als Vorbehandlungsmittel oder Waschmittel-Additiv im Handel erhältlich (s. auch Kap. 5.4). Die Rahmenrezeptur zeigt Abb. 6.3.

c) Seit 2003 wird das Angebot an separaten Bleichmitteln durch *Waschkraftverstärker* („Oxi Waschkraft-Booster“ u. a.) ergänzt. Die Zusammensetzung dieser Produkte entspricht im Wesentlichen den Fleckensalzen, der Tensid- und Enzymanteil sind jedoch erhöht worden und weitere Inhaltsstoffe, z. B. Duftstoffe

Inhaltsstoff	Anteil in %	Funktion
Natriumpercarbonat	15 – 50	Bleichmittel
TAED	3 – 10	Bleichaktivator
Anionische und nichtionische Tenside	5 – 15	Benetzung
Gerüststoffe (Soda, Silicate, Polycarboxylate)	15 – 30	Wasserenthärtung, Reinigungswirkung
Organische Komplexbildner	5 – 10	Lösen der Schmutzmatrix
Enzyme (Amylase, Protease, Lipase)	jeweils < 0,1	Schmutzablösung eiweiß-, stärke- und fetthaltiger Verschmutzungen

Quelle: Reckitt Benckiser, 2009

Abb. 6.2 Rahmenrezeptur von Fleckensalzen und Waschkraftverstärkern (Produkte mit einem Anteil an Natriumpercarbonat von mehr als 25% erfordern die Gefahrstoffkennzeichnung „Gesundheitsschädlich“).

Inhaltsstoffe	Beispiele	Flüssig Anteil in %	Sprühflasche Anteil in %	Funktion
Nichtionische Tenside	Fettalkoholethoxylate	5 – 15	< 5	Benetzung/ Schmutzablösung
Anionische Tenside	Natrium Laurylethersulfate (FES), Natrium Alkylbenzolsulfonate (LAS)	2 – 10	2 – 10	Benetzung/ Schmutzablösung
Bleichmittel auf Sauerstoffbasis	Wasserstoffperoxid	5 – 10	< 5	Bleichmittel
Phosphonate	ATMP, DTPMP, HEDP	< 1	< 1	Bleichstabilisator
Parfüm	Parfüm	+	+	Angenehmer Duft
Farbstoffe	Farbstoffe	+	+	Angenehme Erscheinung, Applikationshilfe
Farbübertragungs- inhibitor	Farbschutz-Polymere	(+)	–	Verfärbungsschutz
Konservierungs- mittel	Methylisothiazolinone, Benzisothiazolinone	–	(+)	Konservierung

(+) = nur in einigen Produkten enthalten

Quelle: Reckitt Benckiser, 2009

Abb. 6.3 Rahmenrezepturen von flüssigen Bleichen.

oder optische Aufheller, sind hinzugekommen. Diese Mittel können zur gezielten Fleckvorbehandlung, zum Einweichen oder als Waschmittel-Additiv eingesetzt werden. Im letzteren Fall können sie die Leistung der Waschmittel im unteren Temperaturbereich verbessern. Bei der Anwendung sind die Herstellerhinweise zu beachten. (s. Abb. 6.2).

- *Separate Wasserenthärter*: In modernen Waschmitteln sind genügend wasserenthärtende Inhaltsstoffe bereits in der Rezeptur enthalten, separat angebotene *Enthärter* können aber besonders in Gebieten mit sehr hoher Wasserhärte zusätzlich zum Waschmittel dosiert werden. Die empfohlene Waschmitteldosierung kann in diesem Fall verringert werden entsprechend dem Härtebereich I (weiches Wasser). Wasserenthärter werden als Pulver, Tabletten oder in flüssiger Form angeboten. Rahmenrezepturen dazu zeigt Abb. 6.4.
- Seit 2002 werden *separate Farbübertragungsinhibitoren* (vgl. Kap. 5.6) in Form von Pulver oder wirkstoffhaltigen Tüchern angeboten. Sie verhindern im gewissen Maße eine Farbübertragung zwischen verschiedenfarbigen Wäscheteilen beim Waschen und unterstützen die farberhaltene Wirkung der Colorwaschmittel, können aber auch gemeinsam mit anderen Waschmitteltypen angewendet werden.
- *Spezial-Fleckentferner* werden zur Wäschevorbehandlung eingesetzt und sind sehr spezifisch für einzelne Fleckenarten optimiert. Es gibt eine große Produktvielfalt in flüssiger Form, als Paste oder Spray. Im Rahmen dieses Buches wird nicht näher darauf eingegangen. Vertiefende Informationen finden sich z. B. in [1]. *Entfärber* können bestimmte, durch Reduktionsmittel angreifbare Textilfarbstoffe (z. B. Azofarbstoffe) und farbige Verschmutzungen entfärben. Entfärber enthalten Natriumdithionit als Reduktionsmittel, Soda dient zur Erhöhung des pH-Wertes.

Funktion	Bestandteil	Pulver	Flüssig	Tablette
Builder	Citrate und Citronensäure, Zeolithe	60 – 80%	10 – 20%	40 – 60%
Dispergiermittel	Polycarboxylate	5 – 30%	5 – 10%	10 – 30%
Bindemittel	Cellulose Derivate, Polymere Glycoether	0 – 2%	0	3 – 10%
Sprengmittel (Disintegrants)	Cellulose Derivate, Hydrogencarbonat	0	–	0 – 12%
Stellmittel	Polymere Glycoether Natriumsulfat	8 – 40%	0	0 – 15%
Verdicker	Polycarboxylate, Xanthan Gum and Cellulose Derivate	0	0 – 2%	0
Farbe	Farbstoff	0	< 0,1%	< 0,1%
Geruch, Konservierung	Parfüm, Konservierungsmittel		< 0,5%	
Lösungsmittel	Wasser		70 – 85%	

Quelle: Reckitt Benckiser, 2009

Abb. 6.4 Rahmenrezeptur von separaten Wasserenthärtern.

6.2

Weichspülmittel und Gewebeconditioner

Weichspülmittel sind die wirtschaftlich bedeutendste Gruppe der Nachbehandlungsmittel. Sie wurden 1963 am Markt eingeführt und waren eine Folge der geänderten Waschmittelrezepturen und Waschgewohnheiten. Seife verleiht der Wäsche durch Rückstände von Kalkseife und Reste an unverseiften Fetten von Natur aus einen gewissen weichen Griff. Nachdem Ende der fünfziger Jahre die Seife durch moderne und leistungsfähigere anionische und nichtionische Tenside ersetzt wurde, veränderte sich das sensorische Empfinden beim Anfassen der Wäsche. Die Wäsche fühlte sich im Vergleich zum Waschen mit Seife rauer an. Verstärkt wird die Rauigkeit oder Griffverhärtung durch Trocknen in Innenräumen bei fehlender mechanischer Bewegung der Wäsche. Ursache dieser Griffverhärtung ist ein Verhaken und „Verkleben“ von Textilfasern untereinander, bedingt durch die Rauigkeit der Faseroberflächen und durch die Ausbildung starker zwischenmolekularer Anziehungskräfte aufgrund von Wasserstoffbrückenbindungen oder Dipolkräften. Weichspüler schaffen hier wirksame Abhilfe.

Die wesentlichen Wirksubstanzen der *Weichspülmittel*, manchmal auch *Avivagemittel* genannt, sind kationische Tenside (s. Kap. 2.4). Die kationischen Tenside belegen die Faseroberfläche wobei der hydrophobe Teil der Tensidmoleküle nach außen ragt. Diese mehr oder weniger starke Hydrophobierung der Oberfläche verhindert starke Assoziationen der Fasern untereinander, führt zur Faserglättung und zur gewünschten Weichheit der Wäschestücke (Abb. 6.5). Da kationische Tenside mit anionischen Tensiden, die in jedem Waschmittel vorhanden sind, schwerlösliche Verbindungen bilden, werden Weichspüler erst dem letzten Spülbad zugesetzt, damit ihre Wirkung auf die Fasern nicht durch evt. vorhandene anionische Tenside behindert wird. Die kationischen Tenside werden im nächsten Waschvorgang mit dem Waschmittel von der Faser entfernt. Weiterführende Informationen zur Chemie und Grenzflächenaktivität der kationischen Tenside finden sich in den Kapiteln 2 und 3.

Bis Ende der achtziger Jahre war das kationische Tensid Distearyl-dimethylammoniumchlorid (DSDMAC) der gebräuchliche Wirkstoff der Weichspülmittel. Dieser Wirkstoff wird wegen mangelnder biologischer Abbaubarkeit seit vielen Jahren nicht mehr verwendet. Seit 1991 haben sich Esterquats (Strukturformeln s. Abb. 2.22) als Standardwirkstoffe in Haushaltsweichspülern durchgesetzt, die ökologisch umfassend untersucht worden sind und sich durch eine gute Umweltverträglichkeit und leichte biologische Abbaubarkeit auszeichnen (Abb. 6.6). Weitere Informationen zur Ökologie der Kationtenside finden sich in Kapitel 9. Der am häufigsten eingesetzte Wirkstoff ist TEA-Esterquat (vgl. Abb. 2.22).

Voraussetzung für den Weichspüleffekt der Kationtenside ist eine gute Faserhaftung, die durch die positive Ladung und eine geringe Wasserlöslichkeit der Wirkstoffe unterstützt wird. Wegen der schlechten Wasserlöslichkeit liegen die Kationtenside in Handelsprodukten als wässrige Suspension vor. Die ersten Anfang der 1960er Jahre auf dem Markt angebotenen Produkte enthielten nur geringe Konzentrationen von Kationtensiden (max. 5 %). Höhere Konzentrationen

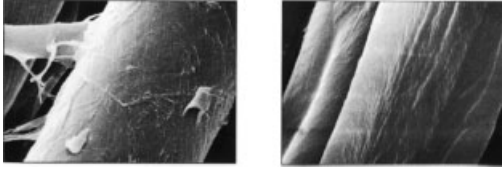


Abb. 6.5 Faserglättender Effekt von Weichspülmitteln. Baumwollfaser in 6000-facher Vergrößerung, ohne (l.) und mit (r.) Weichspüler.

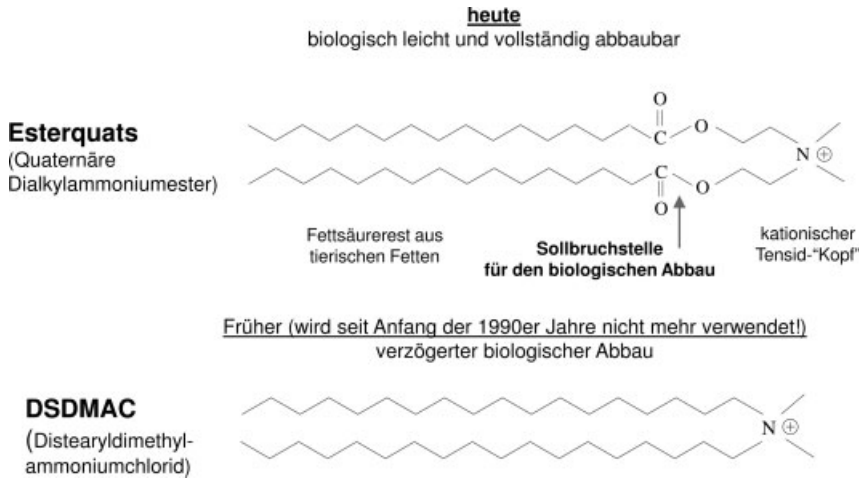


Abb. 6.6 Weichspülerwirkstoffe früher und heute.

führten mit den damaligen Rohstoffen zu nicht stabilen Suspensionen, so dass das Produkt wegen zu hoher Viskosität nicht mehr abfüllbar war.

Durch neue Rohstoffe und die Kombination verschiedener Kationtenside und Niotenside ist es in der Folgezeit gelungen, Weichspülerkonzentrate mit höherem Kationtensid-Gehalt (18 % bis 25 %) herzustellen. Seit 1988 und in den Folgejahren wurden Weichspüler häufig mit hohen Aktivgehalten zwischen 15 und 20 %, vereinzelt sogar darüber, hergestellt und vertrieben. In den letzten Jahren (beginnend seit etwa 2000) sind die Aktivgehalte von Weichspülern wieder auf etwa 10 bis maximal 15 % Kationtensid-Gehalt reduziert worden. (Rahmenrezeptur s. Abb. 6.7). Dafür gibt es mehrere Gründe: Kationtensidkonzentrationen schon oberhalb 17 % können unter ungünstigen Lagerbedingungen (zu hohe/zu niedrige Lagertemperatur und/oder lange Lagerzeiten) zur Gelbildung führen. Die Produkte sind dann nicht mehr gießfähig und abfüllbar. Außerdem dosieren viele Verbraucher gerade bei Weichspülern häufig „nach Gefühl“ bzw. „nach Geruch“ und nicht nach der auf der Verpackung angegebenen Dosiervorschrift. Dadurch kommt es bei Weichspülern mit sehr hohen Aktivgehalten leicht zu einer deutlichen Überdosierung an Kationtensid. Bei hoher Wirkstoffkonzentra-

Stoffgruppe	Typischer Gehaltsbereich (Prozent)	Empfohlene Dosierung pro Waschladung (Gramm)	Jahresverbrauch in Deutschland 2008 (Tonnen)	Funktion
Kationische Tenside	4 – 15	3 – 6	24.200	Wirken der Trockenstarre von Textilien entgegen und bewirken somit eine größere Weichheit
organische Lösungsmittel (überwiegend Isopropanol)	0,5 – 1,5	0,3 – 0,6	2.400	Lösungsmittel für die Herstellung, Abfüllung und Transport
Parfümöle (Duftstoffe)	< 1	< 0,4	2.000	Geben den behandelten Textilien einen angenehmen Duft
Emulgatoren (nichtionische Tenside)	0 – 4	0 - 1,5	100	Stabilisieren die gleichmäßige Verteilung der Inhaltsstoffe im Wasser
Konservierungsstoffe	< 0,5	< 0,2	< 1.000	Verhindern den Verderb des Produkts durch Mikroorganismen
Farbstoffe	< 0,005	< 0,002		Erleichtern die visuelle Unterscheidbarkeit der Duftvarianten
Wasser	ad 100	ad 100	190.300	Lösungsmittel

Abb. 6.7 Inhaltsstoffe und Rahmenrezeptur von Weichspülmitteln.

tion kann es Probleme durch Rückstände von Weichspülermittel in der Einspülkammer der Waschmaschine geben.

Seit 2009 werden auch Weichspülmittel mit wieder deutlich geringeren Wirkstoffgehalten angeboten (4–5 %).

In einigen Handelsprodukten werden neben dem Kationensid noch polymere Siliconverbindungen eingesetzt. Geeignete Siliconverbindungen basieren auf Polydimethylsiloxanen mit seiten- oder endständigen aminofunktionellen Gruppen [2]. Durch Protonierung des Amino-Stickstoffs kommt es zur Bildung von kationischen Gruppen, die für genügend feste Haftung des Siliconpolymers auf den Textilfasern sorgen. Durch Zusatz von Siliconen kann der Tensidgehalt des Produktes insgesamt reduziert werden. Das gilt sowohl für das Kationensid als auch für zugesetzte Niotenside, die als Emulgatoren wirken. Darüber zeigen Siliconverbindungen mit Kationensiden Synergieeffekte, der Wäscheweichgriff und die Faserglättung (Bügelerleichterung) werden nochmals verbessert. Da die speziellen Siliconpolymere relativ teuer sind und veränderte Rezepturen und Herstellungsverfahren erfordern, ist ihre Verwendung bisher begrenzt.

Abbildung 6.8 zeigt den Verbrauch von Weichspülmitteln in Deutschland von 1985 bis 2008. Im Jahr 2008 wurden in Deutschland Weichspülmittel im Wert von 285 Millionen Euro (Endverbraucherpreise) verbraucht.

Neben der verbesserten Weichheit der Wäsche entfalten Weichspülmittel eine Reihe weiterer Vorteile [3]:

- Weichspülmittel verringern die Reizwirkung von Textilfasern auf der Haut. Bei einer klinischen Studie, an der sich Personen mit empfindlicher und atopischer Haut beteiligten, konnten in vielen Fällen die Hautreizungen durch Wäsche herabgesetzt werden, wenn diese zuvor mit Weichspüler behandelt worden war ([4-6] vgl. auch Kap. 8.5). Die deutsche Haut- und Allergiehilfe e. V. (DAH) empfiehlt daher für Menschen mit sehr empfindlicher Haut die Anwendung von Weichspülern [7].

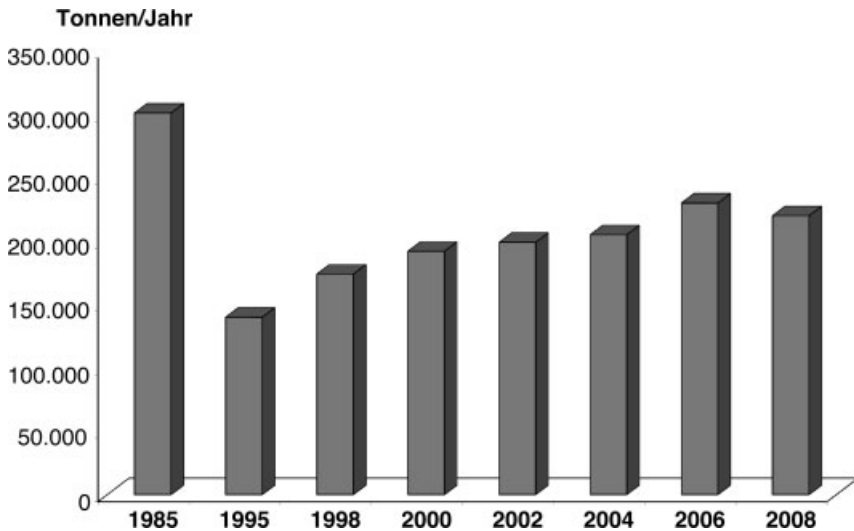


Abb. 6.8 Verbrauch an Weichspülmitteln in Deutschland 1985 bis 2008.

- Durch die beim Weichspülen erfolgte Glättung der Fasern sinkt der Energiebedarf beim Trocknen und Bügeln, denn die Wäsche hat nach dem Schleudern weniger Knitterfalten und das Bügeln wird leichter. Bis zu 10 % der wöchentlichen Bügelzeit kann so eingespart werden.
- Die Lebensdauer der Wäsche verlängert sich durch den besseren Faserschutz (bis zu 20 % weniger Faserabrieb) und der Wert der Textilien bleibt länger erhalten. Dieses Argument ist besonders für Textilien von Bedeutung, die weniger den modischen Ansprüchen ausgesetzt sind und erst nach einem gewissen Abnutzungsgrad aussortiert werden, z. B. Handtücher.
- Weichspülmittel verringern eine elektrostatische Aufladung von Textilien, die vor allem bei synthetischen Fasern und bei Bewegung der Wäsche, z. B. im Wäschetrockner, auftritt. Textilien mit hohem Synthetikfaseranteil werden „antistatisch“, d. h. sie knistern weniger, kleben nicht auf der Haut und werden nicht so leicht wieder schmutzig.
- Neben dem eigentlichen Weichspüleffekt ist heute der durch die Weichspülmittel erzeugte angenehm frische Duft der Wäsche ein ganz wesentliches Kaufkriterium geworden.

Den unbestreitbaren technologischen Vorteilen der Weichspülmittel stehen auch einige Nachteile gegenüber:

- Der Einsatz von Weichspülern kann zu einer verlangsamten Wasseraufnahme bei Textilien führen. Dieser Effekt ist besonders bei Handtüchern unerwünscht und kann als störend empfunden werden. Diese Wirkung ist stark dosierabhängig und kann bei modernen Weichspülern im Fall der korrekten Dosierung

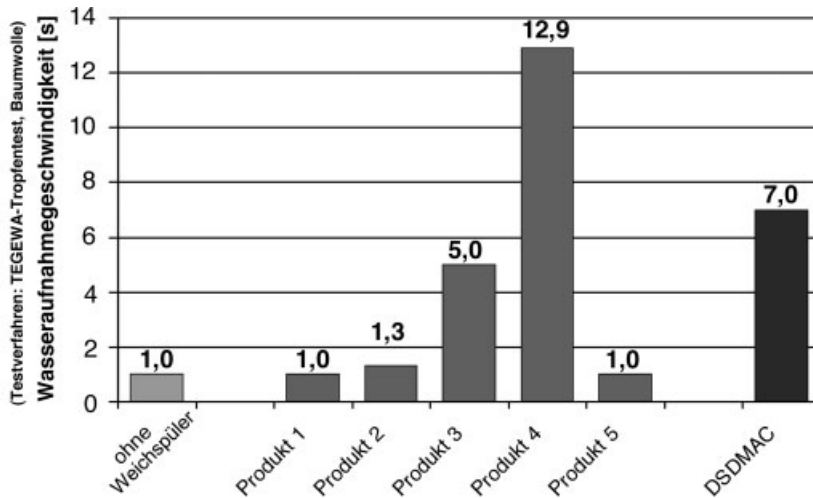


Abb. 6.9 Wasseraufnahmegeschwindigkeit von Textilien in Abhängigkeit von der Weichspülbehandlung. Je größer die angegebene Zeit, desto langsamer verläuft die Wasseraufnahme.

nahezu vollständig unterdrückt werden. Allerdings gibt es zwischen den verschiedenen Handelsprodukten deutliche Unterschiede (Abb. 6.9). Die Dosierangaben müssen genau beachtet werden. Bei Überdosierung fühlt sich die Wäsche schmierig und fettig an und die Wasseraufnahme ist immer deutlich verzögert.

- Weichspüler wurden, wie auch Waschmittel, des Öfteren im Zusammenhang mit Hautreaktionen an behandelten Textilien in Verbindung gebracht. Hierfür gibt es jedoch keine medizinischen Anhaltspunkte.
- Das Duftempfinden ist individuell. Eine intensive Duftnote kann auch als lästig und unangenehm empfunden werden. In Einzelfällen können Duftstoffe Allergien und Unverträglichkeitsreaktionen hervorrufen. Um diese Substanzen zu erkennen und betroffene Personen zu informieren, sind kritische Duftstoffe auf den Verpackungen kennzeichnungspflichtig. Weitere Informationen dazu finden sich in den Kapiteln 5.6.6 und 8.4.
- Bei Anwendung von Weichspülmitteln steigt die Tensidbelastung durch kationische Tenside in Kläranlagen und in der Umwelt. Die Kationentenside ziehen zwar zu 90–95 % auf die Wäsche auf, wirken aber beim nächsten Waschen als Schmutzbelastung und gelangen gemeinsam mit dem Waschmittel ins Abwasser. Eine ökologische Bewertung der Verwendung von Wäscheweichspülmitteln muss jedoch differenziert gesehen werden, da der erhöhten Tensidbelastung eine – wenn auch geringe – Energieersparnis beim Trocknen und Bügeln gegenübersteht [8]. Bezogen auf die ökologischen Auswirkungen des Waschens insgesamt ist der Anteil der Weichspülmittel verhältnismäßig gering (s. Kap. 10).

Neben den hier beschriebenen klassischen Weichspülmitteln gibt es eine Reihe weiterer Produkte am Markt, die den Weichspüleffekt nutzen und für spezielle Anwendungen konzipiert sind bzw. einen Zusatznutzen anbieten.

Trocknerhilfsmittel

Textilien, die im Wäschetrockner getrocknet werden, benötigen wegen der intensiven, die Faser auflockernden Bewegung eigentlich keine Weichspülerbehandlung mehr. Trotzdem werden in manchen Haushalten auch in diesem Fall kationische Tenside verwendet, denn aufgrund der durch den Weichspülereinsatz erreichten Hydrophobierung der Textiloberflächen lässt sich die Trocknungszeit der Wäsche um bis zu 10 % verkürzen. Weiterhin dient der Weichspülereinsatz häufig zur Verbesserung des Duftes der Wäsche.

Als Trocknerhilfsmittel eingesetzte Weichspülmittel werden entweder in flüssiger Form im letzten Spülbad zugesetzt oder in Form eines mit Kationensid belegten Tuches, welches der Wäsche im Trockner beigelegt wird, verwendet. Durch Kontaktübertragung erfolgt hier der Übergang des Kationensids vom Tuch auf die Wäsche. Die Dosierung liegt hierbei um 50–60 % niedriger als beim Weichspülen in der Waschmaschine. Darüber hinaus gibt es seit neuerer Zeit flüssige Weichspülformulierungen im Markt, die speziell für den anschließenden Trocknereinsatz entwickelt wurden. Sie enthalten relativ niedrige Esterquatkonzentrationen von ca. 5 % und trocknergeeignete, hitzebeständige Parfümierungen („Trocknerfrische“).

Duftintensive Weichspüler

Da für viele Verbraucher die Parfümierung der Wäsche mit dem dadurch erhaltenen „frischen Duft“ ein wesentlicher Grund für den Einsatz von Weichspülmitteln ist, haben die Hersteller darauf reagiert und bieten Weichspüler mit besonders intensiven Düften an („Aromatherapie“, „Mystery“, „Frühlingsfrisch“ u. a.). Durch regelmäßige Parfümierungswechsel soll zudem die Attraktivität der Produkte erhöht werden. Viele Weichspülprodukte werden in Form breit gefächelter Duftsortimente angeboten, die sich bei gleicher Rezeptur nur durch unterschiedliche Parfümöle unterscheiden. Um einen besonders lang anhaltenden Dufteindruck zu erzielen, werden auch verkapselte Duftstoffe eingesetzt. Bei mechanischer Beanspruchung der getrockneten Wäsche werden die Duftkapseln zerstört und die Duftstoffe zeitverzögert freigesetzt. Ein Teil des Dufteindrucks entsteht also erst beim Tragen der Wäsche.

2-in-1-Waschmittel

Ein 2-in-1-Waschmittel vereint ein „normales“ Waschmittel mit einem zusätzlichen Wäscheweichmachungssystem. Der Weichspüleffekt wird dabei aber nicht durch ein kationisches Tensid erzielt, sondern entweder durch eine sehr feinkörnige Tonerde oder Siliconverbindungen. 2-in-1-Waschmittel haben in Europa, mit Ausnahme von Großbritannien, keine nennenswerte wirtschaftliche Bedeutung.

Mit Hilfe eines Flockungsmittels (hochmolekulares Polyethylenoxid) zieht die Tonerde auf die Faser auf. Die anionischen Tenside des Waschmittels verstärken die Faserhaftung der Tonerdeteilchen. Durch die Tonerdeteilchen wird ein trockener Wäscheweichgriff erzielt, der sich von herkömmlichen Weichspülmitteln unterscheidet, die sich eher ein wenig „fettig“ anfühlen. Ergänzt wird der Weichspüleffekt durch optimierte Duftstoffe, die an den Tonerdeteilchen adsorbiert werden und ihren Duft über einen längeren Zeitraum abgeben. Unangenehme Gerüche (Zigarettenrauch, Küchengerüche) werden dadurch einige Zeit überdeckt.

Anstelle der Tonerde werden auch Siliconverbindungen (Polydimethylsiloxane oder mit Amino- und Polyetherfunktion modifizierte Silicone) in 2-in-1-Waschmitteln eingesetzt [9]. Die Silicone ziehen auf die Faser auf und verbessern Weichgriff und Formerhalt der Wäsche.

Gewebeconditioner

In den letzten Jahren sind neben dem Weichgriff der Wäsche weitere Vorteile von Weichspülmitteln in den Vordergrund getreten und haben zu neuen Produktkonzepten geführt, die unter dem Namen Gewebeconditioner oder Bügelerleichterungsmittel angeboten werden. Je nach Hersteller gibt es verschiedene Technologien zur Rezeptur-Gestaltung dieser Produkte:

1. Einige Produkte enthalten zusätzlich zum klassischen Kationensid, dem Esterquat, noch Siliconverbindungen. Der zusätzliche Wirkstoff führt zu einer sehr effektiven Faserglättung und damit zu einer Bügelerleichterung. Zum Teil werden Siliconverbindungen auch in herkömmlichen Weichspülmitteln verwendet, ohne diese speziell auszuwerben.
2. Es werden neuartige kationische Tenside verwendet. Diese Kationenside entsprechen in ihrer Struktur den Esterquats, nur tragen sie statt der überwiegend gesättigten nun ungesättigte Fettsäurereste aus pflanzlichen Ölen. Mit Hilfe von Lösungsvermittlern und Tensiden lassen sich klare Formulierungen herstellen. Im Vergleich zu der milchartigen Suspension der bei Raumtemperatur festen Kationenside der herkömmlichen Weichspüler handelt es sich bei Gewebeconditionern dieses Typs um eine durchscheinende Emulsion der „flüssigen“ Kationenside in Wasser. Als Lösungsvermittler werden mehrwertige Alkohole verwendet. Diese Zusammensetzung führt dazu, dass die weichpflegenden Kationenside in deutlich kleineren und stärker flexiblen micellähnlichen Verbänden vorliegen als in herkömmlichen Weichspülern. Dadurch ziehen die Tenside nicht nur oberflächlich auf die Textilfasern auf, sondern sie können tiefer und gleichmäßiger in das Gewebe eindringen, ohne einen flächendeckenden wasserabweisenden Film auf der Oberfläche zu hinterlassen. Die Geschwindigkeit der Absorption von Feuchtigkeit in die Fasern wird dadurch nicht so sehr verringert.

Aufgrund hochwertiger Rohstoffe werden Gewebeconditioner deutlich teurer angeboten als herkömmliche Weichspülmittel. Da der Zusatznutzen gegenüber den herkömmlichen Weichspülmitteln für die Verbraucher nur begrenzt erfahrbar ist, haben Gewebeconditioner bisher nur eine sehr geringe Bedeutung am Markt er-

langt und werden zum Teil nicht mehr angeboten. 2008 betrug der Marktanteil der Gewebeconditioner an den Nachbehandlungsmitteln in Deutschland 0,4 % mit einem Verkaufswert von rund 1 Mill. € [10].

6.3

Weitere Nachbehandlungsmittel

Durch den Einsatz von weiteren Nachbehandlungsmitteln – als Zusatz im letzten Spülbad oder zum Aufbringen nach dem Waschen – versucht man, den Gebrauchswert der Wäsche zu verbessern oder den Textilien bestimmte Eigenschaften wiederzugeben, die durch das Waschen beeinträchtigt wurden.

Wäschesteifen sind Mittel auf Basis von Naturstärken oder in neuerer Zeit auch verstärkt auf Basis von synthetischen Polymeren, z. B. Polyvinylacetat. Sie werden eingesetzt, wenn eine steife und füllige Formgebung der Wäsche erwünscht ist, z. B. bei Hemdkragen oder ähnlichem. Es gibt sie als pulverförmige und flüssige Mittel.

Mit *Formspüler* behandelte Textilien werden im Faserverband gefestigt. Die Wäsche erhält je nach Dosierung einen leichten Appretur- bis kräftigen Stärkeeffekt. Formspüler wirken weiterhin als Bügelhilfe. Es sind flüssige Mittel, die als wesentliche Wirksubstanzen synthetische Polymere, überwiegend Polyvinylacetat, seltener Stärke oder modifizierte Stärke enthalten, die auf die Faser aufziehen.

Bügelhilfen, Sprühstärken und Antifaltensprays enthalten als Wirkstoffe Siliconverbindungen, die auf die Faser aufziehen und beim Bügeln als Gleithilfe wirken und teilweise noch modifizierte Stärke zur Faserfestigung (Sprühstärken). Es gibt sie als Pumpsprüher oder in Sprayform mit Propan oder Butan als Treibmittel. Bügelhilfen wirken auch ohne Bügeln im gewissen Maße faserglättend, wenn nach dem Aufsprühen die noch feuchte Wäsche, z. B. Freizeitkleidung, mit der Hand gestrafft, glatt gezogen und anschließend zum Trocknen aufgehängt wird („Antifaltenspray“).

Hygienespüler werden dem letzten Spülwasser zugesetzt und enthalten einen antimikrobiellen Wirkstoff, häufig Benzalkoniumchlorid, und zusätzlich nichtionische Tenside. Sie können die Keimbelastung der Wäsche verringern und haben ihr Einsatzgebiet in Fällen von erhöhten Gesundheits- und Hygienrisiken (s. auch Kap. 8.5).

Gardinen-Weißspüler werden dem letzten Spülbad in der Waschmaschine zugesetzt, um den Weißgrad von Gardinen zu erhöhen, die häufig aus Synthetikfasern bestehen und leicht vergrauen. Sie enthalten modifizierte Stärke zur Faserfestigung sowie Weißpigmente und Optische Aufheller, die auf die Faser aufziehen und den Weißindruck verbessern.

Bügelwasser enthält als Hauptbestandteil mineralarmes (demineralisiertes) Wasser, zusätzlich ein Konservierungsmittel und häufig noch Duftstoffe. Es dient gemischt mit Leitungswasser zur Verwendung in Dampfbügeleisen.

6.4

Textilerfrischer

Textilerfrischer sind milde Reinigungsprodukte, die Gerüche aus nahezu allen textilen Materialien entfernen. Sie werden angewandt für Heimtextilien, Polstermöbel, Kleidung, aber auch Autositze, Hundekörbe, Kinderwagen oder Matratzen. Sie sind geeignet für alle Textilien, die im Gegensatz zu harten Oberflächen nur schwer abzuwaschen, zu reinigen oder zu shampooonieren sind, oder für Kleidung, die man zwischendurch auffrischen möchte. Im Handel sind Textilerfrischer seit 1999 erhältlich. Sie werden als Pumpsprays auf Wasserbasis angeboten. 2003 ist es einem Hersteller gelungen, die geruchsentfernende Wirkung von Cyclodextrin mit einem Weichspüler direkt in die Wäsche einzubringen. Seit 2004 wird auch ein Spezialwaschmittel mit dem Wirkstoff eines Textilerfrischers (Zinkricinoleat) angeboten.

Für Textilerfrischer gibt es verschiedene Produktkonzepte. Die Wirkung beruht entweder auf dem geruchseinkapselnden Aktivstoff Cyclodextrin, der aus Maisstärke hergestellt wird, oder auf Basis von Zinkricinoleat. Die Sprays enthalten in der wässrigen Lösung in geringen Konzentrationen unter anderem noch Parfüm, eventuell Tenside und einen Konservierungsstoff zur mikrobiologischen Stabilisierung.

Cyclodextrin, der am häufigsten eingesetzte Wirkstoff, entsteht beim enzymatischen Abbau von Stärke. Es ist ein ringförmiges Oligo-Saccharid, das aus 6 bis 8 D-Glucose-Einheiten besteht (s. Abb. 5.44). Dieser Ring zeigt außen hydrophile Eigenschaften, ist also wasserlöslich, während innen ein starrer hydrophober Hohlraum gebildet wird, der Gastmoleküle wie z. B. Geruchsmoleküle aufnehmen kann (Abb. 6.10).

Die Wirkungsweise von Zinkricinoleat wurde bereits in Kap. 5.6.11 und Abb. 5.43 genauer beschrieben.

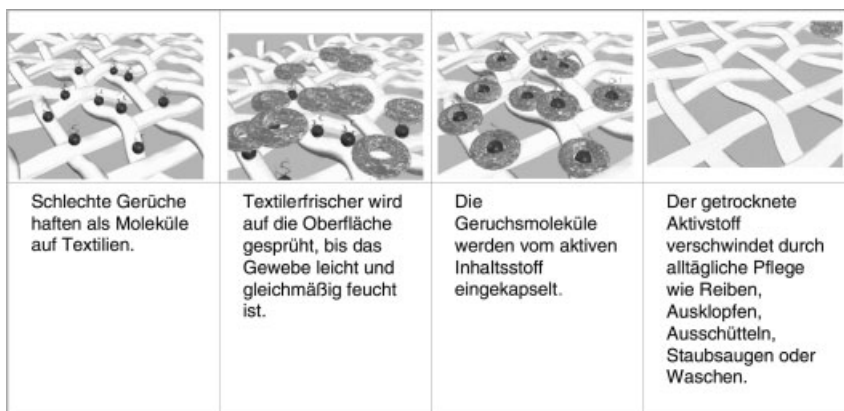


Abb. 6.10 Wirkungsmechanismus von Textilerfrischern auf Basis von Cyclodextrinen.

Literatur

- 1 Hauthal, H. G. und Wagner, G.: Reinigungs- und Pflegemittel im Haushalt – Chemie, Anwendung, Ökologie und Verbrauchersicherheit. Verlag für Chemische Industrie, 2. aktualisierte Auflage, Augsburg 2007.
- 2 Henning, K.: Wäscheweichspüler. SÖFW-Journal 133 (2007), H. 8, 48–54.
- 3 Forum Waschen: Weichspüler – Fakten, Pro und contra, www.forum-waschen.de (aufgerufen 08/2009).
- 4 Bieber, T. und Fried, J.: Aktuelle Studie zur Wirkung von Weichspülern auf die Haut von Atopikern. Sonderdruck der Deutschen Haut- und Allergiehilfe e.V.; Bonn 2002.
- 5 Pièrard, G. E., Arrese, J. E., Rodriguez, C., Daskaleros, P. A.: Effects of softened and unsoftened fabrics on sensitive skin. Contact Dermatitis 39 (1994), 286–291.
- 6 Rodriguez, C., Daskaleros, P. A., Sauers, L. J., Innis J. D., Laurie, R. D., Tronnier, H.: Effects of fabric softeners on the skin. Dermatosen in Beruf und Umwelt 42 (1994), 2, 58–61.
- 7 www.dha-allergien.de (aufgerufen 07/2009).
- 8 Jeschke, R., Haulait, C., Francis, T., Turner, J.: Fabric softeners – a concrete example of sustainable responsibility. Vortrag GDCh-Jahrestagung Fachgruppe Waschmittelchemie, Königswinter April 2004.
- 9 Hauthal, H. G.: Organische Polymere in Wasch- und Reinigungsmitteln. SÖFW-Journal 2006 (132), H. 10, 2–22.
- 10 Speckmann, H.: Fakten zum Weichspülen. Vortrag Multiplikatorensseminar FORUM WASCHEN, Bonn 03. März 2009.

7

Technologie der Waschmittelherstellung

In Deutschland wurden 2008 610.000 Tonnen Waschmittel verbraucht, weltweit waren es ca. 22 Millionen Tonnen. Diese Zahlen machen deutlich, dass die Waschmittelproduktion ein großtechnisches Herstellungsverfahren von enormer Bedeutung ist.

Der Waschmittelmarkt hat sich im letzten Jahrzehnt zu einem sehr innovativen Markt mit vielen neuen Produkten und Angebotsformen entwickelt. Innovationen in der Waschmittelenwicklung werden geprägt durch die Einführung neuer Rohstoffe, durch Rezepturänderungen oder durch veränderte bzw. neue Angebotsformen wie z. B. Kompaktwaschmittel, Waschmittel-Tabs, Flüssig-Tabs und flüssige Superkonzentrate. Diese Entwicklung hat dazu geführt, dass die Innovationsintervalle sehr kurz geworden sind und sich die Waschmittelindustrie immer schneller auf neue Produktionstechnologien einstellen muss.

In der Anfangszeit der industriellen Waschmittelproduktion zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden Waschmittel noch durch einfaches Vermischen und Trocknen nach dem Tennenverfahren hergestellt. Ab ca. 1930 begann die Produktion der Waschmittel in Sprühtürmen (Hochdrucksprühverfahren). Sie wurde zumindest in den Industrieländern über viele Jahrzehnte bis Ende der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts zur weitaus wichtigsten Herstellungsmethode für pulverförmige Waschmittel.

In den achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts begann in Westeuropa mit der Einführung der flüssigen Vollwaschmittel (1981) und der Kompaktwaschmittel (1989) eine neue Epoche von Waschmittelgenerationen. Damit einher gingen auch neue und zum Teil grundlegend andere Produktionsmethoden. Hierzu eine Übersicht über die wichtigsten Neueinführungen in Europa:

1981	Flüssige Vollwaschmittel
1989/90	Kompaktwaschmittel-Pulver der 1. Generation
1991	Colorwaschmittel
1993	Einführung der 2. Kompaktgeneration, z. B. Megaperls
1997	Flüssigwaschmittel in Gelform
1998	Waschmitteltabletten
2000	Flüssigwaschmittel in löslichen Dosierbeuteln (Flüssig-Tabs)
2009	Flüssige Superkonzentrate

7.1

Herstellung von pulverförmigen Waschmitteln nach dem Tennenvverfahren

Ziel des Herstellungsprozesses ist die Erzeugung eines Waschmittels mit folgenden Eigenschaften:

- Aktivitätserhalt der Rohstoffe und ausreichende Haltbarkeit,
- gute Wasserlöslichkeit,
- Homogenität,
- gute Rieselfähigkeit,
- Staubbfreiheit,
- gleichbleibende Produktqualität.

Der Entfernung des Wassers kommt bei der Herstellung pulverförmiger Produkte die größte Bedeutung zu, denn ein Teil der Waschmittelrohstoffe liegt in Form wässriger Lösungen oder Suspensionen vor. Während des Produktionsprozesses muss das Wasser soweit entfernt werden, dass ein trockenes, riesel- und lagerfähiges Pulver entsteht.

In den Anfängen der Waschmittelindustrie wurde das Wasser nicht durch Verdampfen entfernt, sondern im Produkt durch Hydratbildung gebunden. Bestimmte Salze können größere Mengen Wasser im Kristallgitter binden. Für Waschmittel geeignete Substanzen sind unter anderem Natriumcarbonat, Natriumsulfat und Borate. Diese Salze wurden in kristallwasserarmer oder -freier Form mit den anderen Waschmittelinhaltsstoffen, der Seifenpaste und der Silicat-



Abb. 7.1 Waschmittelherstellung nach dem Tennenvverfahren (um 1920).

lösung, zu einem Brei vermischt und auf sogenannten Tennen zur Kristallisation ausgebreitet (Abb. 7.1). Die Reifung und Kristallisation benötigte Tage bis Wochen, wodurch eine „Massenproduktion“ nach den Tennenverfahren praktisch nicht möglich war und ist. Der erstarrte Brei wurde anschließend zu Pulver gemahlen und abgepackt. In einigen Entwicklungsländern werden auch heute noch Waschmittel nach dem technisch einfachen und preiswerten Tennenverfahren hergestellt.

7.2

Herstellung pulverförmiger Waschmittel nach dem Hochdrucksprühverfahren

Entscheidende Nachteile des Tennenverfahrens waren die eingeschränkten Möglichkeiten in der Gestaltung der Rezeptur, die begrenzten Produktionsmengen und die Limitierung des Wassergehaltes der Rohstoffe und durch das Wasserbindevermögen der Salze. Weiterhin staubten die so hergestellten Waschmittel stark. Diese Schwierigkeiten wurden durch die Entwicklung des Hochdrucksprühverfahrens überwunden.

Die Waschmittelherstellung nach dem Hochdrucksprühverfahren läuft folgendermaßen ab (Abb. 7.2): Im Mischbehälter werden die temperaturbeständigen flüssigen und festen Bestandteile der Waschmittel, dazu gehören die Tenside und Gerüststoffe, genau dosiert und mit soviel Wasser vermischt, dass ein pumpfähiger Brei, der sogenannte Slurry, entsteht. Die Tenside werden dem Slurry oftmals nicht gebrauchsfertig zugegeben, sondern während des Mischens durch Neutralisation von Sulfonsäuren und Fettsäuren mit Natronlauge erzeugt. Das im Gasbrenner erzeugte Rauchgas wird durch Zumischen vorgewärmter Luft auf eine Temperatur von ca. 250–300 °C eingestellt und über einen sogenannten

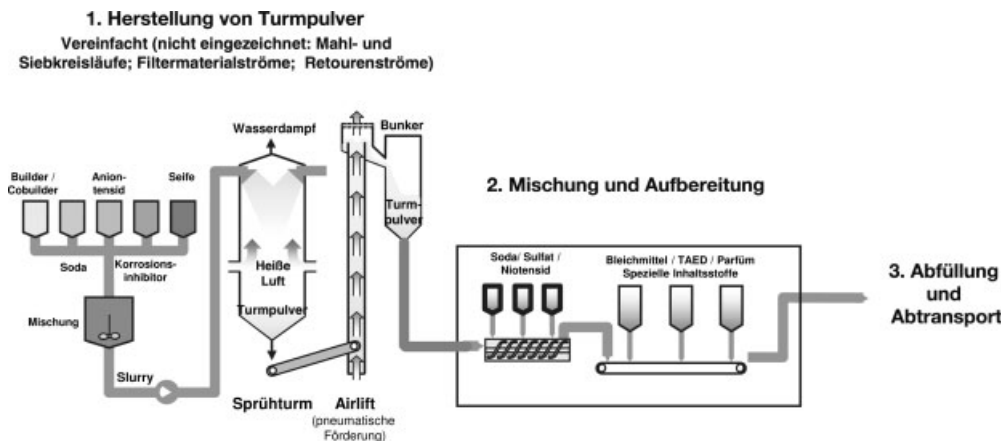


Abb. 7.2 Fließschema zur Herstellung konventioneller pulverförmiger Waschmittel („Normalware“) nach dem Hochdrucksprühverfahren.

Ringkanal durch Verteilerbleche gleichmäßig dem Sprühturm zugeführt. Die wasserhaltige Rohstoffmischung, der Slurry, wird über zwei Ebenen durch Hochdruck-Einstoffdüsen mit ca. 40–70 bar fein zerstäubt. Die Trocknung erfolgt im Gegenstrom durch die heiße Trocknungsluft, welche sich wegen Abgabe der Verdampfungswärme auf ca. 80 bis 110 °C abkühlt.

Durch diese Technik entsteht ein Pulver von sehr guter Wasserlöslichkeit und geringer Staubbildung. Durch pneumatischen Transport (Airlift) wird das Pulver gekühlt. Anschließend werden die temperaturempfindlichen Bestandteile, dazu zählen unter anderem Bleichmittel, Bleichaktivator, Enzyme und Duftstoffe, zudosiert und einem schonend arbeitenden Mischer zugeführt. Im letzten Produktionsschritt werden die Waschmittel im Verpackungsautomaten in handelsübliche Verpackungen abgefüllt.

Das Sprühtrockenverfahren erfordert hohe Investitionen und einen enormen Aufwand an computergesteuerter Mess- und Regeltechnik zur Aufrechterhaltung einer gleichbleibenden Produktionsqualität. Große Anlagen mit 45 Meter hohen Trockentürmen produzieren bis zu 30 Tonnen Pulver pro Stunde (Abb. 7.3). Der



Abb. 7.3 Zerstäubungsturm.

Herstellungsprozess ist energieaufwendig, deshalb sind Produktionsoptimierungen mit dem Ziel der Energieeinsparung aus ökonomischer (preiswerte Waschmittel) und ökologischer Sicht (Verminderung von CO₂-Emissionen) von großer Bedeutung. Beispielsweise lässt sich eine größere Energieeinsparung durch die Kreislaufführung der Trocknungsluft (Umluftverfahren) erreichen.

Im Trocknungsprozess werden geringe Mengen an Aerosolen und gasförmigen organischen Substanzen gebildet und emittiert, was früher zu Geruchsbelästigungen führte (trotz Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte). Heute ist das Problem durch Ersatz der verursachenden Substanzen bzw. Zugabe erst im Aufbereitungsschritt zufriedenstellend gelöst.

Die Trocknungsluft wird über Filter gereinigt, so dass die nach der technischen Anleitung Luft geforderten Grenzwerte deutlich unterschritten werden. Bei Einsatz von Turmaufsatzfiltern werden die abgeschiedenen Stäube wieder in den Produktionsprozess zurückgeführt und somit im normalen Turmpulver gebunden. Die Trocknungsluft tauscht anschließend noch Wärme gegen die Brennerluft aus und gelangt mit 70–85 °C über einen Kamin in die Umwelt.

7.3

Herstellung von Kompakt- und Superkompaktwaschmitteln

Die geänderten Anforderungen des Marktes, unter anderem der Trend zum verminderten Verpackungsaufwand, führten zur Entwicklung von Waschmitteln von besonders hoher Schüttdichte. Unter Schüttdichte versteht man das Litergewicht eines Pulvers in g/L. Im Hochdrucksprühverfahren lassen sich Pulver mit einer Schüttdichte von maximal 400–500 g/L herstellen. Will man Waschmittel mit einer höheren Schüttdichte, die Kompaktwaschmittel, produzieren, muss die Herstellungstechnik geändert werden.

In Deutschland ist deshalb Ende der achtziger Jahre ein zusätzlicher Verfahrensschritt eingeführt worden, der es erlaubt, die aus dem Sprühturm erhaltenen Pulver trocken zu verdichten. Die so hergestellten Pulver, die sogenannten Kompaktwaschmittel, wiesen bei verbesserter Rezeptur eine Schüttgewichte von bis zu 700 g/L auf.

War der Schritt zur ersten Kompaktwaschmittel-Generation noch relativ einfach, so beinhaltet die zweite Generation der Kompaktwaschmittel größere Veränderungen sowohl bei den Rohstoffen als auch im Herstellungsprozess. Um die Waschmittel noch kompakter und noch ergiebiger zu machen, sind völlig neue Produktionstechnologien entstanden. Gegenüber den herkömmlichen Pulverprodukten kann der Anteil an neuen Rohstoffen in den modernen Superkompaktwaschmitteln bis zu 70% ausmachen.

Eine Möglichkeit ist es, den Herstellprozess um einen effektiven Verdichtungsschritt zu erweitern. Als Beispiel wird hier die Extrusionstechnik näher beschrieben: Im sogenannten Extruder (Abb. 7.4) werden die meisten Waschmittelinhaltsstoffe (bis auf die besonders temperaturempfindlichen Enzyme, Duftstoffe und Bleichaktivatoren) zu einem plastifizierbaren Gemisch vermischt und durch

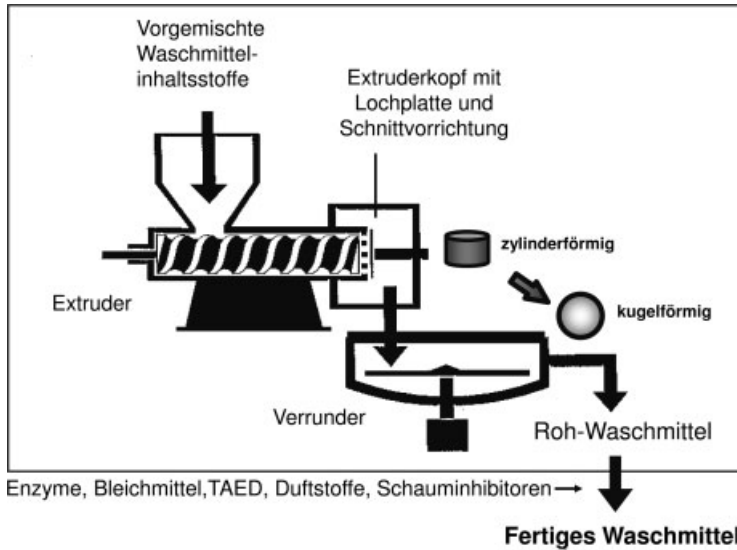


Abb. 7.4 Herstellung von Superkompaktwaschmitteln durch Extrusion und Verrundung.

feine Düsen gepresst. Die dabei entstehenden spaghetti-förmigen Stränge werden über schnell laufende Messer in kurze Zylinder (Länge = Durchmesser) geschnitten, im Verrunder zu Kugeln geformt und anschließend zur Härtung auf ca. 30 °C gekühlt. Die restlichen Waschmittelinhaltsstoffe (Enzyme, Duftstoffe, Aktiv-sauerstoffträger und TEAD) werden anschließend zugemischt.

Eine andere Möglichkeit zur Produktion von Kompaktwaschmitteln ist die Granulation. Dabei werden flüssige und feste Waschmittelinhaltsstoffe in speziellen Granulatoren, je nach Herstellerfirma von unterschiedlicher Form (tellerförmig, walzen- oder zylinderförmig oder als Wirbelschichtgranulatoren), gemischt und zu einem kompakten, körnchenförmigen Pulver (Abb. 7.5) verarbeitet. Auch hier werden besonders empfindliche Inhaltsstoffe nachträglich zugemischt.

Bei den hier beschriebenen Produktionsmethoden, der Extrusion oder Granulation, ist es möglich, entweder temperaturbeständige Waschmittelinhaltsstoffe über die Sprühturmtechnologie vorzumischen und zu trocknen oder – wenn hinreichend trockene Rohstoffe verwendet werden (und hier sind besonders die Tenside von Bedeutung) – ganz auf die Sprühturmtechnologie zu verzichten. Mit diesen Technologien lassen sich besonders kompakte Pulver, sowohl Voll- als auch Colorwaschmittel, mit Schüttdichten von 800 bis 900 g/L, ohne Sprühturm-vorstufe sogar bis zu 1.400 g/L, herstellen.

1993 wurden in Europa, 1994 in Deutschland die ersten Superkompaktwaschmittel nach dem hier beschriebenen Extrusionsverfahren mit dem Namen „Mega-perls“ eingeführt.

Durch diesen neuen Herstellprozess konnte der Anteil der Tenside gegenüber herkömmlichen Waschpulvern deutlich erhöht werden, so dass die Dosieremp-

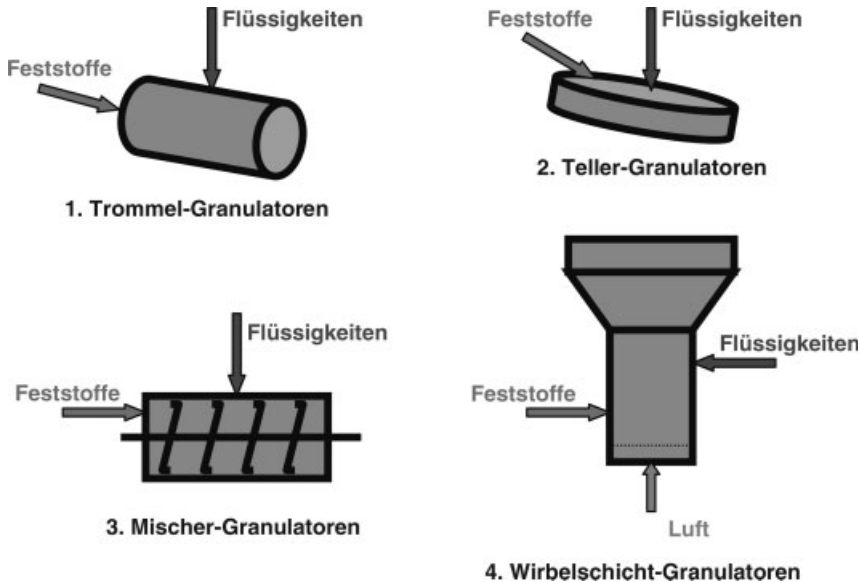


Abb. 7.5 Herstellung von Superkompaktwaschmitteln durch Granulation.

fehlung bei gleichbleibender Leistung entsprechend zurückgenommen werden konnte (Superkompaktwaschmittel: ca. 70 g, Kompaktate: ca. 80 g).

Einen Anteil von ca. 20 % Tensiden (anionische und nichtionische) in ein pulverförmiges superkompaktes Waschmittel einzuarbeiten stellt eine große technologische Herausforderung dar. Tenside liegen meist in flüssiger oder hochviskoser Form vor. Sie so in das Waschmittel einzuarbeiten, dass ein trockenes, lagerfähiges und doch schnell lösliches Produkt entsteht, erfordert moderne, computergesteuerte Anlagen und viel Erfahrung der Waschmittelhersteller.

7.4

Herstellung von Waschmittel-Tabs

Mit Einführung der Waschmittel-Tabs im Jahr 1998 in Deutschland wurden wiederum grundlegend neue Technologien erforderlich, um diese Produkte produzieren zu können.

Bei der Herstellung der Tabs ist es notwendig, eine Balance zu finden zwischen genügender Festigkeit für Verpackung, Transport, Lagerung und Handhabung und einem schnellen Löse- bzw. Zerfallsvorgang der Tablette in der Waschmaschine.

Bindemittel sorgen für die Festigkeit der Tablette während der Lagerung, spezielle Zerfallsmittel (s. Kap. 5.6.10) sorgen für ein schnelles Zerfalls- und Auflösungsverhalten in der Waschmaschine. Mit geeigneten Zerfallsmitteln können

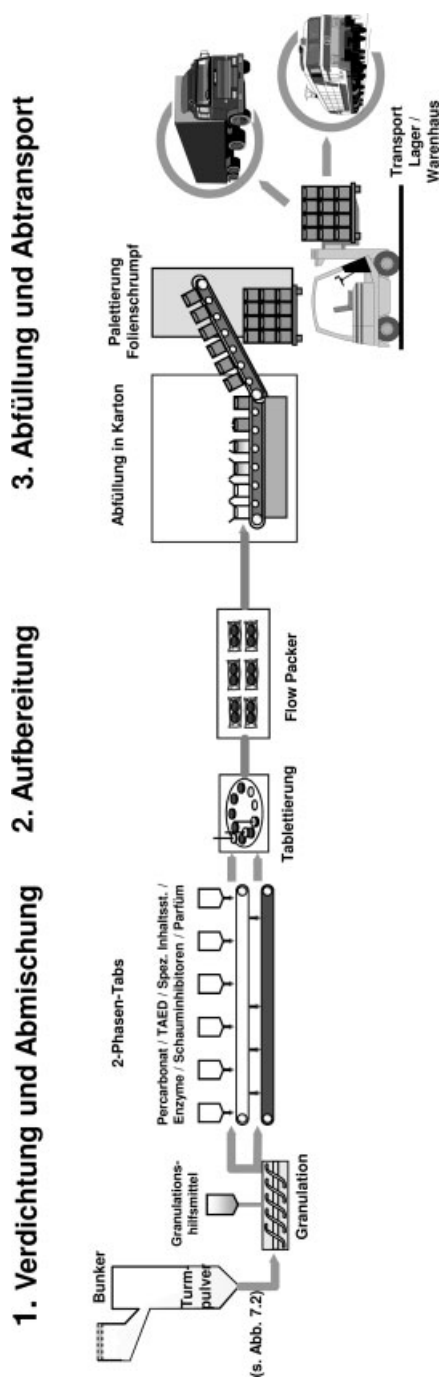


Abb. 7.6 Fertigungsprozess für Waschmittel-Tabs im Überblick.

Waschmittel-Tabs in die Einspülschublade der Waschmaschine dosiert werden und zerfallen dort bei Kontakt mit Wasser in einer Zeit von unter 20 Sekunden.

Mit Hilfe des Zwei-Schichten-Aufbaus ist es möglich, empfindliche Waschmittelrohstoffe z. B. Bleichmittel in der Schicht 1 sowie Bleichmittelaktivator und Enzyme in der Schicht 2 räumlich voneinander zu trennen. Das hat Vorteile für die Lagerbeständigkeit der Tabs, allerdings sind die Variationsmöglichkeiten in der Rezepturgestaltung gegenüber der Pulverproduktion deutlich eingeschränkt.

Abbildung 7.6 zeigt die Produktionsschritte für Waschmittel-Tabs im Überblick. Vergleichbar den Herstellverfahren für normale und kompakte Waschmittelpulver erfolgt auch bei der Tablettenherstellung die Verarbeitung bestimmter, in der Regel wasserhaltiger Rezepturbestandteile wie z. B. Tenside, Builder, Co-Builder, Seifen etc., mittels Sprühtrocknungs- und Granulationsverfahren. Die restlichen Rezepturbestandteile wie z. B. Bleichmittel, Bleichaktivatoren, Enzyme, Parfüm etc. werden zusammen mit diesen Basispulvern bzw. -granulaten in sogenannten Aufbereitungsanlagen zur Gesamtrezeptur vermischt. Hierbei wird jede einzelne Stoffkomponente entsprechend ihrem Rezepturanteil verwogen und zusammen mit den anderen verwogenen Stoffkomponenten in einem schonend arbeitenden Mischer dosiert. Nach dem Mischprozess kann die homogenisierte, pulverige Waschmittelmischung der Presse zugeführt werden und die Verpressung zu Waschmitteltabletten erfolgen.

Die einzelnen Schichten einer mehrschichtigen Tablette enthalten verschiedene Rezepturbestandteile bzw. Stoffkomponenten. Demzufolge muss die Pulvermischung für jede Schicht separat hergestellt bzw. aufbereitet werden. Hierzu werden jeweils separat arbeitende Aufbereitungsanlagen verwendet.

Die Verpackung der beim Pressvorgang enthaltenen Waschmitteltabletten erfolgt in-line, d. h., die aus der Presse ausgestoßenen Tabletten (bis zu 1000 Stück pro Minute) werden direkt einer Verpackungsmaschine zugeführt und versandfertig verpackt.

7.5

Herstellung von flüssigen Waschmitteln

Ließen sich flüssige Waschmittel der ersten Generation meist einfach durch zusammenrühren der jeweiligen Rohstoffe herstellen, so erfordern heutige Systeme aufgrund ihres komplexeren Aufbaus und der anspruchsvolleren physikalischen Eigenschaften einen verfahrenstechnisch höheren Aufwand. Im großtechnischen Maßstab finden zunehmend kontinuierlich arbeitende Herstellverfahren Verwendung, die heute in der Lage sind, Feststoffe genau dosiert einzuarbeiten und auch bei hoher Viskosität der Mischungen bedingt durch hochkonzentrierte oder sogar wasserfreie Zutaten sehr effektiv zu mischen und zu temperieren.

Auch bei diskontinuierlich arbeitenden Anlagen wurden aufwendige, z. B. aus schnell- und langsamlaufenden Rührern bestehende Systeme entwickelt, die es erlauben, sehr tensidreiche Flüssigwaschmittel herzustellen.

Die Tenside werden überwiegend in Form der freien Sulfon- bzw. Fettsäuren eingesetzt und während des Mischungsprozesses – in situ – mit Natronlauge neutralisiert. Zunehmende Verwendung finden Tenside auf Basis nachwachsender Rohstoffe wie Fettalkoholsulfate, Fettalkoholethoxylate und Alkylpolyglucoside.

Besondere Vorsorge gilt der Einhaltung keimfreier Produktionsbedingungen, da die Verwendung von Konservierungsstoffen stark eingeschränkt wird.

Polyfunktionale Alkohole, z.B. Polyethylenglycole oder Glycerin, dienen der Verhinderung der Gelbildung beim Einspülvorgang in der Waschmaschine sowie der Verbesserung der Fließeigenschaften.

Eine Innovation stellt die Produktion gelförmiger Waschmittel dar. Dabei werden neben den in herkömmlichen Flüssigwaschmitteln verwendeten Inhaltsstoffen zusätzlich Verdickungsmittel eingesetzt (z. B. Carbopol®; ein spezielles Acrylsäurepolymer kombiniert mit Polyalkylpolyether). Eine stabile Gelbildung ist trotz des Verdickungsmittels nur möglich durch eine äußerst präzise Dosierung der Rezepturbestandteile, genaue Einhaltung der Reihenfolge der Mischung und durch genau gesteuerte Produktionsbedingungen (Temperatur, Rührerdrehzahlen). Abbildung 7.7 zeigt ein Fließschema zur Produktion gelförmiger Waschmittel.

Die Leistungsverbesserung bei den Inhaltsstoffen von Flüssigwaschmitteln, insbesondere bei den Enzymkomponenten, hat zur Entwicklung von flüssigen Superkonzentraten geführt, die nur noch mit 35 mL dosiert werden.

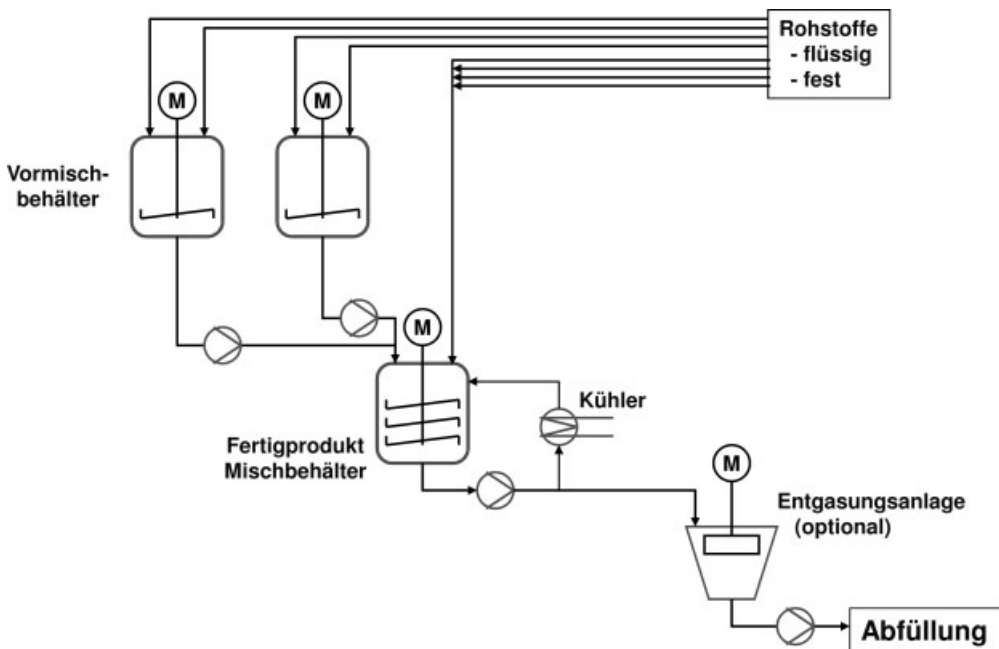


Abb. 7.7 Fließschema zur Herstellung gelförmiger Waschmittel.

7.6

Herstellung von Flüssig-Tabs

Analog zu den festen Waschmittel-Tabs wurden in Europa im Jahr 2000 bei den Flüssigprodukten selbstauflösende Portionsbeutel, sogenannte *Flüssig-Tabs*, eingeführt (auch Liquits, Kapseln, Liquitabs, pouches oder sachets genannt). Diese Rezepturen werden nur noch mit 50 mL im normierten Waschgang dosiert. Dies ist möglich durch einen hohen Tensidanteil von 50 % bis zu 75 %.

Zudem ist eine Reduktion des Wasseranteils auf unter 12 % erforderlich, um diese Produkte in wasserlösliche Polyvinylalkohol-Folie (PVAL) abfüllen zu können. Der Auflösungsprozess der PVAL-Folie beginnt sofort, sobald der Beutel mit Wasser in Kontakt kommt. Die Folienauflösung erfolgt dann in ca. 10 bis 90 Sekunden. Als Folienmaterial wird teilverseifter Polyvinylalkohol verwendet, der gut kaltwasserlöslich ist. Die in den Flüssig-Tabs vorhandenen niedrigen Wasserkonzentrationen verbessern darüber hinaus die Enzymstabilität, da Enzyme hydrolyseempfindlich sind.

Ein Nachteil der Flüssig-Tabs ist, dass der Verpackungsaufwand sehr groß und kostenintensiv ist. Seit 2008 sind Flüssig-Tabs in vielen Ländern mangels Nachfrage bei den Verbrauchern vom Markt verschwunden.

Literatur

Weiterführende Literatur

- Ho Tan Tai, L.: *Formulating Detergents and Personal Care Products*, AOCS Press, Champaign/Illinois, 2000.
- Smulders, E.: *Laundry Detergents*. Wiley-VCH Verlag, 2002, Kapitel 6: Production of powder detergents.

8

Waschmittel aus Sicht der Verbraucher

8.1

Geschichte der Waschmittel

Einen Überblick über die historische Entwicklung der Waschmittel zeigt Abb. 8.1 [1–5]. Man kann diese Entwicklungsgeschichte in mehrere historische Epochen untergliedern, wobei die Übergänge zwischen den einzelnen Epochen naturgemäß fließend sind.

Waschen im Altertum und Mittelalter

Der Reinigungsprozess hat eine lange Tradition in der Kulturgeschichte der Menschheit. Während Wasser vermutlich schon immer zum Waschen verwendet wurde, lässt sich die Geschichte der waschaktiven Substanzen, die den Reinigungsvorgang unterstützen und verstärken, nicht genau zurückverfolgen. Erste Überlieferungen auf den Gebrauch von Seife sind von den Sumerern (2500 v. Chr.) bekannt geworden (Abb. 8.2).

Doch wurde Seife in Form von Mischungen aus Fetten und Holzasche zur damaligen Zeit vermutlich nur sporadisch zum Wäschewaschen verwendet. In manchen Kulturen, so bei den Germanen, wurde Seife als kosmetisches Mittel zum rituellen Rotfärben der Haare und zur Körperreinigung, aber nicht zum Wäschewaschen genutzt. Die Römer benutzten in der Anfangszeit die Seife wohl überwiegend zur Kosmetik oder als Heilmittel bei Verletzungen. 167 n. Chr. wird vom griechischen Arzt *Galenus*, der in Rom tätig war, zum ersten Mal von Seife als Reinigungsmittel berichtet. Die Wirksamkeit der Seife als Reinigungsmittel wurde in früheren Zeiten noch nicht verstanden und die Auswahl von Waschhilfsstoffen richtete sich nach zufälligen Beobachtungen und den vorhandenen Gegebenheiten. Verwendet wurden neben Mischungen aus Fetten, Ölen und Holzasche auch Soda aus natürlichen Vorkommen, Sand, Tonerde (Bentonite), Seifenkraut, Rosskastanie, Honig, Bohnenmehl, Kleie, Gerstensauerteig und anderes. Häufiger kamen aber auch weniger wohlriechende Materialien zum Einsatz, Schafs- und Schweinekot und vor allem Rindergalle. Während der Römerzeit wurde auch gegorener Urin zum Wäschewaschen benutzt. Der Geruch des gegorenen Urins führte zur Äußerung des Kaisers *Vespanian* „Pecunia non olet“, („Geld stinkt nicht“) da ein ganzer Berufsstand, die „fullones“, sehr

4500 v. Chr.	im Vorderen Orient Verwendung von Pottasche (K_2CO_3) und Soda (Na_2CO_3) zur Reinigung
um 2500 v. Chr.	sumerische Tontafeln als älteste Zeugnisse für die Verwendung von Seife
167 n. Chr.	griechischer Arzt <i>Galenus</i> berichtet erstmals von Seife als Reinigungsmittel bei den Römern; verwendet zum Waschen werden aber Jahrhunderte lang auch Sand, Soda, Borax, Wurzelaufguss von Seifenkraut oder Rosskastanienextrakte, teilweise auch wenig wohlriechende Materialien wie gegorener Urin, Rindergalle, Schafs- und Schweinekot
7. Jh. n. Chr.	Araber (Mauren) erobern den südlichen Teil der Iberischen Halbinsel und bringen die Kunst der Seifenherstellung nach Spanien; erste Seifenzentren entstehen u.a. in Sevilla, Cartagena, Alicante
seit dem 14. Jh.	Herstellung von Seife durch zumftmäßig organisierte Seifensieder in Mitteleuropa; Weitergabe der geheimen Herstellungsverfahren in den Handwerkerfamilien von Generation zu Generation; hochwertige parfümierte Seifen sind begehrte Luxusartikel
18. Jh.	bedeutende Zentren der Seifenproduktion in Europa: Marseille, seit dem 15. und 16. Jh. auch die oberitalienischen Städte Savona, Venedig und Genua
1789	stark gestiegene Nachfrage nach Seife infolge des Aufschwungs der Textilindustrie; wegen Rohstoffmangels verstärkte wissenschaftliche Bemühungen zur künstlichen Sodaherstellung
1863	Herstellung von Soda aus Glaubersalz (Natriumsulfat) im Großmaßstab durch <i>Leblanc</i>
Ende 19. Jh.	<i>Solvay-Verfahren</i> : Herstellung von Soda aus Natriumchlorid, Ammoniak und Kohlenstoffdioxid; die großtechnische Sodaherstellung ist von großer Bedeutung für alle Bereiche der sich damals neu entwickelnden Chemieindustrie
1878	Beginn der industriellen Produktion von Seife
1907	erstes Waschmittel in Pulverform auf dem Markt, Hauptbestandteil: Seifenpulver, dazu Soda und Wasserglas als Alkalien
1913	<i>Fritz Henkel</i> erfindet <i>Persil</i> – erstes „selbsttätiges“ Vollwaschmittel auf Seifenbasis, das waschen und bleichen kann; Bestandteile: Seife, Soda, Perborat und Silikat; die zeitaufwändige Rasenbleiche wird unnötig
1932	Zum ersten Mal Enzyme (tierischer Herkunft) in Waschmitteln
nach 1945	erstes <i>Feinwaschmittel</i> <i>Fewal</i> , waschaktive Substanz: Fettalkoholsulfate (FAS)
1950	Entwicklung elektrischer Waschmaschinen
1950	Erste Waschmittel mit härteunempfindlichen synthetischen Tensiden auf Erdölbasis (Tetrapropylenbenzolsulfonat TPS)
1950	Optische Aufheller
1954	Duftstoffe
1957	Schauminhibitoren
1958	Erste Bestimmungsmethode zur Messung der biologischen Abbaubarkeit von Tensiden
1959	Schaumberge auf deutschen Gewässern durch Tensidrückstände in der Umwelt
1960	Pentatriumtriphosphat (Komplexbildner zur Wasserenthärtung)
1960	Verbesserte Enzyme (Proteasen) aus Mikroorganismen
1964	Vollständiger Ersatz von biologisch schwer durch biologisch leicht abbaubare Tenside (Lineares Alkylbenzolsulfonat LAS)
1974	Entwicklung von Zeolith A (Sasil) als Phosphatersatz
1977	Erste Bleichaktivatoren (TAED) in Waschmitteln
1980	Phosphathöchstmengenverordnung in Deutschland (gesetzliche Begrenzung des Phosphatgehalts in Waschmitteln)
1981	Erste flüssige Vollwaschmittel in Deutschland
1986	Erste phosphatfreie Markenwaschmittel
1989	Erste gentechnisch veränderte Enzyme in deutschen Waschmitteln
1989	Markteinführung Kompaktwaschmittel
1990	Markteinführung Colorwaschmittel
ab 1991	Keine Phosphate in Waschmitteln mehr in Deutschland
1994	Markteinführung Superkompaktwaschmittel in Deutschland
1997	Waschmittel-Tabs
2002	Flüssig-Tabs
2006	Niedrigtemperaturwaschmittel (20 °C)
2009	Hochkonzentrierte Flüssigwaschmittel

Abb. 8.1 Kleine Zeittafel zur Geschichte des Waschen.



Abb. 8.2 Tontafel der Sumerer. Auf der Tafel sind Anweisungen zum Waschen von Wolle mit Seife aufgeführt.

gut vom übelriechenden Gewerbe lebte und dem Staat daraus Steuern entrichtete.

Seit dem 4. Jahrhundert wurde Seife zunehmend zum Wäschewaschen verwendet. Um 385 n. Chr. erwähnt der Arzt *Theodorus Priscianus* erstmals das Handwerk der Seifensieder. Die Fette und Öle wurden aus den damals zugänglichen Rohstoffen gewonnen, je nach den lokalen Gegebenheiten sowohl auf pflanzlicher als auch auf tierischer Basis. Wichtige Quellen waren u. a. Olivenöl (Südeuropa) sowie Ziegen- und Rindertalg, Schaf- und Schweinefett, teilweise auch Fischöl (Mittel- und Nordeuropa). Seife aus Olivenöl galt dabei als qualitativ besonders hochwertig. Die Rezeptur der Seifenherstellung war noch von den Ägyptern und Griechen übernommen worden und die dadurch erhaltenen Seifen waren relativ unrein und nicht mit heutigen Seifen vergleichbar. Die Qualität hing auch stark von der Herkunft der verwendeten Pflanzenasche ab. Im 7. Jahrhundert wurde eine verbesserte Seifenherstellung von den Arabern über das damals arabisch besetzte Spanien nach Europa gebracht und setzte sich schnell durch. Die Alkalität der Pflanzenasche wurde durch Zusatz von gebranntem Kalk (Calciumoxid, auch ungelöschter Kalk oder Ätzkalk genannt) erhöht. Dadurch konnte nun relativ reine Seife erzeugt werden.

Wegen der günstigen klimatischen Bedingungen entwickelte sich im südeuropäischen Raum, dem Lebensraum der Olivenbäume, seit dem 6. Jahrhundert langsam das Handwerk der Seifenherstellung und gelangte unter anderem in den Städten Sevilla, Alicante, Venedig, Genua und Marseille im 16. Jahrhundert zu voller Blüte. Seife wurde zu einem begehrten Artikel, der von Südeuropa aus in viele Länder exportiert wurde. Ab dem 10. Jahrhundert wurde auch in mitteleuropäischen Städten Seife hergestellt und seit dem 14. Jahrhundert gab es im mitteleuropäischen Raum die Seifensiedergunft zur Herstellung hochwertiger Seifen. Die Herstellungsrezepte waren streng geheim und wurden von Genera-

tion zu Generation unter den Seifensiedern weitergereicht. Zum Wäschewaschen dienten einfache Kern- oder Schmierseifen, die für den Eigengebrauch oft selbst hergestellt wurden. Hochwertige parfümierte Seifen waren Luxusartikel und blieben der Körperreinigung und Kosmetik vorbehalten.

Der Beginn der industriellen Seifenproduktion (1750 bis 1900)

Durch die steigende Nachfrage nach Seife wurden die Rohstoffe bald knapp, besonders die Holzasche wurde zu einem begehrten Artikel. Damals waren Natriumcarbonat (Soda) und Kaliumcarbonat als wichtigste Bestandteile der Holzasche bereits bekannt. Der Rohstoffmangel führte dann in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts zu verstärkten wissenschaftlichen Untersuchungen auf dem Gebiet der künstlichen Sodaherstellung.

1789 entdeckte *Nicolas Leblanc* (1742–1806) ein Verfahren, Soda aus Glaubersalz (Natriumsulfat) herzustellen. Damit wurde zum ersten Mal die industrielle Massenherstellung von Seife möglich, denn durch die internationalen Handelsbeziehungen standen preiswerte tropische Fette und Öle in ausreichenden Mengen zur Verfügung. Das Verfahren von *Leblanc* hatte jedoch Nachteile. Es wurde viel Energie benötigt und es fielen ätzende und übelriechende Abfallprodukte an: Chlorwasserstoff HCl und Calciumsulfid CaS, das deponiert wurde und nach faulen Eiern stinkenden Schwefelwasserstoff freisetzen konnte. Die Sodaherstellung nach *Leblanc* wurde deshalb durch ein 1861 von *Ernest Solvay* (1838–1922) entwickeltes Verfahren abgelöst. Die großtechnische Herstellung von Soda zählt zu den wichtigsten Entwicklungen der modernen Chemie, deren Bedeutung weit über die Seifenherstellung hinausging und alle Bereiche der sich damals entwickelnden Chemieindustrie betraf.

In Deutschland hatte die Wirtschaft bis zur Reichsgründung 1871 noch weitgehend landwirtschaftlichen Charakter. Von der Reichsgründung gingen starke Impulse zur industriellen Entwicklung aus und innerhalb weniger Jahre gehörte Deutschland zu den führenden Industrienationen der Welt. Bis zum ersten Weltkrieg begann eine Zeit ständigen Wachstums, die Produktionsmengen stiegen unaufhörlich. Im Rahmen der Industrialisierung stieg auch die Nachfrage nach Seife immer weiter an, und gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurde das Seifensiederhandwerk durch die großtechnische Seifenfabrikation abgelöst.

Erste Vollwaschmittel auf Seifenbasis (1900 bis 1950)

Die Markteinführung eines Gemisches aus Soda und Natriumsilicat im Verhältnis 4:1 („Henkel's Bleichsoda“) im Jahr 1878 kann als Beginn der Entwicklung moderner Waschmittel in Deutschland definiert werden. Bleichsoda wurde zum Einweichen der Wäsche und Enthärten des Wassers benutzt. Da auch Eisensalze ausgefällt wurden, konnte ein Vergilben der Wäsche durch die gelb bis braun gefärbten Eisensalze verhindert werden, deshalb auch der Name „Bleichsoda“.

1907 kam dann das erste Vollwaschmittel (Persil) zum Verkauf (Abb. 8.3).

Persil war ein Waschmittel auf Seifenbasis. Es bestand außer aus pulverisierter Seife noch aus Perborat, Soda und Silicat und nahm der Hausfrau zum ersten Mal die langwierige und wetterabhängige Rasenbleiche ab (Abb. 8.4).

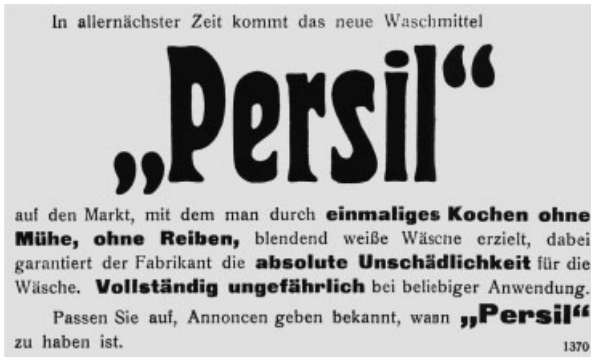


Abb. 8.3 Düsseldorfener Zeitung vom 6. Juni 1907.



Abb. 8.4 Rasenbleiche vor Dresden um 1815. Die Elbauen vor der Stadt dienten als ideale Bleichfläche.

Aus diesem Grunde wurde es als erstes „selbsttätiges“ Waschmittel bezeichnet, denn die Rasenbleiche gehörte zu den mühsamen und langwierigen Tätigkeiten des Waschens. Die Wäsche, die früher überwiegend aus weißen Textilien bestand, wurde zum Erreichen eines – aus damaliger Sicht – strahlenden Weißtones bei gutem Wetter auf dem Rasen ausgebreitet. Für diese Zwecke gab es bei den Textilerstellern sogar den Beruf des Bleichers, der dann mit der Entwicklung der chemischen Bleichmittel rasch verschwand.

Ersatz von Seife durch moderne Tenside (1950 bis 1965)

1932 kam das erste Feinwaschmittel (Fewa) ohne Seife auf den Markt. Es enthielt als waschwirksame Substanzen die Fettalkoholsulfate (FAS). Fettalkoholsulfate waren pH-neutral und hatten Vorteile beim Waschen empfindlicher Textilien aus Kunstseide (Viskose), Seide oder Wolle. Allerdings konnten sich die moder-

nen Tenside zur damaligen Zeit noch nicht durchsetzen. Seife blieb noch viele Jahre der zentrale Inhaltsstoff der Waschmittel.

Ausgehend von den ersten Waschmitteln zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts hatten sich über Jahrzehnte hinweg die Rezepturen der Waschmittel nicht wesentlich verändert. Erst nach 1945 kam es mit der Entwicklung elektrischer Waschmaschinen zu einem grundlegenden Wandel der Waschmittelrezepturen. Anfang der fünfziger Jahre kamen die ersten maschinengeeigneten Waschmittel mit modernen Tensiden auf Erdölbasis auf den Markt, schon Ende der fünfziger Jahre hatten diese Tenside die Seife fast vollständig verdrängt.

1959 traten dann zum ersten Mal unerwünschte ökologische Folgen des steigenden Tensideinsatzes auf. Die unzureichende biologische Abbaubarkeit des damals verwendeten Tetrapropylenbenzolsulfonat (TPS) führte zu erheblichen Konzentrationen dieses Tensids in Oberflächengewässern – sichtbar durch Schaumberge auf den Gewässern (s. auch Kap. 9). TPS wurde in der Folgezeit durch Lineares Alkylbenzolsulfonat (LAS) ersetzt, das seit 1964 das wichtigste Waschmitteltensid darstellt (vgl. auch Kap. 2 und 5.1).

Technologische und ökologische Optimierung der Waschmittelrezepturen durch neue und verbesserte Inhaltsstoffe (1950 bis 1995)

Immer neue Hilfsstoffe wurden entwickelt, die den Waschvorgang effektiver machten. 1950 kamen erste optische Aufheller zum Einsatz, 1954 wurden zum ersten Mal Duftstoffe im Waschmittel verwendet (vgl. auch Kap. 5.6.6).

Die in der Anfangszeit der modernen Waschmittel übliche Fällenthärtung mit Soda war ungeeignet für elektrische Waschmaschinen, so dass hier nach neuen Wegen der *Wasserenthärtung* gesucht wurde. Als geeignete Komplexbildner erwiesen sich die Polyphosphate. Mit Pentanatriumtriphosphat wurde ein sehr wirksamer Wasserenthärter gefunden, der ab 1960 in Waschmitteln eingesetzt wurde. Leider zeigten sich auch hier unerwünschte Folgeschäden durch ein Überangebot von Phosphor in Oberflächengewässern. Auf der Suche nach Phosphatersatzstoffen wurde 1974 Zeolith A patentiert. Nach schrittweiser Reduktion des Phosphatanteils kam 1986 ein völlig phosphatfreies Markenwaschmittel auf der Basis von Zeolith A auf den Markt. Seit 1990 gibt es keine phosphathaltigen Waschmittel mehr auf dem deutschen Markt (vgl. auch Kap. 5.2).

1960 wurden zum ersten Mal *Enzyme* (Proteasen) in Waschmitteln eingesetzt, seit 1966 geschieht dies standardmäßig. Die ersten Enzyme waren noch chemisch relativ empfindlich und unter Waschbedingungen wenig effektiv. Seit Ende der achtziger Jahre werden gentechnisch optimierte Enzyme verwendet und neue Enzymtypen kamen hinzu (Amylasen, Cellulasen, Lipasen und Mannanasen). Die heutigen leistungsstarken Enzyme haben einen maßgeblichen Anteil am Leistungsvermögen der modernen Waschmittel (vgl. auch Kap. 5.5).

Ein weiterer wichtiger Meilenstein in der Waschmittelentwicklung war die Einführung der *Bleichaktivatoren* im Jahr 1977. Mit Hilfe von Bleichaktivatoren, der weitaus wichtigste ist bis heute TAED (Tetraacetythylendiamin), konnte das Leistungsvermögen der Bleichmittel im unteren Temperaturbereich (30 °C und 40 °C) entscheidend verbessert werden (vgl. auch Kap. 5.4).

Bis in die 70er Jahre hinein wurden innovative Rohstoffe wie Tenside, Bleichaktivatoren, Enzyme, optische Aufheller u. a. für Waschmittel erschlossen. In den 80er Jahren wurden vermehrt multifunktionelle Rohstoffe entwickelt und eingesetzt. z. B. wurden Gerüststoffe und Alkali oder Bleichmittel und Alkali kombiniert bzw. mehrfach wirksame Polymere zum Einsatz gebracht (vgl. auch Kap. 5.6).

Die 1980er und 1990er Jahre waren geprägt von Innovationen mit ökologischem Hintergrund. Dazu gehörte auch die Anforderung, die Dosierungen zu reduzieren, d. h. mit weniger Waschmittel gleiche Waschleistungen zu erzielen. So war es nur folgerichtig, dass neue Angebotsformen den Waschmittelmarkt erheblich erweiterten.

Neue Angebotsformen bei Waschmitteln (1980 bis heute)

Die Angebotsformen und das äußere Erscheinungsbild der Waschmittel blieb bis Ende der siebziger Jahre des letzten Jahrhunderts hinein relativ einheitlich: Es gab weiße, gut wasserlösliche Pulver, manchmal mit farbigen Tupfern, die in großen Sprühtürmen produziert wurden (vgl. Kap. 7). In den Einzelhandelsgeschäften fanden sich hauptsächlich pulverförmige Vollwaschmittel, daneben aber auch verschiedene Fein- und Spezialwaschmittel mit einem relativ geringen Marktanteil von weniger als 20 %.

Erst mit dem Aufkommen eines zunehmenden Umweltbewusstseins der Verbraucher in Deutschland Ende der 1970er Jahre kam Bewegung in das Waschmittelangebot. Abbildung 8.5 zeigt am Beispiel der deutschen Waschmittel die Ent-

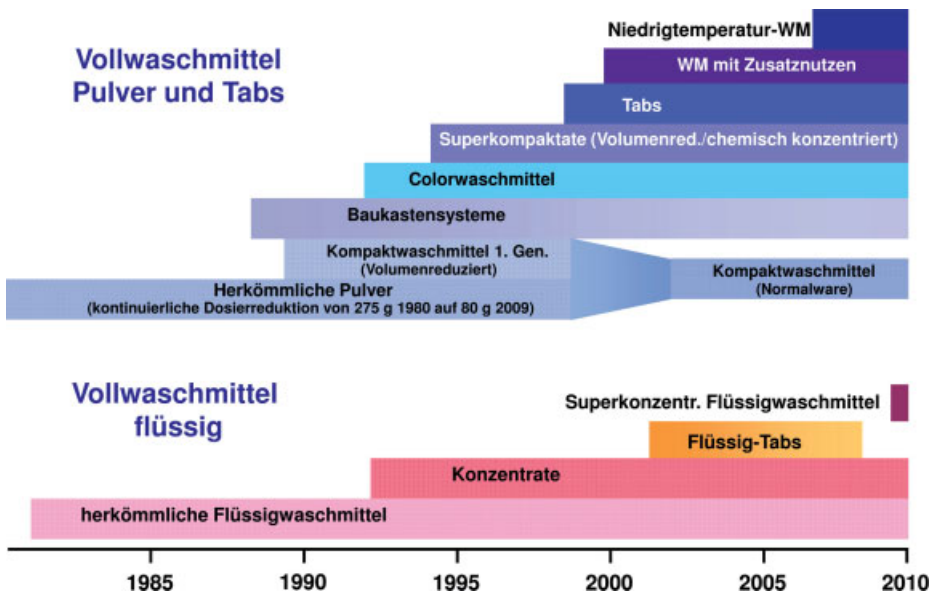


Abb. 8.5 Entwicklungsstufen der Voll- und Colorwaschmittel in Deutschland.

wicklung der Angebotsformen bei den Standardwaschmitteln (Voll- und Colorwaschmittel) seit 1980 im Überblick.

Insgesamt verlief die Weiterentwicklung der Waschmittel in den Ländern der Europäischen Union relativ ähnlich, doch gibt es aufgrund unterschiedlicher Waschgewohnheiten in einzelnen Ländern auch andere Entwicklungen, sowohl bezüglich der Zeitachse als auch hinsichtlich der Waschgewohnheiten und des Waschmittelangebotes. Dementsprechend verfolgen die Waschmittelhersteller das Ziel, für die jeweiligen Märkte die entsprechenden Produkte zur Verfügung zu stellen.

Bemerkenswert ist, dass die herkömmlichen Produkte häufig nicht durch Neuentwicklungen ersetzt, sondern auch weiterhin angeboten werden. Im Supermarktangebot ist daher eine immer größere Produktvielfalt zu beobachten.

Ausgehend von Abb. 8.5 wird die historische Entwicklung der Voll- und Colorwaschmittel im Folgenden genauer diskutiert.

Anfang der achtziger Jahre kamen erste *Baukastensysteme* auf den Markt. Diese sogenannten Bio- oder Ökowaschmittel auf Seifenbasis konnten sich aber aufgrund mangelhafter Waschleistungen nie nennenswert am Markt etablieren. Später kam dann das bis heute immer wieder aktualisierte Hobbythek-Baukastensystem auf Basis moderner Tenside hinzu und 1990 brachte ein großer Waschmittelhersteller ein Baukastensystem auf den Markt („Skip“). Die Baukastensysteme konnten sich nie in Deutschland durchsetzen. Sie entsprachen einerseits nicht den Bedürfnissen der Verbraucher nach bequemer Handhabung, andererseits waren ihre ökologischen Vorteile gegenüber den weiterentwickelten Niedrigdosierwaschmitteln nur gering.

1981 wurde das Waschmittelanangebot durch erste *Flüssigwaschmittel* erweitert. Diese waren von Anfang an phosphatfrei, bequem zu handhaben und erzeugten als (für Deutschland) innovative Entwicklung das Interesse der Verbraucher.

Mit der Einführung der phosphatfreien Pulverwaschmittel 1986 waren die Innovationen bezüglich der Umweltverträglichkeit noch nicht abgeschlossen. 1989 kamen die ersten *Kompaktwaschmittel* und 1994 die Weiterentwicklung, die *Superkompaktwaschmittel* (Niedrigdosierwaschmittel, Superkonzentrate) auf den Markt. Damit konnte die Dosierung des Waschmittels, aber auch der Verpackungsaufwand deutlich reduziert werden (weitere Informationen s. Kap. 4 und 8.2).

Seit Mitte der siebziger Jahre wird in Deutschland mehr bunte als weiße Wäsche gewaschen. So war es nur eine Frage der Zeit, bis das Waschmittelanangebot durch leistungsstarke Waschmittel, optimiert für farbige Textilien, ergänzt werden würde. Erste Schritte dazu gab es in der ehemaligen DDR. Dort kam 1986 „Spee Color“ auf den Markt, ein Waschmittelpulver ohne Bleichmittel und optische Aufheller, sonst aber ohne weitere Innovationen. 1990 wurde der Begriff *Colorwaschmittel* weiterentwickelt und stand nun für einen eigenständigen Waschmitteltyp, der nicht nur frei war von Bleichmitteln und optischen Aufhellern, sondern auch neue Inhaltsstoffe enthielt, die Farbübertragungsinhibitoren (s. Kap. 5.6.1).

Mitte der neunziger Jahre waren die ökologisch orientierten Entwicklungen weitgehend abgeschlossen. Die Waschmittel waren wesentlich umweltverträgli-

cher geworden, sowohl bezüglich der Inhaltsstoffe als auch in den Dosierungsmengen (s. Kap. 4 und Abb. 4.3).

Bei den *Innovationen seit Mitte der neunziger Jahre* standen nun bequeme Handhabung (*convenience*), positive Erlebniswerte und ein Zusatznutzen (z. B. Duft und Image) im Vordergrund. In diesem Zusammenhang waren wichtige Entwicklungen z. B. Waschmittel-Tabs, gelförmige Waschmittel, Waschmittel für spezielle Wäschebelange, z. B. für schwarze Wäsche oder Sport- und Funktionskleidung, und Waschmittel mit besonderen Duftnoten.

Dass nicht jede neue Entwicklung auch Erfolg beim Verbraucher hat, zeigt das Beispiel der Waschsysteeme für nicht waschbare Textilien im Jahr 2004. Sie verschwanden schon wenige Monate nach ihrer Einführung wieder weitgehend aus den Supermarktrehalen. Auch die Flüssig-Tabs, die 2002 zum ersten Mal in Deutschland angeboten wurden, wurden vom Verbraucher nicht nachgefragt und verschwanden 2008 wieder vom Markt. Waschmittel-Tabs haben in Deutschland insgesamt nur noch eine geringe Marktbedeutung.

Seit 2002 gewinnen Initiativen zum Thema „Nachhaltiges Waschen“ zunehmend an Bedeutung (vgl. Kap. 11). Das Thema Nachhaltigkeit hat nicht allein die Weiterentwicklung der Waschmittel im Fokus, das wäre zu eng gedacht, sondern betrachtet das Waschen im Haushalt insgesamt in Bezug auf ökologische, ökonomische und soziale Auswirkungen. Ökobilanzen des Waschens zeigen, dass die größten Umweltauswirkungen im Haushalt anfallen (s. Kap. 10). Ressourcenschonende, am Prinzip der Nachhaltigkeit ausgerichtete Waschgewohnheiten sind also von zentraler Bedeutung. Dementsprechend wichtig ist ein an diesem Prinzip orientiertes Verbraucherverhalten beim Waschen. In den letzten Jahren sind deshalb Initiativen zur besseren Verbraucherkommunikation entstanden. Dazu zählen detaillierte Informationen über die Inhaltsstoffe durch die Herstellerfirmen, eine übersichtlichere Information auf den Waschmittelpackungen, die Öffentlichkeitsarbeit des „FORUM WASCHEN“ (s. Kap. 11), aber auch ein jährlicher „Tag des nachhaltigen Waschens“ in Deutschland am 10. Mai eines jeden Jahres mit Aktionen zum nachhaltigen Waschen.

Neue Entwicklungen unter dem Gesichtspunkt Ressourcenschonung sind die Niedrigtemperaturwaschmittel zum Waschen unterhalb 30 °C (20 °C oder 15 °C), die seit 2006 angeboten werden, und seit 2009 hochkonzentrierte Flüssigwaschmittel, die mit nur noch 37 mL pro Waschgang auskommen.

Neben den genannten Innovationen auf dem Waschmittelmarkt spielt auch der Preis eine wesentliche Rolle beim Kauf eines Waschmittels. Die aus Sicht der Nachhaltigkeit empfehlenswerten Superkompaktwaschmittel (Niedrigdosierwaschmittel) haben in den letzten Jahren rückläufige Marktanteile (s. Abb. 8.14). Preisgünstige Produkte, häufig in Großpackungen als Sonderangebote im Supermarkt angeboten, werden dagegen verstärkt nachgefragt.

Der Entwicklungsprozess moderner Waschmittel lässt sich am Beispiel der Rezepturänderungen eines Markenwaschmittels konkret nachvollziehen [6, 7]. Rezepturen eines Markenwaschmittels von 1907 bis 2008 sind in Abb. 8.6 aufgelistet.

Inhaltsstoffe	Massenanteile der Bestandteile in %									
	1907	1925	1953	1959	1964	1970	1983	1987	2004	2008
Tenside										
Seife	32,0	44,0	44,0	–	3,5	3,5	3,0	1,5	1,0	1,0
Tetrapropylenbenzolsulfonat – TPS	–	–	–	13,0	–	–	–	–	–	–
Lineares Alkylbenzolsulfonat – LAS	–	–	–	–	14,0	6,5	8,0	7,0	12,0	12,0
Fettalkoholsulfat – FAS	–	–	–	2,0	–	–	–	–	–	–
Nichtionische Tenside	–	–	–	–	2,5	2,5	3,0	5,0	3,0	2,5
Gerüststoffe (Enthärter)										
Natriumdiphosphat	–	–	10,0	23,0	–	–	–	–	–	–
Pentatriumtriphosphat	–	–	–	–	43,0	40,0	24,0	–	–	–
Zeolith A	–	–	–	–	–	–	18	25	22	18
Soda	24	16	12	–	–	–	–	10	20	20
Polycarboxylate	–	–	–	–	–	–	1,0	4,0	3,0	2,0
Bleichmittel										
Natriumperborat	9,0	9,0	6,0	7,0	16,0	27,0	22,0	20,0	–	–
Natriumpercarbonat	–	–	–	–	–	–	–	–	14,0	12,0
Tetraacetylenylendiamin – TAED (Bleichaktivator)	–	–	–	–	–	–	1,5	2,0	2,5	2,5
Enzyme	–	–	–	–	–	+	+	+	+	+
Sonstige Inhaltsstoffe										
Phosphonate	–	–	–	–	–	–	0,2	0,2	0,5	0,5
Cellulosederivate (Vergrauungsinhibitoren)	–	–	–	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0	0,5	1,5
Soil Release Polymere	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+
Optische Aufheller	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Natriumsilicat (Korrosionsinhibitor)	3,0	3,0	7,0	4,5	4,0	3,0	4,5	3,5	1,0	1,5
Magnesiumsilicat (Stabilisator)	–	–	2,5	2,5	2,0	2,0	0,5	–	–	–
Duftstoffe	–	–	–	–	+	+	+	+	+	+
Natriumsulfat	–	–	3,5	38,0	4,5	4,0	4,0	4,5	6,0	12,0
Wasser	Rest	Rest	Rest	Rest	Rest	Rest	Rest	Rest	Rest	Rest

+ = enthalten

Abb. 8.6 Rezepturen eines Markenwaschmittels 1907 bis 2008.

Ausgewählte Stationen der Produktentwicklung des Waschmittels Persil von 1907 bis 2009 sind in Abb. 8.7 aufgeführt. In Abb. 8.7 ist deutlich zu erkennen, dass die Weiterentwicklung des Waschmittels bis Ende der 1980er Jahre überwiegend über die Verwendung neuer Inhaltsstoffe geschieht, seit den 1990er Jahren zusätzlich neue Angebotsformen eine bedeutende Rolle spielen.

Die Weiterentwicklung der Waschmittel wird nie abgeschlossen sein. Einige Gedanken zur Zukunft der Waschmittel sowie des Waschens insgesamt sind in Kapitel 11.6 zu finden.

Maßnahme	Begründung
1934 Verwendung von Magnesiumsilicat und Phosphaten	Verringerung von Kalkablagerungen auf der Wäsche
1944 Verwendung von Carboxymethylcellulose	wirksam gegen Vergrauung der Wäsche
1950 Verwendung optischer Aufheller	verstärkter Weißeindruck
1959 TPS als erstes synthetisches Tensid	erhöhte Reinigungswirkung, Wirtschaftlichkeit
1964 Ersatz von TPS durch LAS, ein biologisch leicht abbaubares Tensid	ökologische Gründe
1964 Verwendung von Pentanatriumtriphosphat („Phosphat“) als Waschmittelenhärter	erhöhte Reinigungswirkung
1964 Einsatz langkettiger Seifen als Schauminhibitoren	Schaumregulator bei höheren Waschttemperaturen
1965 Neuartige optische Aufheller	verbesserte Wirksamkeit für Synthetik-Gewebe
1970 Einsatz von Enzymen (Proteasen)	erhöhte Reinigungswirkung bei proteinhaltigen Anschmutzungen
1973 Verwendung von Korrosionsinhibitoren (Natriumsilicat)	Schonung der Waschmaschine
1982 Einsatz von TAED	verbesserte Bleichwirkung im 60 °C-Waschgang
1983 Ersatz von EDTA durch Phosphonate	ökologische Gründe
1983 Teilweiser Ersatz von Phosphaten durch Zeolith A	ökologische Gründe
1983 Verwendung von Polycarboxylaten	zur Unterstützung der Enthärtereigenschaften von Zeolith A
1986 Vollständiger Ersatz von Phosphaten durch Zeolith A	ökologische Gründe
1987 Persil flüssig	neue Angebotsform
1989 Persil flüssig, parfümfrei	für Allergiker geeignet
1989 erstes gentechnisch hergestelltes Enzym in Persil	erhöhte Waschkraft
1990 Persil Supra	Kompaktwaschmittel, verringerte Dosierung
1991 Persil Color	neue Angebotsform für farbige Textilien
1992 Persil, flüssig supra und flüssig Color	verringerte Dosierung, neue Angebotsform bei Flüssigwaschmitteln für farbige Textilien
1993 Verwendung von Fettsäurealkoholsulfaten (FAS) und Alkylpolyglucosiden (APG)	ökologische Gründe
1994 Persil Megaperls	Superkompaktwaschmittel, nochmals verringerte Dosierung, Verringerung von Packmaterial
1998 Persil Tabs	bequeme Handhabung
2001 Anti-Grau-Formel	verbesserte Verhinderung von Kalkablagerungen auf der Wäsche
2002 Persil flüssig-Tabs	bequeme Handhabung
2004 KurzWaschFormel	verbesserte Leistung im Kurzwaschgang
2005 Persil mit besonderem Schmutzlösepolymer	verbesserte Waschleistung
2006 Persil mit integrierter Weichspülerwirkung	Bequemlichkeit, Zusatznutzen
2008 Persil mit verbesserter Niedrig-Temperatur-Waschkraft	Energieersparnis beim Waschen
2009 Persil als flüssiges Superkonzentrat	verringerte Dosierung, Verringerung von Packmaterial

Abb. 8.7 Wichtige Innovationen von Persil im Überblick (bezogen auf die deutsche Waschmittelrezeptur).

8.2

Waschgewohnheiten heute

Noch in den fünfziger Jahren des 20. Jahrhunderts gehörte das Wäschewaschen zu den mühsamsten Tätigkeiten im Haushalt. Das Einweichen der Wäsche, Kochen im Waschkessel, von Hand Durchwaschen, Ausspülen und Auswringen bedeutete schwere Arbeit (Abb. 8.8).



Abb. 8.8 Waschen zu Beginn des 20. Jahrhunderts.

So sah in den fünfziger Jahren ein typischer Waschtage für die „große Wäsche“ (4-Wochen-Wäsche) in einem Mehrfamilienhaus aus [8]:

Planen des Waschtages

Waschküchenbenutzung abstimmen; Sortieren der Wäsche; Heizmaterial bereitstellen; Einweichen über Nacht

Am nächsten Tag

Kochen im Waschkessel; Heiße Wäsche und Waschlauge in Waschwanne umfüllen; Von Hand durchwaschen, auswringen; Warm spülen mit Bleichmittelzusatz; Kalt spülen, 2 bis 3 mal kräftig auswringen; Waschküche aufräumen; säubern

Belastungen

Erkältungsgefahr; Belastung der Haut durch längeren Kontakt mit der Waschlauge und dem Spülwasser; vorübergehende Vernachlässigung anderer Bereiche des Haushaltes; Grobe Kleidung

Heute erfordert das Waschen im Vergleich zu früheren Zeiten kaum noch Arbeitskraft – dank der Entwicklung moderner Waschmaschinen und Trockenautomaten, leistungsstarker Waschmittel und neuer, pflegeleichter Textilien.

Wenn man die Entwicklungen beim Wäschewaschen in den letzten 50 Jahren historisch nachvollzieht, so wird deutlich, welche enormen Veränderungen in den Haushalten stattgefunden haben:

- *Die 1950er und 1960er Jahre* waren geprägt von der zunehmenden Ausstattung der Haushalte mit elektrischen Waschmaschinen. Damit verschwand der „große Washtag“, das Waschen der Wäsche wurde immer mehr in die Wohnung verlagert und zunehmend einfacher. Erste Textilien aus synthetischen Fasern hielten Einzug in die Haushalte. In diesen „Wirtschaftswunderjahren“ war ein steigender Waschmittelverbrauch zu verzeichnen, proportional zur steigenden Zahl der elektrischen Waschmaschinen und einer damit einhergehenden Erhöhung der Washhäufigkeit.
- *In den 1970er Jahren* standen technologische Weiterentwicklungen bei Waschmaschinen und Waschmitteln im Vordergrund. Ende der siebziger Jahre wurde eine weitgehende Marktsättigung bei den Waschmaschinen erreicht. Der Waschmittelverbrauch stieg nicht weiter an.
- *In den 1980er und 1990er Jahren* wurde der Glaube an einen ungebremsen technischen Fortschritt zunehmend in Frage gestellt. Ökologische Weiterentwicklungen dominierten die Entwicklungen beim Waschen. Einsparungen an Energie und Wasser sowie phosphatfreie Waschmittelrezepturen und neue Angebotsformen standen im Vordergrund (Kompaktwaschmittel, Baukastensysteme, Flüssigwaschmittel), die zum Teil ökologisch orientiert waren. Das Angebot an Textilien und Textilfasern wurde breiter, neue Fasertypen, z. B. Mikrofasern, und verbesserte Synthese- und Mischfasern kamen hinzu.
- *Der Beginn des 21. Jahrhunderts* ist geprägt durch hohe Ansprüche an die Lebensqualität und dem Trend zur Selbstverwirklichung. Die Lebensstile driften immer mehr auseinander, es kommt zu einer zunehmenden Individualisierung. Gekennzeichnet ist diese Entwicklung z. B. durch die zunehmende Auflösung der klassischen Familienstrukturen und Zunahme von Single-Haushalten. So leben im Jahr 2008 rund 53 % der Bevölkerung, 43 Millionen Menschen, in 1- und 2-Personenhaushalten (Abb. 8.9).

Das Waschmittelangebot wird immer breiter und vielfältiger. Die ökologischen Schwerpunkte der 1980er und 1990er Jahre sind noch weiter aktuell, stehen nicht mehr allein im Vordergrund, ökonomische Kriterien (Preis) und der Anspruch an einfache Handhabung und Bequemlichkeit (Convenience) gewinnen beim Waschen an Bedeutung.

Ein weitgehend gesättigter Markt bei Waschmitteln und Waschmaschinen führt zu einem starken Wettbewerbsdruck unter den Herstellerfirmen und zu einem großen Innovationsdruck. Nur durch neuartige Produkte und die entsprechende Werbung dazu können Aufmerksamkeit und Kaufanreize erzeugt werden.

- Bemerkenswert ist, dass auch heute die Organisation des Haushaltes und gerade das Wäschewaschen in den Familien immer noch überwiegend von den Frauen geleistet werden.

Zwar wird der eigentliche Waschvorgang heute weitgehend von der Waschmaschine übernommen, jedoch verlangt die Organisation des Waschens insgesamt auch in einem modernen Haushalt noch genügend Arbeitsaufwand und Zeit, wenn alle Tätigkeiten addiert werden. Einbezogen werden müssen dabei auch

Bevölkerung in Deutschland	82,0 Mio. Einwohner 40,1 Mio. Haushalte in leben 15,8 Mio. 1-Personen-H. 19,3% 13,6 Mio. 2-Personen-H. 33,3% 9,2 Mio. 3- u. 4-Personen-H. 38,5% 1,4 Mio. 5 und mehr Pers.-H. 8,9%
Verbrauch Waschmittel Verbrauch an Waschhilfsmitteln	610.000 Tonnen (7,4 kg/Kopf) 260.000 Tonnen
Gewaschene Wäsche	ca. 4 kg/pro Person und Woche 20 Mio. Tonnen jährlich
Durchschnittliche Zahl der Waschgänge	165 pro Haushalt und Jahr (260 in 4-Personen-Haushalten)
Durchschnittliche Beladung der Waschmaschine	3,2 kg
Wasserverbrauch beim Waschen	14 L/Person Tag ca. 400 Mio. m³/Jahr
Durchschnittlicher Wasserverbrauch pro Waschgang	60 L
Durchschnittliche Waschtemperatur	46,5 °C
Durchschnittliche Energie pro Waschgang	0,87 kWh
Verbrauch elektrische Energie beim Waschen	ca. 6 Mrd. kWh/Jahr
Verbrauch elektrische Energie beim Trocknen	ca. 4 Mrd. kWh/Jahr
Verbrauch elektrische Energie beim Bügeln	ca. 2 Mrd. kWh/Jahr
CO₂-Emission (Waschen, Trocknen, Bügeln elektr.)	9.000.000 t/Jahr
Durchschnittliche Kosten des Waschens (Waschmittel, Strom, Wasser, Waschmaschine)	150,- Euro pro Haushalt und Jahr

Quellen: R. Stamminger 2007, 2009; Stat. Bundesamt www.destatis.de; IKW Nachhaltigkeitsbericht 2008; Umweltbundesamt; Zahlen von 2007 wurden für 2008 extrapoliert

Abb. 8.9 Zahlen zum Waschaufwand in Deutschland 2008.

die Tätigkeiten zur Vor- und Nachbehandlung der Wäsche. Dazu gehören im Einzelnen:

- Vorbehandlung von Flecken;
- Sortieren der Wäsche nach Farben und Waschprogrammen;
- Einweichen hartnäckiger Verschmutzungen;
- Einfüllen der Wäsche in die Maschine;
- Auswahl und Dosierung des richtigen Waschmittels, Wahl des Waschprogramms;
- Aufhängen der Wäsche auf die Leine bzw. Umfüllen in den Wäschetrockner;
- Bügeln;
- Zusammenlegen und Einräumen in die Schränke.

Heute gibt es als Folge der oben angesprochenen Individualisierung der Lebensstile keine einheitlichen, für die Mehrheit zutreffenden Lebens- und Konsumgewohnheiten mehr, sondern große Unterschiede zwischen den verschiedenen Lebensweisen. Dementsprechend unterschiedlich sind die ökologischen (Wasser-, Energie- und Waschmittelverbrauch), ökonomischen (finanzieller Aufwand) und sozialen (Zeitbedarf) Aufwendungen für das Waschen.

Welch große volkswirtschaftliche und ökologische Bedeutung das Waschen hat, wird deutlich, wenn man die Zahlen zum Waschaufwand in Deutschland analysiert (Abb. 8.9). Die deutschen Haushalte verbrauchten im Jahr 2008 610.000 Tonnen Waschmittel und zusätzlich noch über 260.000 Tonnen an Waschhilfs- und Nachbehandlungsmitteln. Für das Waschen geben die Haushalte über 6 Milliarden Euro jährlich aus (Kosten für Waschmittel, Energie und Wasser, Waschmaschine). Mit diesem Aufwand werden in den Haushalten jährlich rund 20 Millionen Tonnen Wäsche gewaschen. Jeder Haushalt kann durch entsprechende Waschgewohnheiten den Energie-, Wasser- und Waschmittelverbrauch beim Waschen reduzieren. Ausgewählte Aspekte zum Verbraucherverhalten werden im folgenden Teil genauer diskutiert.

8.2.1

Verwendung von Waschmitteln in Deutschland

Waschmittelverbrauch

Abbildung 8.10 zeigt den Pro-Kopf-Verbrauch an Waschmitteln in Deutschland von 1984 bis 2009. Ende der siebziger bis Anfang der achtziger Jahre war der Höhepunkt beim Pro-Kopf-Verbrauch von Waschmitteln in Deutschland zu verzeichnen. Seitdem fand ein deutlicher Rückgang statt. Ein bemerkenswerter Einschnitt beim Waschmittelverbrauch ist zur Zeit der Wiedervereinigung erkennbar. Die Berechnungen beziehen 1990 zum ersten Mal die neuen Bundesländer mit ein. Weil der Waschmittelverbrauch in der ehemaligen DDR geringer war als in den alten Bundesländern, ergibt sich ein deutlich geringerer Durchschnittswert. Die Waschgewohnheiten gleichen sich in den alten und neuen Bundesländern erst mit einer zeitlichen Verzögerung von einigen Jahren an.

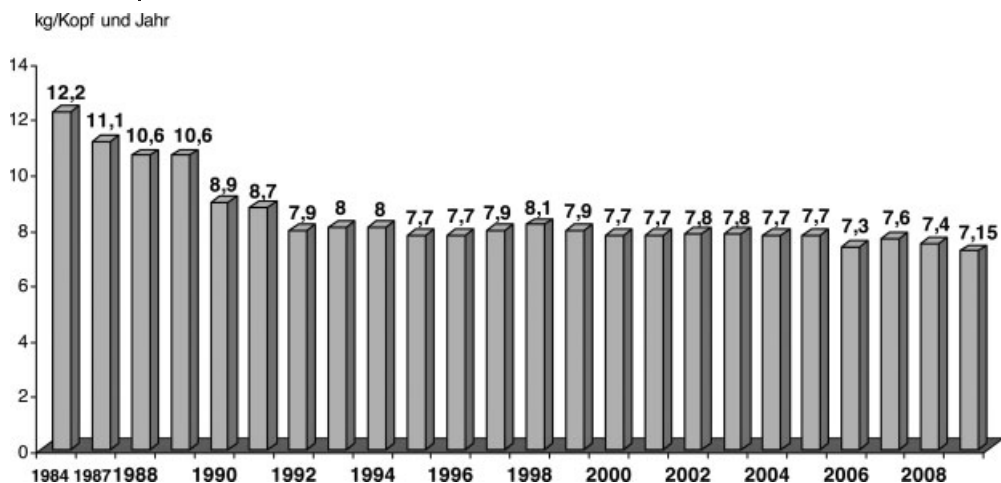


Abb. 8.10 Pro-Kopf-Verbrauch Waschmittel in Deutschland 1984–2009.

Durch die Einführung der Kompaktwaschmittel der ersten Generation (1989) und der Superkompaktwaschmittel (1994) konnte die Dosierung pro Waschgang in den letzten 15 Jahren deutlich verringert werden. Dies führte bis Mitte der neunziger Jahre zu einem Rückgang des Waschmittelverbrauchs. Der Rückgang ist allerdings differenziert zu betrachten, weil der Waschmittelverbrauch von mehreren Faktoren beeinflusst wird. Dabei spielt die Dosiergenauigkeit (Über- oder Unterdosierung) eine wesentliche Rolle. Durch die in den letzten Jahren stetig verringerte Dosierung pro Waschgang steigt die Gefahr der Überdosierung, wenn die Verpackungshinweise nicht beachtet werden bzw. wenn bisherige Dosiergewohnheiten beibehalten werden. Weiterhin haben sowohl der Befüllungsgrad der Waschmaschine als auch die Waschkhäufigkeit, die in den letzten Jahren spürbar zugenommen hat – insbesondere wegen der zunehmenden Zahl von Single-Haushalten –, Einfluss auf den Waschmittelverbrauch. Überlagert wird dieser Trend durch die stärkere Nachfrage nach Flüssigwaschmitteln seit dem Jahr 2000, die durchschnittlich eine etwas höhere Dosierung pro Waschgang als die Superkompaktwaschmittel benötigen. Insgesamt geht der Waschmittelverbrauch in den letzten Jahren von 7,7 kg pro Kopf im Jahr 2000 auf 7,15 kg im Jahr 2009 leicht zurück (Abb. 8.10).

Legt man die Zahlen aus Abb. 8.9 mit 165 Waschgängen pro Haushalt und Jahr zugrunde, berechnet sich bei einer durchschnittlichen Dosierung von 75 Gramm Waschmittel ein theoretischer Waschmittelverbrauch von rund 6 Kilogramm/Person und Jahr. Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass allein bei korrekter Dosierung ohne Änderung der Waschkgewohnheiten im Jahr 2009 rund 15 % Waschmittel (90.000 Tonnen) eingespart werden könnten.

Auswahl des Waschmitteltyps

Die *Vollwaschmittel* stellen mit 53 % Marktanteil mengen- und wertmäßig die wichtigste Gruppe der Waschmittel dar (Abb. 8.11). Sie können nach den verschiedenen Angebotsformen differenziert werden: pulverförmige Produkte (Normalware und Superkompaktwaschmittel), flüssige Produkte und Tabs. Die Begriffe zur Warenkunde der Waschmittel werden in Kapitel 4 genauer erläutert.

Seit ihrer Einführung Ende der achtziger Jahre haben die *Colorwaschmittel* (*Buntwaschmittel*) schnell an Bedeutung gewonnen. Ihr Marktanteil ist mit 33 % (2008) in den letzten Jahren deutlich angestiegen. Colorwaschmittel sind optimiert für das Waschen farbiger Textilien, deren Anteil in der Wäsche in den letzten Jahren zugenommen hat. Der Anteil von Weißwäsche ist von ca. 75 % im Jahr 1956 auf ca. 19 % im Jahr 2008 zurückgegangen (Abb. 8.12).

Fein- und Spezialwaschmittel (für Wolle und Seide oder Gardinen) besitzen 2008 einen Marktanteil von 14 % (wertmäßig). In den letzten Jahren werden flüssige Produkte deutlich stärker nachgefragt (Abb. 8.11).

Aufgeschlüsselt nach *Angebotsformen* ist der dominierende Waschmitteltyp in Deutschland zwar immer noch das pulverförmige Produkt, jedoch haben flüssige Waschmittel in den letzten Jahren mit einem Marktanteil von insgesamt 35 % (2008) deutlich an Bedeutung gewonnen.

Der Verbrauch an *Flüssigwaschmitteln* unterliegt einer starken Dynamik. Nach der Markteinführung in Deutschland 1981 konnten die Flüssigwaschmittel

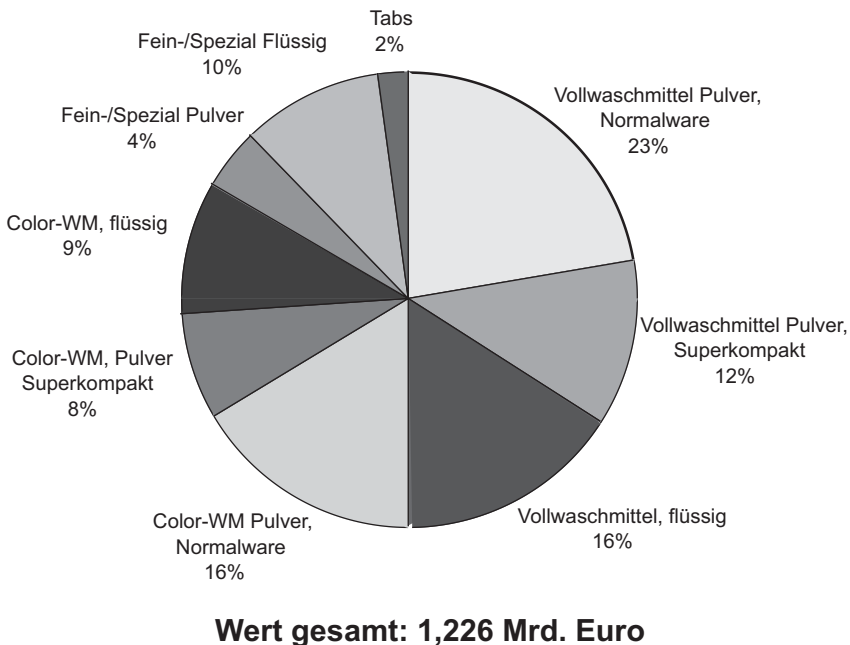


Abb. 8.11 Anteile der verschiedenen Waschmitteltypen am Gesamtverbrauch in Deutschland (2008).

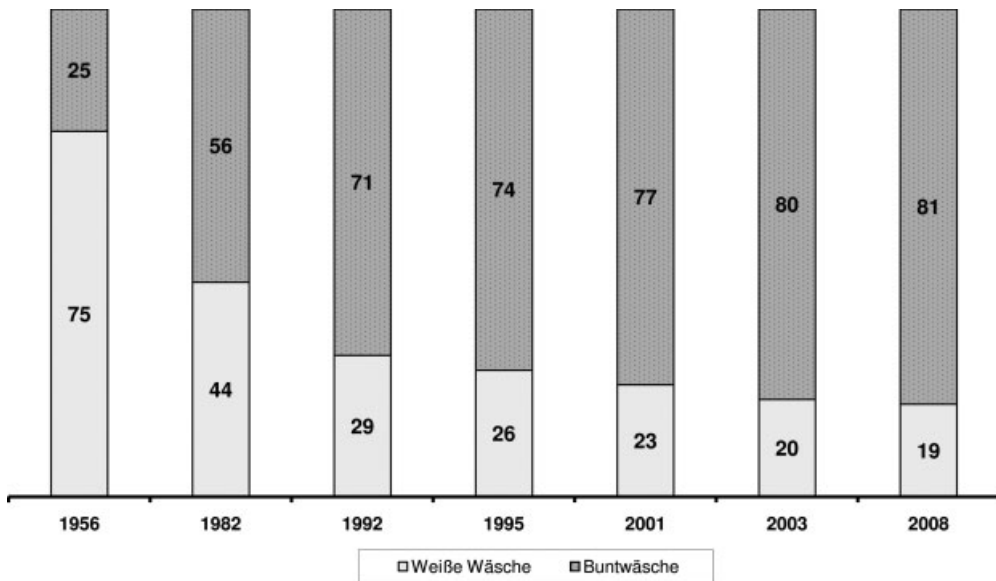


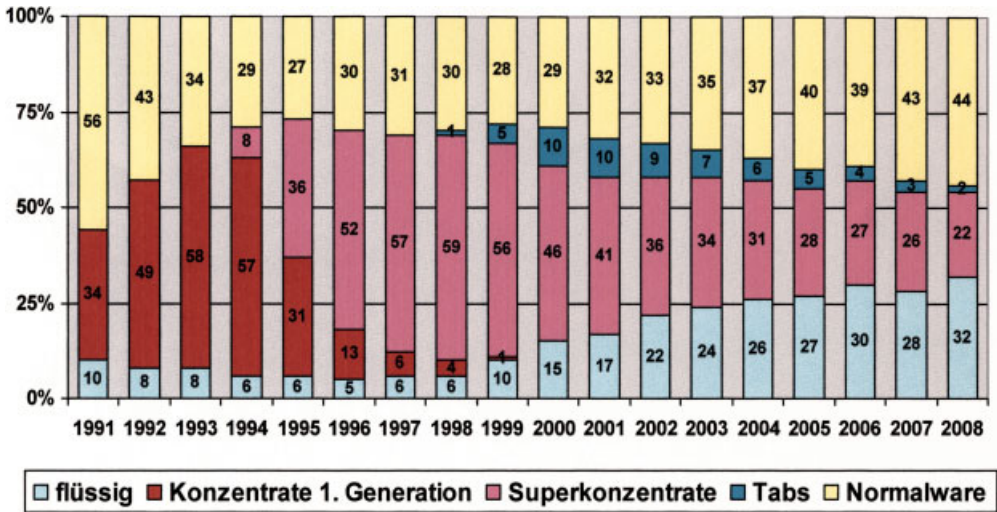
Abb. 8.12 Anteil farbiger Textilien in der Wäsche (1956 bis 2008).

Ende der achtziger Jahre einen Marktanteil von 16 % am Waschmittelmarkt erobern. Durch die Einführung der phosphatfreien Pulverwaschmittel ging der Marktanteil in den neunziger Jahren stark zurück. Seit Ende der neunziger Jahre erleben Flüssigwaschmittel, jetzt deutlich verbessert in der Leistung und erweitert durch neue Angebotsformen (Konzentrate, Gele, neuartige Fein- und Spezialwaschmittel), eine Renaissance. *Gelförmige Produkte* konnten sich dabei durch ihre innovative Erscheinungsform, die bequeme Handhabung und die gute Eignung zur Wäschevorbehandlung einen stabilen Anteil am Markt der Flüssigwaschmittel sichern.

Bemerkenswert ist, dass die „Normalware“ bei den pulverförmigen Voll- und Colorwaschmitteln mit einem Marktanteil von ca. 40 % (2008) weiterhin stark nachgefragt wird. Demgegenüber haben die Superkompaktwaschmittel in diesen Produktkategorien einen Marktanteil von ca. 20 %.

Im Gegensatz zu den Maschinengeschirrspülmitteln, wo die Tabs dominieren, wurden *Waschmitteltabs* mit einem Marktanteil von 2 % im Jahr 2008 in Deutschland nur noch wenig nachgefragt. Die im Jahr 2001 eingeführten *Flüssig-Tabs* sind ganz vom deutschen Markt verschwunden.

Abbildung 8.13 zeigt die Dynamik der Marktanteile der verschiedenen Voll- und Colorwaschmitteltypen (ohne Fein- und Spezialwaschmittel) in Deutschland von 1991 bis 2008. Durch Einführung der Kompaktwaschmittel der ersten Generation im Jahr 1989 und der Superkonzentrate im Jahr 1994 ging der Anteil der herkömmlichen Waschmittel bis zum Jahr 1999 beständig zurück. Die Kompaktwaschmittel der ersten Generation wurden durch die weiterentwickelten Super-



Hinweis: Die Dosierungsempfehlungen der Normalware sind von 1991 bis 2008 von 150 g auf 80 g zurückgegangen. Sie liegen seit 2002 unterhalb der Dosierungsempfehlungen von Kompaktwaschmitteln der 1. Generation.

Abb. 8.13 Marktanteile der verschiedenen Voll- und Colorwaschmittel-Produktformen in Deutschland auf Umsatzbasis (1991 bis 2008).

kompaktwaschmittel (Dosierung 67 Gramm pro Waschgang) überflüssig und haben seit dem Jahr 2000 keine Bedeutung mehr. Demgegenüber wurde die Dosierung der herkömmlichen Waschmittel kontinuierlich von 150 Gramm (1991) auf 80 Gramm (2009) verringert. Die herkömmlichen Waschmittel sind dadurch heute völlig verschwunden und die „Normalware“ ist seit 2002 als Kompaktwaschmittel zu bezeichnen. Nach einem starken Anstieg der Superkompaktate in der zweiten Hälfte 1990er Jahre ist der Marktanteil dieser Produktgruppe seit dem Jahr 1998 innerhalb von 10 Jahren von 59 % auf 22 % zurückgegangen. Die Gründe dafür dürften vorwiegend ökonomischer Natur sein. Die Superkompaktwaschmittel sind zwar besonders leistungsstark und ressourcenschonend, aber – bezogen auf den Waschgang – auch häufig etwas teurer. Verbraucher greifen offensichtlich zu den preisgünstigen und gleichzeitig größeren Packungen der Normalware. Dieser Trend wird begünstigt durch Sonderangebote in den Supermärkten, die überwiegend die Normalware betreffen. Die Dynamik der flüssigen Waschmittel und der Waschmitteltabs wurde bereits im vorherigen Abschnitt angesprochen.

Untersuchungen zeigen, dass nicht alle Verbraucher das Waschmittel richtig auswählen [9, 10]. Der überwiegend gewählte Waschmitteltyp ist immer noch das Vollwaschmittel, obwohl 81 % der Wäsche farbig ist (Stand 2008). Bis zu 10 % der Verbraucher geben an, Vollwaschmittel auch zum Waschen von Wolle und Seide zu nutzen [9, 10].

Beachtung von Dosiervorschriften

Die Dosierempfehlung der Waschmittel ist seit Ende der 1970er Jahre von damals 275 g Waschmittel pro Waschgang stetig verringert worden (vgl. Abb. 4.3). Die Einführung der Kompaktwaschmittel der ersten Generation Ende der 1980er Jahre und der Superkonzentrate (Niedrigdosierwaschmittel) 1994 haben noch einmal eine weitere Reduzierung erbracht. Niedrigdosierwaschmittel kommen im Jahr 2010 mit nur noch 67 Gramm Waschmittel pro Waschgang aus, Normalware benötigt 80 Gramm (bei durchschnittlicher Verschmutzung und mittlerer Wasserhärte). Durch die reduzierte Dosierung sind erhebliche Einsparungen an Waschmittel, Verpackungsmaterial und Transportaufwand möglich geworden. Die Vielfalt des Waschmittelangebots und die in den letzten Jahren stetig verringerten Dosierempfehlungen erfordern allerdings eine genaue Beachtung der Verpackungshinweise. Eine Unterdosierung gefährdet den Wascherfolg und kann zu Kalkablagerungen in der Maschine führen, eine Überdosierung führt zum unnötigen Waschmittelverbrauch und zu unnötigen Kosten.

Entscheidend ist deshalb die Frage, inwieweit die Verbraucher die Dosiervorschriften tatsächlich einhalten. Es gibt in Deutschland nur wenige (öffentlich zugängliche) Erhebungen zum Verbraucherverhalten beim Dosieren. Eine Auswertung von Fragebögen der Universität Bonn, Institut für Landtechnik [10], zum Verbraucherverhalten zeigt, dass rund die Hälfte der befragten Verbraucher nach Gefühl dosiert bzw. lieber etwas mehr Waschmittel nimmt. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein Dosieren „nach Gefühl“ bzw. „nach Erfahrung“ in der Regel zur Überdosierung führt.

Ob die Dosiervorschriften entsprechend den Packungsangaben beachtet werden, hängt u. a. von folgenden Faktoren ab:

- Verständlichkeit und Deutlichkeit der Dosiervorschriften auf der Packung;
- Qualität und Verfügbarkeit von Dosierhilfen (Messbecher);
- Problembewusstsein und Informationsstand der Verbraucher.

Hilfen zur Erleichterung der Dosiergenauigkeit können sein:

- Einheitlicher Messbecher für alle Waschmittel.
Vorgeschlagen wird dies schon seit Längerem seitens der Verbraucherorganisationen, konnte sich aber aufgrund unterschiedlicher Interessenlagen der Herstellerfirmen bisher nicht durchsetzen.
- Vereinfachung der Dosiervorschriften.
Je nach Angebotsform gibt es deutliche Unterschiede in der Einfachheit der Dosierangaben. Bei pulverförmigen Produkten sind Dosiervorschriften differenziert nach drei Wasserhärtebereichen und bis zu vier Verschmutzungsgraden zu finden (Stand 2009). Diese genaue Differenzierung führt zwar zu einer relativ übersichtlichen Darstellung, dürfte aber in der Praxis nur von wenigen Haushalten befolgt werden, weil es vielen Verbrauchern nicht leicht fällt, in der Vorschrift den für ihre Wasserhärte und ihren Verschmutzungsgrad richtigen Wert zu finden. Manche flüssigen Produkte haben deutlich einfachere Dosiervorschriften.

Ein Forschungsprojekt der Universität Bonn, Institut für Landtechnik, hat die Waschgewohnheiten von rund 100 Haushalten über einen Monat exakt untersucht [9]. Dabei zeigte sich im Mittel eine klare Tendenz zur Überdosierung des Waschmittels, allerdings war die Streubreite der Dosiergewohnheiten enorm groß.

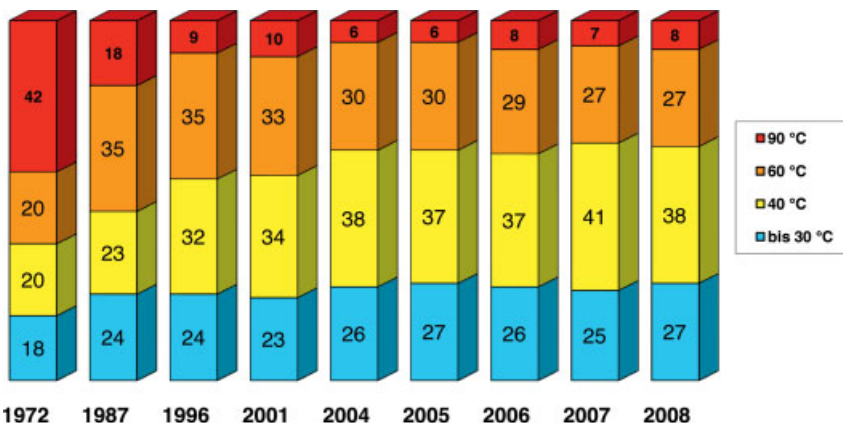
8.2.2

Waschverfahren

Wahl der Waschtemperatur

In den letzten Jahrzehnten ist die Waschtemperatur deutlich gesunken. Heute wird die Wäsche bei niedrigeren Temperaturen als früher gewaschen. Besonders der Anteil der Kochwäsche (70 °C bis 90 °C) ist stark zurückgegangen. Waren es 1972 noch 42 %, so sind im Jahr 2008 noch 8 % Kochwaschgänge (Abb. 8.14). Dafür sind mehrere Gründe maßgeblich:

- Viele Textilien enthalten auf ihren Pflegeetiketten eine Temperaturempfehlung von 30 °C oder 40 °C. Bei höheren Waschtemperaturen können sich empfindliche Wäschestücke verziehen, einlaufen oder verfärben.
- Das Leistungsvermögen der Waschmittel im unteren Temperaturbereich (20 °C bis 40 °C) wurde entscheidend verbessert.
- Verbraucher reduzieren die Waschtemperatur sowohl aus Kostengründen als auch aus Gründen des Klimaschutzes. Durch eine niedrige Waschtemperatur lässt sich der Energiebedarf beim Waschen erheblich reduzieren (vgl. Abb. 1.22).



Quelle: Forum Waschen (www.forum-waschen.de), Universität Bonn (Auswertung: Online-Waschrechner unter www.aktionstag-nachhaltiges-waschen.de)

Abb. 8.14 Waschtemperaturen in deutschen Haushalten (in % der Waschgänge insgesamt) (1972–2008):

In den letzten Jahren ist die durchschnittliche Waschtemperatur relativ konstant geblieben, sie stagniert bei 46 °C bis 47 °C. Wenn mehr Verbraucher als bisher die Empfehlungen zum nachhaltigen und umweltverträglichen Waschen konsequent anwenden (s. Kap. 8.4), lässt sich die durchschnittliche Waschtemperatur von 46,5 °C im Jahr 2008 in Deutschland spürbar reduzieren.

Wird statt der bisherigen Waschtemperatur bei jedem Waschgang eine Waschtemperatur gewählt, die eine Stufe niedriger liegt (statt 90 °C nur noch 60 °C, statt 60 °C jeweils 40 °C und statt 40 °C jeweils 30 °C, wobei die bisherigen 30 °C-Waschgänge erhalten bleiben), so ließen sich in Deutschland Einsparungen bis zu 37 % der Energie und damit auch der Kosten erzielen [11]. Wird eine niedrigere Waschtemperatur als bisher gewählt, so sollte berücksichtigt werden, dass sich die Waschzeit entsprechend verlängern muss, um ein gleich gutes Waschergebnis zu erzielen (s. Abb. 1.1 Waschkreis nach Sinner). Dies erfordert eine Veränderung der Waschgewohnheiten bzw. Waschprogramme.

Wahl des Waschprogramms

Mit ca. 60 % aller Waschgänge ist das Kochbunt-Programm das Standardprogramm in jedem Haushalt. Danach folgen die Programme „Pflegeleicht“ bzw. „Fein“ mit rund 25 %. Waschprogramme für spezielle Textilien (Wolle, Seide) werden mit ca. 4 % aller Waschgänge eher selten gewählt. In weniger als der Hälfte der Waschgänge werden Zusatzfunktionen für die Waschprogramme ausgewählt, z. B. „Weichspülen“, „Kurzwäsche/Kurzprogramme“, „Energiesparen“, „Vorwäsche“, „Extra Spülen“, „Flecken“ (alle Zahlen nach [9]). Die Funktion „Kurzwäsche“ führt in der Regel nicht zu einer Energie- oder Wasserersparnis. Die Wahl des Programms „Flecken“ führt zu einer Verlängerung des eigentlichen Waschgang und kann, wenn gleichzeitig die Temperatur abgesenkt wird, zu einem gleichguten Waschergebnis bei geringerem Energieverbrauch führen [12].

Füllungsgrad der Waschmaschinen

Bei einer durchschnittlichen Kapazität der Waschmaschinen von heute ca. 5,5 kg Trockenwäsche (Tendenz steigend) beträgt der durchschnittliche Befüllungsgrad der Waschmaschine in Deutschland 3,2 kg. Die Füllungsgrad der Maschine ist u. a. auch abhängig vom gewählten Waschprogramm. Bei empfindlichen Textilien sind Schonwaschgänge notwendig (z. B. „Pflegeleicht“ oder „Fein“), bei denen nicht die volle Kapazität genutzt werden kann. Kleinere Haushaltsgrößen führen häufig dazu, dass die Maschine nicht mehr vollständig gefüllt wird.

Es ist davon auszugehen, dass bei besserer Ausnutzung der Waschmaschinenkapazität eine Reduzierung der Washhäufigkeit und damit eine Einsparung an Waschmittel, Wasser und Energie möglich sind. Dem entgegen steht die Zunahme der Single-Haushalte und das damit verbundene, geringere Wäscheaufkommen.

Wäschevorbehandlung, Vorwäsche und Handwäsche

In Deutschland werden ca. 10 % der Wäschestücke irgendeiner Form vorbehandelt (Stand 2008), im Allgemeinen Kleidungsstücke mit besonderen Anschmutzungen wie z. B. hartnäckigen, eingetrockneten Flecken. Entweder werden spezielle Fleckenentfernungsmittel verwendet oder das Wäschestück wird eingeweicht. Das Einweichen ist in den letzten 30 Jahren stark zurückgegangen, von 20 % auf zurzeit nur noch 4 %.

Sehr stark ist der Anteil von Maschinenwäschen mit *Vorwäsche* in den letzten 30 Jahren zurückgegangen, von ungefähr 50 % 1973 auf deutlich unter 10 % im Jahr 2008. Dies ist ein Hinweis auf die gesteigerte Effizienz der Maschinen und der Waschmittel.

Der größte Teil der Wäsche kann heute in der Maschine gewaschen werden. Der Anteil von *Handwäschen* ist von ca. 33 % Ende der siebziger Jahre auf heute 3 % zurückgegangen.

Nutzung von Weichspülmitteln

65 % aller deutschen Haushalte benutzen einen Weichspüler (Stand 2008). Der Anteil der Tücher für Wäschetrockner liegt bei ca. 2 %.

Trocknen der Wäsche

Während das Waschen selbst weitgehend automatisch erfolgt, erfordern das Trocknen und besonders das Bügeln der Wäsche weiterhin Zeit und körperlichen Aufwand.

Trocknen im Freien wird als die natürlichste Methode gesehen. Jedoch können die örtlichen Umstände, wie zum Beispiel Mietwohnung oder das Wetter, Alternativen erfordern, das heißt Trocknen in der Wohnung oder mit Hilfe eines Wäschetrockners. 43 % der deutschen Haushalte besitzen im Jahr 2008 einen Wäschetrockner (s. auch Kap. 1.5).

Bügeln

Die am wenigsten beliebte Tätigkeit im Zusammenhang mit dem Waschen ist das Bügeln.

Waschen mit Waschnüssen – ökologisch und ökonomisch sinnvoll und sozial verträglich?

In den letzten Jahren hat die Waschnuss, die Frucht des *Waschnussbaumes* (*Sapindus mukorossi*), der in vielen Teilen Asiens vorkommt, aus ökologischen Gründen verstärktes Interesse hervorgerufen. Waschnüsse sind auch in Deutschland erhältlich, sowohl als ganze Nüsse als auch in Pulverform, als gebrauchsfertige, halbierte Schalen oder als Flüssigwaschmittel.

Für die Wäsche werden die Nüsse geknackt, der schwarze Kern entsorgt und die Schalen in einem Baumwollsäckchen (oder einer alten Socke) zur Wäsche in die Trommel gegeben. Je nach Waschtemperatur und Härte des Wassers variiert die benötigte Menge von 5 bis 7 Nusshälften. Die Waschnüsse können bei Wäschen bis zu 40 °C für zwei bis drei Waschgänge verwendet werden, danach kann der Rest kompostiert werden. Durch Zugabe weiterer Zusatzstoffe (Bleichmittel, Enthärter) kann die Waschwirkung verbessert werden, die Zugabe etherischer Öle verbessert den Wäscheduft.

Da der Beutel mit den Nussschalen aus Gründen der einfachen Anwendung nach dem Hauptwaschgang in der Waschtrommel verbleibt, geben die Schalen die waschaktiven Substanzen auch während der Spülvorgänge ab. Die Wirkstoffe der Waschnuss (Saponine) werden dadurch nicht komplett ausgewaschen und verbleiben auf der Wäsche.

Waschnüsse können im Prinzip ein konventionelles Waschmittel ersetzen, sind allerdings hinsichtlich der Leistungsfähigkeit und der Waschwirkung nicht mit einem modernen Waschmittel vergleichbar. Ein Test der Zeitschrift Öko-Test ergab 2003, dass Waschnüsse im Vergleich zu herkömmlichen Waschmitteln nur mäßige Waschergebnisse erzielen, die zudem stark von der Art der Verschmutzung abhängig sind.

Die Stiftung Warentest hat im Herbst 2008 zwei Waschnuss-Produkte exemplarisch untersucht (Waschnussschalen und eine flüssiges Waschnussprodukt). Das Ergebnis hat enttäuscht. Die Wäsche war sehr schnell vergraut. Die Fleckentfernung war mangelhaft. Teuer waren die Waschnüsse obendrein. Die Kosten pro Waschgang waren nicht geringer als bei Nutzung konventioneller Waschmittel. Durch den steigenden Gebrauch von Waschnüssen in Westeuropa versechsfachte sich deren Preis im Herkunftsland Indien zwischen den Jahren 2003 und 2008 (TAZ online, 11.03.2008). Auch in puncto Umwelt bringen die Waschnüsse kaum Vorteile. Die waschaktiven Saponine müssen in Kläranlagen genauso abgebaut werden wie die biologisch leicht abbaubaren synthetischen Tenside der Waschmittel. Fazit der Stiftung Warentest: Waschnüsse sind keine Alternative.

Quellen: [13–15]

8.3

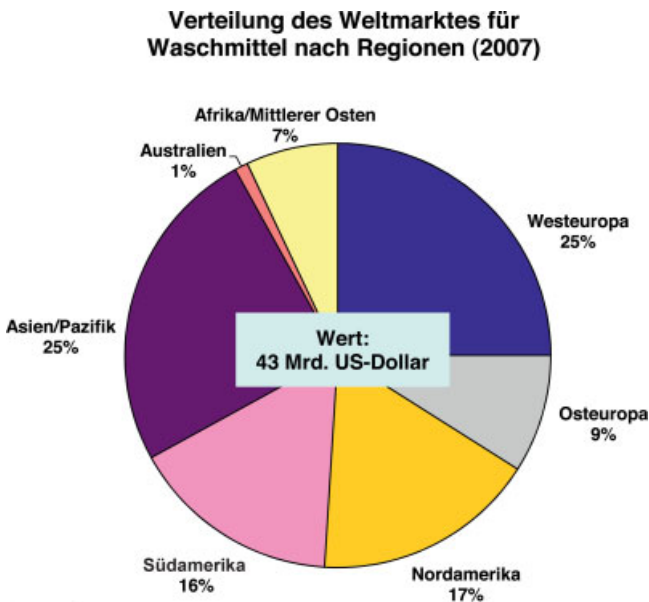
Der Waschmittelmarkt im internationalen Vergleich

Weltweit

Weltweit werden jährlich über 20 Millionen Tonnen Waschmittel verbraucht. Diese Stoffe gehören damit zu den in größten Mengen hergestellten Endprodukten überhaupt. Dabei besteht ein enger Zusammenhang zwischen Lebensstandard und Waschmittelverbrauch. Die überwiegende Menge der Waschmittel wird in den hoch industrialisierten Ländern gekauft, wobei Westeuropa, Nordamerika und der asiatisch-pazifische Raum mit Japan die weltweit wichtigsten Absatzmärkte darstellen.

Im Jahr 2007 betrug der Umsatz bei Haushaltswaschmitteln weltweit 43 Mrd. US-Dollar (Abb. 8.15), wobei drei international tätige „Global Player“ (Procter & Gamble, Unilever, Henkel) einen Marktanteil von 60 % repräsentieren [16].

Bemerkenswert ist, dass die Mehrheit der Weltbevölkerung auch heute noch mit der Hand und mit Seife wäscht – in Bottichen, Wannen, Brunnen oder im Flusswasser (Abb. 8.16).



Quelle: SÖFW-Journal 01/2009

Abb. 8.15 Verteilung des Weltmarktes für Waschmittel nach Regionen (2007).



Abb. 8.16 Handwäsche mit Seife im öffentlichen Waschhaus (Italien, Lazio).

Europa

In dem heute weitgehend gesättigten Waschmittelmarkt in Europa fordern und fördern die ökonomischen Rahmenbedingungen sehr intensiv den Wettbewerb, wobei eine Handvoll große und viele mittelständische Hersteller um Marktanteile konkurrieren. Daraus entsteht eine Dynamik zur Innovation – nur durch neuartige Produkte und die entsprechende Werbung dazu kann Aufmerksamkeit erzeugt werden. Weiterhin spielen die Produktionskosten heute eine wesentliche Rolle in der Waschmittelentwicklung. Viele Verbraucher fällen ihre Kaufentscheidung vorrangig nach dem Preis des Produktes.

Der *europäische Markt für Wasch- und Reinigungsmittel* repräsentiert im Jahr 2008 einen Wert von 29,1 Mrd. Euro, davon 14,3 Mrd. Euro für Wasch- und Waschhilfsmittel (Abb. 8.17). Der Waschmittelverbrauch in Europa beträgt rund 4 Millionen Tonnen pro Jahr.

Hinsichtlich der verschiedenen *Angebotsformen* der Waschmittel wird in vielen Ländern überwiegend mit pulverförmigen Waschmitteln gewaschen. In den Ländern Frankreich, Niederlande, Belgien und Italien sind Flüssigprodukte die beliebtesten Waschmitteltypen und deutlich stärker im Markt vertreten als in den übrigen Ländern (Abb. 8.18). Auch in Großbritannien sind Flüssigwaschmittel sehr beliebt. In vielen süd- und osteuropäischen Ländern überwiegt bei den pulverförmigen Produkten die „Normalware“, in den mittel- und insbesondere in den nordeuropäischen Ländern haben superkonzentrierte Pulverwaschmittel (Niedrigdosierwaschmittel) einen deutlich höheren Marktanteil. In Großbritannien und Frankreich sind Waschmittel-Tabs beliebter als in den übrigen europäischen Ländern (Marktanteil größer 10 %).

Der *Pro-Kopf-Verbrauch* an Waschmitteln liegt je nach Waschgewohnheit und Konzentrationsgrad der Waschmittel in den europäischen Ländern zwischen 4 kg/Jahr bis fast 12 kg/Jahr (Abb. 8.19). Für den Pro-Kopf-Verbrauch spielen die regionalen Waschgewohnheiten in den einzelnen Ländern eine große Rolle, insbesondere die Waschkhäufigkeit der Textilien. Daneben ist aber auch von Be-

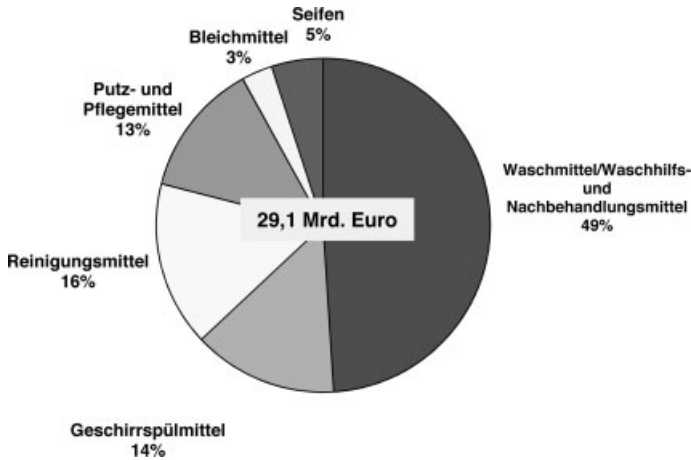


Abb. 8.17 Europäischer Markt der Wasch-, Reinigungs- und Pflegemittel 2008 zu Endverbraucherpreisen (EU 27 plus Norwegen und Schweiz).

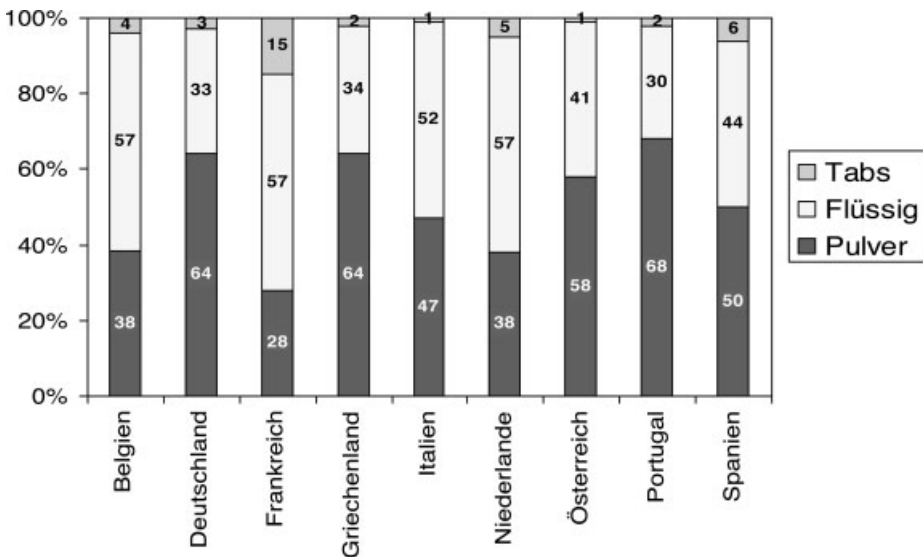


Abb. 8.18 Marktanteile der verschiedenen Waschmitteltypen in ausgewählten europäischen Ländern (2008).

deutung, wie hoch der Anteil der Niedrigdosierwaschmittel in den einzelnen Ländern ist. Einen besonders niedrigen Pro-Kopf-Verbrauch an Waschmitteln haben die skandinavischen Länder.

Eine andere wichtige Entwicklung der letzten 20 Jahre ist die Abkehr von Phosphaten als Enthärterbasis hin zu phosphatfreien Enthärtersystemen auf Basis von

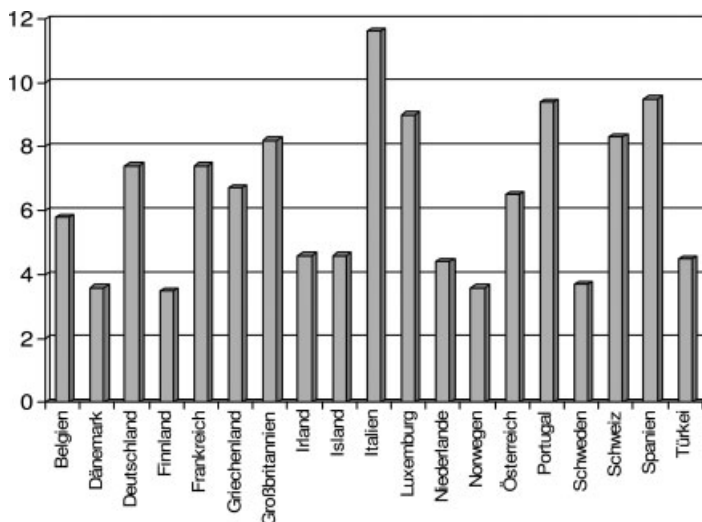


Abb. 8.19 Pro-Kopf-Verbrauch an Waschmitteln in Europa (2008) in kg/Person und Jahr.

Zeolith oder wasserlöslichen Soda-Silikat-Gemischen. Die Überdüngung und Eutrophierung stehender Gewässer hatte diesen Wandel notwendig gemacht. Inzwischen haben die meisten europäischen Länder praktisch keine *phosphathaltigen Waschmittel* mehr im Markt. In einigen südeuropäischen Ländern sowie in den osteuropäischen Ländern haben die ökologischen Erkenntnisse zur Verwendung des Phosphats bzw. das Verbraucherverhalten allerdings noch nicht dazu geführt, phosphathaltige Waschmittel ganz vom Markt zu verdrängen.

In mehreren Ländern Europas existieren gesetzliche Phosphatbeschränkungen (Belgien, Deutschland, Italien, Norwegen, Österreich, Polen, Schweden, Tschechien) oder Verbote (Frankreich, Niederlande, Österreich, Schweiz) (Stand 2009). Weltweit gesehen spielen phosphathaltige Waschmittel immer noch eine bedeutende Rolle. In Südamerika, Afrika, Australien und weiten Teilen Asiens sind sie vorherrschend (s. auch Abb. 5.4).

Deutliche Unterschiede gibt es bei der *Wahl der Waschtemperatur* (Abb. 8.20). Während z. B. in Griechenland und Belgien Kochwäschen (70 °C bis 90 °C) häufiger sind als in Deutschland, wird in Spanien und Portugal besonders häufig bei 30 °C und tiefer gewaschen. Diese Besonderheit ist darauf zurückzuführen, dass dem Waschmittel dort wie in Nord- und Südamerika häufig Chlorbleiche (Natriumhypochlorit) zugesetzt wird, die schon bei 20 °C ihre volle Wirksamkeit entfaltet und keine hohen Waschttemperaturen erfordert.

Die europäischen Länder sind weltweit führend im *Weichspülerverbrauch*. Gründe dafür sind u. a. das relativ harte Wasser in vielen Gegenden Europas, das Trocknen in der Wohnung besonders in der kalten Jahreszeit, aber auch Wünsche nach besonders gut duftender und leicht zu bügelnder Wäsche.

Betrachtet man die Gewohnheiten in Europa genauer, lassen sich starke regionale Unterschiede feststellen. Während in den südlichen Ländern fast jedes Wä-

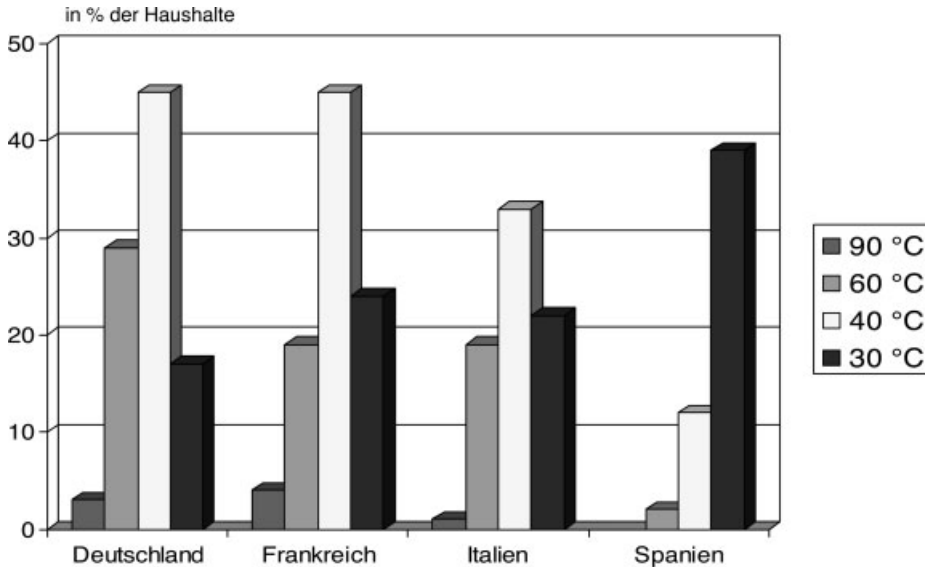


Abb. 8.20 Vergleich der Waschttemperaturen in vier europäischen Ländern (Stand 2008).

schestück gebügelt wird, in Italien selbst die Unterwäsche, wird in den nördlichen Ländern nur ein geringer Teil der Wäsche gebügelt.

Im internationalen Vergleich kann ohne Übertreibung festgestellt werden, dass die Waschmittel-Entwicklung in Westeuropa weltweit führend ist. Ökologische Rahmenbedingungen und internationale, teilweise auch freiwillige Vereinbarungen haben in allen wichtigen Ländern ähnliche Entwicklungen hervorgerufen. Zusätzlich haben auch strenge gesetzliche Auflagen – insbesondere zur Beschränkung oder zum Verbot bestimmter Inhaltsstoffe – die Entwicklung von Wasch- und Reinigungsmitteln nachhaltig beeinflusst. Die wichtigsten und bekanntesten Regelungen in Deutschland sind das Waschmittelgesetz und die Phosphathöchstmengenverordnung. Hinzu kommen verschiedene freiwillige Vereinbarungen und Selbstverpflichtungen der Waschmittelindustrie: Verzicht auf APEO und EDTA und der Verzicht auf bestimmte Duftstoffe wie z. B. Moschus-Xylol.

Deutschland

2009 wurden in Deutschland rund 1,84 Mrd. Euro für Wasch- und Waschhilfsmittel ausgegeben. 1,04 Mrd. Euro entfielen davon auf die Vollwaschmittel (Pulver, Tabs, Flüssigprodukte) [17]. Der Waschmittelmarkt ist hart umkämpft. Ein beachtlicher Anteil der Investitionen fließt deshalb in die Werbung. 2009 wurden in Deutschland 403 Millionen Euro für die Bewerbung von Wasch- und Reinigungsmitteln ausgegeben [18], das entspricht ca. 10 % des Umsatzes bei Wasch- und Reinigungsmitteln (2009: 4,03 Mrd. Euro) bezogen auf die Endverbraucherpreise. Weitere Informationen zum deutschen Waschmittelmarkt und zu den Verbrauchergewohnheiten wurden bereits im Kapitel 8.2 beschrieben.

8.4

Hinweise zum richtigen Waschen

Die Betrachtung des Waschprozesses zeigt, dass für den Waschgang der größte Teil des Energiebedarfs sowie der Abwasser- und Luftbelastungen in den Haushalten anfällt (vgl. Kap. 10 Ökobilanzen). Somit liegt im häuslichen Waschprozess auch das größte Einsparpotential an Energie und Waschmittel. Jeder Einzelne trägt beim Waschen dementsprechend Verantwortung für die Umwelt und sollte die Grundsätze des nachhaltigen Waschens beachten. Der Begriff der Nachhaltigkeit wird im Kapitel 11 genauer ausgeführt. Verantwortlich und nachhaltig waschen heißt dabei:

- Gebrauchswert der Wäsche erhalten;
- Waschmittel sparsam und effizient einsetzen;
- Energiebedarf beim Waschen reduzieren.

8.4.1

Sechs „goldene“ Regeln zum Waschen

Sechs „goldene“ Regeln, die vom FORUM WASCHEN [19] entwickelt wurden, die jeder beachten sollte und die sich leicht im Alltag umsetzen lassen, können dabei helfen, das Waschen umweltverträglicher zu gestalten, d.h. mit weniger Ressourcenverbrauch ein gutes Waschergebnis zu erzielen. Dies ist mit dem bestehenden Waschmittelangebot und bei konsequenter Nutzung der technischen Möglichkeiten der Waschmaschinen möglich. So einfach und einleuchtend die hier genannten Hinweise klingen, werden sie jedoch in der Praxis häufig noch zu wenig beachtet. Im Mittelpunkt stehen die Reduktion von Waschmittel- und Energieverbrauch beim Waschen. Die sechs „goldenen“ Regeln stellen eine Fokussierung auf die zentralen zu beachtenden Punkte dar. In Waschratgebern und im Internet findet sich noch eine weitaus größere Zahl an möglichen Waschtipps, die sich aber im Allgemeinen auf die hier genannten sechs Regeln zurückführen lassen. Bei der Beherzigung der Regeln wird übrigens nicht nur die Umwelt, sondern auch der eigene Geldbeutel geschont.

Regel 1 Wäsche sortieren – nach weiß, bunt, fein, Wolle/Seide

Das Sortieren der Wäsche vor dem Waschen ist besonders wichtig, damit das geeignete Waschmittel, die richtige Dosierung, das sparsamste Waschprogramm und die richtige Wascht Temperatur gewählt werden können. Üblicherweise wird die Wäsche nach Weiß- und Buntwäsche und feine Wäsche (Synthetik) sowie Wolle und Seide sortiert.

Regel 2 Pflegehinweise in den Textilien beachten

In fast jedem Kleidungsstück sind Pflegehinweise zu finden (s. Abb. 1.17 und Kap.1.4). Die dortigen Pflegehinweise sollten in jedem Fall befolgt werden, um ein gutes Waschergebnis zu erzielen und den Wert des Kleidungsstücks möglichst lange zu erhalten. Die Pflegehinweise liefern wichtige Informationen zur Art des Fasermaterials, zur generellen Waschbarkeit, zur maximalen Waschtemperatur, zum empfohlenen Waschprogramm und zeigen, wie getrocknet und gebügelt werden darf. Textilien ohne Pflegehinweise sollten nicht gekauft werden.

Regel 3 Waschmaschine möglichst voll beladen – ausgenommen Fein- und Wollwäsche

Die Beladungskapazität einer Waschmaschine wird in Kilogramm trockener Wäsche angegeben und bezieht sich auf eine „Normwäsche“ (Bettlaken, Kopfkissen und Handtücher aus Baumwolle), um die unterschiedlichen Waschmaschinentypen und die verschiedenen Hersteller miteinander vergleichen zu können [20].

Nur bei der maximal angegebenen Beladungsmenge wird die volle Energieeffizienz der Waschmaschine erreicht. Wird die Maschine nicht voll gefüllt, so sinkt bei modernen Waschmaschinen (Beladungserkennung bzw. Programmwahl „Halbe Ladung“) zwar der absolute Energieverbrauch, der spezifische Energiebedarf pro Kilogramm Wäsche steigt aber an. Deshalb lohnt es sich, die Wäsche zu sammeln, damit das Fassungsvermögen der Maschine komplett genutzt werden kann. Das spart Energie und Wasser bei gleich gutem Waschergebnis. Sollte es in Ausnahmefällen nicht möglich sein, die Maschine voll zu beladen, kann in Bezug auf die Dosierempfehlung etwas weniger Waschmittel verwendet werden. Für Maschinen mit höherer Ladungskapazität (Füllmenge 6 bis 7 kg) muss entsprechend mehr dosiert werden.

Noch problematischer als ein Unterfüllen ist die Überladung der Waschmaschine. Bei Überladung sind die Wäschestücke innerhalb der Waschtrommel nicht mehr hinreichend beweglich, die Waschleistung sinkt deutlich ab. Selbst wenn mehr Waschmittel eingefüllt wird, wird die Wäsche nicht sauberer. Bei einer Überladung der Waschmaschine können zudem Stoßdämpfer und Trommellager beschädigt werden.

Um ein gutes Gefühl für die richtige Beladung der Waschmaschine zu bekommen, empfiehlt es sich, einmal eine Ladung Trockenwäsche abzuwiegen. Ein 10-Liter-Eimer, locker gefüllt, entspricht ca. 2,5 kg trockener Schmutzwäsche. Als Faustregel gilt: Ihre Waschmaschine ist maximal beladen, wenn die Trommel mit etwas Druck voll beladen wird [20].

Textilien aus empfindlichen Fasern (z. B. Seide, Synthetik, Wolle) oder mit spezieller Ausrüstung, z. B. „Pflegeleicht“, erfordern spezielle Waschprogramme, die u. a. auch eine geringere Beladung der Waschmaschine voraussetzen. In der Gebrauchsanweisung jeder Waschmaschine sind die maximalen Beladungsmengen der unterschiedlichen Waschprogramme angegeben.

Regel 4 Je nach Wäscheart das entsprechende Waschmittel wählen (Voll-, Color-, Fein-, Wollwaschmittel) und jeweilige Dosieranweisung beachten

Wichtig für den Erhalt des Gebrauchswertes der Wäsche ist die Auswahl des richtigen Waschmittels (Abb. 8.21). Grundsätzlich sollte das Waschmittel so ausgewählt werden, dass es den Anforderungen der Wäsche optimal entspricht, also je nach Wäscheart ein Voll-, Color-, Fein- oder Wollwaschmittel. Zu beachten sind dafür auch die Pflegehinweise in den Textilien, die Auskunft über die Waschbarkeit geben (s. Regel 3).

Produkttyp	Typische Produktmerkmale	Leistungsspektrum
Vollwaschmittel, Pulver oder Tabs	Enthält Bleichmittel, optische Aufheller, Enzyme und viele Hilfsstoffe	Für alle Waschttemperaturen. Leistungsstärkstes Waschmittel. Bleichmittel entfernen Flecken, wirken antibakteriell und geruchstilgend. Besonders geeignet für stark verschmutzte und weiße Wäsche.
Colorwaschmittel Pulver oder Tabs	Frei von Bleichmitteln und optischen Aufhellern Enthält Farbübertragungsinhibitoren und häufig Cellulasen	Geeignet für alle Waschttemperaturen. Optimiert für farbige Textilien.
Voll- und Colorwaschmittel, flüssig	Frei von Bleichmitteln Enthalten Enthärter auf Seifenbasis Colorwaschmittel ohne optische Aufheller	Gut geeignet im unteren Temperaturbereich (20 – 60 °C). Gut geeignet für farbige Textilien und fetthaltigen Schmutz.
Fein- und Buntwaschmittel	Frei von Bleichmitteln und optischen Aufhellern Ähnlich zusammengesetzt wie Colorwaschmittel	Gut geeignet im unteren Temperaturbereich (20 – 60 °C). Für farbige und empfindliche Textilien.
Wollwaschmittel	Frei von Bleichmitteln, optischen Aufhellern und Enzymen, pH-neutral	Optimiert für das Waschen von Textilien aus Wolle, Seide und Daunen.
Baukastensysteme	Getrennte Dosierung von Basiswaschmittel, Enthärter und Bleichmittel	Für alle Waschttemperaturen und Waschbelange.

Abb. 8.21 Die Wahl des richtigen Waschmittels.

Der Anteil farbiger Textilien hat in den letzten Jahren stark zugenommen (s. Abb. 8.12). Diese sollten routinemäßig mit einem Waschmittel gewaschen werden, das weder Bleichmittel noch optische Aufheller enthält. Dementsprechend sollte ein Color- oder Feinwaschmittel das Standardwaschmittel im Haushalt sein. Die pulverförmigen Colorwaschmittel sind leistungsstärker als flüssige Produkte [21]. Flüssige Waschmittel eignen sich gut zum Waschen dunkelfarbiger Textilien.

Pulverförmige Vollwaschmittel sind die leistungsstärksten Waschmittel [21]. Sie sind optimiert für weiße Wäsche und starke Verschmutzungen. Anstelle eines Vollwaschmittels kann mit gleichem Wascherfolg auch ein pulverförmiges Colorwaschmittel mit separatem Bleichmittel (Fleckensalz, Fleckentabs oder flüssige Bleiche) verwendet werden. Die flüssigen Vollwaschmittel sind insbesondere bei der Fleckentfernung nicht so leistungsstark wie pulverförmige Produkte.

Besondere Aufmerksamkeit verdienen Wolle und Seide: Voll- und Colorwaschmittel sind alkalisch und enthalten Eiweiß spaltende Enzyme (Proteasen). Alkalien und Proteasen können Wolle und Seide deutlich schädigen, deshalb sollte für Wolle und Seide ein Wollwaschmittel verwendet werden. Ersatzweise kann auch ein Haarshampoo gute Dienste leisten.

Waschmittel exakt dosieren

Waschmittel sind heute deutlich konzentrierter als noch vor wenigen Jahren. Die Dosierung pro Waschgang hat sich bei allen Waschmittel-Produkttypen deutlich verringert. Verbraucher, die ihr Waschmittel nach alten Gewohnheiten oder „nach Gefühl“ einfüllen, neigen dazu überzudosieren.

Die richtige Dosierung ist abhängig vom Verschmutzungsgrad der Wäsche, vom Härtegrad des Wassers im eigenen Haushalt und der Füllmenge [22]. Auf der Waschmittelpackung bezieht sich die Dosierung auf 4,5 Kilogramm Weiß- oder Buntwäsche bzw. auf 2,5 Kilogramm Feinwäsche. Dosieranleitungen können sich auch bei Verwendung des immer gleichen Produkts verändern, da die Hersteller kontinuierlich an Weiter- und Neuentwicklungen arbeiten.

Auskunft über den *Härtegrad des Wassers* gibt die jeweilige Gemeindeverwaltung oder der zuständige Wasserversorger. Häufig genügt bereits ein Blick in die Jahresabschlussrechnung. Nur bei sehr hartem Wasser ist es erforderlich, zusätzliche Wasserenthärter (s. Kap. 6.1) zu benutzen. Werden diese verwendet, reicht es, das Waschmittel gemäß Wasserhärtebereich 1 (weiches Wasser) zu dosieren. Bei manchen flüssigen Waschmitteln hängt die Dosierung nicht vom Härtegrad des Wassers ab.

Seit 1997 wird in Deutschland auf der Packung die Dosierung nach *Verschmutzungsgraden* differenziert. Durch diese Differenzierung kann das Waschmittel genauer und sparsamer dosiert werden, denn eine nur schwach verschmutzte Wäsche benötigt entsprechend weniger Waschmittel. Eine Orientierung zur Einstufung des Verschmutzungsgrades der Wäsche liefert Abb. 8.22 [22]. Zu beachten ist, dass es starke Dosierunterschiede zwischen schwach und stark verschmutzter Wäsche gibt. Da der größte Teil der Wäsche heute nur noch leicht verschmutzt ist, reicht die kleinste angegebene Dosierung häufig aus. Werden unterschiedlich

Leicht 	Normal 	Stark 
<p>Keine Verschmutzungen und Flecken* erkennbar. Einige Kleidungsstücke haben Körpergeruch angenommen.</p> <p>Beispiele: Leichte Sommer- und Sportkleidung (wenige Stunden getragen), T-Shirts, Hemden, Blusen (bis zu 1 Tag getragen), Gästebettwäsche und -handtücher (1 Tag benutzt)</p>	<p>Verschmutzungen sichtbar und/oder wenige leichte Flecken* erkennbar.</p> <p>Beispiele: T-Shirts, Hemden, Blusen (durchgeschwitzt beziehungsweise mehrfach getragen), Unterwäsche (1 Tag getragen), Handtücher, Bettwäsche (bis zu 1 Woche benutzt), Gardinen ohne Nikotinverschmutzungen (bis zu ½ Jahr Gebrauch)</p>	<p>Verschmutzungen und/oder Flecken* deutlich erkennbar.</p> <p>Beispiele: Geschirr- und Küchenhandtücher, Stoffservietten, Babylätzchen, Kinder- und Fußballbekleidung (mit Gras und Erde verschmutzt), Tenniskleidung (mit Kieselrot verschmutzt), Berufskleidung (im Haushalt waschbar wie Schlosseranzug, Bäcker- und Metzgerkleidung)</p>
<p>* Typische Flecken: Bleichbar: Tee, Kaffee, Rotwein, Obst, Gemüse · Fett-/öhlaltig: Hautfett, Speiseöle/-fette, Soßen, Mineralöl, Wachse · Eiweiß-/kohlenhydrathaltig: Blut, Ei, Milch, Stärke · Pigment: Ruß, Erde, Sand · Bei einer Fleckenvorbehandlung der Wäsche kann die Waschmittelmenge entsprechend reduziert werden!</p> <p>Quelle (2008): Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e.V. (IKW)</p>		

Abb. 8.22 Einteilung der Verschmutzungsgrade.

stark verschmutzte Wäscheteile gemeinsam gewaschen, so richtet sich die Dosierung nach den am stärksten verschmutzten Wäscheteilen. Wird stark verschmutzte Wäsche vorbehandelt (s. Kap. 8.4.2), kann der Verschmutzungsgrad deutlich reduziert und Waschmittel eingespart werden. Die richtige Vorbehandlung stärker verschmutzter Wasche hat also starken Einfluss auf den Waschmittelverbrauch.

Tabs zeichnen sich durch eine besonders einfache und bequeme Handhabung aus. Da aber nur Dosier-Abstufungen in Form ganzer Tabs möglich sind, lässt sich die tatsächlich benötigte Waschmittelportion nicht so genau dosieren wie bei pulverförmigen oder flüssigen Produkten.

Regel 5 Mit möglichst niedriger Temperatur waschen. Für Weiß- und Buntwäsche maximal 60 °C wählen. Je nach Verschmutzung reichen auch 40 °C, 30 °C oder 20 °C aus

Durch die Absenkung der Waschtemperatur kann der Energiebedarf beim Waschen deutlich reduziert werden (s. Abb. 1.22). Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die chemischen Reaktionen und physikalischen Prozesse, die an der Schmutzablösung und -beseitigung beteiligt sind, temperaturabhängig sind und mit sinkender Temperatur häufig langsamer ablaufen.

Seit dem Jahr 2006 werden auch Voll- bzw. Universalwaschmittel und Colorwaschmittel angeboten, mit denen bereits bei Temperaturen unter 30 °C gewaschen werden kann. Neue Waschmaschinen können das kalt aus der Leitung kommende Wasser auf eine Temperatur von z. B. 15 °C oder 20 °C erwärmen [23]. Als „niedrige Temperaturen“ für die Textilwäsche werden im Folgenden alle Waschttemperaturen verstanden, die niedriger als 30 °C sind und unter der Bezeichnung 20 °C-Waschgänge zusammengefasst.

Durch die modernen Waschmittel und Waschmaschinen kann heute grundsätzlich auf den Kochwaschgang verzichtet werden, ohne dabei an Waschleistung zu verlieren. Ein Kochwaschgang bietet weder aus hygienischen Gründen noch aus Gründen der besseren Waschwirkung Vorteile. Lediglich wenn bestimmte krankheitserregende Keime im Haushalt vorhanden sind, die einer ärztlichen Behandlung bedürfen, kann nach ärztlichem Rat die Kochwäsche erforderlich sein.

Leicht verschmutzte sowie farbige und synthetische Textilien können grundsätzlich im unteren Temperaturbereich (20 °C, 30 °C oder 40 °C) gewaschen werden. Aus hygienischen Gründen sollte darauf geachtet werden, dass nicht über längere Zeit ausschließlich bei 20 °C oder 30 °C gewaschen wird (vgl. Kap. 8.5). Alle zwei Wochen oder jede fünfte Waschlading sollte ein 60 °C-Waschgang erfolgen, um ein übermäßiges Bakterienwachstum bzw. Biofilme in der Waschmaschine zu vermeiden. Weitere Informationen dazu finden sich im Kapitel 8.5.5 zu der Frage „Gibt es hygienische Probleme, wenn die Wäsche überwiegend bei Temperaturen von 20 °C bis 40 °C gewaschen wird?“

Zu empfehlen ist es, aus hygienischen Gründen Unterwäsche, Bettwäsche, Hand- und Geschirrtücher, Wäsche, die mit Tieren in Berührung gekommen ist, Spüllappen u. ä. bei 40 °C mit Vollwaschmittel oder bei 60 °C mit Voll- oder Colorwaschmittel zu waschen.

Soll bei tieferer Temperatur ein vergleichbares Waschergebnis wie bei höherer Temperatur erzielt werden, so müssen andere Waschfaktoren (s. Sinner'scher Waschkreis Abb. 1.1) entsprechend vergrößert werden. Neben der Nutzung von Waschmitteln, die bei tieferer Temperatur besonders leistungsfähig sind, kann durch eine Verlängerung der Waschkdauer die reduzierte Temperatur kompensiert werden. Wenn die Waschzeit durch Wahl der entsprechenden Waschprogramme verlängert wird, ist es möglich, gleich gute Waschergebnisse wie bisher zu erzielen, auch wenn die Waschttemperature um eine Stufe abgesenkt wird [24]. Allerdings können Waschleistung und Waschkdauer eines Waschprogramms je nach Waschmaschinentyp recht unterschiedlich ausfallen [24–26]. Besonderes effektiv sind spezielle Fleckenprogramme, die bei vielen neuen Waschmaschinen zu finden sind. Das Waschen bei niedriger Temperatur spart auch dann Energie und damit Kosten, wenn die Waschkdauer deutlich erhöht wird, weil die überwiegende Energiemenge für das Aufheizen des Waschwassers benötigt wird (Abb. 8.23) [23]. Da die Energieersparnis beim 20 °C-Waschgang im Vergleich zum 30 °C-Waschgang nur gering ist, wird man Niedrigtemperaturwaschgänge bevorzugt bei schwach verschmutzter Wäsche wählen.

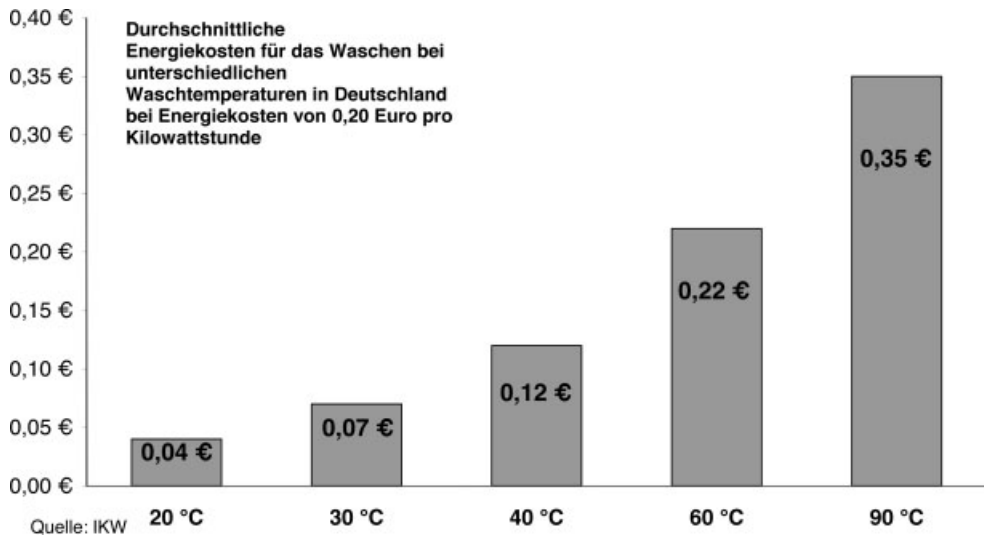


Abb. 8.23 Durchschnittliche Energiekosten für das Waschen bei unterschiedlichen Waschttemperaturen in Deutschland bei Energiekosten von 0,20 Euro pro Kilowattstunde.

Regel 6 Bevorzugt konzentrierte Waschmittel in Nachfüllpackungen einkaufen

Zwischen den verschiedenen Produktgruppen und Angebotsformen bestehen bei Waschmitteln deutliche Unterschiede in der Dosierung. Je weniger Waschmittel pro Waschgang erforderlich ist, desto besser ist es. Die Dosierung des Waschmittels ist auf der Waschmittelpackung in Abhängigkeit von Wasserhärte und Verschmutzungsgrad angegeben.

Seit einiger Zeit wird die Ergiebigkeit auf den Waschmittelpackungen durch einen Wäschekorb mit einer Zahl darin angegeben. Dieses Piktogramm symbolisiert auf den ersten Blick erkennbar, wie viele Waschgänge man mit der Packung des betreffenden Waschmittels erzielen kann, bezogen auf mittlere Wasserhärte und 4,5 Kilogramm mittelstark verschmutzte Weiß- oder Buntwäsche oder 2,5 Kilogramm leicht verschmutzte Feinwäsche.

Es sollten vorrangig Produkte gekauft werden, die in Nachfüllsystemen abgepackt sind. Damit lässt sich der Verpackungsanfall deutlich reduzieren.

8.4.2

Vorbehandlung der Wäsche und Fleckentfernung

Stärker verschmutzte Wäschestücke enthalten häufig deutlich erkennbare Flecken. Diese Flecken können sehr unterschiedlicher Natur sein und einige davon, z. B. Lippenstift, Motorenöl, Kugelschreiber u. a., lassen sich beim Waschen nur schwer bzw. nur unvollständig entfernen. In diesen Fällen empfiehlt sich eine Fleckvorbehandlung, d. h. eine gezielte Vorbehandlung an der verschmutzten Stelle, wobei zu beachten ist, dass sich Flecken umso leichter ent-

fernen lassen, je früher sie behandelt werden. Ein Antrocknen von Verschmutzungen sollte in jedem Fall vermieden werden. Einige Tipps zur Fleckbehandlung vor dem Wäschewaschen finden sich in den Abb. 8.24 und 8.25. Darüber hinaus bieten viele Waschmittelhersteller Hilfen zur Fleckbehandlung in Form von Broschüren oder im Internet an, gibt es eine Fülle von Fleckenratgebern in Buchform und entsprechende Webadressen im Internet.

Eine Vorwäsche ist bei den heutigen Waschgewohnheiten nicht mehr bzw. nur noch in seltenen Ausnahmefällen erforderlich. Sie benötigt zusätzlich Wasser, Waschmittel und Energie und ist heute nur noch beispielsweise bei Berufskleidung mit starken und schwer zu entfernenden Verunreinigungen zu empfehlen.

Als Alternative zur Vorwäsche kann bei einigen Waschmaschinen ein Einweich- oder Fleckenprogramm für besonders verschmutzte Wäsche gewählt werden. Grundsätzlich ist die oben geschilderte gezielte Fleckvorbehandlung oder das Einweichen der Wäsche im kalten Wasser mit Zugabe von etwas Flüssigwaschmittel zu empfehlen.

Allgemeine Hinweise zur Vorbehandlung von Flecken auf Textilien

- 1 Oberstes Gebot jeder Fleckentfernung ist schnelles Handeln. Je frischer der Fleck, um so leichter lässt er sich entfernen.
- 2 Überschüssige Flecksubstanz ist vor jeder Fleckbehandlung zu entfernen. Flüssigkeiten können beispielsweise mit einem saugfähigen weißen, sauberen Küchenpapier aufgetupft, festere Substanzen ganz vorsichtig mit einem stumpfen Gegenstand abgetragen werden. Nicht oder nur ganz vorsichtig reiben, damit die Fasern nicht aufgeraut werden oder verfilzen.
- 3 Vor einer Fleckbehandlung wird an einer unauffälligen Stelle des zu reinigenden Kleidungsstückes geprüft, wie Material und Farbe reagieren.
- 4 Unter den Fleck sollte ein sauberes weißes Tuch zu gelegt werden, das die Flecksubstanz aufnehmen kann.
- 5 Ist die Fleckenart bekannt, kann eine gezielte Behandlung mit einem Spezialfleckentfernungsmittel oder einem geeigneten Hausmittel erfolgen. Bei Einsatz von Spezialfleckentfernungsmitteln ist immer die Gebrauchsanweisung zu beachten.
- 6 Bei Flecken unbekannter Herkunft sollte der Fleck zuerst mit lauwarmem Wasser abgetupft werden. War die Behandlung mit Wasser nicht erfolgreich, wird der Fleck mit unverdünntem Flüssigwaschmittel, einem Handgeschirrspülmittel oder gallseifenhaltigen Mittel eingeweicht und ausgewaschen oder mit einem lösemittelhaltigen Fleckenmittel nach Herstellerangaben vorbehandelt.
- 7 Farbintensive Flecken können auch mit einem sauerstoffhaltigen Bleichmittel behandelt werden, wenn das Kleidungsstück dazu geeignet ist (weiße und farbechte Textilien, im Zweifelsfall prüfen wie unter Punkt 3). Dafür gibt es ein breites Angebot an Waschhilfsmitteln (flüssige Bleichen, Fleckensalze u. a.). Um den Fleck nicht zu vergrößern, sollte von außen nach innen zu gearbeitet werden. Da die Einwirkzeit des Fleckenmittels eine wichtige Rolle spielt, sollte es ausreichend lange mit dem Flecken in Kontakt sein, ohne jedoch einzutrocknen (Herstellerhinweise beachten).
- 8 Nach einer Fleckbehandlung sollte das Kleidungsstück wie üblich in der Waschmaschine bzw. mit der Hand gewaschen werden. Wurde ein bleichmittelhaltiges Fleckenmittel zur Vorbehandlung verwendet, sollte auch mit einem bleichmittelhaltigen Waschmittel gewaschen werden.

Abb. 8.24 Hinweise zur Fleckenbehandlung vor dem Waschen.

Fleckenart	Hinweise zur Beseitigung
Blutflecken	Sofort mit kaltem Wasser ausspülen. Gallseife erleichtert das Auswaschen. Erwärmung über 40 °C unbedingt vermeiden.
Brandflecken	Sind häufig dauerhaft. Sie können evt. durch Bleichmittel (Fleckenwasser oder Fleckensalz-Lösung) entfernt werden.
Ei	Vorsichtig abschaben. Flüssigwaschmittel unverdünnt auf den Fleck geben und anschließend auswaschen. Kein heißes Wasser verwenden.
Farben und Lacke	Lösemittelhaltige Farben und Lacke, Kunstharzlacke: Frische, noch nicht angetrocknete Flecken sofort mit Pinselreiniger, Lackverdünner oder Terpentin entfernen. Frische Dispersionsfarben sofort mit Wasser auswaschen. Angetrocknete Flecken bleiben dauerhaft. Sie sind nicht mehr restlos zu entfernen. Evt. hilft eine chemische Reinigung.
Grasflecken	Möglichst bald entfernen. Lassen sich mit Spiritus aufhellen. Anschließend mit Flüssigwaschmittel oder Gallseife nachbearbeiten. Hilfreich ist auch eine Vorbehandlung mit Bleichmittel (Fleckensalz).
Kaffee- und Teeflecken	Fleck möglichst rasch anfeuchten und mit einer Lösung aus Feinwaschmittel und Wasser oder mit Gallseife betupfen, bis sich die Schmutzpartikel gelöst haben. Anschließend mit kaltem Wasser auswaschen.
Kaugummi	Im Gefrierfach lagern. Anschließend mechanisch entfernen.
Kleber und Leim	Leim mit Wasser auswaschen. Bei einigen Klebern ist Entfernen mit Aceton möglich. Sekundenkleber, Zweikomponentenkleber: Entfernung unmöglich.
Kugelschreiber	Fleck mit einem in Spiritus getränkten Wattebausch auf saugfähiger Unterlage betupfen. Dabei werden u. U. nicht alle Farbstoffkomponenten gelöst. Alternativ einen speziellen Fleckentferner verwenden. Anschließend waschen. Fleck nicht mit Zitronensaft entfernen, macht alles nur noch schlimmer.
Obstflecken	Einweichen in Flüssigwaschmittel oder einem gallseifenhaltigen Mittel. Anschließend wie üblich waschen.
Rost	Mit Oxalsäure- oder Kleesalz-Lösung oder einem Rostentferner beträufeln. Abtupfen. (Kleesalz = Kaliumhydrogenoxalat)
Rotweinflecken	Mit Bleichmittel (Fleckenwasser oder -salz) vorbehandeln. Vorbehandlung mit Kochsalz ist wenig wirksam.
Spinat	Fleck vorsichtig mit einer Kartoffel abreiben, danach gründlich mit Seife oder Flüssigwaschmittel ausspülen und waschen. Hilfreich ist auch eine Vorbehandlung mit Bleichmittel (Fleckensalz).
Teer	Entfernung schwierig. Terpentin, Petroleum oder Alkohol lösen nicht alle Bestandteile. Bei kleinen Flecken hilft einreiben mit Butter.
Wachsflecken	Überschüssiges Wachs entfernen. Nur bei ungefärbtem Wachs und Baumwollgewebe: Ausbügeln zwischen zwei Löschblättern. Ansonsten: Chemische Reinigung.

Abb. 8.25 Tipps zur Vorbehandlung spezieller Fleckenarten auf Textilien (kleine Auswahl).

8.4.3

Hinweise zum Trocknen der Wäsche

Wäschetrockner können eine große Erleichterung bei der Hausarbeit bedeuten. Sie sollten aber stets gezielt, z. B. nur in der kalten Jahreszeit, eingesetzt werden, weil sie einen relativ hohen Energieaufwand erfordern. Die Schleudertzahl der Waschmaschine hat dabei einen erheblichen Einfluss auf den Energiebedarf und die Kosten des Wäschetrocknens. Es ist empfehlenswert, die Wäsche mit mind. 1400 U/min zu schleudern, bevor sie in den Trockner gebracht wird. Beim Kauf einer neuen Waschmaschine sollten die Schleudertzahlen dementsprechend mind. 1400 U/min. oder höher betragen.

Wird im Winter die Wäsche in beheizten Räumen getrocknet, kann der Energiebedarf aufgrund des vermehrten Lüftungsbedarfs noch höher liegen als beim Trocknen im Wäschetrockner (s. auch Kap. 1.5).

Daraus leiten sich in Anlehnung an die Waschregeln 6 *goldene Regeln zum Trocknen und Bügeln* ab [19]:

1. Die Wäsche mit möglichst hoher Drehzahl schleudern, denn je weniger Wasser enthalten ist, umso weniger Energie und Zeit wird zum Trocknen benötigt.
2. Bei vielen pflegeleichten Textilien reicht es, sie nach dem Schleudern einfach auf einen Bügel zu hängen und trocknen zu lassen.
3. Wenn möglich, die Wäsche im Freien an der frischen Luft trocknen lassen.
4. Ansonsten die Wäsche in einem unbeheizten Raum oder einem Wäschetrockner trocknen, denn in einem beheizten Raum wird mehr Energie zum Trocknen verbraucht als in einem Wäschetrockner.
5. Wäsche nur bis zur gewünschten Restfeuchte trocknen und nicht „über trocknen“ – das spart Energie und erleichtert das Bügeln.
6. Als Wäschetrockner möglichst ein feuchtegesteuertes Gerät der Energieeffizienzklasse „A“ einsetzen.

8.4.4

Informationen auf der Waschmittelpackung

Eine Waschmittelpackung liefert wichtige Informationen zur Dosierung und richtigen Anwendung, zum Verbraucherschutz (s. Kap. 8.5) und zu den Inhaltsstoffen (Abb. 8.26).

Bei den *Dosiertvorschriften* finden sich außer der gesetzlich vorgeschriebenen Staffelung nach Wasserhärtebereichen Dosierungsempfehlungen gemäß Verschmutzungsgrad der Wäsche, Maschinengröße sowie für die Handwäsche. Bei vielen Flüssigwaschmitteln ist die Dosierung nicht von der Wasserhärte abhängig.

Die Detergenzienverordnung (EG 648/2004) regelt die genaue *Kennzeichnung von Inhaltsstoffen* (vgl. Anhang 3). Danach sind bestimmte Stoffe zu deklarieren, wenn ihre Einsatzkonzentration 0,2 % übersteigt. Dazu zählen z. B. Seifen, Tenside, Bleichmittel auf Sauerstoffbasis, Zeolithe, Polycarboxylate und Phosphonate.

© IKW, Frankfurt am Main

Blitzblank

Vollwaschmittel

15 - 30 % Bleichmittel auf Sauerstoffbasis, Zeolithe,
5 - 15 % anionische Tenside, < 5 % Polycarboxylate,
Phosphonate, nichtionische Tenside, Seife,
Enzyme (Amylase, Protease); Duftstoffe, Citral

Enthält Citral. Kann allergische Reaktionen hervorrufen.

Verschmutzung			
Wasserhärte			
Weich	90 ml	100 ml	120 ml
Mittel	100 ml	120 ml	150 ml
Hart	110 ml	130 ml	180 ml

Dosierbecher kostenlos unter 09999-99-99

Blitzblank Vollwaschmittel in die Einspülkammer des Hauptwaschgangs geben. Schwierige Flecken mit Blitzblank Vorwaschspray gezielt vorbehandeln!

Außer Reichweite von Kindern aufbewahren.
Augenkontakt vermeiden. Falls das Produkt in die Augen gelangt, diese gründlich mit Wasser ausspülen.
Bei empfindlicher oder vorgeschädigter Haut längeren Kontakt mit dem Produkt vermeiden.

M. Müller GmbH
Müllergasse 100
99999 Müllern
Tel. 09999-99-0
info@mueller.de
www.mueller.de

10420 19:32 1.250 g

Handelsname

Name des Erzeugnisses

Inhaltsstoffangabe

Ggfs. Kennzeichnung gemäß Gefahrstoffverordnung in Verbindung mit der Zubereitungsrichtlinie (1999/45/EG) oder gemäß Bedarfsgegenständeverordnung

Dosieranleitung

Ergiebigkeit

Gebrauchsanweisung, weitere Hinweise für Verbraucher

Weitere Hinweise für die sichere Verwendung. (Abhängig von den Inhaltsstoffen im Produkt)

„Grüner Punkt“, Hinweis auf Entsorgung der Verpackung

Anschrift Hersteller

Füllmenge nach Fertigpackungs-Verordnung

Ggfs. Chargennummer

Abb. 8.26 Musteretikett für eine Waschmittelpackung. Die seit 2005 gültige Detergenzienverordnung regelt Angaben, die auf einem Waschmittel oder Reinigungsprodukt vorgeschrieben sind. Grafik: Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel IKW.

Das Vorhandensein dieser Stoffe muss zusätzlich durch die Angabe von Prozentspannen, innerhalb derer sie im Produkt enthalten sind, deutlich gemacht werden. Dabei werden vier Spannen unterschieden: unter 5 %, 5–15 %, 15–30 % sowie über 30 %. Enzyme und Konservierungsmittel sind unabhängig von der Konzentration zu deklarieren. Vorgeschrieben ist ferner die Kennzeichnung sensibilisierender Inhaltsstoffe oberhalb 0,1 %.

26 *Duftstoffe*, die als potentiell allergieauslösend gelten, sind nach der EU-Kosmetik-Richtlinie von 2003 auf den Verpackungen kosmetischer Mittel mit ihren INCI-Bezeichnungen einzeln zu deklarieren, wenn ihr Gehalt oberhalb in der Verordnung angegebener Konzentrationen liegt (10 ppm für Produkte, die auf der Haut verbleiben, und 100 ppm für Produkte, die abgespült werden). Durch die Detergenzienverordnung (EG 648/2004) gilt diese Kennzeichnungspflicht seit Oktober 2005 auch für Wasch- und Waschlösungsmittel, wenn der Gehalt der Duftstoffe 0,01 % (100 ppm) übersteigt. Auch Konservierungsstoffe sind seit 2005 mit der INCI-Bezeichnung auf der Verpackung anzugeben (weitere Informationen s. Kap. 8.5 und Anhang 3).

Bei auf Grundlage der Gefahrstoffverordnung als gefährlich eingestuft und daher zu kennzeichnenden Produkten sind wichtige Hinweise auf jeder Verpackung von Wasch- und Waschlösungsmitteln zu finden. Dazu gehören die Kennzeichnung der gefährlichen Merkmale des Erzeugnisses durch Gefahrstoffsymbole und deren Erläuterung sowie Hinweise auf Sicherheits- und Schutzmaßnahmen bei der Anwendung. Weiterführende Informationen dazu finden sich in Kapitel 8.5.

Genauere Angaben zur Zusammensetzung der Wasch- und Reinigungsmittel finden Verbraucher im Internet. Dort werden die Inhaltsstoffe von Wasch- und Reinigungsmitteln mit ihren INCI-Bezeichnungen aufgelistet, und zwar in absteigender Reihenfolge ihres Anteils im Endprodukt. In der Regel wird die *Internetadresse*, über die diese Inhaltsstoffliste erreichbar ist, auf den Verpackungen angegeben.

Schließlich ist vorgeschrieben, dass auf allen Verpackungen die *Telefonnummer* der Firma angegeben wird, die für die Vermarktung des Wasch- oder Reinigungsmittels verantwortlich ist. Dies erfolgt zusätzlich zum schon bisher vorgeschriebenen Namen der Firma und deren Anschrift [27].

8.5

Verbraucherschutz, Hygiene und Gesundheit

Wasch- und Waschlösungsmittel sind Produkte des täglichen Bedarfs, die in jedem Haushalt in größeren Mengen vertreten sind und regelmäßig benutzt werden. Beim Umgang mit diesen Mitteln kann nicht davon ausgegangen werden, dass im Haushalt dafür besondere Sicherheitsmaßnahmen eingehalten werden. Folglich müssen Wasch- und Waschlösungsmittel so gestaltet sein, dass sie sowohl unter den Bedingungen des bestimmungsgemäßen Gebrauchs als auch bei davon abweichenden voraussehbaren Verwendungen die Gesundheit der Verbraucher

nicht beeinträchtigen. Konkret heißt dies, dass diese Produkte bei Haut- oder Augenkontakt sowie bei einem möglicherweise auftretenden Einatmen oder Verschlucken geringer Mengen die Gesundheit des Menschen nicht dauerhaft schädigen dürfen.

Damit stellt sich die Frage nach möglichen gesundheitlichen Risiken durch den Gebrauch von Waschmitteln, wobei die folgenden Fragen von besonderem Interesse sind:

- Welche Warnhinweise und Gefahrenkennzeichnungen finden sich auf einer Waschmittelpackung?
- Gibt es mögliche Risiken durch Waschmittelmrückstände auf den Textilien?
- Welche Wirkung haben Waschmittel und Weichspülmittel auf die Haut?
- Wie groß ist die Gefahr bei Unfällen mit Waschmitteln?
- Gibt es hygienische Probleme, wenn die Wäsche überwiegend bei Temperaturen von 20 °C bis 40 °C gewaschen wird?

8.5.1

Welche Warnhinweise und Gefahrenkennzeichnungen finden sich auf einer Waschmittelpackung?

Um gesundheitliche Probleme oder Unfälle durch den Umgang mit Wasch- und Waschhilfsmitteln zu verhindern bzw. deren Folgen möglichst gering zu halten, sind wichtige Hinweise auf jeder Verpackung von Wasch- und Waschhilfsmitteln zu finden:

- Soweit notwendig Kennzeichnung der gefährlichen Merkmale des Erzeugnisses durch Gefahrstoffsymbole und deren Erläuterung.
- Hinweise auf Sicherheits- und Schutzmaßnahmen bei der Anwendung.

Normalerweise sind auf einer Waschmittelpackung keine Gefahrenmerkmale im Sinne des Chemikaliengesetzes bzw. der Zubereitungsrichtlinie zu finden. Bei Waschhilfsmitteln sind Gefahrensymbole angegeben, wenn beispielsweise hochentzündliche Treibgase verwendet werden, ein entsprechend hoher Bleichmittelanteil enthalten ist oder andere Gefahrenmerkmale gegeben sind. In Abb. 8.27 sind Beispiele dazu mit den zugehörigen derzeit gültigen Gefahrstoffsymbolen aufgeführt.

Spätestens ab dem 1. Juni 2015 ändert sich die Gefahrstoffkennzeichnung und muss den Vorschriften des Global harmonisierten Systems (GHS) zur Einstufung und Kennzeichnung gemäß der „GHS-Verordnung“ umgestellt werden (weitere Informationen s. Anhang 3). Wie die Gefahrenkennzeichnung dann voraussichtlich aussehen wird, ist in Abb. 8.28 angegeben.

Zusätzlich sind seit dem Jahr 2005 auf den Waschmittelpackungen europaweit einheitliche Warnhinweise in Form von Piktogrammen zu finden, die eine schnelle Orientierung ermöglichen und der Erhöhung der Sicherheit im Umgang mit Wasch- und Reinigungsmitteln dienen (Abb. 8.29).


Gefährlichkeitsmerkmal	Gefahrensymbol	Kennbuchstabe	Beispiele von Wasch- und Waschhilfsmitteln mit diesen Gefährlichkeitsmerkmalen
Entzündlich	(ohne Symbol)	(ohne Kennbuchstabe)	alkoholhaltige Fleckentferner
hoch-entzündlich / leicht-entzündlich		F+	Produkte in Druckgasdosen mit hochentzündlichen Treibmitteln wie Propan und Butan: Bügelhilfen; Sprühstärken; Vorwaschsprays
reizend		Xi	Flüssig-Tabs; Vorwaschsprays und -pumpsprüher; Separate Bleichmittel (Fleckensalze und -tabs, flüssige Bleichmittel); Hygienespüler; Entfärber
Gesundheits-schädlich		Xn	Fleckensalze

Abb. 8.27 Gefahrenkennzeichnung von Wasch- und Waschhilfsmitteln nach der Zubereitungsrichtlinie.

Gefahr und Risiko
<p>Die im alltäglichen Sprachgebrauch meistens gleichbedeutend verwendeten Begriffe „Gefahr“ und „Risiko“ sind im Chemikalienrecht unterschiedlich belegt:</p> <p>Die „Gefahr“ bezeichnet eine Stoffeigenschaft (z. B. hochentzündlich oder reizend). Der Begriff „Risiko“ berücksichtigt darüber hinaus, inwieweit man auch einer bestimmten Gefahr ausgesetzt (exponiert) ist. Das Risiko wird als das Produkt aus Gefahr mal Exposition formuliert:</p> $\text{Risiko} = \text{Gefahr} \times \text{Exposition}$ <p>Vermeidet man also eine Exposition, z. B. den Hautkontakt, mit einer durch das Gefahrstoffsymbol als gefährlich gekennzeichneten Substanz, so ist das Risiko einer Gesundheitsschädigung entsprechend gering.</p>


Gefahren- kategorie	Gefahren- symbol	Signal- wort	Beispiele von Wasch- und Waschhilfsmitteln mit diesen Gefährlichkeitsmerkmalen
Entzündbare Flüssigkeit Kat. 3		ACHTUNG	alkoholhaltige Fleckentferner
Entzündbares Aerosol Kat. 1		GEFAHR	Produkte in Druckgasdosen mit hoch- entzündlichen Treibmitteln wie Propan und Butan; Bügelhilfen; Sprühstärken; Vorwaschsprays
Augenreizung Kat. 2 Hautreizung Kat. 2		ACHTUNG	Waschmittel (Pulver oder Flüssigprodukte); Vorwaschsprays und -pumpsprüher; separate flüssige Bleichmittel; Hygienespüler; Entfärber
Akute Toxizität Kat. 4		ACHTUNG	Bleichmittel; Fleckensalze und -tabs,

Abb. 8.28 Voraussichtliche Gefahrenkennzeichen von Wasch- und Waschhilfsmitteln nach der GHS-Verordnung (EG) Nr. 1272/2008.

Unabhängig von den konkreten Sicherheitshinweisen auf der Verpackung sollten alle Wasch- und Waschhilfsmittel genau wie Reinigungsmittel immer so aufbewahrt werden, dass sie für kleine Kinder nicht zugänglich sind und nicht mit Lebensmitteln verwechselt werden können. Leider wird gegen diese Maßnahme in der Praxis häufiger verstoßen.

- Wasch- und Reinigungsmitteln wird im Haushalt häufig nicht die notwendige Aufmerksamkeit entgegengebracht. Sie werden für Kinder leicht zugänglich aufbewahrt und nur ungenügend gesichert.
- Wasch- und Reinigungsmittel werden teilweise in ungeeigneten Behältnissen gelagert. Dazu zählen z. B. die Aufbewahrung in Getränkeflaschen oder das Umfüllen in Behältnisse ohne oder mit unzureichender Kennzeichnung.



Außer Reichweite von Kindern aufbewahren.



Augenkontakt vermeiden.
Falls das Produkt in die Augen gelangt, diese gründlich mit Wasser ausspülen.



Nach Gebrauch Hände waschen und trocknen.



Bei empfindlicher oder vorgeschädigter Haut längeren Kontakt mit dem Produkt vermeiden.



Nicht verschlucken.
Wenn das Produkt verschluckt worden ist, Arzt aufsuchen.



Produkt immer im Originalbehälter aufbewahren.



Nicht mit anderen Produkten mischen.

Abb. 8.29 Sicherheitshinweise auf europäischen Waschmittelverpackungen.
© A.I.S.E.

8.5.2

Gibt es mögliche Risiken durch Waschmittelrückstände auf den Textilien?

Eine Studie des Forschungsinstituts Hohenstein [28] hat Waschmittelrückstände nach dem Waschen von herkömmlichen und superkompakten Waschmitteln miteinander verglichen. Verglichen wurden auch die Waschverfahren in den 1980er Jahren (Wasserverbrauch 28 L pro kg Wäsche) und 1998 (15 L pro kg Wäsche). Es zeigte sich, dass bei jedem Waschen geringe Mengen Waschmittel auf den Textilfasern verbleiben, die sowohl anorganischer als auch organischer Natur sind. Weiterhin konnte nachgewiesen werden, dass durch die Umstellung auf moderne wassersparende Waschmaschinen und Superkompaktwaschmittel die Menge der Waschmittelrückstände auf den Textilien nicht angestiegen, zum Teil sogar etwas geringer geworden ist.

Die anorganischen Inkrustationen bestehen bei zeolithhaltigen Pulverwaschmitteln im Wesentlichen aus Zeolithrückständen. Die Menge der Rückstände ist u. a. von der Waschtemperatur abhängig und liegt in der Größenordnung von 0,5 bis 2 g pro 100 g Textil. Sie nimmt mit der Anzahl der Wäschen leicht zu. Durch den Anteil der Alkalien liegt der pH-Wert frisch gewaschener Wäsche im Bereich von 9,3 bis 9,9. Bei Flüssigwaschmitteln findet man in der Regel keine anorganischen Rückstände.

Die organischen Rückstände bestehen im Wesentlichen aus Tensiden und liegen in einer Größenordnung von 100 mg pro 100 g Textil. Die anionischen Tenside überwiegen, ihr Anteil an den gesamten Tensidrückständen beträgt etwa 60 bis 70 %. Auch nach vielen Wäschen bleibt die Menge der Tensidrückstände konstant, es kommt nicht zu einer Anreicherung von Tensiden auf der Wäsche. Zusätzlich verbleiben unterschiedliche Mengen optische Aufheller, die üblicherweise in Vollwaschmitteln enthalten sind, auf der Wäsche. Die Rückstände von Enzymen auf den Textilien sind wegen ihrer guten Ausspülbarkeit äußerst gering.

Die auf der Wäsche verbleibende geringe Konzentration der Tenside ist unbedenklich und führt nicht zu Hautreizungen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Tenside relativ fest auf der Faser gebunden sind, nur ein kleiner Teil geht auf die Haut über. Auf die besondere Problematik der kationischen Tenside wird im folgenden Kapitel näher eingegangen.

Enzymrückstände nach dem Waschen sind äußerst gering und führen nach allen bisher vorliegenden wissenschaftlichen Untersuchungen nicht zu einer messbaren Reizung oder Sensibilisierung der Haut [29, 30].

Insgesamt wird heute das Risiko für die Haut durch Waschmittelrückstände auf den Textilien als sehr gering angesehen [31].

Neu gekaufte Textilien sind häufig mit größeren Tensidmengen, Farbstoffresten und anderen Ausrüstungschemikalien überzogen. In diesen Fällen sind Hautreizungen und Unverträglichkeitsreaktionen bei Hautkontakt durchaus möglich. Vor dem ersten Tragen sollten Textilien, bei denen es zu direktem Hautkontakt kommt, z. B. Unterwäsche, Strümpfe, Hemden, Blusen, T-Shirts u. a., in jedem Fall gründlich gewaschen werden.

8.5.3

Welche Wirkung haben Waschmittel und Weichspülmittel auf die Haut?

Ein Hautkontakt mit Waschmitteln ist bei der Anwendung häufig nicht zu vermeiden und ein derartiger Kontakt belastet zwangsläufig die Haut. Im Allgemeinen, bei geringem und kurzzeitigem Hautkontakt, wird dies von der Haut ohne weiteres verkraftet. Es können aber auch Fälle auftreten, in denen es nach Gebrauch von Wasch- oder Waschhilfsmitteln zu Hautreizungen oder Unverträglichkeitsreaktionen kommt, beispielsweise bei empfindlicher oder vorgeschädigter Haut. Entscheidend für den Grad der Hautbelastung sind Einwirkdauer und Anwendungshäufigkeit bei der Benutzung von Wasch- und Waschhilfsmitteln. Hautschutzmaßnahmen sind besonders wichtig für Menschen mit empfindlicher oder vorgeschädigter Haut. Dazu gehören: Hautkontakt möglichst vermeiden, auf die Haut gelangende Mittel sofort abspülen, Handschuhe tragen, Hautschutzcreme benutzen.

Da sich Unverträglichkeiten gegenüber einem bestimmten Mittel oder einer chemischen Substanz häufig nicht einem eindeutigen Krankheitsbild zuordnen lassen und klare kausale Ursache-Wirkungs-Beziehungen nur selten herzustellen sind, werden unter diesem Begriff verschiedene Symptomaten zusammengefasst: Von den eher unspezifischen Überempfindlichkeiten bis hin zu echten, immunologisch nachweisbaren allergischen Reaktionen.

Die Bewertung der Hautverträglichkeit, insbesondere auch der Verträglichkeit der Schleimhäute, die z. B. beim Augenkontakt von großer Bedeutung ist, wird sorgfältig untersucht. Während Tierversuche bei Wasch-, Reinigungs- und Pflegemitteln gesetzlich nicht gestattet sind, ist es erlaubt und auch üblich, unter medizinischer Kontrolle die Hautverträglichkeit von Wasch- und Waschhilfsmitteln an freiwilligen Versuchspersonen zu testen. Dabei wird geprüft, ob von diesen Erzeugnissen eine Reizung der Haut ausgehen kann, z. B. durch mechanische Beanspruchung oder zu langes Einwirken von Waschmitteln, Seife oder anderen Stoffen auf die Haut.

Für die gesundheitliche Sicherheitsbeurteilung [32] von Wasch- und Waschhilfsmitteln sind die folgenden Inhaltsstoffe von besonderer Bedeutung, wobei für den Belastungsgrad der Haut Einwirkdauer und Anwendungshäufigkeit entscheidend sind:

- Zu den *hautreizenden Inhaltsstoffen* zählen Tenside, Alkalien, Bleichmittel und Lösungsmittel. Es sind allerdings keine Fälle bekannt, wo es durch den kurzzeitigen Hautkontakt beim Dosieren der Waschmittel zu Hautreizungen gekommen ist [31].
- Zu einem längeren Kontakt mit dem Waschmittel kommt es bei der *Handwäsche*. Ein typischer unerwünschter Effekt danach ist die ausgetrocknete Haut. Bei der Handwäsche liegt dies daran, dass der Säuremantel der Haut durch die Alkalität des Waschmittels vermindert und die Haut durch Tenside zu stark entfettet wird. Es kann aber auch zu Hautrötungen und durch die aufgeweichte Haut zu Abschürfungen an den Handknöcheln kommen. Diese Symp-

tome sind reversibel und verschwinden nach einiger Zeit wieder. Durch Hautschutzmaßnahmen (Handschuhe, eincremen) lassen sich bei der Handwäsche Hautreizungen vermeiden oder zumindest minimieren. Dies ist besonders bei empfindlicher oder vorgeschädigter Haut zu empfehlen.

- Wenn es (sehr selten) zu Überempfindlichkeiten oder allergischen Reaktionen bei Wasch- und Waschhilfsmitteln kommt, können auch *Duftstoffe* die Ursache sein. Bisher gibt es allerdings keine eindeutigen Hinweise dafür, dass Duftstoffe in Waschmitteln eine problematische Konzentration überhaupt erreichen [33]. Die eigentlichen Auslöser der Allergie oder Überempfindlichkeit können evtl. Duftstoffe aus kosmetischen Mitteln sein, die dann zu Quersensibilisierungen führen. Es ist bekannt, dass einige Duftstoffe, sowohl natürlichen als auch synthetischen Ursprungs, zu den häufigen Auslösern für Allergisierungs- und Sensibilisierungsreaktionen im Haushalt gehören.

Die EU-Detergenzienverordnung nennt 26 potentiell Allergien auslösende Duftstoffe, die einzeln deklariert werden müssen, wenn ihr Gehalt in Wasch- und Reinigungsmitteln 0,01 % übersteigt (s. Anhang 3). Diese Regelung gilt seit 2005. Damit können sich Verbraucher, die unter Allergien oder Unverträglichkeiten leiden, über die in einem Erzeugnis enthaltenen Duftstoffe genauer als früher informieren und diese gegebenenfalls meiden.

Nicht alle 26 Duftstoffe sind auch tatsächlich potente Allergene. Zu den wichtigen Allergenen zählen (in Klammern die INCI-Bezeichnung): Eichenmoosextrakt (*Evernia Prunastri Extract*), Isoeugenol (*Isoeugenol*), Eugenol (*Eugenol*), Zimtaldehyd (*Cinnamal*), Zimtalkohol (*Cinnamylalkohol*) und Hydroxycitronellal (*Hydroxycitronellal*) [33].

- Von einigen *Konservierungsmitteln* ist bekannt, dass sie in Einzelfällen allergische Reaktionen auslösen können. Zu diesen gehören Dibromdicyanobutan und die Isothiazolinone. Konservierungsmittel werden nur in flüssigen Wasch- und Waschhilfsmitteln eingesetzt.
- Häufig wird die Vermutung geäußert, dass *Enzyme* in Waschmitteln zu Allergien führen können. Dies hat sich nicht bestätigt. Klinische Studien haben gezeigt, dass Enzyme (Proteasen, Amylasen, Cellulasen) in verdünnter Form, wie es z. B. bei Waschmitteln der Fall ist, kein signifikantes Sensibilisierungspotential auf der Haut besitzen [34]. Enzyme können allerdings beim Einatmen die Bronchien reizen und Asthmaanfälle auslösen. Im Haushalt ist ein Einatmen von Enzymstaub durch die Einkapselung der Enzyme aber auszuschließen. Zu berücksichtigen ist, dass Enzyme in höherer Konzentration eine hautreizende Wirkung besitzen.
- Neuere wissenschaftliche Untersuchungen haben gezeigt, dass *optische Aufheller* nicht zu Hautreizungen oder Überempfindlichkeitsreaktionen führen [35].
- Alle anderen Waschmittelinhaltsstoffe werden als unproblematisch für die Haut angesehen.

Weitere Informationen zur toxikologischen Bewertung einzelner Inhaltsstoffe von Wasch- und Reinigungsmitteln finden sich in [36].

Besonders hervorzuheben ist die Diskussion um die *Hautverträglichkeit von Weichspülmitteln*. Bestimmungsgemäß verbleiben die Wirkstoffe, die kationischen Tenside, nach der Anwendung auf den Textilien und führen damit auch zu einem zwangsläufigen Hautkontakt. Entgegen der häufig geäußerten Meinung haben umfangreiche wissenschaftliche Studien gezeigt, dass die heute eingesetzten kationischen Tenside, die Esterquats, keine Hautreizungen hervorrufen, auch nicht bei empfindlicher und vorgeschädigter Haut. Reagiert die Haut empfindlich auf Wolle oder andere Textilfasern, können Weichspüler sogar Vorteile haben und durch die Faserglättung zu einer Hautschonung beitragen [37–39].

Wasch- und Waschhilfsmittel enthalten eine Vielzahl verschiedener Inhaltsstoffe (vgl. Kap. 5), so dass sich bei einer aufgetretenen Unverträglichkeitsreaktion der Haut die dafür verantwortlichen chemischen Substanzen nur selten eindeutig ermitteln lassen. Zu berücksichtigen ist auch, dass eine Substanz nicht nur in einem bestimmten Waschmittel, sondern auch an anderen Stellen und in anderen Produkten im Haushalt vorkommen kann. Sind Hautunverträglichkeitsreaktionen aufgetreten, so sind diese oft an ein bestimmtes Produkt gebunden und verschwinden bei einem Wechsel auf ein anderes Mittel. Nur in ganz seltenen Fällen treten sie auch bei jeglichem Gebrauch von Wasch- bzw. Waschhilfsmitteln auf. Einige Hersteller bieten spezielle, für die empfindliche Haut optimierte Waschmittel an (z. B. unter der Bezeichnung „Sensitiv“). Verbraucher, bei denen Unverträglichkeitsreaktionen der Haut oder der Atemwege durch Waschmittel auftreten, können auf diese Produkte zurückgreifen.

In Form von Rückmeldungen oder Beanstandungen seitens der Verbraucher, der Verbraucherverbände, medizinischer Einrichtungen und anderer Institutionen findet weiterhin eine kontinuierliche Produktbeobachtung statt. Bei den Millionen von Produkteinheiten, die jährlich von Verbrauchern verwendet werden, kommt es von Zeit zu Zeit zu Anfragen an die Firmen bezüglich vermuteter Unverträglichkeiten. Die Zahl der Anfragen ist in der Regel gering und hängt in erster Linie von den Verkaufszahlen des jeweiligen Produktes ab. Dies bestätigt die allgemein gute Verträglichkeit der heutigen Wasch- und Waschhilfsmittel.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Wasch- und Waschhilfsmittel – bei bestimmungsgemäßem Gebrauch – unbedenklich für die gesunde Haut sind. Nur sehr selten treten Unverträglichkeits- oder Sensibilisierungsreaktionen auf [40–45]. Echte Allergien durch Wasch- und Waschhilfsmittel sind in den letzten Jahren nur in wenigen Einzelfällen dokumentiert. Ein längerer und häufig wiederholter Hautkontakt mit diesen Mitteln sollte nach Möglichkeit vermieden werden. Hautschutzmaßnahmen sind zu empfehlen bei empfindlicher oder vorgeschädigter Haut.

Seit einigen Jahren sind umfassende Daten zur Risikobewertung für wichtige Inhaltsstoffe von Wasch- und Reinigungsmitteln über das *HERA-Projekt* (= *Human and Environmental Risk Assessment*) öffentlich zugänglich. Der Internationale Wasch-, Pflege- und Reinigungsmittelverband A.I.S.E., Brüssel, und der Europäische Chemieindustrieverband CEFIC haben 1999 begonnen, unter der Internetadresse www.heraproject.com Sicherheitsdaten zur Toxikologie und Ökotoxikologie zu veröffentlichen. Das Projekt ist mittlerweile weitgehend abge-

schlossen, und weit über 30 Substanzen bzw. Substanzgruppen sind umfassend dokumentiert. Wissenschaftlich interessierte Verbraucher können sich auf der oben genannten (englischsprachigen) Internetseite über mögliche Umwelt- und Gesundheitsrisiken informieren.

8.5.4

Wie groß ist die Gefahr bei Unfällen mit Waschmitteln?

Wasch- und Reinigungsmittel stellen in fast jedem Haushalt die größte Gruppe der vorrätigen chemischen Produkte dar. Dementsprechend häufig kommt es auch zu absichtlichen oder unabsichtlichen Expositionen durch Kontakt mit diesen Mitteln über die Haut, die Augen, die Atemwege oder den Magen-Darm-Trakt. Die Wirkungen von Wasch- und Waschlhilfsmitteln auf die Haut und die Schleimhäute wurden bereits im vorhergehenden Kapitel genauer beschrieben. Darüber hinaus gehört die versehentliche orale Aufnahme von Wasch- und Reinigungsmitteln statistisch gesehen zu den besonders häufigen Unfällen mit Haushaltschemikalien. Zu einer unbeabsichtigten oralen Aufnahme von Wasch- und Reinigungsmitteln kann es z. B. bei Verwechslungen, Fehlanwendungen oder unsachgemäßer Aufbewahrung in ungeeigneten oder nicht gekennzeichneten Behältnissen kommen. Insbesondere Kinder im Alter bis zu 4 Jahren sind gefährdet, wenn Produkte nicht unter Verschluss aufbewahrt werden oder wenn kleine Kinder während des Waschens und Reinigens im Haushalt die dabei benutzten Mittel in unbeobachteten Momenten auf Geruch und Geschmack untersuchen oder damit spielen. Auch absichtliche Expositionen (Selbstschädigung, Substanzmissbrauch, Fremdbeibringung durch Dritte) kommen in Einzelfällen vor, spielen jedoch eine relativ geringe Rolle [46].

In Deutschland wird die Zahl der Vergiftungen und Vergiftungsverdachtsfälle (Expositionsfälle) durch die Statistiken der neun Giftinformationszentren erfasst. Jährlich werden den Giftinformationszentren ca. 15.000 bis 20.000 Expositionsfälle zu Wasch- und Reinigungsmitteln gemeldet.

Das Giftinformationszentrum Nord in Göttingen ist zuständig für die Bundesländer Bremen, Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein. Es hat über einen Zeitraum von 10 Jahren u. a. die Unfallmeldungen mit Wasch- und Reinigungsmitteln systematisch ausgewertet. Die Auswertung hat folgende Ergebnisse erbracht: [46]:

- Insgesamt wurden rund 21.500 Expositionsfälle zu Wasch- und Reinigungsmitteln ausgewertet.
- In etwa 60 % der Fälle sind Kleinkinder bis 4 Jahre betroffen.
- Die durch Unfälle aufgenommenen Mengen an Wasch- und Reinigungsmitteln sind üblicherweise gering und es kommt durch Unfälle nur sehr selten zu größeren Gesundheitsschäden, die einer ärztlichen Behandlung bedürfen. In mehr als 2/3 aller Fälle treten keine Vergiftungssymptome auf, in 2 % der Fälle entwickeln sich schwere oder lebensbedrohliche Vergiftungssymptome.

- Während einige Reinigungsmittel, z. B. Abfluss- oder Sanitärreiniger sowie Industriereiniger, durchaus ein größeres Risikopotential besitzen [46], führen Unfälle mit Wasch- oder Waschhilfsmitteln nur sehr selten zu größeren gesundheitlichen Problemen oder bleibenden Schäden – auch wenn in einzelnen Fällen vorübergehende Beschwerden, wie Übelkeit, Erbrechen, Durchfall oder Schleimhautreizung auftreten. Meist liegt die Dosis, die zum Auslösen von Brechreiz führt, bei Wasch- und Waschhilfsmitteln so niedrig, dass eine Einnahme hoher Stoffmengen, die zu Schäden führen können, weitgehend ausgeschlossen ist. In weniger als 1 % der gemeldeten Expositionsfälle durch Wasch- oder Waschhilfsmittel (12 Fälle in zehn Jahren) traten schwere oder mittelschwere Vergiftungssymptome auf.

Kommt es zu einem versehentlichen Verschlucken von Wasch- oder Waschhilfsmitteln, sollten die Verbraucher im Zweifelsfall ein Giftinformationszentrum anrufen. Damit diese eine ausreichende Entscheidungsgrundlage für das Einleiten möglicherweise notwendiger Schritte haben, stellen die Waschmittelhersteller dem Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) Rahmenrezepturen ihrer Produkte zur Verfügung, aus denen sowohl die Inhaltsstoffe wie auch die wichtigsten toxikologischen Daten ersichtlich sind. Das BfR gibt diese Informationen an die Giftinformationszentren weiter, die von den Verbrauchern und Ärzten direkt kontaktiert werden können. Sollten darüber hinaus spezielle Fragen zu einzelnen Produkten erforderlich sein, die sich aus den bei den Giftinformationszentralen verfügbaren Daten nicht beantworten lassen, empfiehlt es sich, direkt zu den Waschmittelherstellern Kontakt aufzunehmen.

8.5.5

Gibt es hygienische Probleme, wenn die Wäsche häufiger bei Temperaturen von 20 °C bis 40 °C gewaschen wird?

Während die Entfernung des Schmutzes und unangenehmen Geruches aus den Textilien deutlich spürbar ist, entzieht sich die Beseitigung der Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Viren) von der Wäsche unseren Sinnen. Die Wäsche ist schon nach kurzer Tragedauer von einer großen Anzahl Mikroorganismen besiedelt. Die Keimzahlen schwanken dabei sehr stark und liegen in einer Größenordnung von 100 bis 1.000.000.000 Keime pro Gramm Wäsche. Die höchsten Keimzahlen haben Kleidungsstücke, die direkten Kontakt mit dem Körper haben: Unterwäsche und Strümpfe. Ebenfalls stark mit Mikroorganismen belastet sind Spüllappen und –schwämme sowie Geschirrtücher, die mehrere Tage in Gebrauch sind.

Die in der Regel nicht krankheitsrelevanten Mikroorganismen auf der Oberbekleidung stammen überwiegend vom menschlichen Körper, die meisten Bakterien in gebrauchter Unterwäsche von menschlichen Ausscheidungen und damit aus der Darmflora. Einige davon sind krankheitserregend, jedoch nur dann, wenn sie massenhaft auftreten. Eine besondere Beachtung verdienen Haut- und Hefepilze (Fuß- und Nagelpilze, *Candida albicans*), die zu Infektionen

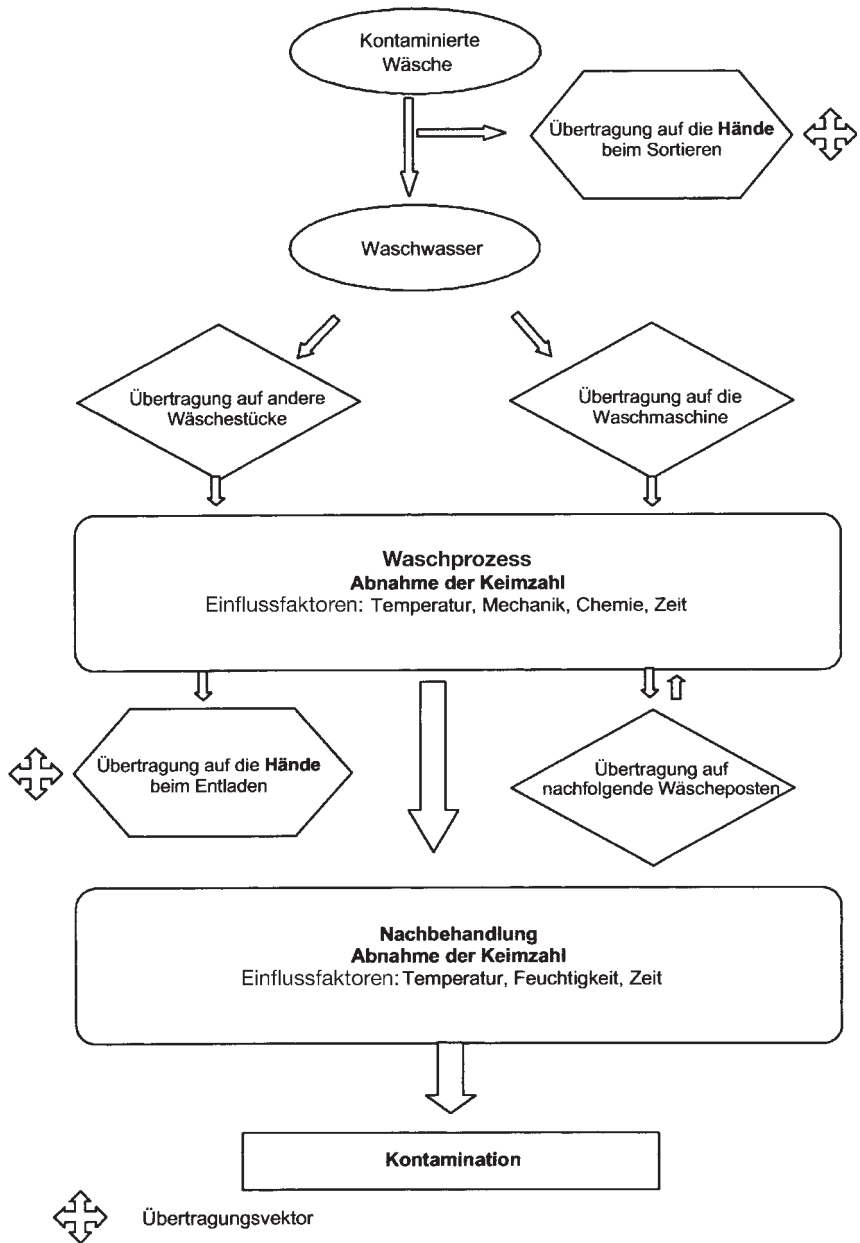


Abb. 8.30 Mögliche Infektionskette bei der Wäschepflege [47].



Abb. 8.31 Mit Schimmelpilzen belegte Einspülkammer einer Waschmaschine.

der Haut und der Schleimhäute führen und Hausstaubmilben, die Allergien auslösen können.

Ziel der Wäschehygiene im Haushalt ist es, eine Keimverminderung auf ein gesundheitlich unbedenkliches Maß zu erreichen. Eine keimfreie, desinfizierte Wäsche ist im Haushalt nicht erreichbar und auch nicht wünschenswert. Im Gegenteil – das Immunsystem des Menschen hat sich längst an die Umgebungskeime gewöhnt und benötigt die Auseinandersetzung mit den Mikroorganismen zur Gesunderhaltung. Selbst krankheitserregende Keime sind erst dann ein Problem, wenn sie in größerer Zahl auftreten. Wäschedesinfektionsmaßnahmen sind nur im medizinischen Bereich, z. B. im Krankenhaus, angebracht.

Solange die Wäsche trocken gelagert wird, können sich Bakterien und Pilze nicht vermehren. Sie sterben aber auch nicht ab, sondern überleben über mehrere Wochen. Wird die Wäsche über längere Zeit nass oder feucht aufbewahrt, kommt es zu einer starken Vermehrung der Mikroorganismen, erkennbar an einem unangenehmen Geruch und so genannten Stockflecken auf den Textilien. Über eine mit Mikroorganismen kontaminierte Wäsche können Keime durch Kreuzinfektion im gesamten Haushalt übertragen werden (Abb. 8.30).

Auch die Waschmaschine ist nicht keimfrei. Dies kann besonders dann ein Problem sein, wenn die Wäsche über längere Zeit ausschließlich bei 20 °C oder 30 °C gewaschen wird oder die Waschmaschine von mehreren Haushalten gemeinsam benutzt wird (Gemeinschaftswaschmaschinen, Waschsaloons). Abbildung 8.31 zeigt die Einspülkammer einer Waschmaschine, die über einen längeren Zeitraum nicht gereinigt und getrocknet wurde. Sie ist mit Schimmelpilzen besiedelt.

Beim Waschen und der Nachbehandlung der Wäsche findet immer eine mehr oder weniger starke Keimverminderung statt, wobei mehrere Faktoren zu berücksichtigen sind:

- *Mechanische Einflüsse:* Schon allein durch die mechanische Bewegung der Wäsche beim Waschen werden viele, aber längst nicht alle Mikroorganismen von der Wäsche entfernt. Kommen keine weiteren keimvermindernden Faktoren (erhöhte Temperatur, Chemie) hinzu, so können Keime von stark belasteten

Kleidungsstücken (z. B. Strümpfe oder Geschirrtücher) sogar auf weniger belastete Wäschestücke übertragen werden. Die Keimbelastung eines mitgewaschenen Kleidungsstückes kann in diesem Fall nach dem Waschen höher sein als vorher.

- *Thermische Einflüsse:* Einen wichtigen Einfluss auf die Keimverminderung hat die Waschtemperatur. Neben der Temperatur spielen aber hier noch weitere Faktoren eine Rolle: die Zeit, der pH-Wert und vorhandene antimikrobielle Substanzen. Ein deutliches Absterben von Keimen beginnt bei Temperaturen ab 40 °C, oberhalb einer Waschtemperatur von 55 °C werden die meisten Bakterien abgetötet. Allerdings wird selbst bei der Kochwäsche (90 °C) keine absolute Keimfreiheit (Sterilität) der Wäsche erreicht. Untersuchungen zeigen [48], dass beim 60 °C-Waschgang gesundheitlich relevante (pathogene) Haut- und Hefepilze sicher abgetötet werden. Wird längere Zeit bei 20 °C oder 30 °C gewaschen, lässt sich keine ausreichende hygienische Reinheit garantieren, auch wenn die in Vollwaschmitteln enthaltenen Bleichmittel bereits bei dieser Temperatur die Keimzahl vermindern. Wenn eine Waschmaschine über längere Zeiträume überhaupt nicht oder nur für Waschzyklen mit einer Temperatur von 20 °C oder 30 °C benutzt wird, kann sich ein Biofilm auf der Innenseite der Waschmaschine bilden. Als Biofilm bezeichnet man die Besiedlung fester Oberflächen durch Mikroorganismen, verbunden mit einer Schleimbildung und häufig erhöhter Widerstandsfähigkeit. Damit besteht die Gefahr, dass sich Mikroorganismen, die in Biofilmen überleben, weiter ausbreiten.
- *Chemische Einflüsse:* Die weitaus wirksamsten antimikrobiellen Substanzen im Waschmittel sind die Bleichmittel, besonders in der heute üblichen Kombination mit Bleichaktivatoren. Damit lässt sich unter normalen Bedingungen ab 40 °C eine zufriedenstellende hygienische Reinheit erreichen. Früher war dafür ein Kochwaschgang notwendig. Zu beachten ist, dass nur feste Vollwaschmittel (Pulver und Tabs) Bleichmittel enthalten. Besonders wirksam gegen Keime ist die in Nord- und Südamerika sowie einigen Ländern Südeuropas übliche Bleiche mit Natriumhypochlorit. Auch Persäuren sind schon bei 30 °C voll wirksam. Hier ist besonders die Phthalimidoperoxyhexansäure (PAP) zu erwähnen (vgl. auch Kap. 5.4 „Bleichsysteme“).
- *Keimverminderung durch Nachbehandlung der Wäsche:* Im Anschluss an das Waschen wird die Wäsche in der Regel noch weiter behandelt. Ein häufiges Nachbehandlungsverfahren, das im Allgemeinen noch in der Waschmaschine stattfindet, ist die Benutzung eines Weichspülmittels. Es ist davon auszugehen, dass eine nennenswerte Keimverminderung durch das Weichspülen nicht stattfindet, da die Konzentrationen der kationischen Tenside und u. U. vorhandener Konservierungsmittel unter Anwendungsbedingungen dafür zu gering sind. Insgesamt gibt es bisher wenige Untersuchungen zu dieser Fragestellung. Beim Trocknen im Wäschetrockner findet aufgrund der erhöhten Temperatur eine deutliche Keimverminderung statt. Die Temperatur des Trocknungsvorganges liegt im Allgemeinen zwischen 50 °C und 80 °C. Beim Trocknen an der Luft wirkt eine direkte Sonneneinstrahlung keimreduzierend. Ansonsten ist nicht generell mit einer Verminderung der Keime zu rechnen. Im Gegenteil

– wird die Wäsche zu langsam getrocknet, kann es zum Bakterienwachstum während des Trocknungsvorganges kommen. Das Bügeln ist eine sehr wirksame Form der Keimreduzierung. Durch die hohe Oberflächentemperatur des Bügeleisens (je nach Einstellung zwischen 70 °C und 210 °C) werden die meisten Mikroorganismen abgetötet. Neben der Temperatur des Bügeleisens spielen Einwirkungszeit und vorhandene Feuchtigkeit eine wichtige Rolle.

Durch das heute übliche Waschen bei möglichst tiefen Temperaturen (20 °C bis 40 °C) sind die richtigen Hygienemaßnahmen bei der Wäschepflege wichtiger als früher geworden. Zudem sind viele der über Jahrzehnte erprobten Haushalts- und Hygieneregeln in Vergessenheit geraten und werden nicht mehr an nachfolgende Generationen weitergegeben. Unter Beachtung einfacher Regeln lässt sich auch bei tieferen Waschtemperaturen (20 °C bis 40 °C) eine ausreichende Wäschehygiene sicherstellen [23, 49, 50]:

- Benutzte Textilien und insbesondere feuchte Schmutzwäsche (z. B. Sportkleidung) stets schnell und gründlich trocknen lassen und möglichst rasch waschen.
- Bei der Reinigung das Behältnis für die Schmutzwäsche nicht vergessen! Textile Wäschesäcke werden in der Waschmaschine mitgewaschen.
- Es sollte darauf geachtet werden, dass die Waschmaschine nach dem Waschen sofort entleert wird, das Wasser vollständig abgepumpt ist, und zwischen den Waschgängen die Tür der Waschmaschine geöffnet bleibt. Auch die Einspülkammer trocken wischen und geöffnet stehen lassen.
- Zur Vorbeugung und Beseitigung von Biofilmen sollte in regelmäßigen Abständen, im normalen Haushalt ca. jede fünfte Wäsche bzw. spätestens alle zwei Wochen, im 60 °C-Waschgang mit einem Vollwaschmittel gewaschen werden.
- Leben Personen mit einer ansteckenden Erkrankung, vor allem Haut- oder Darminfektionen (z. B. Salmonellen-Dauerauscheider), einem geschwächten Immunsystem oder Hausstaub-Allergiker im Haushalt, sollte deren Unterwäsche, Bettwäsche und Handtücher regelmäßig bei mindestens 60 °C mit einem bleichmittelhaltigen Vollwaschmittel gewaschen werden; auf ärztlichen Rat ggf. auch bei noch höherer Temperatur.
- Teilen sich mehrere Haushalte eine Waschmaschine oder werden Gemeinschaftseinrichtungen wie öffentliche Waschsaloons benutzt, sollte der erste Waschgang bei höheren Temperaturen (60 °C) möglichst mit einem bleichmittelhaltigen Vollwaschmittel erfolgen.

Literatur

Zur Kulturgeschichte

- 1 Bertrich, F.: *Kulturgeschichte des Waschens*. Econ-Verlag, Düsseldorf 1966.
- 2 Bohmert, F.: *Hauptsache sauber? – Vom Waschen und Reinigen im Wandel der Zeit*. Stürtz Verlag, Henkel KGaA, Düsseldorf 1988.
- 3 Gütegemeinschaft sachgemäße Wäschepflege e. V.: *Kultur und Geschichte der textilen Sauberkeit*. Hohensteiner Institute, Bönningheim 2003.
- 4 Orland, B.: *Wäsche waschen – Technik- und Sozialgeschichte der häuslichen Wäschepflege*. Rowohlt Verlag, Band 7736, Hamburg 1991.
- 5 Animation zur Geschichte des Waschens: www.scienceinthebox.com/multimedia (aufgerufen 10/2009).
- 6 Henkel KGaA (Hrsg.): *Persil – 100 Jahre*. Düsseldorf 2007.
- 7 Feldenkirchen, W. und Hilger, S.: *Menschen und Marken – 125 Jahre Henkel 1876–2001*. Stürtz Verlag, Würzburg 2001.

Verbrauchergewohnheiten

- 8 Harder, H. und Löhr, A.: Der Wandel der Waschverfahren seit 1945. *Tenside Detergents* 18 (1981), H. 5, 248–253.
- 9 Berkholz, P., Brückner, A., Kruschwitz, A., Stamminger, R.: *Verbraucherverhalten und verhaltensabhängige Einsparpotentiale beim Betrieb von Waschmaschinen*. Shaker-Verlag 2007 (Schriftenreihe Haushalts-technik Bonn).
- 10 S. Bichler: „Ergebnisse des Fragebogens zum Waschverhalten“. Universität Bonn, Institut für Landtechnik, Sektion Haushaltstechnik. Vortrag anlässlich der Multiplikatorenschulung zum FORUM WASCHEN, Bonn März 2009. Quelle: www.forum-waschen.de (aufgerufen 10/2009).

- 11 Rüdener, I., Eberle, U., Griefhammer, R.: *Ökobilanz und Lebenszykluskostenrechnung Wäschewaschen – Vergleich des Waschens bei durchschnittlichen Waschttemperaturen mit Waschen bei niedrigeren Temperaturen*. Studie des Öko-Instituts e. V., Freiburg 2006.
- 12 Stamminger, R., Janczak, F., Nickel, D., Speckmann, H.-D.: *Energy savings by low temperature washing*. Vortrag 56. SEPAWA Kongress, Würzburg 2009.
- 13 www.wikipedia.de: Stichwort „Waschnussbaum“, aufgerufen 11/2009.
- 14 TAZ online, 11.03.2008: www.taz.de/1/leben/alltag/artikel/1/waschnussmangel-durch-bio-boom.
- 15 Öko-Test Magazin, 09/2003.

Wirtschaft weltweit

- 16 Hauthal, H.-G.: *Sustainable detergents and cleaners – Fourth European Detergents Conference Report*. Tenside Surf. Det. 46(2009), H. 1, 53–62.
- 17 www.ikw.org (aufgerufen 12/2009).
- 18 Gruner u. Jahr: *Werbetrends 2009*. Hamburg 2010; www.guj-media.de (aufgerufen April 2010).

Verbrauchertipps

- 19 www.forum-waschen.de (aufgerufen 12/2009).
- 20 Industrieverband Körperpflege und Waschmittel e.V. (IKW): *Richtiges Beladen einer Waschmaschine* (Informationsblatt), Frankfurt 2008.
- 21 Stiftung Warentest, Zeitschrift Test: Heft 02/2007 „Colorwaschmittel“; Heft 03/2009 „Vollwaschmittel“.
- 22 Industrieverband Körperpflege und Waschmittel e.V. (IKW): *Richtiges Dosieren von Geschirrspül- und Waschmitteln* (Faltblatt), Frankfurt 2008.
- 23 Industrieverband Körperpflege und Waschmittel e.V. (IKW): *Informationsblatt Waschen bei niedrigen Temperaturen*, Frankfurt 2009.

- 24 Rüdener, I., Eberle, U., Griefshammer, R.: Ökobilanz und Lebenszykluskostenrechnung Wäschewaschen. Vergleich des Waschens bei durchschnittlichen Temperaturen mit Waschen bei niedrigeren Waschttemperaturen. Öko-Institut e. V., Freiburg 2006.
- 25 Stamminger, R., Janczak, F., Nickel, D., Speckmann, H.-D.: Energy savings by low temperature washing. Vortrag 56. SE-PAWA Kongress, Würzburg 2009.
- 26 Stiftung Warentest, Zeitschrift Test: Testberichte Waschmaschinen.
- 27 Industrieverband Körperpflege und Waschmittel e.V. (IKW): Neue Regeln für Wasch- und Reinigungsmittel – Was ändert sich für die Verbraucher? (Faltblatt), Frankfurt 2005.
- 28 Forschungsinstitut Hohenstein (Prof. Dr. J. Mecheels): Ermittlung von Waschmittelrückständen in der Wäsche als Funktion verschiedener Waschverfahren. Prüfbericht Nr. 97.2.2166, Bönningheim 18.01.1999.
- 29 Bannan, E. A., Griffith, J. F., Nusair, T. L., Sauers, L. J.: Skin testing of laundered fabrics in the dermal safety assessment of enzyme-containing detergents. *J. Toxicol. – Cut. & Ocular Toxicol.* 11(1992), 4, 327–339.
- 30 Min Young Ler et al.: Effects of repeated short-term skin contact with proteolytic enzymes. *Contact Dermatitis* 46 (2002), 75–80.
- 31 Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e. V. (IKW); Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. (ZVEI) (Hrsg.): Untersuchung und Bewertung der Hautverträglichkeit moderner Haushaltswaschverfahren. Frankfurt 1999.
- 32 IKW: Empfehlung zur Sicherheitsbeurteilung von Wasch-, Pflege- und Reinigungsmitteln. *SÖFW-Journal*, 2007 (133), H. 10, 53–69. vgl. auch http://www.ikw.org/pdf/broschueren/WPR_Produkte_d.pdf.
- 33 Schnuch, A. et al.: Untersuchungen zur Verbreitung umweltbedingter Kontaktallergien mit Schwerpunkt im privaten Bereich. Forschungsbericht Nr. 299 61 219, Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin 2004.
- 34 White, I. R., Lewis, J., Alamni A. E.: Possible adverse reactions to an enzyme-containing washing powder. *Contact Dermatitis* 13 (1985), 175–179.
- 35 Industrieverband Körperpflege und Waschmittel e.V. (IKW): „Wasch-, Reinigungs- und Pflegemittel im Haushalt – Zusammensetzung, Toxikologie, Therapiemöglichkeiten bei Unfällen im Haushalt“, Frankfurt 2001.
- 36 Hauthal, H. G. und Wagner, G.: *Reinigungsmittel und Pflegemittel im Haushalt – Chemie, Anwendung, Ökologie und Verbrauchersicherheit*. Verlag für chemische Industrie, 2. aktualisierte Auflage, Augsburg 2007.
- 37 Pièrard, G. E., Arrese, J. E., Rodriguez, C., Daskaleros, P. A.: Effects of softened and unsoftened fabrics on sensitive skin. *Contact Dermatitis* 39 (1994), 286–291.
- 38 Pièrard, G. E., Arrese, J. E., Dowlati, A., Daskaleros, P. A., Rodriguez, C.: Effects of softened and unsoftened fabrics on infant skin. *International Journal of Dermatology*, Bd. 33 (1994), 2, 138–141.
- 39 Rodriguez, C., Daskaleros, P. A., Sauers, L. J., Innis J. D., Laurie, R. D. Tronnier, H.: Effects of fabric softeners on the skin. *Dermatosen in Beruf und Umwelt* 42 (1994), 2, 58–61.
- 40 Flyvholm: Contact allergens in registered cleaning agents for industrial and household use. *Brit. J. Ind. Med.* 50 (1993), 1043–1050.
- 41 Frosch, P. J., Johanson, J. D., White, L. R. (eds.): *Fragrances – Beneficial and Adverse Effects*. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1997.
- 42 Matthies: Allergies by detergents and cleansing products: facts and figures. *Tenside Surf. Det.* 34 (1997), 450–454.
- 43 Tronnier, H.: Allergische und nichtallergische Hautreaktionen durch chemische Produkte und Rohstoffe. *Seifen-Öle-Fette-Wachse*, 113 (1987), 279 ff.

- 44 Tronnier, H.: Effects of textiles on human skin. *SÖFW-Journal* 128 (2002), 4, 8–14.
- 45 Wigger-Alberti, W. und Elsner, P.: Beeinflussung der Haut durch Waschmittel. *Akt. Dermatol.* 22 (1996), 90–93.
- 46 Desel, H.: Sind Wasch- und Reinigungsmittel sicher für den Verbraucher? Vortrag 56. SEPAWA Kongress und European Detergents Conference, Würzburg, Oktober 2009.
- 47 Betz, M. M.: Antimikrobielle Wirksamkeit von Bleichmitteln und Bleichsystemen. Dissertation am Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der TU München, München 2001.
- 48 Ossowski, B., Duchmann, U.: Der Einfluß des haushaltsüblichen Waschprozesses auf mykotisch kontaminierte Textilien. *Hautarzt* 48 (1997), 397–401.
- 49 Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e. V. (IKW): Hygiene im Haushalt. 2. Auflage, Frankfurt 2004.
- 50 Lichtenberg, W., Girmond, F., Niedner, R., Schulze, I.: Hygieneaspekte beim Niedrigtemperaturwaschen. *SÖFW-Journal* 2006 (132), H. 8, 28–34.

9

Ökologie der Waschmittel

9.1

Allgemeine Problemstellung

Der jährliche Verbrauch an Wasch- und Reinigungsmitteln betrug in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2008 ca. 1,4 Millionen Tonnen. Zum Waschen und Trocknen der Wäsche werden weiterhin 400 Milliarden Liter Wasser und rund 6 Milliarden Kilowattstunden benötigt. Berücksichtigt man, dass die Wasch- und Reinigungsmittel im Wesentlichen unverändert ins Abwasser gelangen, so wird beim Betrachten dieser Zahlen sofort klar, dass Waschen und Reinigen ein enormes Potential für Umweltbelastungen darstellt.

Diese Erkenntnis über die Umweltrelevanz von Waschmitteln hat schon eine verhältnismäßig lange Geschichte. Den Anstoß gaben die Schaumberge Ende der 1950er Jahre, verursacht durch ein biologisch schwer abbaubares, „hartes“ Tensid, dem Tetrapropylenbenzolsulfonat (TPS) (Abb. 9.1). In den 1970er Jahren kamen dann die Waschmittelposphate in die Schlagzeilen. Durch Überdüngung



Abb. 9.1 Schaumberge durch biologisch schwer abbaubare Tenside in Waschmitteln Ende der fünfziger Jahre.

gerieten insbesondere stehende Gewässer aus ihrem biologischen Gleichgewicht und verkamen in einzelnen Fällen zu biologisch verödeten Kloaken.

Diese Umweltprobleme haben Hersteller, Politiker und Verbraucher sensibilisiert, so dass seit Mitte der 1980er Jahre die Umweltverträglichkeit der Waschmittel in der breiten Öffentlichkeit ein zentrales Anliegen geworden ist. Als Folge davon gibt es seit 1991 keine phosphathaltigen Textil-Waschmittel auf dem deutschen Markt mehr. Selbstverständlich gab es auch davor schon Ansätze, stark umweltbelastende Inhaltsstoffe in Waschmitteln durch weniger schädliche Substanzen zu ersetzen. Seit 1964 sind in Deutschland nur noch biologisch gut abbaubare, „weiche“ anionische, seit 1982 entsprechende nichtionische Tenside erlaubt. Einige Inhaltsstoffe, beispielsweise das nichtionische Tensid APEO (Alkylphenol-ethoxylat), wurden auf Initiative der Waschmittel- und Tensidhersteller in Deutschland durch verträglichere Substanzen ersetzt.

Trotz aller Bemühungen um eine Verbesserung der Umweltverträglichkeit von Waschmitteln sind auch in Deutschland unliebsame Überraschungen bei Waschmittelinhaltsstoffen nicht immer auszuschließen. Dies zeigt das Beispiel der synthetischen Moschusduftstoffe, die noch vor wenigen Jahren in vielen Wasch- und Körperpflegemitteln als Parfümkomponenten enthalten waren. Bedingt durch neuere wissenschaftliche Erkenntnisse gerieten einige dieser synthetischen Duftstoffe (Nitromoschusverbindungen und polycyclische Moschusduftstoffe) seit Anfang der neunziger Jahre in die Schlagzeilen wegen ihrer unzureichenden biologischen Abbaubarkeit und ihrer Anreicherung in der Nahrungskette. Aus Gründen der Gesundheitsvorsorge wurden diese Substanzen daraufhin von den meisten Waschmittelherstellern seit Ende der 1990er Jahre durch andere Duftstoffe ersetzt.

Breite Akzeptanz finden nach aller Erfahrung nur die Wasch- und Reinigungsmittel, die ein ausgewogenes Verhältnis von Preis, Leistung, ökologischer und sozialer Verträglichkeit bieten können. Nicht vergessen werden sollte, dass Waschen den Gebrauchswert der Wäsche erhält und einer der ältesten funktionierenden Recyclingprozesse in der Kulturgeschichte der Menschheit ist. Wäschepflege hilft, den Rohstoff-, Chemikalien- und Energieeinsatz zur Produktion von Textilien gering zu halten. Jährlich werden in Deutschland 20 Millionen Tonnen Wäsche gewaschen, durchschnittlich 500 kg in jedem Haushalt. Neben den Herstellern, deren Aufgabe es sein sollte, ökologisch verträgliche Waschmittel zu entwickeln und anzubieten, sind die Verbraucher gefordert, durch ihr Kaufverhalten und ihre Waschgewohnheiten zur Schonung der Umwelt beizutragen. Was aber heißt „ökologisch verträglich“?

Die bisherigen Betrachtungen stellten die *Waschmittelinhaltsstoffe* in den Mittelpunkt der Überlegungen. Neuere Ansätze berücksichtigen bei der ökologischen Bewertung von Waschmitteln die Gesamtsicht von der Herstellung über den Waschprozess selbst bis hin zur Entsorgung. Einbezogen werden dabei die Bereitstellung von Rohstoffen, Herstellung des Waschmittels, Anwendung, Verbrauch, entstehende Abfälle und Verhalten in der Umwelt unter stofflichen und energetischen Gesichtspunkten. Erst wenn alle Aspekte im Zusammenhang betrachtet werden, ist eine abschließende Bewertung der Umweltbelastung durch Wasch-

mittel und Waschen möglich. Ziel einer solchen umfassenden Betrachtung, *Ökobilanz* genannt, sollte es sein, allgemein anerkannte Kriterien zu finden, nach denen Waschmittel ökologisch bewertet, eingestuft und optimiert werden können.

Schon seit mehreren Jahren arbeiten Industrie, Umweltbundesamt, Fachinstitute wie das Öko-Institut in Freiburg, Umweltschutz- und Verbraucherverbände gemeinsam an der Entwicklung von Ökobilanzen für Wasch- und Reinigungsmittel. Obwohl die Interessenlagen dabei oft sehr unterschiedlich sind, ist es gelungen, durch diese umfangreichen Erfahrungen bei der Entwicklung von Ökobilanzen eine führende Rolle bei diesem aktuellen Forschungsthema einzunehmen und sich gegenseitig konstruktive Impulse für die weitere Entwicklung, sowohl hinsichtlich der Methodik als auch in Richtung einer gemeinsamen Konsensfindung, zu geben (weiterführende Informationen dazu s. Kapitel 10).

Die Auswertung der Ökobilanzen zeigt, dass den Fragen nach der Rohstoffauswahl, des Energieverbrauchs, der Optimierung der Herstellungsverfahren und den Waschgewohnheiten eine große Bedeutung zukommt. Die Belastung der Oberflächengewässer und des Klärschlammes mit Waschmittelbestandteilen, die im folgenden Kapitel 9 näher betrachtet wird, kann heute nicht mehr als alleiniger Maßstab für Umweltverträglichkeit dienen.

Seit Ende der achtziger Jahre, spätestens seit dem Umweltgipfel in Rio de Janeiro 1992 mit der Nachfolgekonzferenz 2002 in Johannesburg entwickelt sich international allmählich ein neues Bewusstsein, das zusammengefasst als *Konzept einer nachhaltigen Entwicklung (Sustainable Development)* bezeichnet wird. Das Konzept der Nachhaltigkeit beinhaltet Strategien zur weltweiten politischen, wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und ökologischen Entwicklung mit dem Ziel, die heutigen Bedürfnisse der Menschen zu erfüllen, ohne die Bedürfnisse künftiger Generationen zu gefährden. Dieser Ansatz geht weit über ein rein ökologisch orientiertes Konzept hinaus und berücksichtigt gleichwertig auch soziale und ökonomische Belange. In Deutschland hat sich als Folge der Nachhaltigkeitsdiskussion auf Initiative des Industrieverbandes Körperpflege- und Waschmittel (IKW) im Jahr 2001 das „FORUM WASCHEN“ gebildet, in dem wichtige Aktivitäten zur nachhaltigen Entwicklung der Waschmittel und des Waschens insgesamt gebündelt und konkretisiert werden (weiterführende Informationen dazu s. Kapitel 11).

Trotz aller Fortschritte zur Verringerung der Umweltbelastung durch das Waschen gilt aber auch weiterhin uneingeschränkt: Waschen kann nie „umweltfreundlich“ sein, sondern immer nur mehr oder weniger umweltverträglich. Jeder, der wäscht, übernimmt somit Verantwortung und kann durch die richtigen Waschgewohnheiten einen Beitrag zum Erhalt unserer natürlichen Umwelt leisten.

Substanzgruppe	insgesamt	davon für Waschmitteln bzw. Weichspülmitteln
anionische Tenside	113.600	84.400
nichtionische Tenside	46.500	34.000
kationische Tenside	30.500	29.700
amphotere Tenside	8.300	200
Zeolithe	71.000	69.600
Natriumperborat-Tetrahydrat	100	100
Natriumpercarbonat	41.800	32.100
Phosphate	31.800	-
Polycarboxylate	14.900	11.500
Natriumsulfat	83.400	79.700
Natriumcarbonat (Soda)	103.100	79.700
Natriumcitrat	16.100	12.700
Silikate	7.900	5.000
Phosphonate	3.900	3.500
TAED	8.500	6.400
Verfärbungsinhibitoren	500	500
Carboxymethylcellulose	3.600	3.400
Enzyme	4.200	3.000
Duftstoffe	8.300	4.800
Optische Aufheller	400	400
Alkoholische Lösungsmittel	27.100	11.500
Soil release Polymere	1.200	1.200

Quelle: Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e. V. IKW

Abb. 9.2 Einsatzmengen wichtiger Inhaltsstoffe von Wasch- und Reinigungsmitteln in Deutschland 2008 (in Tonnen).

9.2

Abwasserbelastung durch Waschmittel

Rückstände aus Wasch- und Reinigungsmitteln stellen einen erheblichen Teil der durch die Haushalte verursachten Abwasserbelastung dar. Die Dimensionen werden deutlich, wenn man die bundesweit ins Abwasser gelangenden Mengen der Inhaltsstoffe von Wasch- und Reinigungsmitteln betrachtet (Abb. 9.2). Im Durchschnitt entfallen etwa 10 % der organischen Schmutzlast (bezogen auf den BSB₅) und der im Abwasser enthaltenen Feststoffe auf Bestandteile von Wasch- und Reinigungsmitteln [1].

Die Abwasserbelastung durch Wasch- und Reinigungsmittel ist beträchtlich, sagt aber wenig über die tatsächliche Umweltbelastung aus. Hierfür ist entscheidend, welcher Anteil der Inhaltsstoffe der Wasch- und Reinigungsmittel auch tatsächlich in die Umwelt gelangt. Dieser Anteil ist einmal abhängig vom Stand der Abwasserreinigung, also von Anzahl und Reinigungsqualität kommunaler Kläranlagen, selbstverständlich aber auch von der Eliminierbarkeit der Inhaltsstoffe unter diesen Bedingungen. Je effektiver und flächendeckender Abwasserreinigungsanlagen arbeiten, desto geringer wird die Umweltbelastung durch Wasch- und Reinigungsmittel sein.

Die Abwasserreinigung hat in Deutschland in den letzten Jahrzehnten enorme Fortschritte gemacht (Abb. 9.3).

Noch um 1900 wurde ein großer Teil der Abwässer direkt in die Oberflächengewässer geleitet. Mit einem zunehmenden Hygienebewusstsein und dem steigenden Bedarf an Trinkwasser entwickelten sich dezentrale Abwasserreinigungsanlagen, die anfangs noch recht einfach als Absetzbecken oder Sickergrube gestaltet waren. Heute sind zumindest die größeren zentralen Abwasserreinigungsanlagen hochtechnisierte Anlagen mit optimierter Betriebstechnik und einem enormen Leistungsvermögen geworden. Abbildung 9.4 zeigt den Aufbau einer modernen Kläranlage im Überblick.

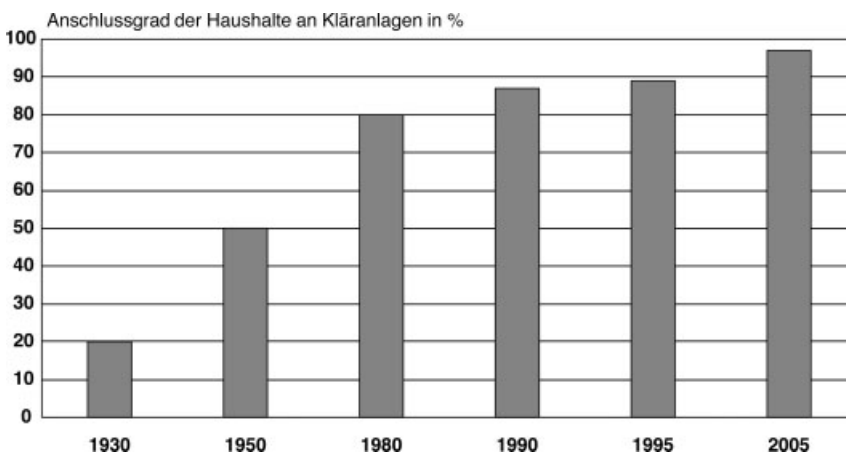
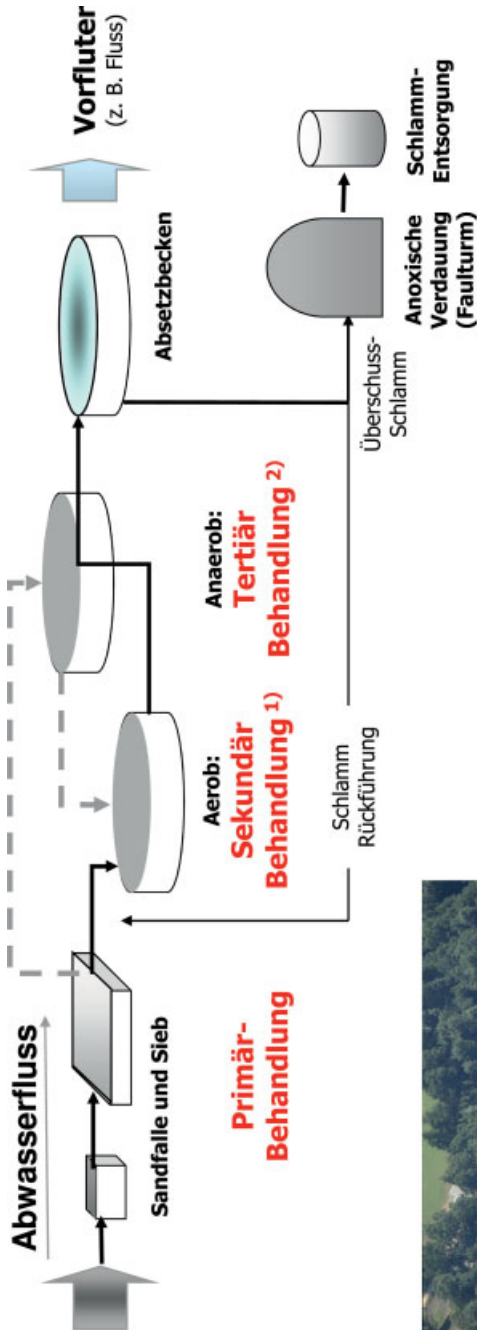


Abb. 9.3 Historische Entwicklung der Kläranlagensituation in Deutschland (1930–2005).



¹⁾ In der Sekundärbehandlung wird organische Materie in Gegenwart von Sauerstoff wirkungsvoll zu CO₂ umgesetzt. Hier werden neben aktiv belüftetem Bakterienschlamm (Belebungsbecken) auch Verrieselungsfilter (Tropfkörper) eingesetzt.

²⁾ In der Tertiärbehandlung wird unter sauerstoffarmen Bedingungen der Stickstoffgehalt des Abwassers reduziert. Dabei wird auch ein Teil des Phosphors im Bakterienschlamm gebunden. Durch chemische Fällung mit Eisen- oder Aluminiumsalzen während der Sekundär- oder Tertiärbehandlung kann eine noch weitergehende Phosphorreduktion erreicht werden.

Die Tertiärbehandlung ist nicht immer erforderlich und kostendeckend.



Abb. 9.4 Aufbau einer kommunalen Kläranlage.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden im Jahr 2005 97 % des häuslichen Abwassers in Abwasserreinigungsanlagen mit mechanisch-biologischer Reinigungsstufe behandelt. Davon erfolgt bei über 90 % der Abwassermenge eine zusätzliche Phosphat-Elimination. In Europa sind sowohl der Anschlussgrad an kommunale Kläranlagen als auch der Stand der Abwasserreinigung in den einzelnen Ländern unterschiedlich entwickelt. Insbesondere in vielen osteuropäischen Staaten hat die Abwasserreinigung noch nicht das mitteleuropäische Niveau erreicht [2].

Wie kann die Belastung des Wassers durch Inhaltsstoffe von Wasch- und Reinigungsmitteln gemessen werden? Zur kontinuierlichen Überwachung des Abwassers ist es in der Praxis nicht möglich und auch nicht erforderlich, alle Inhaltsstoffe des Abwassers einzeln zu messen. Es werden wenige, analytisch reproduzierbare Untersuchungsmethoden angewandt, die eine möglichst große Aussagekraft über den Belastungsgrad des Wassers erlauben. Im Zusammenhang mit Rückständen aus Wasch- und Reinigungsmitteln in Gewässern und Abwässern sind folgende Untersuchungsmethoden von besonderer Bedeutung:

- Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB₅),
- Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC),
- Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB),
- Summe der Aniontenside (als methylenblauaktive Substanz MBAS),
- Summe der nichtionischen Tenside (als bismutaktive Substanz BiAS),
- Bor- und die Phosphor-Konzentration,
- Stoff-spezifische Analysenverfahren in besonderen Fällen (z. B. LAS).

Der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) erfasst annähernd alle organischen Substanzen, der biochemische Sauerstoffbedarf (BSB₅) ist ein Maß für die Summe aller leicht abbaubaren organischen Verbindungen. BSB₅- und CSB-Wert sind wichtige Parameter zur Ermittlung der kommunalen Abwasserbelastung, der Abwasserabgaben und des Leistungsvermögens von Kläranlagen.

Der Verbleib und Abbauweg von Waschmittelbestandteilen in einer Kläranlage ist recht unterschiedlich (Abb. 9.5).

Die überwiegende Anzahl der Waschmittelinhaltsstoffe gelangt chemisch unverändert in die Kläranlage. Natriumperborat bzw. Natriumpercarbonat zerfallen schon größtenteils in der Waschmaschine unter Bildung von Borat bzw. Carbonat, aus TAED (Tetraacetylenylendiamin) entsteht das biologisch weiter abbaubare DAED (Diacetylenylendiamin, s. Abb. 5.20). Im Durchschnitt werden in der Kläranlage mit funktionierender biologischer Reinigungsstufe mehr als 98 % der Tenside aus dem Abwasser entfernt. Leicht lösliche Salze wie Sulfate, Borate und Carbonate passieren dagegen praktisch unverändert die Kläranlage. Phosphate werden in effektiv arbeitenden Anlagen mit Phosphatfällungsstufe bzw. biologischer P-Elimination zu 90 % zurückgehalten, in konventionellen mechanisch-biologischen Kläranlagen bis zu etwa 40 % [3]. Die in Kläranlagen mit biologischer Reinigungsstufe zurückgehaltenen Phosphorverbindungen werden zum größten Teil in die Biomasse der Belebtschlamm Bakterien eingebaut und verbleiben dadurch im Klärschlamm. Phosphor im häuslichen Abwasser stammt

	Organische Substanzen	Anorganische Substanzen
Biologisch abgebaut werden	Tenside ¹ TAED (bzw. DAED) Enzyme Citrat	
Im Klärschlamm verbleiben	Polycarboxylate Optische Aufheller Phosphonate (ca. 50 %)	Zeolithe Phosphate ²
In die Oberflächengewässer gelangen	Phosphonate (ca. 50 %) Carboxymethylcellulose	Borate Silicate Natriumsulfat Natriumcarbonat Phosphate ²

¹ Weit weniger als 5 % der Tenside gelangen in die Oberflächengewässer. 10-30 % von LAS verbleiben im Klärschlamm.

² Eintrag von Phosphaten in die Oberflächengewässer: 10 % mit Phosphat-Eliminationsstufe, 60 % ohne Phosphat-Elimination (nur biologische Reinigungsstufe).

Abb. 9.5 Verbleib von Waschmittelinhaltsstoffen und Phosphaten in einer öffentlichen Kläranlage mit biologischer Reinigungsstufe.

heute in Deutschland nicht mehr aus Waschmitteln, sondern überwiegend aus dem menschlichen Stoffwechsel, zu einem geringen Teil (< 10 %) auch aus maschinellen Geschirrspülmitteln (s. Abb. 9.2).

Tenside werden zwar überwiegend durch biologischen Abbau eliminiert, zum Teil werden sie aber aufgrund ihrer Grenzflächenaktivität chemisch unverändert bereits an Sedimentstoffen in der Vorklärung adsorbiert. Bei der Schlammbehandlung in den Faultürmen können bestimmte Tenside unter den dort herrschenden sauerstoffarmen (anaeroben) Bedingungen nicht weiter abgebaut werden und verbleiben unverändert im Klärschlamm. Eine ähnliche Situation ergibt sich für die optischen Aufheller und die Polycarboxylate. Zeolith A, die mengenmäßig wichtigste anorganische Verbindung in Pulver-Waschmitteln wird wegen ihrer Wasserunlöslichkeit schon in der mechanischen Stufe (Vorklärbecken) der Kläranlage in großem Umfang eliminiert. Der Gesamteliminationsgrad einer mechanisch-biologischen Kläranlage für Zeolith A liegt bei über 90 %.

Information – Elimination und biologischer Abbau

Der Begriff *biologischer Abbau* (vgl. Kap. 9.4) ist klar zu trennen vom Begriff *Elimination*. „Elimination“ ist ein wesentlich umfassenderer Begriff und schließt neben dem biologischen Abbau alle physikalischen und chemischen Vorgänge ein, die zur Beseitigung einer Substanz aus dem Abwasser oder generell einem Umweltkompartiment (Wasser, Boden, Luft) beitragen. Dazu gehören z. B. Filtrationsverfahren, das Absetzen unlöslicher Substanzen, Adsorption an Feststoffen und Oberflächen, Bindung an Feststoffe durch Ionenaustausch oder Komplexierung, chemische Abbaureaktionen (z. B. durch Oxidations- oder Reduktionsmittel), Zersetzung unter dem Einfluss von Sonnenlicht (Fotolysereaktionen).

Nur organische, kohlenstoffhaltige Verbindungen sind einem biologischen Abbau zugänglich. Anorganische Substanzen, z. B. Phosphate oder Schwermetalle, werden durch physikalisch-chemische Eliminationsprozesse aus dem Abwasser entfernt.

Wertet man die hier durchgeführten Betrachtungen zur Gewässerbelastung durch Wasch- und Reinigungsmittel kritisch aus, so kommt man zu folgenden Schlüssen über die Umweltbelastung durch Waschmittel:

- Der Grad der Umweltbelastung durch Waschmittel ist einerseits durch die Art der Inhaltsstoffe, andererseits durch den Stand der Abwasserreinigung festgelegt.
- Die Umweltbelastung ist auch von der Verwendung des Klärschlammes abhängig. Wird damit gedüngt, können nicht abgebaute Waschmittelbestandteile auf landwirtschaftlich genutzte Felder und damit auch auf diesem Weg in die Umwelt gelangen.
- Den Tensiden kommt eine besondere Bedeutung zu. Tenside werden überwiegend, aber nicht vollständig in den Kläranlagen zurückgehalten, da diese prinzipiell hierzu nicht ausgelegt sind. Tenside wirken giftig auf Gewässerorganismen und können in zu hoher Konzentration das pflanzliche und tierische Leben im Wasser negativ beeinflussen. Die Konzentration von Tensiden in Oberflächengewässern wird dabei entscheidend durch die biologische Abbaubarkeit der Tenside bestimmt.
- Waschmittel tragen heute praktisch nicht mehr zur Belastung der Gewässer mit Phosphaten bei. Der Eintrag von Phosphorverbindungen in die Umwelt ist in Deutschland durch Ausrüstung der meisten Kläranlagen mit einer zusätzlichen Phosphat-Eliminationsstufe stark reduziert worden.
- Der Eintrag schwer abbaubarer organischer Stoffe, dazu gehören z. B. die in Waschmitteln eingesetzten Polycarboxylate und Phosphonate, in die Umwelt ist immer potentiell mit Risiken behaftet und muss im Vorfeld des technischen Einsatzes in einer Umweltrisikobewertung sorgfältig beurteilt werden.

9.3

Vorkommen von Tensiden in der Umwelt

Obwohl die in Waschmitteln eingesetzten Tenside heute leicht biologisch abbaubar sind, gelangen über das Abwasser und die nachgeschalteten Kläranlagen geringe Mengen von noch nicht abgebauten Tensiden in die Oberflächengewässer. An Klärschlamm adsorbierte Tenside können weiterhin auf landwirtschaftlich genutzte Felder getragen werden, wenn mit Klärschlamm gedüngt wird. Sowohl im Oberflächenwasser als auch im Erdboden findet dann ein weiterer biologischer Abbau statt. Da jedoch ein ständiger Neueintrag erfolgt, sind Tenside in geringen Konzentrationen in der Umwelt immer nachweisbar, sowohl in Oberflächengewässern als auch in landwirtschaftlich genutzten Böden. Der Eintrag von Tensiden in die Umwelt ist in Abb. 9.6 im Überblick dargestellt.

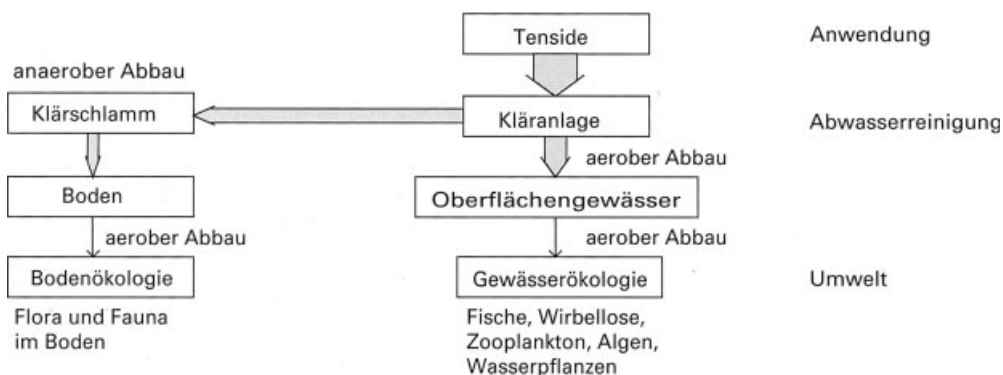


Abb. 9.6 Der Weg von Tensiden aus Wasch- und Reinigungsmitteln in die Umwelt.

9.3.1

Tenside in Oberflächengewässern

Sämtliche Untersuchungsmethoden zur Analyse von geringen Tensidkonzentrationen in Gewässern sind relativ aufwendig. Zu den noch eher einfachen Methoden zählt die gruppenspezifische Messung der anionischen Tenside als methylenblauaktive Substanz (MBAS) und die der nichtionischen Tenside als bismutaktive Substanz (BiAS). Beide Bestimmungsverfahren haben den Nachteil, dass auch andere Stoffarten, zum Teil natürlichen Ursprungs wie die Huminsäuren, die Analysen beeinflussen können.

Stoffspezifische Untersuchungsmethoden, die genauere Aussagen ermöglichen, sind erst in jüngerer Zeit entwickelt worden. Sie beruhen meist auf der Methodik der Hochleistungsflüssigchromatographie (HPLC-Analytik).

In größeren Mengen werden synthetische Tenside als Ersatz der früher verwendeten Seife seit Mitte der 1950er Jahre in Wasch- und Reinigungsmitteln verwendet. Ökologisch problematisch wurde die Situation, als damals mit Tetrapropylenbenzolsulfonat (TPS, s. Kap. 2.2.2) zum ersten Mal ein solches Tensid in Waschmitteln eingesetzt wurde. Als Folge seiner schlechten biologischen Abbaubarkeit ließ es sich in steigenden Konzentrationen im Oberflächenwasser nachweisen. Sichtbares Zeichen waren riesige Schaumkronen auf einigen großen Fließgewässern und manchmal meterhohe Schaumberge an Wasserabstürzen, wie z. B. Wehren. Die Stabilität des Schaumes war außerordentlich groß, möglicherweise durch die Verbindung von Tetrapropylenbenzolsulfonat mit anderen Gewässerunreinigungen, z. B. Eiweißverbindungen. Der Schaum konnte dadurch, begünstigt durch den Wind, über größere Entfernungen verweht werden, und so waren auch auf Wiesen und Feldern manchmal meterhohe Schaumberge zu beobachten.

Die Existenz der Schaumberge war nur der vergleichsweise harmlose, sichtbare Teil einer großflächigen zunehmenden Gewässerverschmutzung. Als man dies erkannte, wurde TPS in der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1961 bis 1964 stufenweise durch das biologisch gut abbaubare lineare Alkylbenzolsulfonat (LAS) ersetzt. Die Konzentration von anionischen Tensiden in bundesdeutschen Gewässern ging daraufhin Mitte der 1960er Jahre rapide zurück. Über die Folgejahrzehnte war durch den Ausbau kommunaler Kläranlagen und trotz Zunahme des Waschmittelverbrauchs ein weiterer kontinuierlicher Rückgang der Konzentration anionischer Tenside zu verzeichnen.

Durch veränderte Waschmittelrezepturen nahm gegen Ende der 1970er Jahre der Einsatz von biologisch gut abbaubaren nichtionischen Tensiden deutlich zu. Damit war auch deren zunehmende Nachweisbarkeit in Oberflächengewässern verbunden.

Beispielhaft werden in Abb. 9.7 und 9.8 die zeitlichen Veränderungen in der Konzentration der anionischen Tenside in der Ruhr sowie der Tensidfrachten im Rhein dargestellt.

Deutlich erkennbar ist der starke Anstieg der Tensidkonzentrationen Anfang der sechziger Jahre durch den Einsatz des Tensids TPS, der nachfolgende signifikante Rückgang und die weitere kontinuierliche Abnahme. Seit Anfang der neunziger Jahre bleibt die Konzentration auf einem sehr niedrigen Niveau in etwa konstant – die Folge des Einsatzes von Tensiden mit günstigen Abbaueigenschaften und des weiteren Ausbaus leistungsfähiger Kläranlagen. Die Abb. 9.7 und 9.8 verdeutlichen aber auch, dass trotz der guten biologischen Abbaubarkeit und moderner Kläranlagen immer Tenside in Oberflächengewässern nachweisbar sind. Die wichtige Frage, inwieweit solche niedrigen Konzentrationen ökotoxikologisch von Bedeutung sind, also Organismen in irgendeiner Weise schädigen könnten, wird im Kap. 9.5 diskutiert.

Verallgemeinert man die publizierten Untersuchungsergebnisse zu gut untersuchten Gewässern wie Rhein, Ruhr, Main, Mosel, Neckar u. a., so ergibt sich folgendes Bild:

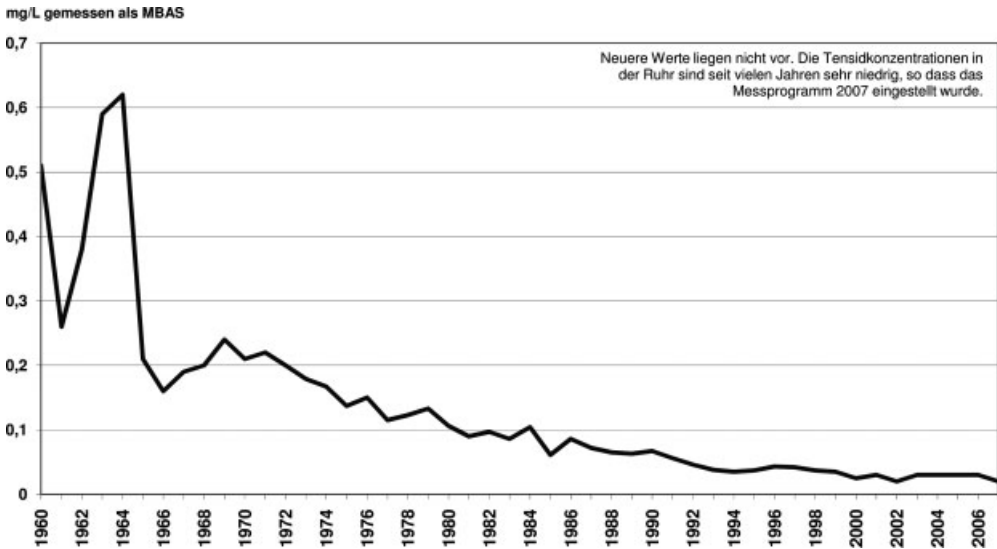


Abb. 9.7 Mittlere Konzentration anionischer Tenside in der Ruhr 1960 bis 2007 (Jahresmittelwerte).

Aniontenside

- Die nach der MBAS-Methode ermittelten Tensidkonzentrationen sind immer als Maximalwerte anzusehen. Praktisch alle publizierten Daten über Aniontenside vor dem Jahr 1988, auch die in Abb. 9.7 und 9.8 dargestellten Werte, wurden nach diesem Verfahren bestimmt. Die effektive Konzentration der Aniontenside im Flusswasser beträgt heute etwa 30 % der nach der MBAS-Methode bestimmten Werte. Je kleiner die gemessene Tensidkonzentration nach der MBAS-Methode, desto höher wird der Beitrag durch störende Begleitsubstanzen, z. B. Huminsäuren. Das Detektionslimit (LOD) der MBAS-Methode liegt bei 10 µg/L [4].
- Allgemein bewegt sich in den deutschen Gewässern die Konzentration der anionischen Tenside seit geraumer Zeit auf einem sehr niedrigen Niveau. Die mittlere Konzentration (Median) von LAS im Rhein lag im Zeitraum 2005–2007 bei 0,006 mg/L [5]. In der Umgebung größerer Einleiter, z. B. Kläranlagen, können auch Konzentrationen oberhalb 0,1 mg/L [5] gemessen werden. Höhere Tensidkonzentrationen findet man auch gelegentlich in kleineren Fließgewässern, z. B. Bächen. Die Ursache dafür dürften eventuell unzulässige Direkteinleitungen von Abwässern oder Abläufe aus Kläranlagen mit nicht optimaler Abwasserbehandlung sein. Bei kleinen Vorflutern ist zudem nur ein geringes Verdünnungsverhältnis der Kläranlagenabläufe gegeben.
- Die Tensidkonzentrationen in Gewässern sind gewissen Schwankungen unterworfen, die unter anderem mit dem Wechsel von Temperatur und Wasserstand verbunden sind. Im Frühjahr und Herbst sind durch erhöhte Niederschläge höhere Wasserstände und damit auch größere Verdünnungsfaktoren zu erwarten,

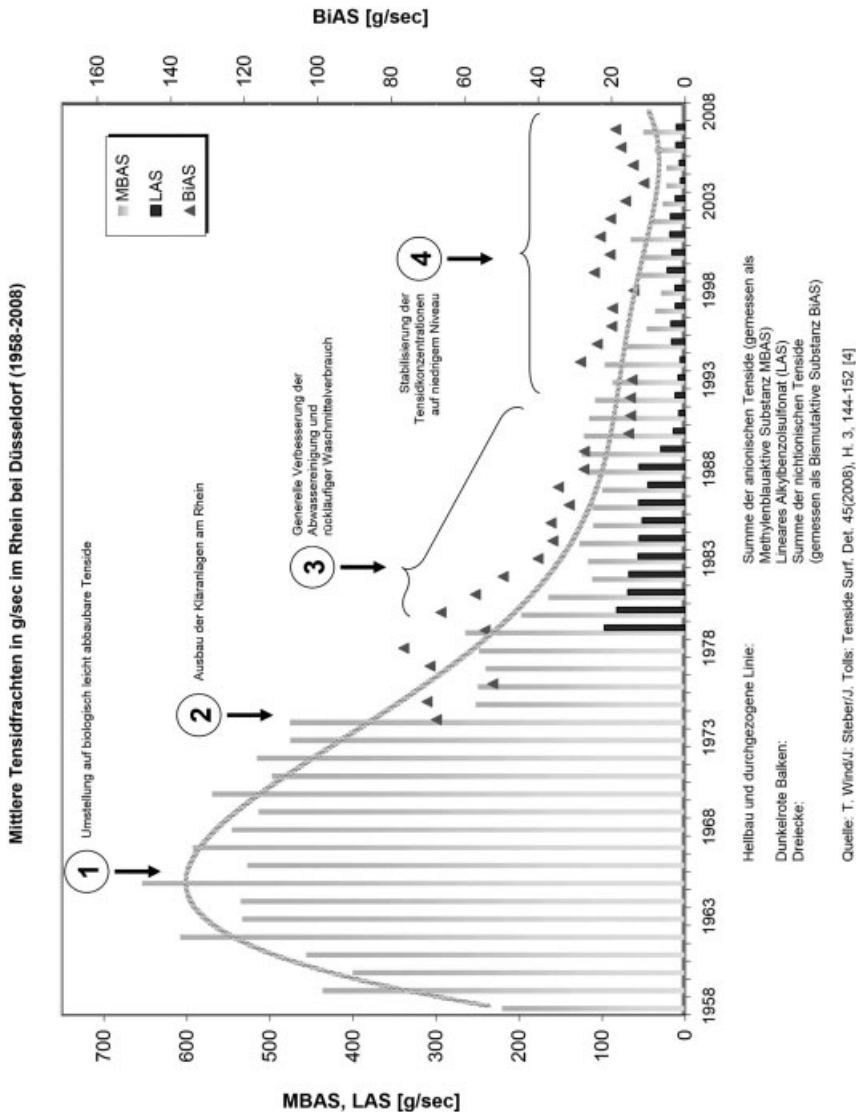


Abb. 9.8 Mittlere Tensidfrachten in g/sec im Rhein bei Düsseldorf (1958–2008).

im Sommer laufen Abbaureaktionen aufgrund der höheren Wassertemperatur schneller ab. Weiterhin sind in der näheren Umgebung größerer Einleitungen, z. B. von Kläranlagenabläufen, höhere Tensidkonzentrationen zu erwarten. Auch innerhalb eines Tages- und Wochenverlaufs kommt es, je nach den Wasch- und Reinigungsgewohnheiten der Anwohner, zu Schwankungen in der Tensidfracht, die in modernen Kläranlagen aber praktisch keine Auswirkung auf die Konzentrationen im Ablauf haben.

- Ein gewisser Anteil der im Vorfluter vorhandenen Tenside wird auch an Schwebstoffe gebunden und kann dann am Gewässergrund sedimentieren. Dort werden sie entsprechend ihren aeroben bzw. anaeroben Abbaueigenschaften weiter abgebaut. LAS lässt sich in geringer Konzentration aufgrund seines fehlenden anaeroben Abbaus in anaeroben Sedimenten von Gewässern nachweisen.

Nichtionische Tenside

- Bei der Bestimmung nichtionischer Tenside nach der BiAS-Methode ist der Anteil der Störsubstanzen schwer abzuschätzen, aber auch die BiAS-Werte stellen ähnlich wie die MBAS-Werte eher Maximalwerte der n-Tensidkonzentrationen dar.
- Die mittlere Konzentration (Median) der nichtionischen Tenside im Rhein lag im Zeitraum 2005–2007 bei 0,01 mg/L (gemessen als BiAS) [5]. Während die Konzentration in kleineren Fließgewässern punktuell auch deutlich darüber liegen kann, liegen die Niotensidkonzentrationen nicht selten unterhalb der Nachweisgrenze von 0,001 mg/L.
- Mit chromatographischen Verfahren lassen sich die Fettalkoholethoxylate (FAEO) in Gewässern nachweisen. Auch Alkylphenolethoxylate (APEO) und das Abbauprodukt Alkylphenol wurden 1995 noch in deutschen Gewässern gefunden. Aufgrund einer Selbstverpflichtung der deutschen Waschmittel- und Tensidhersteller sind APEO seit 1986 nicht mehr im Einsatz. Seit 2003 dürfen sie EU-weit nicht mehr in Waschmitteln eingesetzt werden. Ursache für die Alkylphenol-Funde in späteren Jahren dürften vorwiegend andere Anwendungen von APEO bzw. Alkylphenol gewesen sein.

Kationentenside

- Die Konzentration der kationischen Tenside in Abwässern und Gewässern lässt sich nur schwer angeben, da sie stark an Oberflächen adsorbiert werden und daher überwiegend an Schwebstoffe gebunden auftreten. Die Belastung der Schwebstoffe mit dem nur langsam abbaubaren Kationensid Distearyl-dimethylammoniumchlorid (DSDMAC) war 1989 mit bis zu 300 mg/kg erheblich. Die in Wasser gelösten Kationensidkonzentrationen lagen im Bereich von 0,01 mg/L. DSDMAC ist seit 1991 durch biologisch leicht abbaubare Kationentenside (Esterquats) ersetzt worden, die aufgrund ihrer leichten Hydrolysierbarkeit in Gewässern und Sedimenten nicht gefunden werden.

Amphotenside

- Zu den Konzentrationen amphoterer Tenside im Abwasser und in Gewässern gibt es keine konkreten Messdaten. Aufgrund der insgesamt geringen Einsatzmengen und der guten biologischen Abbaubarkeit wurde die Entwicklung spezifischer und hinreichend empfindlicher Analysemethoden für diese chemisch heterogenen Tenside bisher nicht als prioritär angesehen.

9.3.2

Tenside im Klärschlamm und Boden

Bei analytischen Untersuchungen können sowohl im ausgefaulten Klärschlamm als auch teilweise in landwirtschaftlich genutzten Böden Tenside nachgewiesen werden. Auch in Sedimenten von Flüssen werden Tensidspuren gefunden. Die Ursache für die erstaunlich hohe Konzentrationen von LAS im Faulschlamm ($< 1000\text{--}30.000\text{ mg/kg}$ Trockengewicht) ist die fehlende biologische Abbaubarkeit dieses Tensids bei Abwesenheit von Sauerstoff (anaerobe Bedingungen). Etwa 10–30 % des im Abwasser befindlichen LAS werden in der mechanischen Kläranlagenstufe am Klärschlamm adsorbiert und so einem Abbau in der aeroben biologischen Reinigungsstufe entzogen. Unter den sauerstoffarmen Bedingungen im Faulturm wird LAS dann biologisch nicht weiter abgebaut.

Da Klärschlamm zum Teil – in Deutschland mit deutlich abnehmender Tendenz – als Dünger auf landwirtschaftlich genutzte Böden aufgebracht wird, ist LAS auch im Boden nachweisbar, allerdings durch den Verdünnungseffekt und die aerobe Abbaubarkeit in nur sehr geringen Konzentrationen ($< 1\text{--}20\text{ mg/kg}$ Trockengewicht).

Auch Fettalkoholethoxylate (FAEO) werden ähnlich wie LAS an Klärschlamm adsorbiert. Im Unterschied zu LAS wird aber der größte Teil (über 80 %) während der Schlammfäulung anaerob biologisch abgebaut. Die durchschnittliche Belastung des ausgefaulten Schlammes mit FAEO liegt typischerweise unter 500 mg/kg Trockenmasse [6]. Die Konzentrationen von FAEO in mit Klärschlamm gedüngten Ackerböden sind dementsprechend deutlich geringer als bei LAS.

9.4

Biologische Abbaubarkeit von Tensiden

Die biologische Abbaubarkeit ist ein entscheidendes Kriterium für die Umweltverträglichkeit von Tensiden. Eine gute biologische Abbaubarkeit ist die notwendige Voraussetzung dafür, dass Tenside in Kläranlagen nachhaltig eliminiert werden und damit die in die Umwelt gelangenden Mengen dieser Substanzen nur noch sehr gering sind. Dies ist wichtig, da Tenside giftig auf Gewässerorganismen wirken und schon relativ geringe Konzentrationen eine Schädigung hervorrufen können. Weiterhin ist die gute biologische Abbaubarkeit eine wichtige Voraussetzung, dass sich Tenside nicht in der Umwelt oder in Nahrungsketten anreichern. Deshalb sollten Waschmittel auch nicht direkt oder indirekt über Regenwassergullys in die Gewässer gelangen.

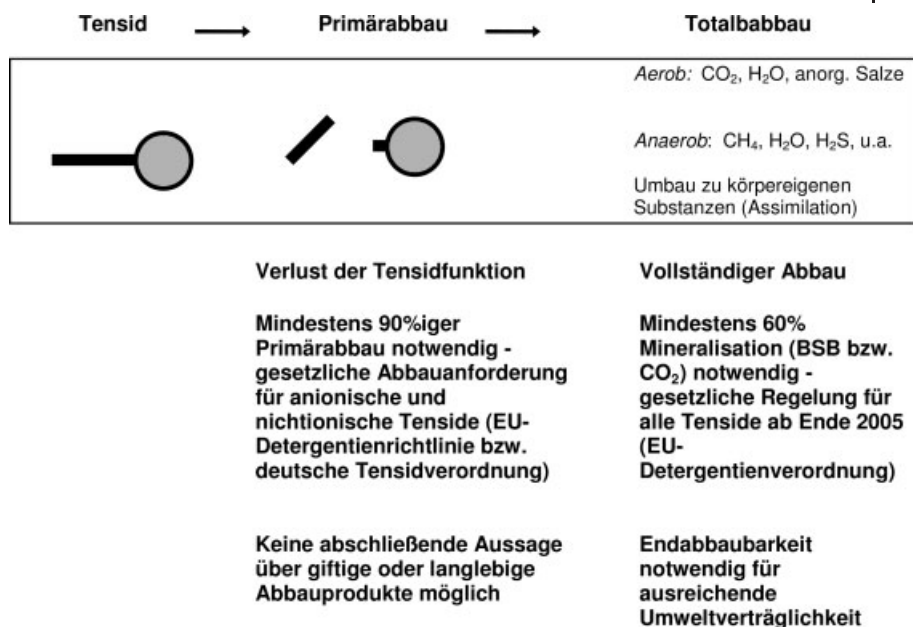


Abb. 9.10 Biologischer Abbau von Tensiden im Überblick.

Schon seit fast einem halben Jahrhundert müssen in der Bundesrepublik Deutschland alle in Wasch- und Reinigungsmitteln eingesetzten anionischen und nichtionischen Tenside biologisch abbaubar sein. Dies wurde Anfang der 1980er Jahre EU-weit gesetzlich geregelt (s. Anhang 3) und war Folge der Erfahrungen mit schwer abbaubaren Tensiden (Tetrapropylbenzolsulfonat) Ende der fünfziger Jahre.

Zum Verständnis des Begriffs „biologisch abbaubar“ ist im Zusammenhang mit Tensiden zwischen Primärabbau und Total- oder Endabbau zu unterscheiden (s. Abb. 9.10).

In der bis Mitte 2004 gültigen Fassung der EU-Detergentienrichtlinie und darauf basierenden nationalen Gesetzgebungen, wie z. B. der deutschen Tensidverordnung, war festgelegt, dass nur solche anionischen und nichtionischen Tenside in Wasch- und Reinigungsmitteln eingesetzt werden dürfen, deren Abbauraten unter Standardtestbedingungen mindestens 90 % ist. Gleichzeitig wurden in dieser Richtlinie bzw. den nationalen Verordnungen zwei Prüfverfahren, der Auswahltest (OECD-Screening-Test) und der Bestätigungstest (OECD-Confirmatory-Test) beschrieben, nach denen die biologische Abbaubarkeit einheitlich und reproduzierbar bestimmt werden kann. Die vom Einsatzvolumen deutlich kleineren Tensidgruppen, die kationischen und amphoteren Tenside, unterlagen bis zu diesem Zeitpunkt noch keiner gesetzlichen Regelung.

Die früheren gesetzlichen Regelungen zur Abbaubarkeit von Tensiden bezogen sich nur auf den Primärabbau von anionischen und nichtionischen Tensiden. Mit

der Implementierung der EU-Detergentienverordnung (Detergent Regulation, EC 648/2004, nachfolgend ergänzt durch EC 907/2006) im Jahre 2004 wurden die Mindestanforderungen zur Abbaubarkeit von Tensiden auf alle Tensidgruppen, also auch auf kationische und amphotere Tenside, erweitert sowie die Abbaukriterien neu festgelegt. Anstelle der Primärabbaubarkeitsanforderungen müssen Tenside nun die Endabbau-Grenzwerte erreichen, die nach den Richtlinien der OECD eine Klassifizierung als „leicht abbaubar“ erlauben: je nach Testmethode entspricht dies einer Endabbaurate (s. Kap. 9.4.3) von mindestens 60 % bzw. 70 %. Tenside mit guter Totalabbaubarkeit sind verständlicherweise auch gut primärabbaubar, während der Umkehrschluss nicht in allen Fällen zutrifft. Die früher häufig anzutreffende Angabe „Tensid zu 90 % biologisch abbaubar“ sagte demnach nur aus: Nach einer gesetzlich festgelegten Standardmessmethode wird im Labor innerhalb der festgelegten Testdauer eine 90%ige Abnahme des Tensids gemessen.

Die Kenntnis der biologischen Primärabbaubarkeit erlaubte aber noch keine abschließende Aussage über den langfristigen Verbleib von Tensiden und ihrer Abbauprodukte in der Umwelt. Hierzu sind die Anwendung von Endabbau-Kriterien und in bestimmten Fällen weitaus detailliertere Untersuchungen notwendig. Nachfolgend wird versucht, Abbauewege und Abbaumechanismen von Tensiden beispielhaft zu beschreiben.

9.4.2

Der Primärabbau von Tensiden

Schon im häuslichen Abwasser, wo Sauerstoff und Mikroorganismen meist in ausreichendem Maße vorhanden sind, werden biologisch leicht abbaubare Tenside zu einem nennenswerten Teil chemisch verändert, bevor sie die Kläranlage erreichen.

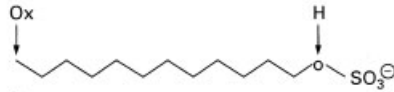
Für wichtige Tensidgruppen (LAS, FAEO, FAES, Seife) durchgeführte Messungen führten zu der Schlussfolgerung, dass in der Kanalisation bereits eine Reduktion der Tensidkonzentration um bis zu 30 % erfolgt [7]. Obwohl ein gewisser Anteil davon chemisch unverändert an Schlamm und Sedimenten adsorbiert oder als schwerlösliches Salz ausgefällt sein wird, kann davon ausgegangen werden, dass ein nennenswerter Prozentsatz der Tenside schon vor Erreichen der Kläranlage primär-abgebaut wurde.

Bei den meisten Tensiden führen schon die ersten Abbauschritte zum Verlust der Grenzflächenaktivität, wobei die wesentlichen Strukturelemente der Verbindungen meist noch erhalten bleiben (Abb. 9.11). Die wichtigsten enzymatisch katalysierten Reaktionen des Primärabbaus sind die Hydrolyse einer Ether- oder Esterfunktion und die Oxidation einer endständigen Methylgruppe (ω -Oxidation).

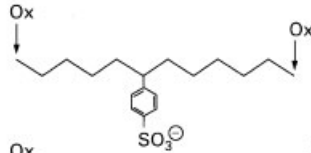
Da die hohe Gewässertoxizität der Tenside mit deren Grenzflächenaktivität im Zusammenhang steht, hat der Primärabbau für die Umweltverträglichkeit eine große Bedeutung. Entscheidend ist aber, dass die im Zuge des Abbauprozesses gebildeten Zwischenprodukte (Metaboliten) weder schwer abbaubar noch vergleichbar toxisch oder toxischer als das Ausgangsprodukt sind.

Aniontenside

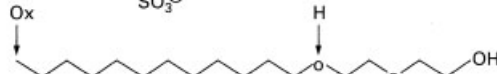
Fettalkoholsulfat (FAS)



lineares Alkylbenzolsulfonat (LAS)

**Niotenside**

Fettalkoholethoxylat (FAEO)



Alkylphenoethoxylat (APEO)

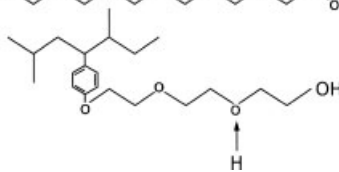


Abb. 9.11 Primärabbaureaktionen von Tensiden. Der Pfeil bezeichnet die Angriffspunkte enzymatischer Abbaureaktionen. Ox = Oxidationsreaktion, H = Hydrolysereaktion.

9.4.3

Der Totalabbau von Tensiden

Die ökologische Absicherung von Tensiden umfasst idealerweise auch die Aufklärung der Abbauewege unter realen Umweltbedingungen und eine Charakterisierung/Identifizierung der Abbauzwischenprodukte.

Fragestellungen dieser Art gehören zu den aufwendigsten Untersuchungen für Analytiker, denn technische Tenside sind keine reinen Substanzen, sondern von Natur aus Stoffgemische aus homologen bzw. isomeren Einzelsubstanzen. Weiterhin reichern sie sich bevorzugt an Grenzflächen (Wasser/Feststoff, Wasser/Gasphase) an, was die Untersuchung zusätzlich erschwert. Es müssen unbekannte Zwischenprodukte in zum Teil sehr geringer Konzentration nebeneinander analysiert werden. Welche Substanzen bzw. Substanzklassen bei diesen Abbauprozessen auftreten können, ist nicht immer von vornherein abzusehen.

Dennoch wurden mit dem Instrumentarium der modernen Analytik erhebliche Fortschritte erzielt:

- Chromatographische Methoden (Dünnschichtchromatographie DC, Gaschromatographie GC, Hochleistungsflüssigchromatographie HPLC),
- Massenspektrometrische Untersuchungsmethoden (MS),
- Methoden unter Zuhilfenahme der radioaktiven Markierung (z. B. ^{14}C),
- Anreicherungsschritte und kombinierte Verfahren (z. B. GC/MS und HPLC/MS).

Die geeignete Anwendung der genannten Verfahren erlaubt die Aufklärung von Zwischenprodukten und Abbauewegen unter Laborbedingungen. Im Freilandver-

sich lassen sich Abbauewege nur unvollständig aufklären, da z. B. in einem Gewässer zu viele Substanzen vorhanden sind, deren Herkunft unklar ist und die eine Untersuchung stören könnten. Die Abbildungen 9.12 bis 9.14 zeigen die Abbauewege wichtiger anionischer und nichtionischer Tenside nach heutigem Kenntnisstand.

Bei dem linearen Alkylbenzolsulfonat (LAS) wird im ersten Reaktionsschritt die endständige Methylgruppe der linearen Alkylkette zur Carbonsäure oxidiert

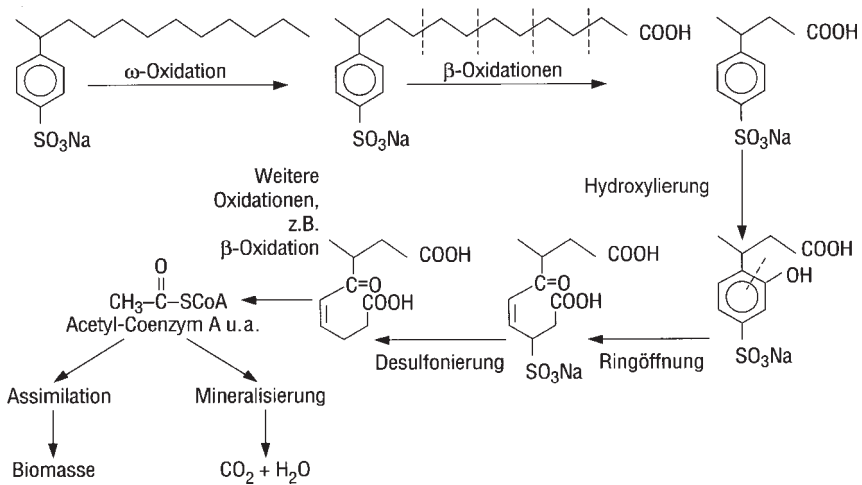


Abb. 9.12 Hauptabbaueweg von linearen Alkylbenzolsulfonaten (LAS).

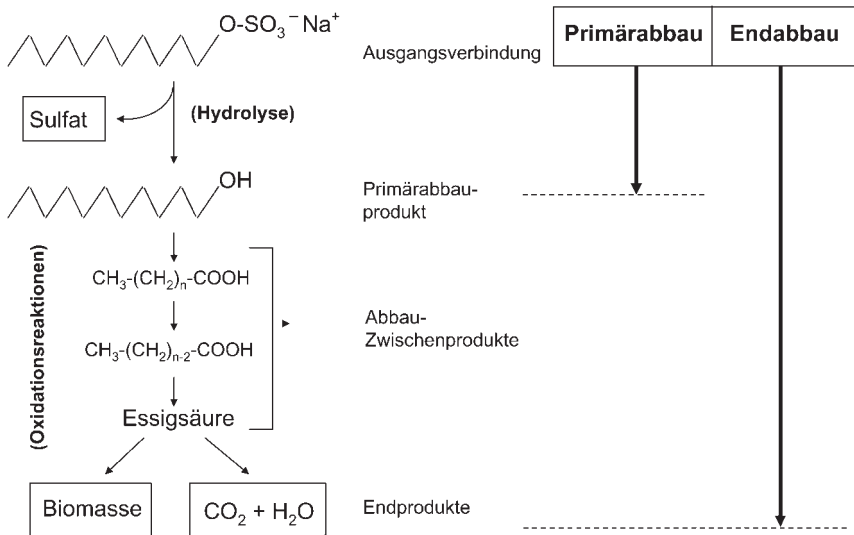


Abb. 9.13 Abbaueweg von Fettsäuresulfaten (FAS).

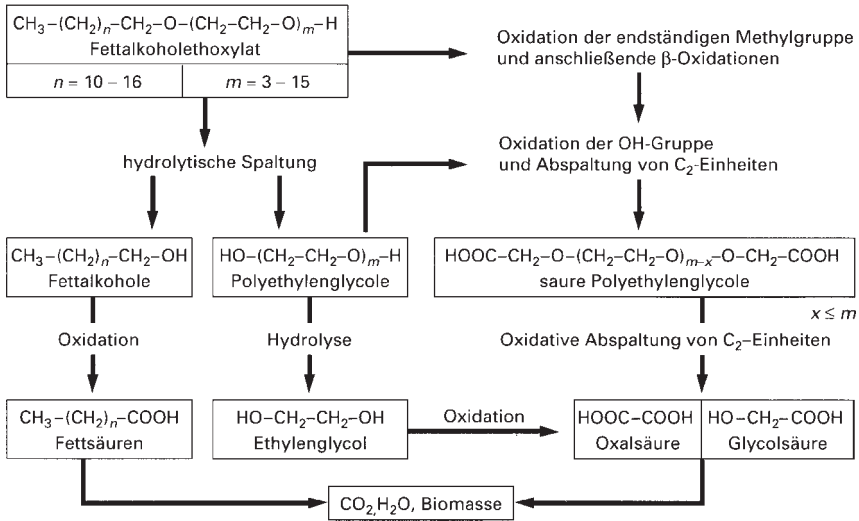


Abb. 9.14 Abbauege und Metaboliten von Fettalkoholethoxylaten (FAEO).

(ω -Oxidation). Die Abbaugeschwindigkeit der verschiedenen Isomere im LAS ist dabei sehr unterschiedlich. Je weiter der Benzolring von der Methylgruppe entfernt ist, desto schneller erfolgt der Oxidationsschritt. Der anschließende Abbau der Kohlenstoffkette geschieht mit Hilfe der Enzyme des Fettsäureabbaus (β -Oxidation) (Abb. 9.15). Bis zur Verzweigung der Alkylkette werden C_2 -Einheiten abgespalten. Die C_2 -Einheiten werden dabei als Acetylrest an Coenzym A gebunden und in weitergehenden Reaktionsschritten zu Kohlenstoffdioxid und Wasser oxidiert oder zum Aufbau körpereigener Substanzen genutzt. Dieser Reaktionsverlauf führt zur Bildung von Sulfophenylcarboxylaten, die in geringer Konzentra-

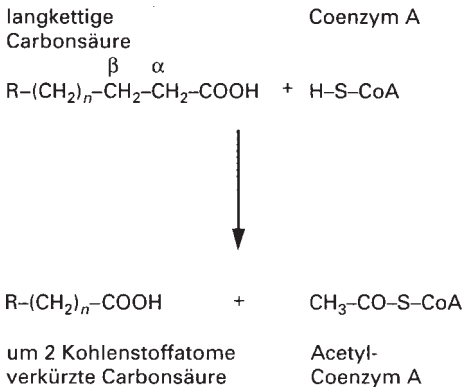


Abb. 9.15 Prinzip der β -Oxidation.

tion in Oberflächengewässern nachgewiesen werden können, aber eine weit geringere aquatische Toxizität als LAS aufweisen.

Im nächsten Schritt wird der Benzolring hydroxyliert und in einer anschließenden Reaktion oxidativ gespalten [8]. Die Sulfonat-Gruppe wird nach heutigem Kenntnisstand erst nach der Ringöffnung abgespalten. Dabei entsteht ein relativ einfaches Kohlenstoffgerüst, welches durch verschiedene Oxidationsreaktionen vollständig zu Kohlenstoffdioxid und Wasser abgebaut wird (Abb. 9.12).

Der Abbauweg von *Fettalkoholsulfaten* (FAS) (Abb. 9.13) ist wesentlich einfacher als der von LAS. Im ersten Schritt wird der Schwefelsäureester hydrolytisch gespalten. Die entstandenen Fettalkohole werden zu Fettsäuren oxidiert, die anschließend durch β -Oxidation sehr schnell vollständig abgebaut werden [8].

Der Abbau von *Fettalkoholethoxylaten* ist komplex, doch heute gut geklärt. Es laufen zwei Reaktionswege parallel ab (Abb. 9.14). Einerseits wird die endständige Methylgruppe der hydrophoben Alkylkette zur Carbonsäure oxidiert, parallel dazu ist aber auch eine Abspaltung der Polyethylenglycolkette unter Bildung von Fettalkoholen beobachtet worden. Die Polyethylenglycole werden anschließend unter Abspaltung von C_2 -Einheiten oxidativ abgebaut [9]. Sämtliche auftretenden Zwischenprodukte sind nach heutigem Kenntnisstand leicht abbaubar.

In der Literatur sind nur wenig spezifische Untersuchungen über den biologischen Abbau von *Seifen* zu finden [8]. Beim Gebrauch, spätestens jedoch im Abwasser, bilden Seifen mit Calcium-Ionen schwerlösliche Kalkseifen. Soweit die Seifen in löslicher Form vorliegen, auch Kalkseifen sind in geringem Maße wasserlöslich, werden Seifen als Salze von Fettsäuren schnell durch β -Oxidation abgebaut. Kalkseifen werden aufgrund der verminderten Bioverfügbarkeit langsamer abgebaut. In Kläranlagen gelangen sie daher zum großen Teil in den Klärschlamm und dann in die Faultürme, wo sie einem anaeroben Abbau (Methanbildung) unterliegen; dennoch lassen sie sich noch in signifikanten Konzentrationen im Faulschlamm nachweisen.

Die hier vorgestellten Abbaewege verschiedener prominenter Tenside verlaufen so in erster Linie unter aeroben Bedingungen, also in Gegenwart ausreichender Mengen Sauerstoff. Unter Sauerstoffmangel, also anaeroben Bedingungen, können nur solche Abbaumechanismen wirksam werden, die keine oxidativen, von der Gegenwart von molekularem Sauerstoff abhängige Enzymreaktionen einschließen (z. B. ω -Oxidation). Dies ist der Grund, warum bei LAS unter anaeroben Bedingungen der primäre Abbauschritt nicht erfolgen kann.

Das Abbauverhalten unter anaeroben Bedingungen ist bei Tensiden erst relativ spät umfassender untersucht worden. Es hat sich herausgestellt, dass die Unterschiede in der biologischen Abbaubarkeit zwischen den einzelnen in Waschmitteln eingesetzten Tensiden unter Sauerstoffmangel wesentlich größer sind, als unter aeroben Bedingungen. So verändern sich z. B. lineare Alkylbenzolsulfonate unter anaeroben Verhältnissen nicht, während Fettalkoholsulfate, Fettalkoholethoxylate und Seifen auch in diesem Fall biologisch leicht abbaubar sind.

9.4.4

Vergleich der biologischen Abbaubarkeit wichtiger Tenside

Abbildung 9.16 stellt Messergebnisse zur biologischen Primär- und Endabbaubarkeit wichtiger Waschmitteltenside gegenüber, die nach den im Anhang beschriebenen Testverfahren ermittelt wurden. Es sind gemittelte Werte angegeben, da sämtliche Messergebnisse zwangsläufig einer gewissen biologischen Streuung unterliegen.

Alle heute in Wasch- und Reinigungsmitteln eingesetzten Tenside zeigen in den Standard-Testverfahren eine sehr gute biologische Primärabbaubarkeit von mehr als 95 % [1]. Zum Vergleich wird das Abbauverhalten von einem biologisch schwer abbaubaren Tensid, dem Tetrapropylenbenzolsulfonat (TPS) gezeigt. Deutlichere Unterschiede gibt es bei den einzelnen Tensiden im Totalabbau. LAS zeigt im Vergleich zu anderen Waschmitteltensiden im besonders streng bewertenden GF-Test (Geschlossener Flaschen-Test) eine etwas geringere Abbaugeschwindigkeit.

Der biologische Abbau kationischer Tenside lässt sich mit den üblichen Testmethoden nur bedingt prüfen. Besonders das in der Vergangenheit für Weichspüler

Tenside	Primärabbau in %		Endabbau in %	
	Auswahltest (OECD-Screening-Test)	Bestätigungs- test (OECD Confirmatory- Test)	Ready Biodegradability Tests (OECD 301)	Coupled- Units-Test (OECD 303 A) DOC- Abnahme
Anionische Tenside				
TPS	10-50	20-45	< 10 BSB/CSB	41
LAS	95	93-97	73-84 DOC	73-82
FAS	99	98-99	85-88 DOC	96
FAES	99	100	100 DOC	89
SAS	96	97-98	88-96 DOC	83-96
Nichtionische Tenside				
FAEO	99	98	77 BSB/CSB	90
APG	-	99	73-88 BSB/CSB	89
Kationische Tenside				
DSDMAC	-	94	< 5 BSB/CSB	100
Esterquats		93	67-88 BSB/CSB	89

Abb. 9.16 Testdaten zur biologischen Abbaubarkeit technisch wichtiger Tenside.

wichtige Distearyl dimethylammoniumchlorid (DSDMAC) ist schwer wasserlöslich und wird sehr stark an festen Oberflächen adsorbiert. Bei den als Nachfolgesubstanzen für DSDMAC eingesetzten Esterquats ist eine gute Abbaubarkeit sowohl unter aeroben wie unter anaeroben Bedingungen sichergestellt.

Zur Abbaubarkeit von Tensiden unter anaeroben Bedingungen gibt es umfangreiche neuere Informationen [6]. Danach lässt sich folgende Klassifizierung vornehmen.

Unter anaeroben Bedingungen gut abbaubar:

Seifen

Fettalkoholsulfate (FAS)

Fettalkoholethersulfate (FAES)

Fettalkoholethoxylate (FAEO)

Alkylpolyglucoside (APG)

Alkylethanolamide

Aminoxide

Alkylethanolamide

Esterquats (EQ)

Alkylamidobetaine

Alkylamphoacetate

Unter anaeroben Bedingungen nur teilweise abbaubar:

Alkylphenoethoxylate

Unter anaeroben Bedingungen schlecht abbaubar:

lineare Alkylbenzolsulfonate (LAS)

sekundäre Alkylsulfonate (SAS)

Methylestersulfonate

Distearyl dimethylammoniumchlorid (DSDMAC).

Kann in standardisierten Testverfahren die gute biologische Abbaubarkeit eines Tensids nachgewiesen werden, so lassen sich daraus auch Schlussfolgerungen auf das Verhalten in der Umwelt ziehen. Umfangreiche Studien zu diesem Thema zeigten, dass bei den wichtigsten Waschmitteltensiden (LAS, Alkoholethoxylate, Ethersulfate, Alkylsulfate, Seife) eine Abnahme von über 99 % auf dem Weg vom Haushalt über die Kläranlage in das Oberflächengewässer stattfindet, d. h. nur ein sehr geringer prozentualer Anteil der ursprünglich verwendeten Tensidmengen gelangt tatsächlich als intakte Moleküle in die Umwelt – vorausgesetzt, es ist eine funktionierende Kläranlage mit biologischer Reinigungsstufe vorhanden. In fließenden Gewässern beträgt die Halbwertszeit dieser Tenside wenige Stunden [10].

9.5

Wirkung von Tensiden auf Gewässerorganismen (aquatische Toxizität)

Während Tenside auf Säugetiere nur wenig giftig wirken, entfalten sie eine hohe Toxizität im Gewässer („aquatische Toxizität“). Sie sind in hohem Maße giftig für Fische und andere Gewässerorganismen. Aufgrund ihrer Grenzflächenaktivität können sie biologische Membranen wie z. B. die für die Atmung wichtigen empfindlichen Kiemenblättchen der Fische schädigen. Liegen Tenside in ausreichend hoher Konzentration vor, erhöhen sie die Zelldurchlässigkeit für andere Stoffe, z. B. Schwermetalle oder Pestizide, und können auch die Enzymaktivität in biologischen Zellen beeinflussen und dadurch Stoffwechselstörungen hervorrufen. Dies hat zur Folge, dass selbst bei den biologisch gut abbaubaren Tensiden grundsätzlich Wirkungen an Wasserorganismen in Betracht gezogen werden müssen.

Zur Bewertung der aquatischen Toxizität eines Tensids müssen die akute Toxizität und die chronische/subchronische Toxizität gleichermaßen berücksichtigt werden. Erstere umfasst kurzfristig wirksame ökotoxische Effekte, während die chronische/subchronische Toxizität längerfristige Wirkungen beschreibt, die bei Prüfung des Testorganismus über seinen gesamten Lebenszyklus bzw. während eines Teils des Lebenszyklus ermittelt werden.

9.5.1

Die akute Toxizität

Als Parameter zur quantitativen Beschreibung der akuten aquatischen Toxizität dient die letale Konzentration (LC) bzw. die Effektkonzentration (EC), die folgendermaßen definiert sind:

LC₀, LC₅₀, LC₁₀₀ bzw. EC₀, EC₅₀, EC₁₀₀: Jeweilige Konzentration, bei der gerade 0 %, 50 % bzw. 100 % der untersuchten Individuen (Fische) sterben (LC), bzw. bestimmte Effekte, z. B. Hemmung der Zellvermehrung (Algen), Beeinträchtigung der Schwimmfähigkeit (Daphnien), aufweisen (EC).

Die akute Toxizität wird üblicherweise mit dem LC/EC₅₀-Wert angegeben, der rechnerisch aus den experimentell ermittelten EC/LC₀- und EC/LC₁₀₀-Werten abgeleitet wird. Die Effektkonzentration ist innerhalb gewisser Grenzen von der Testdauer abhängig, so dass diese immer mit angegeben werden muss. Als Standard-Bemessungszeitraum gelten je nach Testart und Testorganismus 48 h (Daphnien), 72 h (Algen) bzw. 96 h (Fische).

Fische dienten früher in der Beurteilung der Toxizität als Leitorganismen, weil Fische eine besondere Bedeutung als Nahrungsquelle haben, sie in der Regel besonders empfindlich auf Tenside reagieren und Schädigungen des Fischbestandes optisch am deutlichsten wahrgenommen werden. Es muss hier aber betont werden, dass für ein intaktes Ökosystem jede im Gewässer lebende Organismenart – hierzu zählen Vertreter der unteren trophischen Ebenen, z. B. Bakterien, Algen, Plankton, und der höheren Repräsentanten der aquatischen Biozönose gleichermaßen – bedeutungsvoll ist und nicht gefährdet werden darf. In der Pra-

xis ist aber eine Untersuchung aller Arten in Labortests nicht möglich, so dass nur ausgewählte Vertreter aus verschiedenen biozönotischen Stufen untersucht werden. Als repräsentative Standard-Testorganismen zur Beurteilung der Toxizität von chemischen Verbindungen generell dienen heute neben den Fischen Wasserflöhe (Daphnien) und Grünalgen [11].

Die in Waschmitteln gebräuchlichen Tenside zeigen in der Regel eine akute aquatische Toxizität (LC_{50}) im Bereich von 1–10 mg/L (Abb. 9.17) [1]. Seife weist mit einer letalen Konzentration von $LC_{50} = 6,7$ mg/L eine ähnlich hohe Toxizität wie andere Aniontenside auf, allerdings nur bei einer Wasserhärte von 0 °d. In Anwesenheit von Erdalkali-Ionen – das ist in Oberflächengewässern immer der Fall – bildet sich Kalkseife, die wasserunlöslich und daher wenig toxisch ist.

9.5.2

Die Langzeit-Toxizität

Die Kenntnis der chronischen und subchronischen Toxizität, also der ökotoxischen Wirkung von Tensiden über längere Zeiträume, bildet für die Umwelttriskobewertung dieser Substanzen eine aussagefähigere Grundlage als die Daten zur akuten Toxizität. Die entscheidende Frage dabei ist, welche Konzentration eines Tensids im Gewässer noch als unkritisch angesehen werden kann.

Zur quantitativen Beschreibung der Langzeit-Toxizität dient der Begriff *NOEC* (*No Observed Effect Concentration*), d.h. die höchste Prüfkonzentration, bei der noch keinerlei Effekte im Vergleich zu einem Kontroll-Testansatz (ohne Testsubstanz) zu beobachten ist.

Die mit der NOEC charakterisierten Effekte beziehen sich auf besonders empfindliche Prozesse wie Wachstum, Reife und Reproduktion der Testorganismen (Standard: Algen, Daphnien, Fische). Für alle wichtigen in Waschmitteln eingesetzten Tensidgruppen stehen heute umfangreiche Informationen zur Langzeit-Toxizität zur Verfügung [12], während bei mengenmäßig kleineren Tensidgruppen solche auf z. T. recht aufwändigen subchronischen bzw. chronischen Tests basierenden Daten noch Lücken aufweisen.

Laboruntersuchungen an Miniatur- Lebensgemeinschaften (Microcosmos- bzw. Mesocosmos-Tests) erbrachten eine hervorragende Ergänzung zu den Daten aus Standard-Langzeituntersuchungen an einzelnen Arten. Nach einer mehrwöchigen Einwirkungszeit eines Tensides wurde die aus mehreren Arten von Algen, Protozoen und Rädertierchen bestehende Biozönose auf Veränderungen der Individuenzahl und Artenzusammensetzung hin ausgewertet. Es wurde die Konzentration ermittelt, die gerade keine Störung der Biozönose mehr verursacht. Die erhaltenen biozönotischen NOEC-Werte zeigten eine ausreichende Übereinstimmung mit NOEC-Daten der jeweils in Standardtests ermittelten empfindlichsten Organismenart (Abb. 9.17) [13].

Durch Anwendung von Sicherheitsfaktoren lässt sich aus der in Labortests ermittelten EC/LC_{50} bzw. NOEC die Konzentration prognostizieren, unterhalb der in der realen aquatischen Umwelt keine negativen Effekte auf die Gewässerorga-

Tenside	Akute Toxizität (EC/LC 50)			Chronische Toxizität (NOEC)
	Fische	Wasserflöhe	Algen	Wasserflöhe (Reproduktionstest)
Anionische Tenside				
LAS	2,9	4 - 6	7,3	1,4
FAS	5,2	280	30	16,5
FES	7,9	79	1,8	0,7
SAS	5	7,5	8,7	0,6
Seife	46	25	10	10
Nichtionische Tenside				
FAEO	1,7	2,7	0,9	0,38
APG	3	7	12	1
Kationische Tenside				
Esterquats	3	78	1,8	2,7

Abb. 9.17 Daten zur Toxizität ausgewählter Tenside (Gerundete Werte. Alle Angaben in mg/L).

nismen zu erwarten ist. Diese Konzentration wird *PNEC* (*Predicted No Effect Concentration*) genannt. In Abhängigkeit von der Art und der Anzahl der ökotoxikologischen Testdaten werden unterschiedliche Sicherheitsfaktoren angewendet, um beispielsweise von der LC/EC₅₀ (Sicherheitsfaktor 1000) bzw. NOEC (Sicherheitsfaktor 10–50) zu der PNEC zu gelangen.

Zwar sind Wechselwirkungen von Tensiden mit anderen im Wasser vorkommenden Schadstoffen, z. B. Schwermetallen, Pestiziden oder polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen prinzipiell denkbar, doch deuten die wenigen systematischen Untersuchungen hierzu eher auf eine additive Wirkung der Schadstoffkomponenten als auf synergistische Effekte hin.

Die besondere Problematik von Alkylphenolethoxylaten (APEO), deren Abbauprodukte – im Gegensatz zu den übrigen Tensiden – ökotoxischer sind als das ursprüngliche Tensid, wird im Info-Kasten in Kapitel 9.6 dargestellt.

9.6

Ökologische Bewertung wichtiger Tenside

Zur Beurteilung der Auswirkungen von Tensiden in der Umwelt, also für eine ökologische Risikobewertung, müssen die Informationen zum Verbleib in der Umwelt (insbesondere zur biologischen Abbaubarkeit), zur Ökotoxizität und die Verbrauchsmengen miteinander in Beziehung gesetzt werden. Je geringer die durch Einsatzmenge und biologische Abbaubarkeit maßgeblich beeinflussten Umweltkonzentrationen sind, desto geringer ist der ökotoxische Einfluss der Tenside in der Umwelt. Den Tensiden mit den größten Verbrauchszahlen ist daher die größte Aufmerksamkeit zu schenken. Eine weitergehende Betrachtung der Umweltverträglichkeit von Tensiden bezieht zusätzlich noch Ökobilanzen mit ein, d.h. die Analyse des gesamten Lebensweges eines Tensids unter ökologischen Gesichtspunkten von der Herstellung über die Nutzung bis hin zur Entsorgung. Diesem Aspekt ist ein eigenes Kapitel (Kap. 10) gewidmet.

Zum Prozess der Risikobewertung von Chemikalien im Allgemeinen, dem auch die Waschmittelinhaltsstoffe unterliegen, stehen seit Mitte der 1990er Jahre in der EU verbindliche Leitlinien (EU Technical Guidance Document)

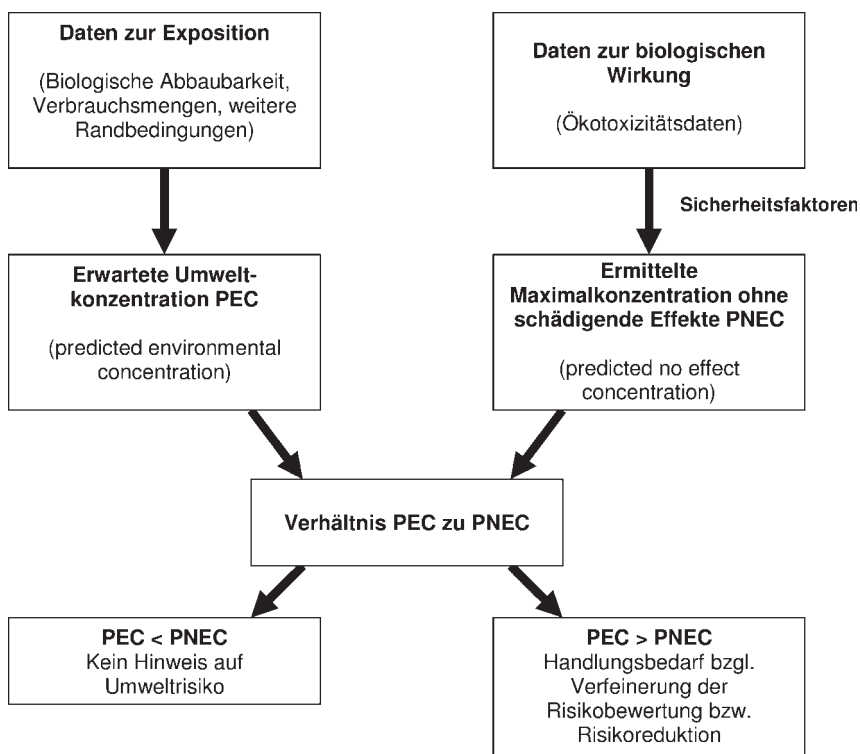


Abb. 9.18 Prozess der Umweltrisikobewertung von Chemikalien nach EU-Standard.

[14] zur Verfügung (Abb. 9.18), die sich im Wesentlichen auch in der neuen EU-Chemikaliengesetzgebung (REACH) so wiederfinden. Dieses international verwendete Konzept zur Risikobewertung von Umweltchemikalien beruht auf folgenden Grundlagen:

- *Abschätzung der zu erwartenden Konzentration einer Chemikalie in der Umwelt unter konservativen Randbedingungen („realistic worst case“).* Diese Konzentration wird als *PEC (Predicted Environmental Concentration)* bezeichnet. Die Ermittlung dieser Konzentration berücksichtigt neben den Verbrauchsmengen die biologische Abbaubarkeit, Verdünnungseffekte, Expositions-relevante physikochemische Parameter (z. B. Flüchtigkeit, Adsorptionsfähigkeit an Oberflächen) sowie weitere relevante Randbedingungen.
- *Abschätzung der Konzentration, unterhalb derer in der Umwelt keine schädigenden Effekte mehr zu erwarten sind (PNEC = Predicted No Effect Concentration, vgl. Kap. 9.5).* Zur Ableitung der PNEC werden als Basis akute Toxizitätsdaten und – soweit vorhanden – Ergebnisse aus Laboruntersuchungen zur Langzeit-Toxizität (NOEC); aber auch Freilanduntersuchungen herangezogen.
- *Ergibt sich aus den erhaltenen Informationen, dass die in der Umwelt zu erwartende Konzentration (PEC) unterhalb der ermittelten PNEC liegt, ($PEC < PNEC$), so besteht für die Chemikalie kein Hinweis auf ein Umweltisiko.*

Neben der Belastung der Oberflächengewässer mit Tensiden kommt der Frage nach dem ökologischen Verhalten von Tensiden im Klärschlamm und Boden eine große Bedeutung zu. Durch umfangreiche Untersuchungen und der darauf basierenden Umweltrisikoaanalyse in Böden wurde belegt, dass der Einsatz von LAS in Waschmitteln trotz der fehlenden anaeroben Abbaubarkeit kein Risiko für die terrestrische Umwelt darstellt [12]. Grundsätzlich ist eine gute anaerobe Abbaubarkeit von Tensiden als ökologisch vorteilhaft anzusehen. Bei aerob leicht abbaubaren Tensiden ist aber eine fehlende anaerobe Abbaubarkeit von geringerer Bedeutung, da diese Verbindungen immer wieder in aerobe Umweltbereiche gelangen und dort schnell abgebaut werden können [15]. Die besondere Problematik der Alkylphenoethoxylate ist im Info-Kasten (s. u.) dargestellt.

Für alle wichtigen, in Europa in Wasch- und Reinigungsmitteln verwendeten Tenside (LAS, SAS, FAES, FAS, FAEO, Seife, Esterquats) wurden in den vergangenen Jahren umfassende Umweltrisikobewertungen durchgeführt [12]. Damit gilt es als gesichert, dass bei den in der Umwelt auftretenden Konzentrationen keine Gefahr für die dort lebenden Organismen besteht.

Alkylphenoethoxylate – Ein ökologisches Problem der 1980er Jahre

Ein Beispiel für ein gut primär-abbaubares Tensid mit dennoch kritischen ökologischen Eigenschaften sind die Alkylphenoethoxylate (APEO) (Abb. 9.19). APEO's haben eine Primärabbaubarkeit von über 80 %, bei ihrem Abbau entstehen jedoch Metabolite, die nur langsam abbaubar und zudem wesentlich giftiger sind als das Ausgangsprodukt.

Die unzureichende Endabbaubarkeit von APEO ist auf den verzweigten Alkylrest zurückzuführen, so dass letztlich schwer abbaubare Alkylphenole und Derivate davon entstehen.

Alkylphenole lassen sich sowohl im Sediment belasteter Gewässern als auch im Fettgewebe von Fischen nachweisen. Im Gegensatz zu DDT oder anderen persistenten Umweltchemikalien reichert es sich jedoch nicht im menschlichen Körper oder in der Umwelt (Nahrungskette) an. Obwohl umfangreiche Untersuchungen gezeigt haben, dass Alkylphenole zu den Umwelt-Östrogenen gehören, war ihre aquatische Toxizität dafür ausschlaggebend, dass der Einsatz von Nonylphenol und Nonylphenoethoxylaten in abwassergängigen Anwendungen EU-weit verboten wurde [16].

Diese Aspekte sind für Waschmittel schon lange nicht mehr relevant, da Alkylphenoethoxylate auf Grund einer Selbstverpflichtung der Industrie in der Bundesrepublik Deutschland seit 1986, in Westeuropa seit Anfang der neunziger Jahre wegen ihrer schlechten Totalabbaubarkeit und hohen aquatischen Toxizität in diesen Produkten nicht mehr eingesetzt werden.

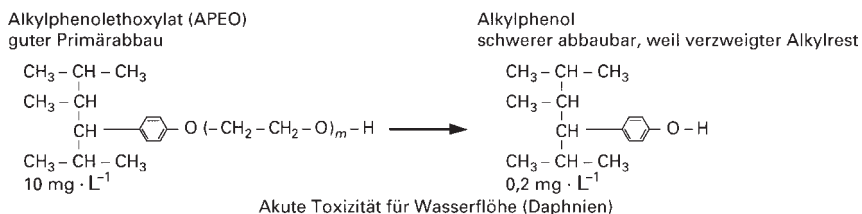


Abb. 9.19 Primärabbau von Alkylphenoethoxylaten (APEO).

9.7

Ökologische Auswirkungen weiterer Inhaltsstoffe von Waschmitteln

9.7.1

Phosphate

Die heutigen Waschmittel enthalten in Deutschland und den meisten europäischen Ländern keine Phosphate mehr. Dennoch wird hier näher auf die Phosphate eingegangen, denn die Entwicklung phosphatfreier Waschmittel war ein wichtiger Beitrag zum Umweltschutz.

Phosphathaltige Verbindungen sind Bestandteil des Stoffwechsels eines jeden Organismus. Eine Gefahr für die Umwelt geht von solchen Verbindungen nur dann aus, wenn sie im Übermaß in die Gewässer gelangen, denn Phosphate sind Nährstoffe für die im Wasser lebenden Pflanzen. Phosphor ist in der Regel einer der wachstumslimitierenden Faktoren für die Pflanzen, während die übrigen Nährstoffe in ausreichender Menge oder im Überfluss vorhanden sind. Ist Phosphor der Minimumfaktor, so führt ein Überangebot dieses Elements zu einer Steigerung der Produktion pflanzlicher Biomasse, bis ein anderer Stoff ins Minimum gerät. Ein Überangebot an Nährstoffen und das sich daraus ergebende übermäßige Wachstum pflanzlicher Organismen bezeichnet man als *Eutrophierung* (Abb. 9.20).

Algen bilden die hauptsächliche pflanzliche Biomasse im Wasser. Bei einem Überangebot an Pflanzennährstoffen vermehren sie sich stark. Auch die davon lebenden Tiere und dementsprechend alle Folgeglieder der Nahrungskette können sich stärker entwickeln. Aufgrund der mit dem erhöhten Algenwachstum verbundenen gesteigerten Photosynthese kommt es in den oberen Schichten des Gewässers zu einem Sauerstoffüberschuss. Durch die starke Vermehrung der Algen nimmt in der Folge aber auch die Zahl der abgestorbenen Organismen zu (überwiegend pflanzliches und tierisches Plankton). Die abgestorbene Biomasse sinkt auf den Gewässergrund und bildet dort die Nahrungsgrundlage für Mikroorganismen.

Beim aeroben Abbau der Biomasse werden große Mengen an Sauerstoff benötigt. Das Gewässer verarmt deshalb insbesondere in den tieferen Schichten an Sauerstoff. Fische und andere auf Sauerstoff angewiesene Glieder der Lebensgemeinschaften im Wasser können dort nicht mehr leben. Bei sehr großer Sauerstoffarmut entwickeln sich anaerobe Bakterien, die giftige Stoffwechselprodukte freisetzen können. Es bilden sich unter anderem Schwefelwasserstoff H_2S und Ammoniak NH_3 (je nach den vorliegenden pH-Werten können sich auch die entsprechenden Ionen HS^- und NH_4^+ bilden). Diese giftigen, in Wasser löslichen Gase können ein völliges Absterben aller Lebewesen im Gewässer verursachen. Das Gewässer gilt dann als „umgekippt“. Es kann dann nicht länger zur Trinkwassergewinnung genutzt werden.

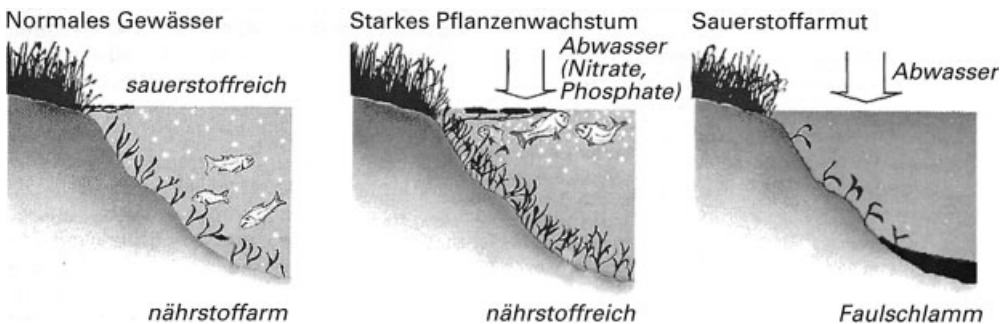


Abb. 9.20 Eutrophierung eines Gewässers durch Phosphate.

9.7.1.1 Phosphorkonzentration und Gewässergüte in stehenden Gewässern

Als Richtwerte des Phosphorgehaltes und der Qualität von stehenden Gewässern können folgende Zahlen gelten:

- oligotroph (geringer Nährstoffgehalt): 3–15 $\mu\text{g/L}$,
- mesotroph (mäßiger Nährstoffgehalt): 15–80 $\mu\text{g/L}$,
- eutroph (übermäßiger Nährstoffgehalt): 20–300 $\mu\text{g/L}$.

Die Konzentrationsüberschneidungen berücksichtigen, dass außer Phosphor im Einzelfall noch gewässermorphologische und hydrodynamische Faktoren zu berücksichtigen sind. Bemerkenswert ist, dass schon minimale Konzentrationen oberhalb 20 $\mu\text{g/L}$ in stehenden Gewässern zur Eutrophierung führen können, wenn entsprechend günstige Wachstumsbedingungen vorliegen. Als obere Grenze sind 30 $\mu\text{g/L}$ anzusehen. Wird dieser Wert überschritten, so ist mit einer Störung der Gewässerökologie zu rechnen.

Der Bodensee ist das größte deutsche Binnengewässer, dient als Trinkwasserspeicher für den süddeutschen Raum und wird als wichtiges Erholungsgebiet genutzt. Aufgrund dieser Bedeutung wird der Bodensee schon seit vielen Jahren auch im internationalen Rahmen wissenschaftlich untersucht. Das schließt den Phosphatgehalt ein (Abb. 9.21). Viele Erkenntnisse, die über den Bodensee gewonnen werden, lassen sich auf andere Gewässer, teilweise auch auf die Nord- und Ostsee übertragen.

Betrachtet man die Phosphorkonzentration des Bodensees, so hat sich diese von 7 $\mu\text{g/L}$ im Jahr 1950 auf 87 $\mu\text{g/L}$ im Jahr 1979, dem Höhepunkt der Belastung, erhöht. Die Ursache dafür war die steigende Bevölkerungszahl, die ihre Ab-

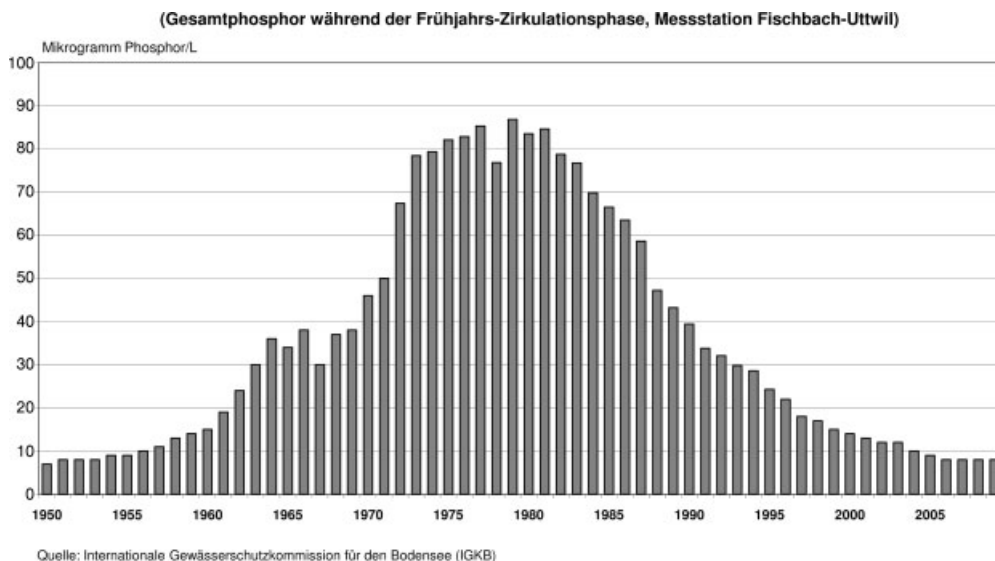


Abb. 9.21 Phosphorkonzentration im Bodensee 1950 bis 2009 (Gesamtphosphor während der Frühjahrs-Zirkulationsphase, Messstation Fischbach-Uttwil).

wässer über zum Teil unzureichende Kläranlagen in den Bodensee entließ. Ein wesentlicher Faktor war in diesem Zusammenhang der steigende Verbrauch von phosphathaltigen Wasch- und Reinigungsmitteln, deren Phosphatanteil 1975 etwa 50 % der Phosphorkonzentration im häuslichen Abwasser ausmachte. Die kritische Verschlechterung der Gewässerqualität zwang zu konsequenten Sanierungsmaßnahmen. Es wurden Ringkanalisationen und Kläranlagen mit einer Phosphatfällstufe gebaut. Dadurch konnte ein weiterer Anstieg der Phosphorkonzentration im Bodensee verhindert werden. Seit 1981 sank die Phosphorkonzentration im See wieder ab und lag 2009 mit $8 \mu\text{g/L}$ wieder im Bereich der Werte Anfang der 1950er Jahre.

Ende der achtziger Jahre waren phosphatfreie Waschmittel maßgeblich für den Rückgang der Phosphorkonzentrationen im Abwasser und in Gewässern verantwortlich; seit 1991 hat eine weitere Verbesserung der Abwasserreinigungsanlagen dazu beigetragen. Insgesamt entwässern etwa 15 % der deutschen Bevölkerung in eutrophierungsgefährdete stehende oder langsam fließende Gewässer.

9.7.1.2 Phosphorkonzentration in Fließgewässern

Obwohl ein Fließgewässer im Vergleich zum stehenden Gewässer eine erhöhte Phosphorkonzentration toleriert (Toleranzgrenze: ca. $200 \mu\text{g P/L}$), kommt es zwangsläufig zu einem Eintrag von Phosphor in die Meere. Auch in dem äußerst empfindlichen Ökosystem Meer kann Phosphor in Verbindung mit reichlich vorhandenen Stickstoffverbindungen und weiteren Wachstumsfaktoren (Licht, Strömungen, Temperatur, Silicium, organische Stoffe, Spurenelemente, biotische Faktoren) zur Eutrophierung führen.

In Zusammenhang mit dem erhöhten Nährstoffeintrag in Oberflächengewässern kann auch der starke Rückgang der Vielfalt der Wasser- und Feuchtgebietspflanzen gesehen werden, da nährstoffarme, aber artenreiche Standorte zunehmend verschwinden.

9.7.1.3 Ursache der Phosphorbelastung

Haushaltswaschmittel tragen seit etwa 1990 nicht mehr zur Phosphatbelastung in Deutschland bei. Aus maschinellen Geschirrspülmitteln, die aus Leistungsgründen wieder auf Pentanatriumtriphosphat als Enthärterbasis zurückgekehrt sind, stammten in Deutschland im Jahr 2008 etwa 7.800 Tonnen Phosphor (bei ca. 31.900 Tonnen Phosphateinsatz), die nur annähernd 3 % zur Gesamt-Phosphorbelastung der deutschen Fließgewässer beitragen. Dieser vergleichsweise geringe Anteil ist primär eine Folge des hohen Anschlussgrades der Haushalte an Kläranlagen mit tertiärer Abwasserreinigung, also mit Phosphatelimination [3]. Weiterhin werden in der gewerblichen Wäscherei vereinzelt noch phosphathaltige Waschmittel verwendet, deren Beitrag zur Phosphatbelastung jedoch gering ist.

Der Beitrag der kommunalen Kläranlagen zum Phosphor-Eintrag in die Oberflächengewässer mit den primär dafür verantwortlichen menschlichen Stoffwechselprodukten liegt bei etwa 27 %, weitere 3 % stammen von industriellen Direkt-einleitern. Der Haupteintrag von Phosphor in Oberflächengewässer geschieht heute also nicht mehr über die Haushaltsabwässer. Der überwiegende Eintrag

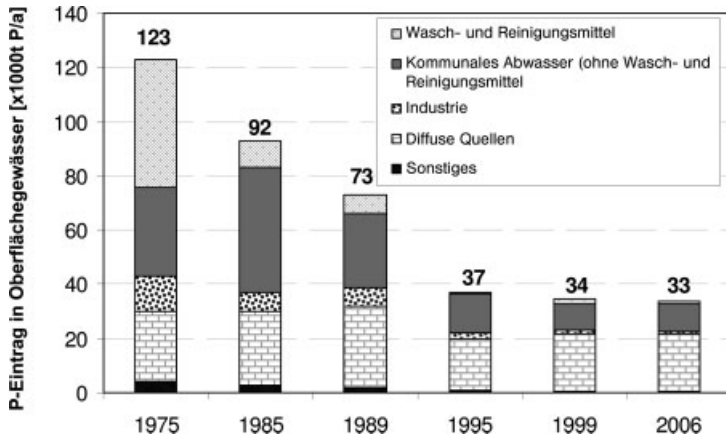


Abb. 9.22 Phosphoreintrag in die Oberflächengewässer in Deutschland.

(insgesamt 70 %) erfolgt durch diffuse Quellen, die im Wesentlichen landwirtschaftlichen Aktivitäten zugerechnet werden können. (Abb. 9.22) [17].

9.7.1.4 Maßnahmen zur Reduktion der Phosphorkonzentration in der Umwelt

Zwei prinzipielle Wege zur Verringerung der Phosphorkonzentration in Oberflächengewässern sind denkbar:

- Reduzierung der Phosphorquellen;
- Eliminierung von Phosphor aus dem Abwasser.

Die Reduzierung der Phosphorquellen hat ihre Grenzen, da sich der Eintrag über die Haushaltsabwässer nach der Einführung phosphatfreier Waschmittel kaum noch weiter verringern lässt (Abb. 9.22). Eine wesentliche Reduktion des Phosphoreintrages in die Umwelt wird über die Eliminierung von Phosphor aus dem Abwasser (3. Reinigungsstufe) geleistet. In Deutschland werden mittlerweile (2004) bei etwa 90 % der Kläranlagen Phosphor-Eliminationsverfahren mit einem Wirkungsgrad von mehr als 90 % angewandt. Damit liegt heute der Schwerpunkt der Aktivitäten zur Phosphor-Reduktion in Oberflächengewässern nicht mehr bei den kommunalen Abwässern, sondern bei den diffusen Eintragsquellen.

Diese Betrachtungen zeigen, dass phosphatfreie Waschmittel einen wesentlichen Beitrag zur Gewässerentlastung geleistet haben und auch in Zukunft leisten müssen, da bei kleineren, außerhalb von eutrophierungssensitiven Gebieten liegenden Kläranlagen (mit Einwohnergleichwerten < 10.000 EGW) keine Phosphor-Eliminationsverfahren EU-weit vorgeschrieben sind. Handlungsbedarf zur Umstellung auf phosphatfreie Waschmittel besteht noch in einigen Ländern mit weniger ausgebauter Abwasserreinigung, z. B. in Süd- und Osteuropa.

9.7.2

Phosphatfreie Enthärterssysteme und Komplexbildner**Zeolithe und Schichtsilicate**

In einer 1979 veröffentlichten umfassenden Studie, die im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellt wurde, ist Zeolith A auf seine ökologische Verträglichkeit untersucht worden. Dabei wurden keinerlei negative Auswirkungen festgestellt. Diese positive Beurteilung konnte in einer aktuellen Umweltrisikobewertung bestätigt werden [12]. Dies war, bedingt durch die chemische Struktur, auch nicht zu erwarten. Als unlösliche Waschmittelbestandteile verbleiben Zeolithe zu über 90 % im Klärschlamm der Abwasserreinigungsanlagen. Zeolithe erhöhen dadurch das Abfallvolumen. Positiv zu bewerten ist, dass ihr Ionenaustauschvermögen in Verbindung mit ihrer Unlöslichkeit zur Sedimentation und damit zur Immobilisierung giftiger Schwermetalle beiträgt. Eine wachstumsfördernde Wirkung auf Kieselalgen ist auch bei sehr hohen Zeolith-Konzentrationen, wie sie in der Praxis nicht auftreten, nicht feststellbar. Für Schichtsilicate ergeben sich hinsichtlich der ökologischen Sicherheit ebenfalls keine kritischen Aspekte.

Polycarboxylate

- Die Ökotoxizität ist sehr gering.
- Sie werden überwiegend (zu über 90 %) im Klärschlamm als schwerlösliche Calciumsalze ausgefällt. Nur ein geringer Prozentsatz (niedermolekulare Bestandteile) wird biologisch abgebaut.
- Es gibt noch kein hinreichend empfindliches Verfahren zum analytischen Nachweis dieser Stoffe in der Umwelt.
- Sie können unter Praxisbedingungen keine Schwermetalle remobilisieren.
- Negative Auswirkungen der Polycarboxylate in der terrestrischen Umwelt, wenn Klärschlamm als Dünger auf landwirtschaftlich genutzte Felder gelangt, sind aufgrund der niedrigen Ökotoxizität nicht zu erwarten.
- Das ökologische Risiko dieser Substanzen wird als gering eingestuft, wie durch eine aktuelle Studie belegt wird [12]. Bislang sind keine negativen Auswirkungen durch Polycarboxylate bekannt. An Ersatzstoffen, die biologisch leichter abbaubar sind, wird gearbeitet.

Starke Komplexbildner wie EDTA oder Phosphonate dienen bzw. dienen in Waschmitteln nicht der Wasserenthärtung, sondern der Stabilisierung empfindlicher Inhaltsstoffe, z. B. der Bleichmittel. Ihr Mengenanteil im Waschmittel ist gering. Heute werden in Waschmitteln hierfür ausschließlich Phosphonate eingesetzt, während auf EDTA in Deutschland verzichtet wird. NTA, das eine Zeit lang als Phosphatersatzstoff diskutiert wurde, spielt in Haushaltswaschmitteln praktisch keine Rolle.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, dass starke Komplexbildner wie NTA, EDTA oder Phosphonate die Verfügbarkeit von Metall-Ionen in der Umwelt beeinflussen können. Sie können einerseits giftige Schwermetalle aus Sedimenten lösen (remobilisieren) und dadurch indirekt toxisch wirken, andererseits aber

auch die Verfügbarkeit von essentiellen Spurenelementen erhöhen und dadurch wachstumsfördernd wirken – ein Effekt, der vor allem in den Küstengebieten der Meere eine Rolle spielt. Die genannten Effekte sind erst oberhalb kritischer Schwellenwerte von Bedeutung. Die Konzentration starker Komplexbildner in Gewässern sollte daher möglichst gering gehalten werden.

Phosphonate

- Sie sind biologisch schwer abbaubar, werden aber in Kläranlagen zu etwa 50 % (mit Phosphatfällstufen zu 90 %) durch Adsorptionsvorgänge zurückgehalten. Bei ihrer langsamen abiotischen, teils hydrolytischen, teils fotochemischen Zersetzung entstehen Zwischenprodukte, die zumindest teilweise einem biologischen Abbau zugänglich sind. Bei diesen Abbauvorgängen werden Phosphonate in Phosphate umgewandelt.
- Sie besitzen eine Neigung zur Adsorption an festen Oberflächen, z. B. Schwebstoffen, so dass eine Komplexierung bei niedrigen Konzentrationen nicht zu einer Mobilisierung von Schwermetallen führt.
- Sie werden nur in geringen Mengen in Wasch- und Reinigungsmitteln verwendet: 2008 insgesamt 3.900 Tonnen in Deutschland.
- Aktuelle Umweltrisikobewertungen nach dem EU-Bewertungsverfahren haben gezeigt, dass der Einsatz von Phosphonaten in Wasch- und Reinigungsmitteln zu keiner Besorgnis Anlass gibt [12].

Ethylendiamintetraacetat (EDTA)

- EDTA wird in kommunalen Kläranlagen weder biologisch abgebaut noch nennenswert eliminiert.
- Als starker Komplexbildner kann es potentiell Schwermetalle aus den Sedimenten remobilisieren.
- Der Fe-III-EDTA-Komplex wird in Gewässern sehr schnell durch Sonnenlicht abgebaut. Dies ist der wichtigste Eliminationsprozess für EDTA in der Umwelt.
- Die Toxizität von EDTA gegenüber Wasserorganismen ist sehr gering, kann aber durch andere Wasserinhaltsstoffe beeinflusst werden. In Haushaltswasch- und -reinigungsmitteln erfolgt seit 1991 aufgrund freiwilliger Maßnahmen der deutschen Industrie kein Einsatz von EDTA.

Nitrilotriacetat (NTA)

- Im Vergleich zu EDTA ist NTA ein schwächerer Komplexbildner mit geringerem Potential der Schwermetallremobilisierung.
- NTA ist unter aeroben Bedingungen biologisch leicht abbaubar.
- Die Toxizität von NTA gegenüber Gewässerorganismen ist gering.
- Aufgrund der leichten Abbaubarkeit haben Fragen zur Schwermetallremobilisierung und möglicher Fördereffekte des Algenwachstums nur eine geringe praktische Relevanz.

- In deutschen Waschmitteln wird NTA aufgrund der früheren langjährigen Diskussionen nicht eingesetzt. Der Verbrauch für gewerbliche Reinigungsmittel ist mit 200 Tonnen/Jahr in Deutschland nur sehr gering.

9.7.3

Bleichmittel

Bleichmittel wie Natriumperborat oder Natriumpercarbonat werden im verhältnismäßig hohen Anteil (10–25 %) in pulverförmigen Vollwaschmitteln eingesetzt. Sie zerfallen zum Teil schon in der Waschmaschine unter Bildung von Boraten bzw. Carbonaten, die aufgrund ihrer guten Wasserlöslichkeit in Kläranlagen nicht eliminiert werden und daher zu 100 % in die Oberflächengewässer gelangen.

Borate

Bor ist in unterschiedlicher Häufigkeit Bestandteil verschiedener Mineralien. Durch Verwitterungsprozesse gelangt es unter anderem auch in die Gewässer. Es ist ein natürlicher Wasserinhaltsstoff und ein essentielles Spurenelement für Pflanzen.

Die aquatische Toxizität von Boraten ist sehr gering, auch wenn Bor gegenüber einigen Nutzpflanzen (z. B. Obstbäume, Tomaten, Weinreben, Citrusfrüchten) eine spezifische Toxizität aufweist, die borhaltige Abwässer zur Bewässerung ungeeignet macht [18].

Die natürliche Borkonzentration in den deutschen Flüssen liegt bei etwa 0,05 mg/L. Darüber hinausgehende Werte können durch menschliche Einflüsse verursacht sein, wobei die Waschmittelborate den weitaus größten zusätzlichen Boreintrag liefern. Die Konzentrationen in den großen deutschen Flüssen liegen bei 0,2 mg/L, stellenweise bei 0,4 mg/L. Unter ungünstigen Bedingungen wurden lokal auch Konzentrationen bis 0,8 mg/L gemessen. Obwohl sich anhand aktueller Risikobewertungen nach dem EU-Bewertungsverfahren kein Hinweis auf ein Umweltrisiko durch den Einsatz von Perborat in Wasch- und Reinigungsmitteln ergibt [13], hat die Verwendung dieser Bleichsubstanz in den letzten Jahren deutlich abgenommen und ist heute nahezu bedeutungslos. Wurden 1994 in Deutschland noch 103.000 Tonnen eingesetzt, so lag die Menge in 2002 nur noch bei 30.500 Tonnen und betrug 2008 gerade noch 100 Tonnen, während in diesem Zeitraum der Verbrauch von Natriumpercarbonat von 8.000 Tonnen auf 26.200 Tonnen und 2008 auf 41.800 Tonnen stieg.

Percarbonat

Natriumpercarbonat zerfällt bereits in der Waschmaschine zu erheblichem Umfang zu Na-Carbonat (Soda) und setzt sich im Abwasser weitgehend zu Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3) um. Es passiert in dieser Form unverändert die Kläranlagen und gelangt in die Oberflächengewässer. Die aquatische Toxizität dieser Verbindungen ist sehr gering. Dementsprechend hat eine auf der EU-Risikobewertungsmethode basierende aktuelle Umweltsicherheitsbewertung gezeigt

[12], dass mit der Verwendung von Natrium-Percarbonat in Waschmitteln auch bei weiter zunehmenden Verbrauchsmengen keine Gefahr für die Umwelt verbunden ist.

Bleichaktivatoren

TAED ist in der Kläranlage gut biologisch abbaubar. Gegenüber Wasserorganismen ist TAED nur wenig toxisch. Dementsprechend ergaben sich auch in einer aktuellen Umweltrisikobewertung nach den EU-Bewertungsprinzipien [12] keine Hinweise für eine Besorgnis beim Einsatz von TAED in Waschmitteln.

9.7.4

Enzyme

Der überwiegende Teil der in Wasch- und Reinigungsmitteln verwendeten Enzyme (Proteasen, Lipasen, Cellulasen, Amylasen, Mannanasen) wird heute mit Hilfe gentechnischer Verfahren hergestellt. Die Enzymverbrauchsmengen in Haushaltswasch- und Reinigungsmitteln beträgt in Deutschland im Jahr 2009 etwa 4.400 Tonnen.

Zur Produktion von Waschmittelenzymen werden geschlossene Anlagen verwendet. Den Sicherheitsaspekten wird bei der Produktion eine besondere Bedeutung beigemessen, denn gentechnisch veränderte Mikroorganismen dürfen nicht in die Umwelt gelangen. Alle Produktionsabfälle werden sorgfältig sterilisiert, im fertigen Enzymprodukt und im Waschmittel selbst sind keine gentechnisch veränderten Organismen mehr enthalten. Dies lässt sich mit Hilfe spezieller, anerkannter Untersuchungsmethoden sicher nachweisen.

Alle Enzyme sind als Proteine biologisch gut und vollständig abbaubar. Die in Waschmitteln verwendeten Enzyme gelangen daher nach der biologischen Abwasserreinigung nur zu einem sehr geringen Teil als enzymatisch wirksame Verbindungen in die aquatische Umwelt. Unter Berücksichtigung der Daten zur aquatischen Toxizität und der in konservativen Expositionsanalysen prognostizierten geringen Umweltkonzentrationen ergibt sich kein Hinweis auf Umweltrisiken im Zusammenhang mit dem Einsatz von Proteasen, Lipasen, Cellulasen, Amylasen und Mannanasen in Waschmitteln [12]. Die mit Hilfe gentechnischer Methoden hergestellten Enzyme werden hinsichtlich der Umweltverträglichkeit genauso gut beurteilt wie klassisch hergestellte. Darüber hinaus lassen sich gentechnisch produzierte Enzyme wesentlich energie- und rohstoffsparender herstellen [19].

Zwischen der Industrie und dem Umweltbundesamt (UBA), dem Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz (BuA) wurde eine freiwillige Vereinbarung getroffen, mit Wirkung vom 1.12.1996 die Stoffdaten der in Wasch- und Reinigungsmitteln verwendeten Enzyme zu melden. Durch diese Daten werden die Ämter in die Lage versetzt, umwelt-, verbraucher- und arbeitsschutzrelevante Risiken der Enzyme abzuschätzen.

Unabhängig davon ist entsprechend der seit 2004 gültigen EU-Detergenzienverordnung ein Gehalt von Enzymen auf der Waschmittelverpackung zu deklarieren; gleichzeitig müssen aus der im Internet zugänglichen Liste der Inhaltsstoffe jedes Waschmittelprodukts die enthaltenen Enzymtypen zu ersehen sein. Aus ökologischen Gründen ist der vermehrte Einsatz von Enzymen in Waschmitteln sinnvoll, denn mit ihrer Hilfe sind beträchtliche Einsparungen beim Energie- und Waschmittelverbrauch und bei der Verpackung möglich. In Zukunft können optimierte oder neuartige Enzyme zu einer weiteren Reduktion von Waschmittelinhaltsstoffen beitragen – erforscht werden z. B. die Oxidasen oder Peroxidasen, die möglicherweise in Zukunft Bleichmittel zumindest teilweise ersetzen können.

9.7.5

Sonstige Inhaltsstoffe

- *Optische Aufheller* sind aerob wie anaerob biologisch schwer abbaubar, werden aber in erheblichem Umfang (je nach Typ zwischen 50–90 %) durch Adsorption am Klärschlamm eliminiert und gelangen deshalb bei der landwirtschaftlichen Schlammverwertung auf die Felder. In Gewässern erfolgt ein photochemischer Abbau, dessen Geschwindigkeit vom Typ wie auch von den aktuellen Umgebungsbedingungen abhängig ist, so dass Halbwertszeiten im Bereich von wenigen Stunden bis zu einigen Monaten resultieren. Die aquatische Toxizität der in Waschmitteln eingesetzten optischen Aufheller ist gering. Risikobewertungen auf der Grundlage der EU-Bewertungsmethodik und umfangreiche Umweltuntersuchungen ergaben keine Hinweise auf ein Umweltrisiko [12].
- *Parfümöle* sind in den meisten Waschmitteln in relativ geringen Konzentrationen (0,05–1 %) enthalten. Sie bestehen aus einer sehr großen Anzahl einzelner Duftstoffe, die sich in ihren chemischen und damit auch in den ökologischen Eigenschaften stark unterscheiden können. Bestimmte synthetische *Duftstoffe* aus der Klasse der Nitromoschusverbindungen und der polycyclischen Moschusverbindungen sind aus ökologischer und toxikologischer Sicht als kritisch einzustufen [20]. 1993 wurde bekannt, dass Nitromoschusverbindungen im Fettgewebe von Fischen und in der Muttermilch nachzuweisen sind. Sie sind biologisch schwer abbaubar, gut fettlöslich und können sich dadurch in Gewässerorganismen anreichern. Infolge dieser ungünstigen Eigenschaften wurde ihre Verwendung stark eingeschränkt. In Deutschland wurden Nitromoschusverbindungen in Waschmitteln seit 1994 durch andere Duftstoffe ersetzt (s. auch Kap. 5.6.6). Die Verwendung polycyclischer Moschusverbindungen als Ersatzstoffe für die Nitromoschusverbindungen stieg Mitte der neunziger Jahre deutlich an, bis sich herausstellte, dass auch sie in der Muttermilch nachweisbar waren – in teilweise höheren Konzentrationen als die Nitromoschusverbindungen. In Wasch- und Weichspülmitteln ist die Verwendung seitdem sehr stark zurückgegangen, jedoch sind polycyclische Moschusverbindungen auch heute noch vereinzelt in Waschmitteln zu finden. Risikobewertungen entsprechend dem EU-Standard ergaben weder in toxikologischer noch ökologi-

scher Hinsicht ein signifikantes Gefährdungspotential [13], doch sollten Verbindungen mit einem entsprechend ungünstigen Eigenschaftsprofil (schlechte biologische Abbaubarkeit, Bioakkumulationspotential) prinzipiell nicht in Konsumentenprodukten eingesetzt werden und durch biologisch besser abbaubare Substanzen ersetzt werden. Auch wenn zu den wichtigsten Duftstoffen ausreichende ökologische Daten vorliegen, gibt es bei der Vielzahl der verwendeten Duftstoffe noch erheblichen Informationsbedarf hinsichtlich Abbauverhalten und Ökotoxizität. Seitens der Duftstoffindustrie wird daran seit einigen Jahren intensiv gearbeitet.

- *Carboxymethylcellulose* wird in Kläranlagen nur langsam abgebaut bzw. nur teilweise eliminiert. Negative ökologische Effekte sind von dieser polymeren Verbindung aufgrund ihrer äußerst geringen aquatischen Toxizität nicht zu erwarten.
- *Natriumsulfat* aus Wasch- und Reinigungsmitteln trägt zu deutlich weniger als 1 % zur Gesamtsalzfracht der Gewässer bei. Gegenüber Wasserorganismen ist Natriumsulfat nahezu untoxisch.
- Ökologisch ist das aus Waschmitteln stammende *Natriumcarbonat* (Soda) bedeutungslos.
- Der Eintrag von *löslichen Silicaten* aus Wasch- und Reinigungsmitteln in die Oberflächengewässer ist gegenüber der natürlichen Silicatfracht gering und stellt kein ökologisches Problem dar [12, 21].
- *Andere in Waschmitteln eingesetzte Substanzen* werden meist nur in geringen Mengen verwendet. Ihr Gebrauch ist zum überwiegenden Teil aus heutiger Sicht unter ökologischen Gesichtspunkten unproblematisch.

Wirkstoffgruppe	Problematische Inhaltsstoffe	Ersatzstoffe	Begründung
Nichtionische Tenside	APEO (Alkylphenolethoxylate)	FAEO (Fettalkoholethoxylate)	Verbesserte biologische (End-) Abbaubarkeit. Keine giftigen, schlecht abbaubaren Zwischenprodukte
Kationische Tenside (Weichspülerwirkstoffe)	DSDMAC (Distearyldimethylammoniumchlorid)	Esterquats	Verbesserte biologische (End-) Abbaubarkeit
Gerüststoffe	Phosphat	Zeolith, Schichtsilicate, Soda, Polycarboxylate	Vermeidung von Nährstoffzufuhr (Phosphat) in Gewässern
Komplexbildner (Bleichstabilisatoren)	EDTA (Ethylenediamintetraessigsäure und ihre Salze)	Phosphonate	Verbesserte Elimination in Kläranlagen und daher geringeres Remobilisierungspotential von Schwermetallen in Gewässern
Duftstoffe	Nitromoschusduftstoffe, Polycyclische Moschusduftstoffe	Andere Duftstoffe z. B. makrocyclische Moschusduftstoffe	Verbesserte biologische Abbaubarkeit, keine Anreicherung in der Nahrungskette

Abb. 9.23 Beispiele für die Substitution problematischer Inhaltsstoffe in Waschmitteln.

9.7.6

Umweltbelastung durch Waschmittelinhaltsstoffe im Überblick

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Umweltverträglichkeit der Waschmittelinhaltsstoffe gegenüber dem Stand zu Anfang der 1980er Jahre deutlich verbessert hat und sich auch heute weiter entwickelt. Stark umweltbelastende Inhaltsstoffe sind aus (europäischen) Waschmitteln verschwunden und durch ökologisch besser verträgliche ersetzt worden (Abb. 9.23).

Zwei offene Problemkreise, an denen noch gearbeitet wird, sind die Reduktion von biologisch schwer abbaubaren organischen Inhaltsstoffen in Waschmitteln insgesamt (z. B. Polycarboxylate) und die ökologische Absicherung der Duftstoffe.

Allein aufgrund der enormen Verbrauchsmengen stellen die Wasch- und Reinigungsmittel und deren Inhaltsstoffe immer eine Belastung des Abwassers und letztlich der Umwelt dar. Nachdem die Umweltverträglichkeit der Inhaltsstoffe deutlich verbessert wurde, kommt heute der Reduktion der Verbrauchsmengen und der Energieersparnis im Waschprozess eine steigende Bedeutung für die Umwelt zu (s. auch Kap. 4 und Kap. 8).

Abbildung 9.24 zeigt die ökologische Bedeutung der einzelnen Inhaltsstoffe noch einmal zusammenfassend. Dieser Überblick stellt notwendigerweise eine starke Vereinfachung der Problematik dar, denn bei Aussagen zur Umweltbelastung der einzelnen Waschmittelinhaltsstoffe sind sehr viele Aspekte zu berücksichtigen, die in den entsprechenden Kapiteln dieses Buches über die ökologischen Auswirkungen der Inhaltsstoffe genauer ausgeführt sind.

Inhaltsstoffe	Ursache der Umweltbelastung	mögliche Maßnahmen
Tenside	aquatische Toxizität	Produktoptimierung zur Verminderung von Verbrauchsmengen; Einsatz Abbau-optimierter Tenside
Enthärterssysteme		
Pentatriumtriphosphat	Überdüngung von Gewässern	Ersatz durch phosphatfreie Enthärterssysteme
Zeolithe/Schichtsilicate	-	-
Polycarboxylate	fehlende biologische Abbaubarkeit	Suche nach biologisch abbaubaren Ersatzstoffen läuft
Citrate	-	leider schlechte Wirkung, daher nur begrenzt einsetzbar
Phosphonate	fehlende biologische Abbaubarkeit	Suche nach Ersatzstoffen läuft
Bleichmittel		
Natriumperborat	schädlich für borempfindliche Pflanzen	Ersatz durch Natriumpercarbonat
Natriumpercarbonat	-	-
Tetraacetylenhydriammin (TAED)	-	-
sonstige Inhaltsstoffe		
Enzyme	-	Sicherheit bei der Produktion
wasserlösliche Silicate	-	-
Carboxymethylcellulose	-	-
Natriumcarbonat	-	-
Natriumsulfat	Geringer Beitrag zur Salzfracht der Gewässer	Verbrauchsreduzierung
Optische Aufheller	biologisch schwer abbaubar, Adsorption an Klärschlamm	Verbrauchsreduzierung
Duftstoffe	teilweise fehlende biologische Abbaubarkeit	Verzicht auf Duftstoffe; Duftstoffe mit ökologisch verbessertem Eigenschaftsprofil
Farbstoffe	-	-

Abb. 9.24 Die ökologische Bedeutung wichtiger Waschmittelinhaltsstoffe im Überblick.

Literatur

- 1 Smulders, E.: *Laundry Detergents*. Wiley-VCH, Weinheim 2002, Kapitel 10 Ecology.
- 2 EUROSTAT: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/environment/data/database>.
- 3 Wind, T. (2007): The role of detergents in the phosphate-balance of European surface waters. E-Water. www.ewaonline.de/journal/online.htm.
- 4 Wind T., Steber J., Tolls J.: 50 years of environmental monitoring at Henkel. *Tenside Surf. Det.* 45 (2008), 144–152
- 5 Steber, J. (2004), Wind T. (2009) (Henkel KGaA), persönliche Mitteilungen.
- 6 Berna, J.L., Cassani, G., Hager, C.D., Rehmann, N., Lopez, I., Schowanek, D., Steber, J., Taeger, K., Wind, T.: Anaerobic biodegradation of surfactants – scientific review. *Tenside Surf. Det.* 44 (2007) 312–347.
- 7 Matthijs, E., Holt, M.S., Kieweit, A., Rijs, G.B.J.: Environmental monitoring for linear alkylbenzene sulfonate, alcohol ethoxylate, alcohol ethoxysulfate, alcohol sulfate and soap. *Environm. Toxicol. Chem.* 18 (1999) 2634–2644.
- 8 Steber, J. und Berger, H.: Biodegradability of anionic surfactants. In: *Biodegradability of Surfactants* (D. R. Karsa, M.R. Porter, eds.). (1995) pp. 134–182, Blackie Academic & Professional, London.
- 9 Balson, T. und Felix, M.S.B.: Biodegradability of non-ionic surfactants. In: *Biodegradability of Surfactants* (D.R. Karsa, M.R. Porter, eds.). (1995) pp. 204–230, Blackie Academic & Professional, London.
- 10 Steber, J. (1997): Biodegradation kinetic data for environmental risk assessment in surface waters and soil. In: Hales, S.G., Feijtel, T., King, H., Fox, K., Verstraete, W. (eds.): *Biodegradation Kinetics. Generation and Use of Data for Regulatory Decisions Making*. Proceedings of the SETAC-Europe Workshop „Biodegradation Kinetics“, Port Sunlight, UK, 4–6 September 1996, 81–85, SETAC Europe, Brussels.
- 11 Steber, J.: Systematik der ökologischen Absicherung chemischer Produkte. *SÖFW-Journal* 121 (1995), H. 15, 1063–1080.
- 12 HERA (Human and Environmental Risk Assessment). Internet: www.heraproject.com.
- 13 Guhl, W.: Validität der Ökotoxizitätsprognose von Zubereitungen auf Grundlage der Inhaltsstoffdaten. *SÖFW-Journal* 123 (1997), 959–967.
- 14 European Commission. 2003. 2nd edition of the technical guidance document in support of Commission Directive 93/67/EEC on risk assessment for new notified substances and Commission Regulation (EC) 1488/94 on risk assessment for existing substances (1996). Luxembourg (LU): Office for Publications.
- 15 Hager, C.-D. et al: Anaerobic biodegradation of surfactants. *SÖFW-Journal* 2009 (135), H. 3, 34–38.
- 16 Richtlinie 2003/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2003 zur 26. Änderung der Richtlinie 76/769/EWG des Rates über Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (Nonylphenol, Nonylphenolethoxylat und Zement). Amtsblatt der Europ. Union L 178/24 (2003).
- 17 Metzner, G. (2006): Phosphate aus Wasch- und Reinigungsmitteln im kommunalen Abwasser der Bundesrepublik Deutschland. <http://www.gdch.de/strukturen/fg/wasch/had/phosphate.pdf>.
- 18 Guhl, W.: Einfluss von Bor auf die Lebensgemeinschaften des Systems Kläranlage-Vorfluter. *SÖFW-Journal* 126 (2000), 17–24.
- 19 Kottwitz, B.: Enzyme für Wasch- und Reinigungsmittel –Herstellung, Wirkung, Verbraucherrelevanz. In: Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): *Moderne Wasch- und Reinigungsmittel – Umweltwirkungen und Entwicklungstendenzen*. Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie, Band 54. München 2001, S. 147–162.
- 20 Rimkus, G. (ed.): *Synthetic Musk Fragrances in the Environment. The Handbook of Environmental Chemistry*, Volume 3X, Springer Verlag 2004.
- 21 Baehr, C. H. and Koehl, W.: Soluble silicates – highly versatile and safe. *SÖFW-Journal* 2007 (133), H. 4, 88–94.

10

Ökobilanzen

In den 1980er Jahren begann sich, gefördert durch ein steigendes Umweltbewusstsein in Gesellschaft und Wirtschaft, ein wichtiges Hilfsmittel zur Erfassung der Umwelteinwirkungen von Produkten und Serviceleistungen zu entwickeln – die Ökobilanz oder englisch *Life Cycle Assessment*, LCA.

10.1

Was sind Ökobilanzen?

Ökobilanzen unterscheiden sich anhand ihrer Systemgrenzen, d. h. des Umfangs der Betrachtung. So befasst sich die umweltökonomische Gesamtrechnung mit einer gesamten Volkswirtschaft, eine firmen- oder standortbezogene Ökobilanz betrachtet die Vorgänge innerhalb der Grenzen einer Firma oder eines Betriebs (*gate to gate*) und die produktbezogene Ökobilanz erfasst die Auswirkungen eines Produktes, einer Dienstleistung oder Systems auf die Umwelt über den gesamten Lebensweg, also „von der Wiege bis zur Bahre“. Der englische Ausdruck *Life Cycle Assessment*, wörtlich übersetzt: Lebenszyklus-Abschätzung oder -bewertung, verdeutlicht dies noch besser. Im Folgenden werden nur diese sog. Produkt-Ökobilanzen betrachtet.

Die Betrachtung des Lebensweges von der Wiege bis zur Bahre beginnt bei der Entnahme von Rohstoffen aus der Natur, z. B. Palmfrüchten, Mineralien oder Rohöl, und endet mit der Rückgabe von Stoffen (Emissionen in Luft, Wasser, Erde) oder sonstiger Freisetzungen an die Umwelt. Zwischen diesen beiden Eckpunkten werden alle Maßnahmen wie Förderung der Rohstoffe, Herstellung von Zwischen- und Endprodukten, Verpackungen, Transport aller beteiligten Stoffe sowie der dafür notwendige Energiebedarf und die entstehenden Emissionen und Abfälle berechnet. Die quantitative Erfassung dieser Stoffe stellt die Grundlage zur Beurteilung der umweltrelevanten Auswirkungen des Produktes bzw. Systems. Dazu können auch Umwelteinflüsse wie z. B. Lärm, Flächennutzung und Wärmeemissionen gehören.

Abbildung 10.1 illustriert die Grenzen einer solchen Ökobilanz. Diese Systemgrenzen können bei komplexen Produkten, dazu gehören auch Waschmittel, weite Teile der Erde umfassen. Selbst bei Betrachtung eines beispielsweise in

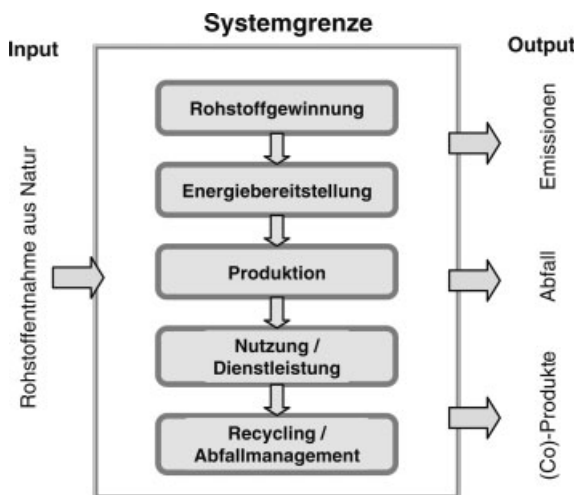


Abb. 10.1 Systemgrenzen einer Ökobilanz.

Deutschland hergestellten Waschmittels müssen weltweite Informationen ermittelt und einbezogen werden, wie z. B. Daten aus Australien (Bauxit), Malaysia oder Indonesien (Palmkernöl) und Deutschland (Steinsalz).

Die Erstellung einer Ökobilanz ist ein iterativer Prozess, der aus vier Schritten besteht:

- Bestimmung des Ziels und der Grenzen der Untersuchung;
- Erfassung der involvierten Stoffe und Energien (Sachbilanz);
- Abschätzung der Umweltwirkungen;
- Bewerten der Ergebnisse.

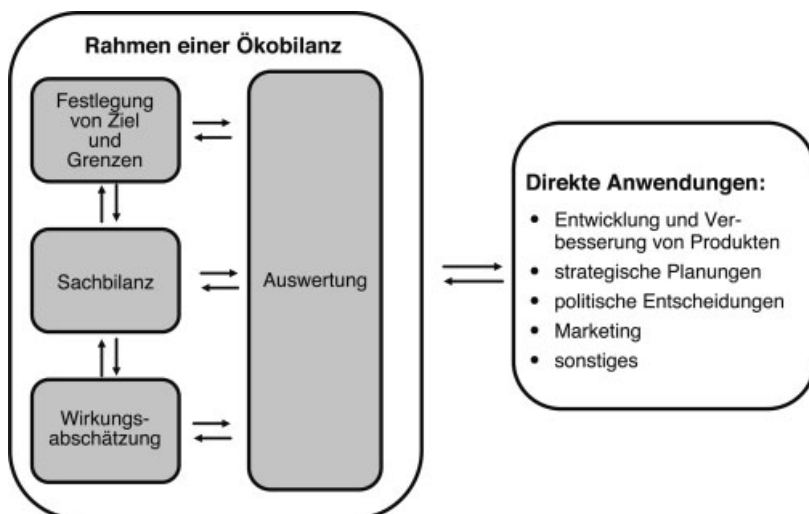


Abb. 10.2 Bestandteile einer Ökobilanz (nach ISO 14040).

Im Laufe der Untersuchungen können Ereignisse eintreten, die Anpassungen in den einzelnen Teilbereichen zur Erreichung des Ziels erforderlich machen. Abbildung 10.2 verdeutlicht den Inhalt einer Ökobilanz.

10.2

Was können Ökobilanzen leisten?

Durch die ganzheitliche Betrachtungsweise von Ökobilanzen ist es möglich, die Auswirkungen des untersuchten Produktes oder Systems auf die Umwelt über dessen gesamten Lebensweg zu erhalten. Besonders umweltbelastende Phasen können so erkannt und gezielt optimiert werden. Durch diese Betrachtungsweise wird auch verhindert, dass aufgrund von Verschiebung von z. B. Produktionsschritten in andere Lebenswegphasen Fehlinterpretationen entstehen.

Entscheidungsprozesse sind dagegen kein Bestandteil von Ökobilanzen, gleichwohl können Erkenntnisse aus Ökobilanzen eine Basis hierfür liefern und u. U. zusammen mit anderen ökologischen Instrumenten, z. B. Risk Assessment, Basis für politische, betriebs- und volkswirtschaftliche Entscheidungen sein.

Selbstverständlich können solche Entscheidungen nicht allein aus ökologischer Sicht getroffen werden. Nach der 1992 in Rio weltweit gestarteten Initiative „Sustainable Development“ (Nachhaltige Entwicklung) sind noch weitere Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Nachhaltig ist eine Entwicklung, wenn sie, so die Definition, „... den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen“ [1]. Daraus ergibt sich, dass neben den ökologischen Gesichtspunkten auch ökonomische und soziale Aspekte eine ebenso wichtige Rolle spielen. Es ist auch möglich, im Rahmen von Ökobilanzen ökonomische und soziale Aspekte mit einzubeziehen und damit auch in ähnlicher Weise die betreffenden Aussagen zu erhalten.

Ökobilanzen im hier beschriebenen Sinn untersuchen nicht ein einzelnes Produkt, sondern das komplette Systeme, in dem dieses zur Anwendung kommt. Beim häuslichen Waschen von Wäsche z. B. wird das gesamte System von Rohstoffgewinnung über Waschmittelproduktion, das Waschen der Wäsche in der Maschine bis zum Trocknen und Entsorgen der Verpackung und des Behandeln des Abwassers in der Kläranlage sowie alle Transporte innerhalb dieses Lebensweges untersucht. Die Betrachtung des Waschmittels alleine wäre nicht nur weniger aussagekräftig, sondern evtl. sogar irreführend.

Ein Beispiel hierzu: Betrachtet man nur die Herstellung eines Waschmittels aus seinen Inhaltsstoffen, so kommt man bei der konventionellen Herstellung über Sprühtürme zu einem bestimmten relativ hohen Energiebedarf. Verglichen mit der Herstellung eines Waschmittels aus vorgetrockneten Inhaltsstoffen, die nur noch gemischt werden, ergeben sich erhebliche Einsparungen im Energiebedarf von bis zu 80 %. Erweitert man jedoch die Systemgrenzen und bezieht die Herstellung der Inhaltsstoffe mit ein, verschwindet dieser „Vorteil“ wieder, da die Energie in der Vorkette beim Trocknen der Ausgangsstoffe benötigt wird.

Die Ergebnisse einer Ökobilanz zu einem einzelnen Wert zusammenzufassen und dann evtl. Vergleiche mit anderen Berechnungen anzustellen und das eine „besser“ als das andere einzustufen, ist jedoch nicht möglich. Die erforderlichen Beurteilungsverfahren beinhalten subjektive Bewertungsmaßstäbe, die bei der Darstellung der Endergebnisse verloren gingen. Ökobilanzen sollen hingegen ein Verständnis dafür vermitteln, welche Einwirkungen auf Mensch und Umwelt mit dem untersuchten System verbunden sind. Sie soll die Vor- und Nachteile eventueller Alternativen gegenüberstellen.

10.3

DIN/EN/ISO-Normen

Für die Akzeptanz von Ökobilanzergebnissen und zur Vermeidung von Diskussionen aufgrund unterschiedlicher Auslegungen ist es erforderlich, dass Ökobilanzen bestimmten festgelegten Anforderungen genügen

Einheitliche Standards wurden gefordert und schließlich mit der Normenreihe ISO 14040 ff [2, 3] auch geschaffen. Diese Normen beschreiben, nach welchen Regeln Ökobilanzen durchzuführen sind, was sie enthalten müssen, was zu publizieren ist und die Art, wie dies zu erfolgen hat. Eine wichtige Forderung ist es auch, ein Critical Review durchführen zu lassen. Dabei wird die Ökobilanz durch einen oder mehrere unabhängige Experten überprüft, die die Konformität der Untersuchung mit den Normen beurteilen. Die in den Normen festgeschriebenen Regeln sind flexibel genug, um Ökobilanzen auf den verschiedensten Gebieten anwenden zu können, aber trotzdem ausreichende Transparenz und Akzeptanz zu gewährleisten.

10.4

Wer führt Ökobilanzen durch?

Ökobilanzen werden aus unterschiedlichen Gründen und von unterschiedlichen Kreisen durchgeführt. Unternehmen zum Beispiel erstellen Ökobilanzen, um Umweltauswirkungen ihrer Produkte zu erfassen, Optimierungsbedarf zu ermitteln und nicht zuletzt, durch Lokalisieren von Schwachstellen, z. B. im Energieverbrauch oder beim Abfall, Kosten zu sparen. Oft werden Ökobilanzen schon während der Entwicklungsphase eingesetzt, um neue Produkte umweltfreundlicher zu entwickeln.

Staatliche und andere öffentliche Institutionen nutzen Ökobilanzen als Grundlage für Entscheidungen im Umweltbereich oder zur Information der Öffentlichkeit. Ein Beispiel hierfür ist die Ökobilanz des Umweltbundesamtes zu Getränkeverpackungen [4].

Unternehmen oder auch öffentliche Stellen, die selbst keine Ökobilanzen erstellen können, beauftragen häufig darauf spezialisierte Institute oder Consul-

tants mit dieser Aufgabe. Solche Consultants können auch bei der Behandlung vertraulicher Daten in Anspruch genommen werden. Je nach Auftrag erstellen sie entweder kumulierte Datensätze von einem Prozess oder können auch vertrauliche Daten verschiedener Hersteller zu anonymisierten Mittelwerten zusammenfassen und Dritten zur Verfügung stellen.

10.5

Grundlagen zum Erstellen von Ökobilanzen

10.5.1

Bestimmung von Ziel und Untersuchungsrahmen einer Ökobilanz

Zu Beginn einer Ökobilanz-Studie müssen die in den Normen geforderten Festlegungen getroffen werden. So müssen natürlich das Ziel der Studie, der Grund für die Durchführung, die „Funktion“, die „Funktionelle Einheit“ und die erwarteten Informationen festgelegt werden. Durch den Untersuchungsrahmen wird bestimmt, was in die Studie einbezogen werden soll. Neben anderem muss die Art der Dokumentation und die Darstellung der Ergebnisse definiert werden. Schließlich ist zu bestimmen, durch wen die Qualität der Studie überprüft werden soll (Critical Review).

Änderungen dieser Festlegungen können im Laufe der Untersuchungen durch nicht vorhersehbare Ereignisse erforderlich werden. Sie müssen jedoch umfassend begründet und dokumentiert werden.

10.5.2

Sachbilanz (Dateninventar)

Mit der wichtigste Schritt einer Ökobilanz ist die Erstellung der Sachbilanz oder des Dateninventars (engl.: *Life Cycle Inventory*, LCI). Das ist die Beschaffung aller erforderlichen Daten, über Energie- und Rohstoffanforderungen, Emissionen in die Luft und das Wasser, Abfälle und andere Freisetzen über den gesamten Lebensweg des Produktes bzw. Prozesses. Das Dateninventar bildet die Grundlage für die weiteren Schritte der Ökobilanz. Bedingt durch ständige Veränderungen und Optimierungen technischer und organisatorischer Prozesse, können hochwertige Daten nur in seltenen Fällen der Literatur entnommen werden. Allerdings gibt es mittlerweile Datenbanken, die hochwertige und vor allem anerkannte Datensätze von Rohstoffen, chemischen Produkten, zur Bereitstellung von Energien, Abfallbehandlung u. v. m. enthalten (z. B. ecoinvent von der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich in Zusammenarbeit mit anderen Instituten [5]). Diese Datenbanken werden den Anwendern gegen Bezahlung zur Verfügung gestellt und in Abständen aktualisiert. Oftmals erschweren auch Fragen der Vertraulichkeit die Datenerfassung, z. B. bei Anfragen an Hersteller oder Dienstleister. Das Erstellen der Sachbilanz ist meist die zeitintensivste Phase einer Ökobilanz.

Das Resultat dieser Ökobilanzphase ist eine Auflistung der Rohstoffe, die der Natur entnommen wurden, der Emissionen, die zurück in die Umwelt gelangen und der Energien, die über den gesamten Lebensweg des betrachteten Systems benötigt werden. Aber auch Flächennutzung und -umwandlungen sind mit zu berücksichtigen. Alle Ergebnisse werden auf die zuvor definierte „Funktionelle Einheit“ bezogen. Als Beispiel würde im Falle des Systems Waschen die Funktionelle Einheit ein Waschgang sein, bzw. die in einem Waschgang zu reinigende Wäschemenge.

10.5.3
Wirkungsabschätzung

Die Wirkungsabschätzung ist eine Abschätzung der potentiellen Einwirkungen auf Mensch und Umwelt resultierend aus den im Dateninventar identifizierten Emissionen und dem Bedarf an Energie und Rohstoffen. Sie stellt die Verbindung zwischen dem Prozess oder Produkt und den potentiellen Umwelteinflüssen her. Anhand des Dateninventars können zwar auch Rückschlüsse auf Umweltwirkungen gezogen werden, die sich aber u. U. schwierig durchführen lassen, da je nach Datenlage einige hundert Stoffflüsse auf der In- bzw. Outseite stehen können. Die Wirkungsabschätzung stellt daher die präzisere Basis da. Sie berücksichtigt den unterschiedlich starken Einfluss verschiedener Emissionen auf die gleiche Umweltwirkung, in dem sie die Menge der Emissionen mit einem sog. Charakterisierungsfaktor (Abb. 10.3 und Abb. 10.4) multipliziert und dann aufsummiert.

In der Literatur sind verschiedene wissenschaftlich anerkannte Modelle zur Wirkungsabschätzung beschrieben [6–9].

Wirkungskategorie	Relevante Inventardaten	Charakterisierungsfaktor rechnet um in ...	Wirkungsindikator
Globale Erwärmung / Treibhauseffekt	Kohlendioxid Stickstoffdioxid Methan Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffe	Kohlendioxid-Äquivalente	Globales Erwärmungspotenzial (GWP)
Ozonbildung/ Sommersmog	Olefine, Alkohole	Ethylen-Äquivalente	Photochemisches Ozonbildungspotenzial (POCP)
Versauerung	Schwefeloxide Stickstoffoxide Ammoniak	Wasserstoffionen-Äquivalente	Versauerungspotenzial (AP)
Eutrophierung	Phosphate Stickstoffoxide Stickstoffdioxid Ammoniak	Phosphat-Äquivalente	Eutrophierungspotenzial (NP)

Abb. 10.3 Emissionen und Wirkungskategorien.

Dateninventar	Menge [kg]	Faktor ^{*)} [kg CO ₂ -Äqu./kg]	Indikatorergebnis [kg CO ₂ -Äqu.]
Kohlendioxid	12	1	12
Methan	0,5	72	36
Distickstoffoxid	0,1	289	28,9
Indikatorergebnis		Summe	76,9

^{*)} Faktoren nach IPCC 2007 (Intergovernmental Panel on Climate Changes)

Abb. 10.4 Beispielrechnung für globale Erwärmung.

Die verbindlich vorgeschriebenen Bestandteile einer Wirkungsabschätzung sind:

- *Auswahl von Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodell:* Kategorien mit bestimmten Auswirkungen auf die Umwelt, die menschliche Gesundheit o. ä. werden festgelegt. Beispiele für allgemein verwendete Kategorien sind Klimaänderungen (globale Erwärmung), Versauerungspotential (saurer Regen), Eutrophierung (überdüngte Gewässer) und Ozonbildungspotential (Sommersmog). Das Charakterisierungsmodell setzt die Sachbilanzergebnisse in Beziehung zu den Wirkungsindikatoren. In den meisten Fällen kann auf existierende Modelle zurückgegriffen werden.
- *Zuordnung der Sachbilanzergebnisse (Klassifizierung):* Die Klassifizierung ordnet die im Dateninventar ermittelten Ergebnisse den Wirkungskategorien zu, z. B. Kohlendioxid zur Kategorie Globale Erwärmung oder Schwefeloxide zu Kategorie Versauerungspotenzial. Verschiedene Emissionen können auch mehreren Kategorien zugeordnet werden, so tragen z. B. Stickstoffoxide sowohl zum Versauerungspotenzial als auch zum Eutrophierungspotenzial bei. In Abb. 10.3 sind einige häufig verwendete Kategorien und die dort zugeordneten Emissionen aufgelistet.
- *Berechnung der Wirkungsindikatorergebnisse (Charakterisierung):* Die Charakterisierung nutzt wissenschaftlich basierte Umrechnungsfaktoren, sog. Charakterisierungsfaktoren, um die Ergebnisse der Dateninventare in Daten mit einer gemeinsamen Einheit g-Äquivalente oder kg-Äquivalente umzurechnen. Mit Hilfe dieser Faktoren werden die unterschiedlichen Wirkungen einzelner Emissionen innerhalb einer Wirkungskategorie, z. B. die globale Erwärmung, zu einem Indikatorergebnis, z. B. CO₂-Äquivalente, zusammengefasst, das dann ein Maß für die Umwelteinwirkung ist.

In letzter Zeit werden, besonders durch die großen Einzelhandelsketten im In- und Ausland getrieben, sogenannte „Carbon Footprints“ (s. Kap. 11.4.3) zur Kennzeichnungen von Produkten und Dienstleistungen gefordert. Damit soll der Einfluss dieser Produkte auf die Erderwärmung beschrieben werden. Im Grunde handelt es sich um das in einer LCA ermittelte Global Warming Poten-

tial. Allerdings besteht zurzeit noch keine einheitliche Meinung über die Rahmenbedingungen zur Berechnung dieses Wertes. Es sind Normungsaktivitäten im Gange, die darauf hinaus laufen müssen, dass der Carbon Footprint eine Ökobilanz darstellt, die sich allerdings nur auf eine Wirkungskategorie, das Global Warming Potential, bezieht. Hier sind auch Fehlinterpretationen, ähnlich den oben beschriebenen, zu vermeiden.

10.5.4

Auswertung und Kritische Prüfung

Die *Auswertung* stellt die Endphase einer Ökobilanz dar. Sie überprüft die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung auf Übereinstimmung mit dem Ziel und dem Untersuchungsrahmen der Ökobilanz, diskutiert und fasst sie zusammen als Basis für Schlussfolgerungen, Empfehlungen und Entscheidungshilfen. Aufgabe der Auswertung ist es auch eine leicht verständliche, vollständige und schlüssige Darstellung der Ergebnisse zu liefern.

Bei der Auswertung einer Ökobilanz werden zunächst die Faktoren identifiziert, z. B. Emissionen, Abfall oder Energiebedarf, die den größten Beitrag zum Ergebnis geleistet haben. Dann wird beurteilt, ob alle benötigten Daten und Informationen vollständig zur Verfügung standen, wie zuverlässig die Daten sind und in wie weit sie durch Fehler in der Sachbilanz oder bei Berechnungen beeinflusst werden können. Die Konsistenzprüfung überprüft, ob die getroffenen Annahmen, die verwendeten Methoden und die Daten mit den Zielen und Untersuchungsrahmen der Studie übereinstimmen. Und schließlich werden Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Zielgruppe der Ökobilanzstudie erstellt.

Die zu erstellende Dokumentation muss alle Ergebnisse der Ökobilanz, das Dateninventar, die Methoden der Berechnungen und der Wirkungsabschätzung sowie alle getroffenen Annahmen und Einschränkungen transparent und ausführlich darlegen und den Bericht der Kritischen Prüfung enthalten.

Die *Kritische Prüfung*, als wesentliche Anforderung der o. g. Normen, wird durch unabhängige und nicht an der Studie beteiligte Sachverständige durchgeführt. Sie erstellen einen Bericht, zu dem der Ersteller der Ökobilanz Stellung nehmen kann. Unter anderem muss geprüft werden, ob die angewendeten Methoden der Norm und dem Stand der Technik entsprechen, die Daten in Bezug auf das Ziel ausreichend und zweckmäßig sind und die getroffenen Annahmen und Einschränkungen in der Auswertung berücksichtigt sind. Gegebenenfalls ist eine Überarbeitung der Studie erforderlich.

Sollen in einer Ökobilanz Vergleiche durchgeführt werden, so ist eine Kritische Prüfung unabdingbar.

10.6

Ökobilanz des Waschens

Von einer Arbeitsgruppe des europäischen Waschmittelverbandes A.I.S.E. (Association Internationale de la Savonnerie, de la Détergence et des Produits d'Entretien) wurde eine Studie über das häusliche Wäschewaschen erstellt [10]. Sie soll als Beispiel für die praktische Anwendung der zuvor beschriebenen Theorie betrachtet werden. Die umfangreichen Ergebnisse der vierteiligen Untersuchung können hier allerdings nur stark verkürzt und zusammengefasst dargestellt werden. Das Ziel der Studie war es, der europäischen Waschmittelindustrie eine umfassende und repräsentative Ökobilanz zum Thema Waschen anhand zu geben.

Die gesamte Komplexität des Systems Waschen abzubilden, ist an dieser Stelle nicht möglich. Wie komplex allein die Herstellung eines Waschmittels ist, zeigt das Materialflussbild nur einiger ausgewählter Waschmittelrohstoffe in Abb. 10.5.

Definition von Ziel und Betrachtungsgrenzen

Die vier Teile der oben genannten Studie beschreiben das gesamte System „Waschen häuslicher Wäsche“ von der Produktion der Rohstoffe, der Herstellung von Waschmittel und Weichspüler incl. Verpackung, über das Waschen, Trocknen und Bügeln der Wäsche. In Abb. 10.6 sind die Grenzen des untersuchten Systems in vereinfachter Form dargestellt.

Die Industrieanlagen und die entsprechende Infrastruktur wurden in der Studie nicht berücksichtigt. Der Anteil an Umwelteinflüssen dieser Anlagen, der auf einen Waschgang angerechnet werden müsste, ist vernachlässigbar gering.

Auch die Herstellung und Entsorgung von Waschmaschine, Trockner und Bügeleisen wurde nicht berücksichtigt, da dies aufgrund der relativ hohen Lebensdauer der Geräte im Verhältnis zu den Aufwendungen in der Gebrauchsphase von untergeordneter Bedeutung ist. Dies zeigt auch die Studie, die im Zusammenhang mit dem europäischen Umweltzeichen erstellt wurde [11]. Die Analyse des europäischen Marktes ergab, dass mehr als 95 % der über den Lebensweg benötigten Energie bei dem Betrieb der Maschine, d. h. für das Waschen der Wäsche, verwendet werden. Knapp 5 % entfallen auf Produktion, Vertrieb und Entsorgung (Abb. 10.7) Auch die Emissionen, da im Wesentlichen energiebedingt, verteilen sich entsprechend auf die dargestellten Lebenswegschritte. Bei den Emissionen in Wasser und Luft liegen die Werte sogar noch höher. Diesen Werten ist eine 14jährige Nutzungsdauer der Maschinen zugrunde gelegt.

Dateninventar

Zur Berechnung des Dateninventars des Waschmittels wurden die Daten der drei 1998 in Deutschland marktführenden Superkompaktwaschmittel Persil Megaperls (Henkel KGaA), Sunil (Unilever) und Ariel Future (Procter & Gamble) sowie die Weichspüler Vernel (Henkel KGaA), Kuschelweich (Unilever) und Lenor (Procter & Gamble) incl. Verpackung und Transport verwendet. Die von den drei beteiligten Firmen für ihre Produkte individuell berechneten Daten wurden gemittelt und als industrieller Durchschnitt für weitere Berechnungen einge-

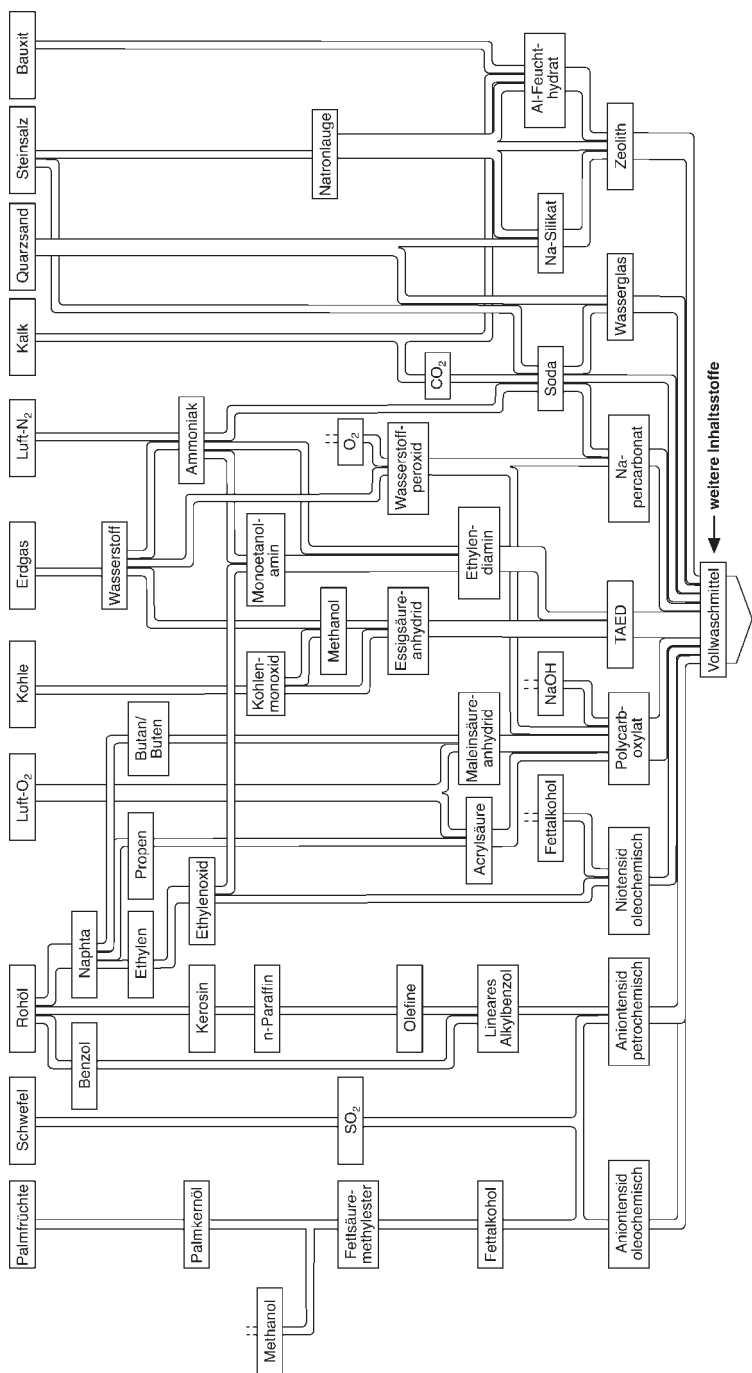


Abb. 10.5 Vereinfachtes Materialflussbild zur Herstellung eines Vollwaschmittels.

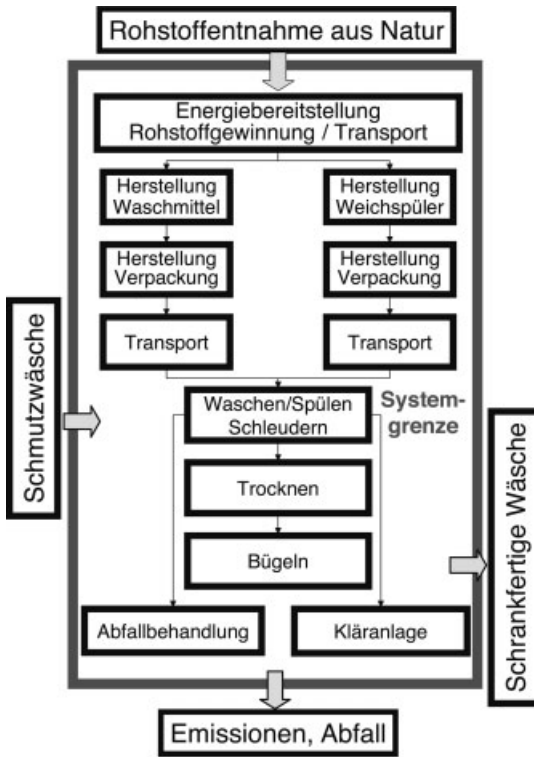


Abb. 10.6 Systemgrenzen einer Ökobilanz des Waschens.

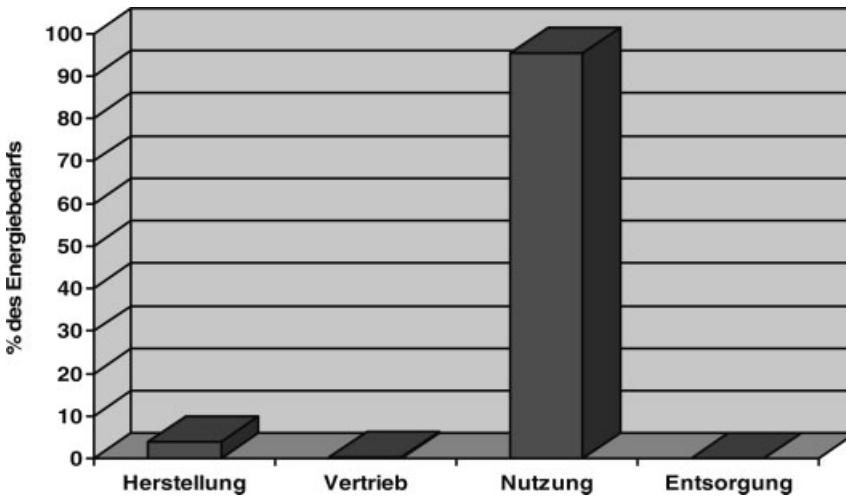


Abb. 10.7 Energiebedarf einer Waschmaschine über den gesamten Lebensweg (in % der Gesamtenergie).

setzt. Die Daten des Waschprozesses (Stromverbrauch, Temperatur) wurden dem Bericht der A.I.S.E. [12] entnommen. Als Transportleistung vom Hersteller zum Handel wurden 300 km Bahn- und 360 km Straßentransport zugrunde gelegt. Die Daten repräsentieren die Situation in Deutschland von 1998. In Abb. 10.8

Parameter	Wert
Wäschemenge pro Waschgang, mittlere Verschmutzung	3,7 kg
Menge Waschmittel (empf. Dosis)	75 g
Wasserhärte	mittel
Durchschnittliche Waschtemperatur [13]	49 °C
Durchschnittlicher Stromverbrauch Waschen [12]	0,99 kWh
Durchschnittlicher Stromverbrauch Trocknen [13]	2,52 kWh
Durchschnittlicher Stromverbrauch Bügeln [14]	1,06 kWh
Entsorgung Verpackung [15]	82% Deponie, 18% Müllverbrennung
Entsorgung Abwasser [16]	
Haushalte	Kläranlage
ohne Anbindung	10%
Stufe 1(mechanische Reinigung)	5%
Stufe 2 (biologische Reinigung)	82%
Stufe 3 (chem. Fällungsstufe)	3%
Stromszenarium	Deutschland

Abb. 10.8 Rahmenbedingungen für eine Ökobilanz des Waschens

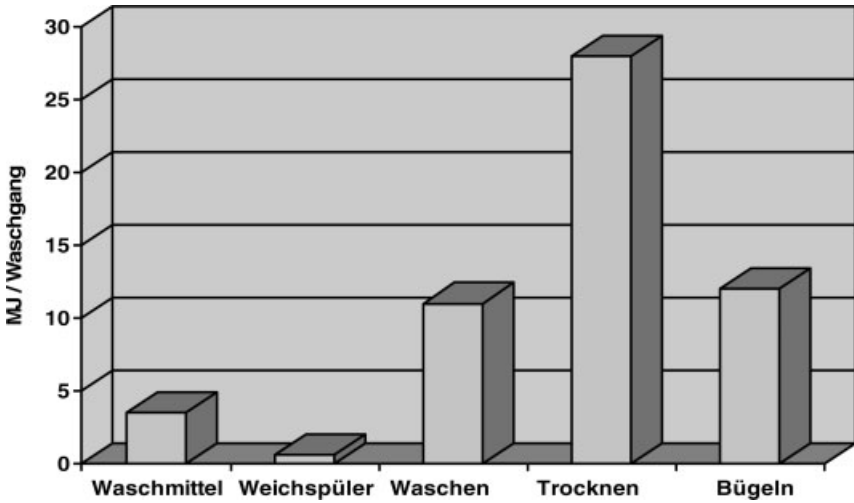


Abb. 10.9 Energiebedarf pro Waschgang

sind die in der A.I.S.E.-Studie verwendeten Rahmenbedingungen zusammengefasst.

Der sich aus den Berechnungen ergebende Energiebedarf bezogen auf einen Waschgang in Megajoule (MJ) ist für die einzelnen Lebenswegschritte in Abb. 10.9 wiedergegeben.

Die Berechnungen identifizieren die Schritte Waschen, elektrisches Trocknen und Bügeln eindeutig als diejenigen mit dem größten Energiebedarf. Da die Luftemissionen weitgehend durch die Energiebereitstellung verursacht werden, würde deren Darstellung in einem Diagramm ähnlich aussehen.

Anders ist es bei den Wasseremissionen. Wie anhand einiger ausgewählter Emissionen in Abb. 10.10 ersichtlich, liegt der Schwerpunkt hier hauptsächlich bei den Emissionen der Rohstoffherstellung und der Kläranlage. Die Emissionen beim Waschen, Trocknen und Bügeln entstehen durch die Energieproduktion in den Kraftwerken.

Eine etwas detailliertere Darstellung zeigt Abb. 10.11. Dort sind die Lebenswegschritte des Waschmittels incl. Waschen bis zur Kläranlage und Mülldeponie anhand beispielhafter Umweltbelastungen aufgegliedert und deren Beiträge prozentual dargestellt.

Deutlich zeigt sich auch hier, dass die Gebrauchsphase, also das Waschen, die größten Einflüsse ausübt. Der Anteil am Gesamtenergiebedarf beträgt hier ca. 76 %, wenn man elektrisches Trocknen und Bügeln nicht mit einberechnet. Daraus resultieren auch die hohen Anteile an der Luftbelastung (CO₂-Emissionen durch fossile Brennstoffe) und dem Abfall (Kraftwerks-Aschen). Der hohe Prozentsatz der durch die Kläranlage verursachten Wasserbelastung erklärt sich dadurch, dass das Waschmittel nach dem Gebrauch vollständig über die Kanalisation in die Kläranlage gelangt, dort zum überwiegenden Teil abgebaut wird und die Reste dann in das Wasser gelangen. Die absoluten Mengen sind wesentlich geringer als anhand des prozentualen Anteils vermutet werden könnte.

Wasseremission [mg]	Waschmittel	Weichspüler	Waschen	Trocknen	Bügeln
CSB*	7300	3300	1	2,7	1,1
BSB*	3800	790	0,01	0,04	0,02
Gelöste Feststoffe	440	25	120	300	130
Suspendierte Feststoffe	12.000	700	43	110	46
Metall-Ionen	9500	5,2	0,02	0,04	0,02
Sulfate	1300	35	470	1200	510

* chemischer bzw. biologischer Sauerstoffbedarf

Abb. 10.10 Wasseremissionen pro Waschgang. Die Emissionen von Waschmittel und Weichspüler beziehen sich auf den gesamten Lebensweg der Produkte [10].

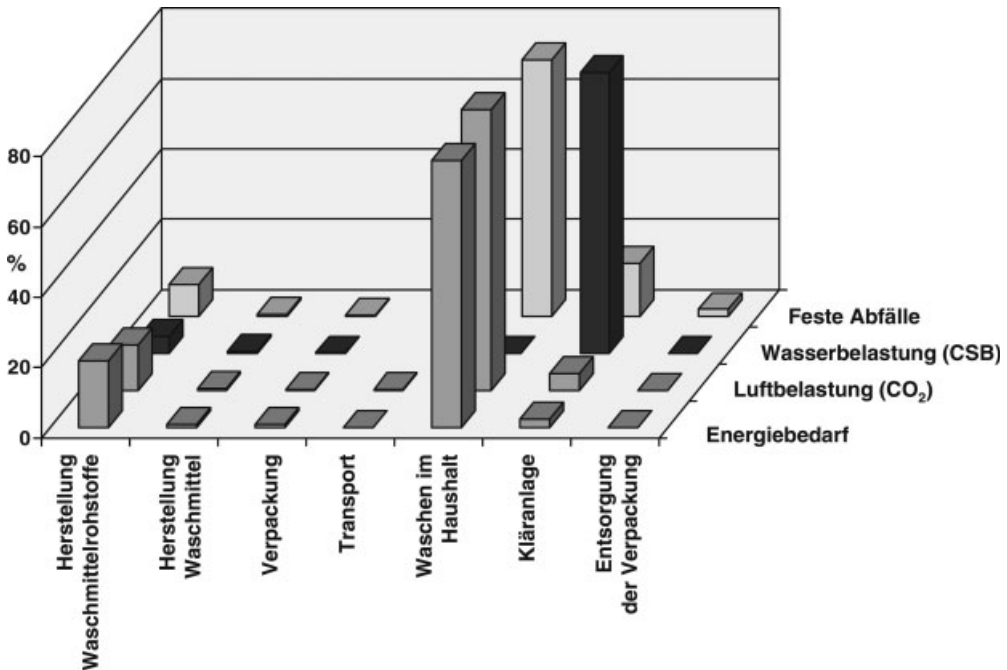


Abb. 10.11 Prozentuale Umweltauswirkungen bezogen auf den gesamten Lebensweg des Waschmittels.

Auswertung

Die hier dargestellte Untersuchung ist zwar älteren Datums, aber die Erkenntnisse daraus sind immer noch gültig, auch wenn sich inzwischen Änderungen, z. B. bei der Dosierung, ergeben haben.

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung sind ähnlich denen des Dateninventars. Der prozentuale Beitrag der einzelnen Lebenswegschritte zu den Umweltauswirkungen ist aus der Abb. 10.12 zu ersehen. Einwirkungen im Zusammenhang mit dem Treibhauseffekt (GWP), dem „Sauren Regen“ (AP) und dem Sommersmog (POCP) werden vorwiegend durch die Lebenswegschritte verursacht, welche die meiste Energie benötigen, also Waschen, Bügeln und Trocknen. Die Überdüngung von Flüssen und Seen (NP) ist zu etwa gleichen Teilen durch die Produkte (Waschmittel, Weichspüler) und durch den Energiebedarf bedingt.

Die Ökobilanzstudie zeigt deutlich, dass die meisten Umwelteinwirkungen durch die Nutzungsphase und die nachfolgenden Schritte verursacht werden. Selbst ein völliger Verzicht auf Waschmittel und Weichspüler würde die Wirkung z. B. auf den Treibhauseffekt um maximal 7% verringern. Beim Sauren Regen und Sommersmog sieht es ähnlich aus.

Will man nicht auf das elektrische Trocknen verzichten, ist die Verringerung des Energiebedarfs beim Waschen der aussichtsreichste Ansatzpunkt für die Reduktion der Umwelteinflüsse, z. B. durch Erniedrigung der Waschtemperatur. Mit

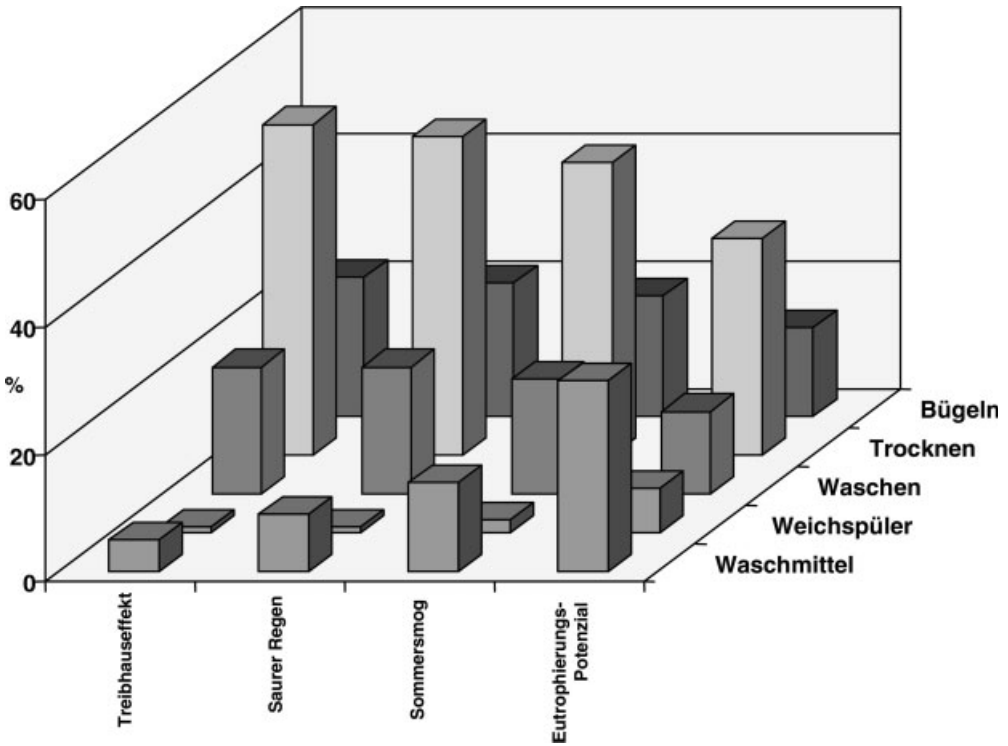


Abb. 10.12 Prozentuale Verteilung der Umweltauswirkungen beim Waschen, Trocknen und Bügeln.

modernen, energieeffizienten Waschmaschinen und geringerer Waschtemperatur lässt sich der Energiebedarf und damit auch die Luftemissionen bei gleicher Waschleistung auf ein Viertel reduzieren, von 4,3 kWh (1970, 90 °C-Waschgang) auf 0,95 kWh (2005, 60 °C-Waschgang) (vgl. auch Abb. 1.22).

Durch den Einsatz leistungsfähiger Waschmittel ist es heute sogar möglich Waschttemperaturen von 40 °C und niedriger zu verwenden. Die daraus resultierenden Einsparungen z. B. beim Global Warming Potential sind in Abb. 10.13 zu ersehen. Waschmaschinen mit höherer Schleuderdrehzahl verringern das Restwasser in der Wäsche und damit auch den Energiebedarf des Trockners.

Keinen Weichspüler zu verwenden hat dagegen nur geringen Einfluss auf die Umweltauswirkungen (ca. 1–2 % beim Treibhauseffekt, ca. 7 % der Wasseremissionen). Trotzdem werden Weichspüler oft als unnötige Umweltbelastung und sogar schädlich für die Haut angesehen (vgl. Kap. 8.5). Die zusätzlichen Belastungen durch den Weichspüler liegen, je nach Verbraucherverhalten, in der Größenordnung der Umweltentlastungen, die durch Verringerung des Wasserrückhaltevermögens und geringerer Knitterneigung der Wäsche als Energieeinsparungen beim Trocknen und Bügeln erzielt werden können [17–19].

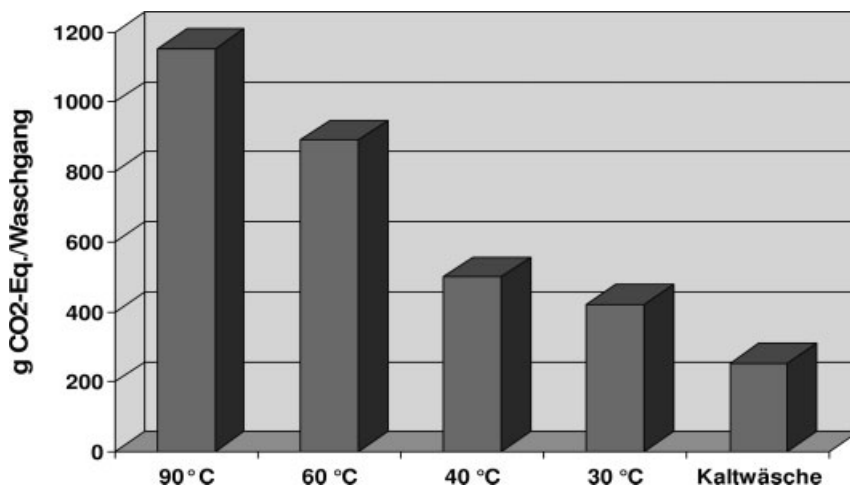


Abb. 10.13 Global Warming Potential der Nutzungsphase bei verschiedenen Waschttemperaturen.

Eine herausragende Rolle spielt natürlich das Verbraucherverhalten. Alle oben aufgeführten Verbesserungsmöglichkeiten sind wirkungslos, wenn sie nicht entsprechend angewandt werden. Aus diesem Grund ist es von besonderer Bedeutung, die bei dieser Untersuchung ermittelten Schwachpunkte auf dem Lebensweg des Wäschewaschens zu kommunizieren. Das führte z. B. zur Einführung des A.I.S.E. Code of Good Environmental Practice [20], der mit der Aktion „Wash right“ gezielte Anweisungen zur Verringerung der Umweltbelastungen gab. Auch das Forum Waschen [21], eine Initiative des Industrieverbands Körperpflege- und Waschmittel (IKW), informiert u. a. regelmäßig an „Tagen des nachhaltigen (Ab)waschens“ über die Möglichkeiten umweltbewusster zu waschen (s. Kap. 11.2).

Literatur

- 1 Brundtland-Report 1987, UN-Sachverständigen-Kommission, World Commission on Environment and Development.
- 2 DIN EN ISO 14040, *Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen*, Beuth-Verlag, 2006.
- 3 DIN EN ISO 14044, *Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen*, Beuth-Verlag, 2006.
- 4 Umweltbundesamt, Ökobilanz für Getränkeverpackungen, 36/2000, 37/2000.
- 5 The ecoinvent Database, www.ecoinvent.ch.
- 6 Heijungs, R. (ed.): *Environmental Life Cycle Assessment of Products*, Bd. 1: Guide, Bd. 2 Background, Centrum voor Milieukunde (CML), Leiden, 1992.
- 7 Umweltbundesamt (Hrsg.): *Bewertung von Ökobilanzen*, UBA-Texte 92/99.
- 8 Goedkoop, M. and Spriensma, R.: *The Eco-indicator 99*, Pré Consultants, Amersfoort, April 2000.

- 9 IPCC 2007 (Intergovernmental Panel on Climate Change), Fourth Assessment Report, www.ipcc.ch.
- 10 A.I.S.E., The Life cycle assessment of European clothes laundering, Part 1–4.
- 11 PA Consulting, Eco labelling criteria for washing machines. UK Ecolabelling Board, London 1992.
- 12 A.I.S.E., 1998 Annual Review, Brüssel.
- 13 Mitteilungen der AISE und CECED (European Committee of Domestic Equipment Manufacturers).
- 14 Öko-Institut, Freiburg, Produktlinienanalyse von Wäsche und Weichspüler, 2000.
- 15 Informationen aus der AISE-Datenbank über Abfallbehandlung in europäischen Ländern.
- 16 Mance, G.: Influent and river quality, *J. IWEM*, 7 (1993) 592–598.
- 17 Puchta, R., Kings, P., Wilsch-Irrgang, A.: *Hauswirtschaft und Wissenschaft* 2/1994, 70–75.
- 18 Francis, T. T.: Fabric conditioners, Vortrag SEPAWA 2003.
- 19 Forum Waschen: Weichspüler – Fakten, pro und contra, www.forum-waschen.de (aufgerufen 08/2009).
- 20 A.I.S.E. Code of Good Environmental Practice, www.washright.com/uk/who.html.
- 21 Forum Waschen, www.forum-waschen.de.

11

Waschmittel und Nachhaltigkeit

11.1

Allgemeine Betrachtungen

Spätestens seit Ende der achtziger Jahre ist ins Bewusstsein gerückt, dass wir erstmals in der Geschichte der Menschheit in globale Stoffkreisläufe eingreifen und wir dadurch die Umweltbedingungen unseres Planeten möglicherweise weltweit verändern werden. Ursachen dafür sind die starke Zunahme der Erdbevölkerung in den letzten fünfzig Jahren, unsere heutigen technischen Möglichkeiten und eine energie- und ressourcenintensive Lebensweise in den Industrieländern.

Um diesen globalen Herausforderungen zu begegnen, ist ein neues Leitbild entstanden: *Die Nachhaltige Entwicklung*. Der Begriff Nachhaltigkeit wurde in diesem Zusammenhang zum ersten Mal Ende der achtziger Jahre von der sogenannten Brundtland-Kommission der Vereinten Nationen beschrieben als wirtschaftliche Entwicklung, bei der die folgenden Generationen die gleichen Chancen zur Entwicklung besitzen müssen, wie die lebende Generation – oder anders ausgedrückt: Eine nachhaltige Entwicklung bedeutet, dass die Bedürfnisse der heutigen Generation befriedigt werden können, ohne die Bedürfnisse zukünftiger Generation zu gefährden.

Der Ursprung des Begriffs Nachhaltigkeit liegt in der Waldwirtschaft. Bis in die frühe Neuzeit war Holz einer der wichtigsten Rohstoffe und fast die einzige Energiequelle. Die daraus resultierende Übernutzung führte zu einem starken Rückgang der Wälder. Vor diesem Hintergrund regte Hans Carl von Carlowitz 1713 in seinem Buch „*Sylvicultura oeconomica*“ an, nur noch so viel Holz einzuschlagen, wie auch auf natürlichen Wege nachwächst. Mit anderen Worten: Nur die Erträge der Wälder sollten genutzt werden, nicht aber deren Substanz. Nur so ist sichergestellt, dass auch spätere Generationen den Wald und seine Erträge nutzen können.

2010 leben über 6,8 Milliarden Menschen auf der Erde und bis zum Jahr 2050 wird die Weltbevölkerung auf bis zu 9 Milliarden Menschen ansteigen. Vor diesem Hintergrund ist ein nachhaltiger – oder mit anderen Worten: verantwortungsvoller – Umgang mit den Ressourcen der Erde unabdingbar. Um noch einmal Hans Carl von Carlowitz zu zitieren: Der Mensch kann niemals „wider die Natur handeln“ sondern er muss „mit ihr agieren“.

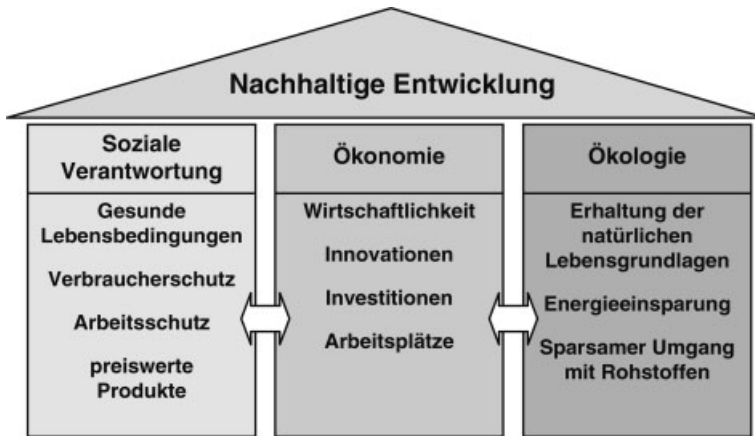


Abb. 11.1 Dimensionen der Nachhaltigkeit.

Es gilt, konkrete Antworten auf die neuen Herausforderungen einer sich immer schneller verändernden Welt zu finden und die ökologischen Herausforderungen mit wirtschaftlichen Interessen und sozialer Verantwortung zu verbinden. Das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung geht damit weit über die Umweltproblematik hinaus. Die drei tragenden Säulen der Nachhaltigkeit sind deshalb gleichermaßen Ökologie, Ökonomie und soziale Verantwortung mit den folgenden Zielsetzungen (Abb. 11.1):

1. *Ökologie:*

Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen (Luft, Wasser, Boden), des Artenreichtums der Lebewesen (Biodiversität) sowie Schutz der Umwelt insgesamt.

2. *Ökonomie:*

Aufrechterhaltung und Stabilisierung einer Wirtschaftsordnung, die die Menschen mit allen notwendigen und nachgefragten Gütern und Dienstleistungen versorgen kann. Dazu gehört als Zielsetzung auch die Produktion von Gütern und Dienstleistungen mit möglichst geringem Energie- und Ressourceneinsatz sowie Stärkung der Innovationskraft der Wirtschaft und der dort tätigen Menschen in die Richtung, effizient mit den begrenzten Ressourcen dieser Welt umzugehen und eine Weiterentwicklung zu ermöglichen.

3. *Soziale Verantwortung:*

Wahrung der menschlichen Identität im sozialen und kulturellen Bereich. Dazu gehört als Zielvorstellung u. a. auch, allen Menschen einen angemessenen Lebensstandard zu ermöglichen, ihre persönlichen und kulturellen Grundbedürfnisse zu berücksichtigen und sie an den Möglichkeiten und Chancen unserer heutigen Welt teilhaben zu lassen.

Ausgehend von diesen Zielsetzungen lassen sich Strategien zur Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung formulieren, die nach Möglichkeit alle Bereiche unserer Gesellschaft durchdringen müssen, wenn sie erfolgreich sein sollen [1, 2]:

- Erhöhung der Stoff- und Energieeffizienz;
- Schließung von Stoffkreisläufen;
- ressourcen- und umweltschonende Innovationen;
- umweltbewusster Lebensstil.

Bei der Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung stehen wir noch am Anfang. Es gilt mehrere Schwierigkeiten zu überwinden:

- Die Thematik „Nachhaltigkeit“ durchdringt viele Bereiche unseres Lebens und verlangt sowohl von jedem Einzelnen als auch von Unternehmen, Organisationen und politischen Entscheidungsträgern grundlegende Veränderungen.
- Die Komplexität des Begriffes „Nachhaltigkeit“ macht die Vermittlung und Konkretisierung schwierig, aber dafür umso notwendiger. Eine Schwierigkeit der Nachhaltigkeitsdiskussion besteht auch darin, abstrakte Begriffe und eher allgemein gehaltene Ansprüche, z. B. „angemessener Lebensstandard“, mit Inhalt zu füllen und eine konsensfähige Definition dafür zu finden.
- Die Konkretisierung einer nachhaltigen Entwicklung ist durch das Spannungsfeld Ökonomie-Ökologie-Soziales naturgemäß von starken Interessengegensätzen geprägt. Es bedarf eines Interessenausgleichs und der Vertrauensbildung unter Einbeziehung aller an der Gestaltung einer nachhaltigen Entwicklung Beteiligten bzw. davon Betroffenen. Fortschritte im Sinne der Nachhaltigkeit sind insoweit nicht absolut definiert, sondern sind das Ergebnis einer breiten gesellschaftlichen Diskussion und müssen ständig fortentwickelt und an sich ändernde Rahmenbedingungen angepasst werden.

11.2

FORUM WASCHEN – eine Initiative zum nachhaltigen Waschen

Im Bereich der Wasch- und Reinigungsmittelindustrie wurden in den letzten Jahren konkrete Schritte unternommen, das Thema Nachhaltigkeit auch branchenspezifisch anzugehen und Möglichkeiten zur konkreten Umsetzung aufzuzeigen. Eine wesentliche Grundlage dieser Nachhaltigkeits-Aktivitäten ist eine Studie der Universität Oldenburg mit dem Titel „Nachhaltigkeit in der deutschen Waschmittelindustrie“, die 2002 veröffentlicht wurde [3].

Die deutsche Waschmittel-Industrie, vertreten durch den Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel IKW, hat gemeinsam mit allen im weitesten Sinne mit Waschmitteln befassten Anspruchspartnern und Interessenvertretern („Stakeholdern“) im Jahre 2001 das FORUM WASCHEN gegründet. Daran arbeiten als Mitglieder neben der Waschmittel-Industrie und deren Rohstofflieferanten mit: Behörden, Wissenschaft, Verbraucherschutzorganisationen, diverse gesellschaftliche Gruppen wie Umweltorganisationen, Kirchen, Schulen, Stiftung Warentest, Gewerkschaften sowie Haushaltsgeräteindustrie. Ziel ist es, gemeinsam konkrete Schritte für einen nachhaltigen Umgang mit Wasch- und Reinigungsmitteln und für eine nachhaltige Entwicklung der Industriebranche zu entwickeln.

Das FORUM WASCHEN und seine zuarbeitenden themenbezogenen Projektgruppen, die seit 2001 zu regelmäßigen Workshops und Sitzungen zusammenkommen, haben eine Reihe konkreter Nachhaltigkeits-Projekte initiiert:

- Nachhaltigkeits-Bericht der Waschmittel-Branche seit 2005;
- Tag des Nachhaltigen Waschens jeweils am 10. Mai jedes Jahres seit dem Jahr 2004;
- europaweite Vereinheitlichung freiwilliger Sicherheitshinweise;
- Studien zur Hautverträglichkeit von Waschmitteln und zum Waschen bei 30 °C / 40 °C;
- Entwicklung von Nachhaltigkeits-Indikatoren, die es erlauben, Fortschritte im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu erkennen und zu bewerten;
- Faktenpapiere zum Waschen und Reinigen und zum Einsatz nachwachsender Rohstoffe;
- Online-Plattform www.forum-waschen.de mit vielen Hintergrundinformationen, Verbraucherhinweisen und wissenschaftlichen Vorträgen zum Thema Waschen und Reinigen [4].

Nicht alle Aspekte einer nachhaltigen Entwicklung können branchenspezifisch bzw. im Rahmen des FORUMS WASCHEN bearbeitet werden. So ist die Einhaltung internationaler Mindestsozialstandards in den Fertigungsstätten von Rohstofflieferanten und Zulieferern bzw. die Einhaltung einer ökologisch verträglichen Produktionsweise im internationalen Rahmen nur schwer und nicht immer lückenlos zu überprüfen. Dazu sind die Produktionswege eines Waschmittels vom Rohstoff bis zum fertigen Produkt zu komplex (vgl. z.B. Abb. 10.4) und beinhalten sehr viele Zulieferbetriebe, die zudem marktbedingt häufiger wechseln können.

Das FORUM WASCHEN ist ein erster konkreter Schritt, die Thematik „Nachhaltigkeit“ anzugehen, dazu Perspektiven zu entwickeln und zielgerichtete Projekte zu initiieren. Die Arbeit an dieser Thematik ist dabei zwangsläufig langfristig angelegt. Eines hat diese Arbeitsgruppe aber in kurzer Zeit schon erreicht: eine Kommunikations- und Vertrauensbasis zu schaffen, die Vorbild auch für andere Industriezweige und andere Bereiche unserer Gesellschaft sein kann.

11.3

Hersteller und Verbraucher tragen Verantwortung für eine nachhaltige Entwicklung

Waschen und Reinigen von Bekleidung und der unmittelbaren Umgebung sind überall auf der Welt ein integraler Bestandteil des täglichen Lebens. Waschen und Reinigen dienen jedoch dabei nicht nur der Pflege von Gütern und dem Erhalt einer ästhetischen Anmutung, sondern sie leisten auch einen wichtigen Beitrag zur Hygiene und somit zur Aufrechterhaltung der Gesundheit. Aufgrund der hohen täglich verwendeten Mengen an Wasch-, Pflege- und Reinigungsmitteln und deren bestimmungsgemäßem Eintrag in die Umwelt kommt dem nachhaltigen Einsatz eine besondere Bedeutung zu.

Eine nachhaltige Entwicklung hat immer auch eine ökonomische Dimension. Das wird deutlich, wenn man den Wert der Wäsche betrachtet. 2008 wurden in Deutschland waschbare Textilien im Wert von rund 46,5 Mrd. Euro gekauft [5]. Der Werterhalt dieser Wäsche ist für jeden Verbraucher von großer ökonomischer Bedeutung und nur über das richtige Waschen zu gewährleisten.

Auch aus ökologischer Sicht ist der Werterhalt der Wäsche wichtig, denn nicht mehr genutzte, unansehnliche oder unbrauchbare Textilien werden schließlich durch neue ersetzt, die mit einem hohem Aufwand an Ressourcen produziert werden müssen.

Neben der Industrie sind besonders die Verbraucher gefordert, sich ihrer Verantwortung beim Waschen bewusst zu werden. Beiden Akteuren kommen dabei in den Bereichen Ökologie, Ökonomie und Soziales unterschiedliche Aufgaben zu.

Aufgaben der Waschmittelhersteller:

- Inhaltsstoffe in Bezug auf Sicherheit für Umwelt und Verbraucher zu bewerten und zu optimieren (vgl. Kap. 8 und 9);
- Verantwortung für den gesamten Lebensweg der Produkte übernehmen (vgl. Kap. 10);
- Produkte preiswert anbieten;
- Arbeitsplätze sichern;
- Innovationen umsetzen;
- Handhabung erleichtern und zeitsparenden Einsatz ermöglichen;
- Arbeitsschutzmaßnahmen.

Aufgaben der Verbraucher:

- möglichst ressourcenschonend waschen (vgl. Kap. 8.4)
 - Verwendung von Niedrigdosierwaschmitteln;
 - Verpackungshinweise beachten und Waschmittel richtig dosieren;
 - möglichst niedrige Wassertemperatur wählen;
 - Waschmaschine voll beladen;
- Verbrauchergewohnheiten und Lebensweise kritisch überprüfen und gegebenenfalls ändern unter Beachtung der Prinzipien der Nachhaltigkeit.

Die ökologischen Auswirkungen des Wäschewaschens hängen im hohen Maße davon ab, dass richtig, d. h. möglichst ressourcenschonend, gewaschen wird. Dabei sind Ökonomie und Ökologie kein Widerspruch, denn „richtiges“ Waschen spart Geld und schont die Umwelt. Da die Hauptumweltbelastungen beim Waschen im Haushalt anfallen (vgl. Kap. 10), gilt es, die Alltagskompetenz von Verbraucherinnen und Verbrauchern in diesem Punkt zu stärken und ihnen die notwendigen Informationen und Hilfen zu liefern, die vielen Innovationen der letzten Jahre bei Wasch- und Waschhilfsmitteln richtig anzuwenden (s. Kap. 8.4). Hierbei kommt der Verbraucherinformation und -kommunikation zum zeitgemäßen Waschen eine zentrale Bedeutung zu. Nicht umsonst hat das FORUM WASCHEN dies als einen zentralen Punkt seiner Aktivitäten definiert.

Wie wichtig eine umfassende Verbraucherinformation ist, zeigen Umfragen und Statistiken zum Thema Waschen. So wird in vielen Haushalten immer noch bei zu hohen Temperaturen gewaschen (vgl. Kap. 8.2), die Waschmaschinenkapazität nicht voll genutzt und zu ungenau dosiert.

Für die Verbraucher bedeutet nachhaltiger Konsum beim Waschmittelkauf, dass sie sich nicht nur am Preis des Produktes orientieren, sondern beim Kauf z. B. auch auf eine möglichst geringe Dosierung pro Waschgang achten. Weiterhin sollten auch die Möglichkeiten zur Verbraucherinformation und -kommunikation genutzt werden. Die meisten Waschmittelhersteller bieten dazu eine Verbraucher-Hotline an. Hilfen zur Information und Beratung beim Thema Waschen bieten u. a. auch die Verbraucherorganisationen (DHB-Netzwerk Haushalt, Deutscher LandFrauenverband dlV, die Verbraucher-Initiative, Verbraucherzentrale Bundesverband vzbv u. a.), die Stiftung Warentest und der Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel IKW.

11.4

Weitere Initiativen und Ansätze zum „Nachhaltigen Waschen“

11.4.1

Umweltzeichen für Waschmittel

In Europa gibt es eine Fülle von nationalen bzw. länderübergreifenden Kennzeichnungen für besonders umweltverträgliche Produkte. Diese Umweltzeichen sind zum Teil branchenspezifisch oder gelten nur für bestimmte Produktgruppen. Auch im Bereich der Wasch- und Reinigungsmittel gewinnen Öko-Kennzeichnungen zunehmend an Bedeutung.

Zu den bekannten Umweltzeichen gehören u. a. der „Nordische Schwan“ und das Europäische Umweltzeichen („Euroblume“, „EU-Blume“). Das auch für Deutschland relevante *Europäische Umweltzeichen* wird hier kurz vorgestellt:

Das *Europäische Umweltzeichen* gibt es seit 1992. Es kann für verschiedene Produktgruppen beantragt werden, wenn bestimmte Kriterien hinsichtlich der Umweltverträglichkeit erfüllt werden, z. B. für Wasch- und Reinigungsmittel, Kleidung,



elektronische Haushaltsgeräte u. a. Das Europäische Umweltzeichen wurde bisher für mehr als 20.000 Produkte europaweit vergeben (Stand Dezember 2009) und findet eine zunehmende Akzeptanz und Relevanz für nachhaltigen Konsum.

Das Europäische Umweltzeichen wurde *für Waschmittel* zum ersten Mal 1995 vergeben. Bisher wurde das EU-Umweltzeichen für Waschmittel europaweit 220 Mal vergeben (Stand 12/2009) [6]. Darunter sind auch Waschmittel, die in verschiedenen Packungsgrößen bzw. Angebotsformen registriert sind, so dass die Anzahl der Marken geringer ist. Es kann auf Antrag vergeben werden, wenn ein Waschmittel den durch die Europäischen Kommission (s. Amtsblatt der EU 2003/200/EG) festgelegten Kriterien hinsichtlich der Inhaltsstoffe, der Ergiebigkeit, der biologischen Abbaubarkeit, der Verpackung und der Waschleistung genügt. Das EU-Umweltzeichen wird vom Ausschuss für das Umweltzeichen der Europäischen Union (AUEU) verwaltet und von der Europäischen Kommission, sämtlichen Mitgliedstaaten der Europäischen Union und dem Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) unterstützt. Dem Ausschuss für das Umweltzeichen gehören Vertreter aus Industrie, Umweltschutzvereinigungen und Verbraucherverbänden an. Für die Prüfung und Vergabe des Siegels innerhalb Deutschlands sind das Deutsche Institut für Gütersicherung und Kennzeichnung (RAL) und das Umweltbundesamt verantwortlich. Die Anforderungen an die Produktleistung müssen bei der „Euroblume“ für Waschmittel durch ein externes Prüfinstitut bestätigt werden. Daher stellt es für den Verbraucher gleichzeitig ein Qualitätssiegel dar. Einen für die Ökobilanz eines Waschmittels wesentlichen Teil, den Waschgang mit der entsprechenden Temperaturwahl, können die Umweltkennzeichnungen kaum beeinflussen. Hier ist eine intensive Verbraucheraufklärung notwendig, die u. a. in freiwilligen Initiativen wie dem „Forum Waschen“ forciert wird.

11.4.2

Europäische Nachhaltigkeitsinitiative „Nachhaltiges Waschen und Reinigen“

Die Initiative „Nachhaltiges Waschen und Reinigen“ (CHARTER) ist eine freiwillige, europaweite Nachhaltigkeitsinitiative der Wasch-, Pflege- und Reinigungs-mittelindustrie (WPR-Industrie) mit dem Ziel der kontinuierlichen Verbesserung



in den Unternehmen der Branche. Die an der Initiative „Nachhaltiges Waschen und Reinigen“ teilnehmenden Unternehmen verpflichten sich, den gesamten Produktionsprozess überprüfbar am Ziel Nachhaltigkeit auszurichten, und zwar beginnend mit dem Rohstoffeinkauf über die eigentliche Herstellung bis hin zur Verwendung und Entsorgung durch den Verbraucher. Die Fortschritte in den teilnehmenden Unternehmen werden regelmäßig von externen Auditoren überprüft. Die teilnehmenden Unternehmen senden zusätzlich jährlich bestimmte Nachhaltigkeitsindikatoren (z. B. CO₂-Emission, Wasserverbrauch, Arbeitsunfälle) an den Internationalen Wasch- und Reinigungsmittelverband (A.I.S.E.) nach Brüssel. Dieser veröffentlicht die akkumulierten Zahlen der Unternehmen jährlich in seinem Nachhaltigkeitsbericht.

Mit Hilfe eines Siegels (s. Abb.) werden Produkte von Unternehmen gekennzeichnet, die der Initiative „Nachhaltiges Waschen und Reinigen“ beigetreten sind. Im Rahmen der Initiative werden wesentliche Verbraucherinformationen auf der Produktverpackung verbessert und europaweit vereinheitlicht. Unter anderem finden sich auf den Packungen Sicherheitspiktogramme, Verbrauchertelefonnummern für qualifizierte Auskünfte und das sogenannte Washright-Panel mit Hinweisen zum nachhaltigen Waschen.

Ende 2009 sind europaweit hundert Unternehmen dieser Initiative beigetreten. Weitere wichtige Hinweise zur nachhaltigen Anwendung von Wasch- und Reinigungsmitteln liefert die Internetseite <http://de.cleanright.eu>.

11.4.3

Der „Product Carbon Footprint (PCF)“ – Ein Maß für Ressourcenverbrauch und Klimarelevanz?

Der private Konsum ist in Deutschland für mehr als 40 % der Pro-Kopf-Emissionen an Treibhausgasen verantwortlich. Nachhaltiger und damit klimaverträglicher und ressourcenschonender Konsum ist nur möglich, wenn Verbraucher die Klimaverträglichkeit der Produkte und deren klimaverträgliche Verwendung einschätzen können. In den vergangenen Jahren wurden einige sinnvolle Instrumente zur Information von Konsumenten geschaffen, beispielsweise das europäische Energielabel für Haushaltsgroßgeräte. Für Konsumgüter gibt es dagegen bislang kaum erprobte und allgemein akzeptierte Instrumente, die gezielt über deren Klimaverträglichkeit informieren. Der „Product Carbon Footprint“ ist eine in den letzten Jahren zunehmend diskutierte Möglichkeit, die Klimarelevanz von Produkten und Dienstleistungen darzustellen [7].

Der Begriff „Product Carbon Footprint“, PCF, („Kohlendioxid-Fußabdruck“, „CO₂-Fußabdruck“) bezeichnet die Bilanz der Treibhausgas-Emissionen entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts in einer definierten Anwendung.

Als Treibhausgase gelten u. a. Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) oder Lachgas (N₂O). Um eine einheitliche Angabe zu ermöglichen, werden die unterschiedlichen Treibhausgase in „Kohlendioxid-Äquivalente“ umgerechnet. Für den PCF von Wasch- und Reinigungsmitteln ist nur Kohlendioxid als Treibhausgas relevant.

Der Lebenszyklus eines Produkts umfasst die gesamte Wertschöpfungskette: von der Herstellung und dem Transport der Rohstoffe und Vorprodukte über Produktion und Distribution bis hin zur Nutzung und Entsorgung. Der Begriff Produkt steht als Oberbegriff für Waren, z. B. Waschmittel, und Dienstleistungen, z. B. Flugreise. Der Kohlendioxid-Fußabdruck für ein Produkt lässt sich mit Hilfe von Ökobilanzen ermitteln (vgl. Kap. 10). Allerdings sind die Methoden zur Berechnung des Kohlendioxid-Fußabdruckes bisher noch nicht ausreichend entwickelt, um eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Produkte einer Kategorie zu gewährleisten.

Der Kohlendioxid-Fußabdruck eines Waschmittels

Für ein deutsches Markenwaschmittel ist der Kohlendioxid-Fußabdruck exemplarisch ermittelt worden [7] und hat zu folgenden Ergebnissen geführt:

Mehr als 70 % der Emissionen (ca. 510 g CO₂ pro Waschgang bei einer durchschnittlichen Waschttemperatur von 46 °C) des gesamten PCF von rund 700 g CO₂ pro Waschgang entstehen während der Nutzungsphase, insbesondere durch den Betrieb der Waschmaschine und die Erwärmung des Wassers. Bei einer Waschttemperatur von 30 °C reduzieren sich Energieverbrauch und Emissionen in der Nutzungsphase um rund 50 % (auf ca. 240 g CO₂). Dauer, Temperatur und Art des Waschgangs sowie die Energieeffizienz der Waschmaschine sind somit zentrale Einflussgrößen für den gesamten PCF.

Der Kohlendioxid-Fußabdruck eines Waschmittels wird durch das Verhalten des Verbrauchers während der Nutzungsphase im Haushalt sowie durch Alter und Bauart der Waschmaschine entscheidend beeinflusst. Eine produktbezogene Kennzeichnung des Waschmittels ist insofern nur begrenzt aussagekräftig. Einen Kohlendioxid-Fußabdruck des Waschens gibt es bisher nicht und dieser muss das klimarelevante Verhalten des Verbrauchers in den Mittelpunkt der Betrachtungen stellen. Die Klimarelevanz des Waschens ist bezogen auf den privaten Konsum insgesamt relativ gering. Weniger als 3 % der Treibhausgasemissionen von Privathaushalten entfallen auf das Wäschewaschen.

11.5

Der Beitrag nachwachsender Rohstoffe für eine nachhaltige Entwicklung der Waschmittel

Es ruhen viele Erwartungen und Hoffnungen darauf, dass die vermehrte Nutzung nachwachsender Rohstoffe einen wichtigen Beitrag für eine nachhaltige Entwicklung leisten kann.

- Nachwachsende Rohstoffe können einen wichtigen Beitrag zur Nachhaltigkeit liefern, da sie prinzipiell unlimitiert zur Verfügung stehen, während sowohl anorganische als auch petrochemische Rohstoffe einem endlichen Ressourcenpool entstammen.

- Die massive Nutzung fossiler Brennstoffe trägt maßgeblich zum Treibhaus-effekt und damit zur globalen Klimaänderung bei. Nachwachsende Rohstoffe sind in den natürlichen Stoffkreislauf integriert und können prinzipiell wegen ihrer weitgehenden CO₂-Neutralität einen Beitrag zum Klimaschutz leisten.
- Beim Einsatz nachwachsender Rohstoffe können deren natürliche Strukturelemente genutzt werden, wodurch diese Materialien zur Entwicklung umwelt-verträglicher Produkte und Produktionsweisen beitragen.

Den Vorteilen nachwachsender Rohstoffe stehen auch eine Reihe kritischer Argumente gegenüber:

- In den Entwicklungsländern können nachwachsende Rohstoffe in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion und zur Selbstversorgung stehen. Neue soziale oder politische Spannungen und neue Abhängigkeiten von den Industrieländern sind möglich.
- Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe kann zu einem gesteigerten Flächenbedarf führen, der nicht zur Zerstörung ökologisch wertvoller Landschaften (wie tropischer Regenwälder) führen darf.

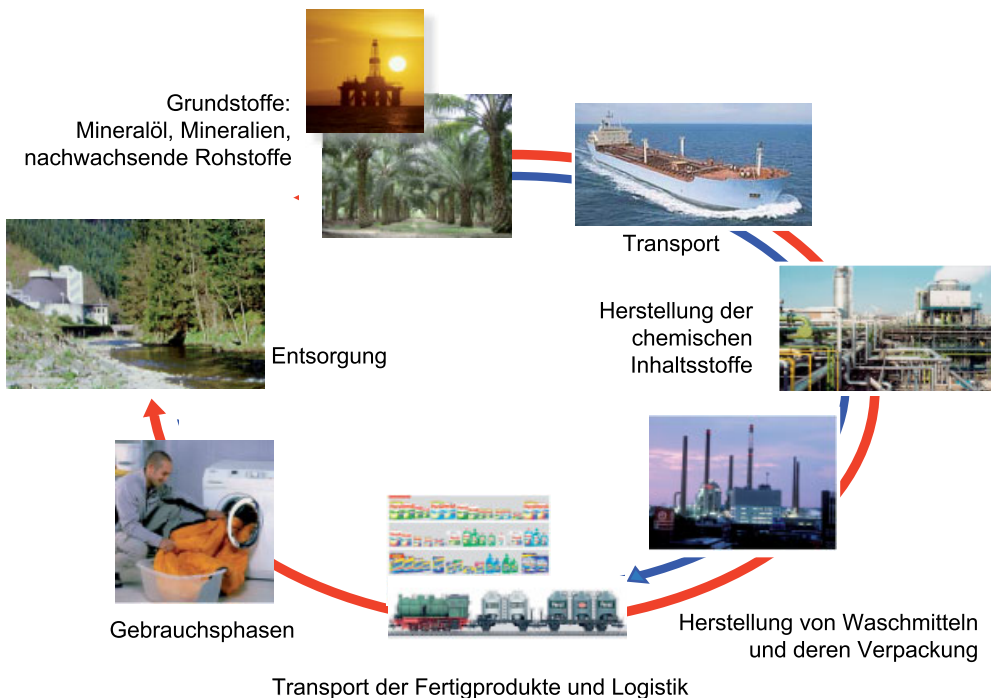


Abb. 11.2 Waschmittelkreislauf.

Nachhaltig sind nachwachsende Rohstoffe somit nur, wenn sich unter sorgfältiger Abwägung der ökologischen, sozialen und ökonomischen Aspekte ein gesamthafter Vorteil gegenüber petrochemisch basierten Produkten ergibt.

Um die Nachhaltigkeit der Nutzung nachwachsender Rohstoffe für Waschmittel zu beurteilen ist es nicht ausreichend, Waschmittel isoliert als ein Produkt zu betrachten. Belastbare Aussagen erhält man nur, wenn man den gesamten Waschprozess mit in die Betrachtung einbezieht (Abb. 11.2). Die wichtigsten Abschnitte in diesem Prozess sollen im Folgenden kurz unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit diskutiert werden.

Rohstoffe

Bei Waschmitteln – dies gilt sowohl für flüssige, aber auch für pulverförmige Produkte – handelt es sich um Gemische aus anorganischen und organischen Chemikalien. Nutzt man als Rohstoffquelle nachwachsende Rohstoffe, so sind nur die organischen Substanzen zu betrachten. Die meisten heutzutage industriell eingesetzten organischen Chemikalien basieren immer noch auf Erdöl. Der Anteil der nachwachsenden Rohstoffe als Quelle für organische Chemikalien hat zwar in den letzten Jahren stetig zugenommen, lag aber in Deutschland im Jahr 2008 erst bei insgesamt 10 % [8].

Generell stehen Pflanzen und biotechnologische Verfahren (Fermentation) als Quellen für nachwachsende Rohstoffe zur Verfügung, wobei die Rohstoffe aus der Pflanze beziehungsweise dem Fermentationsmedium großtechnisch isoliert werden müssen. Um die nachwachsenden Rohstoffe in leistungsstarke Chemikalien zu überführen, sind in der Regel weitere chemische Umsetzungen erforderlich [9]. Besonders interessant ist in diesem Zusammenhang das Konzept der Bio-raffinerien. Hierbei werden bestimmte biotechnologische und chemische Prozessschritte so kombiniert, dass ein stofflicher und energetischer Austausch gewährleistet wird, was zu einer Minimierung von Energieeinsatz und Emissionen führt [10].

In Wasch- und Reinigungsmitteln stellen Tenside mengenmäßig die wichtigste Chemikaliengruppe dar, die auf nachwachsenden Rohstoffen basiert. Ausgangspunkte sind hier Palmkernöl und Kokosöl, da deren Alkylketten im Bereich C_{12-14} liegen und sie sich damit besonders gut für die Produktion von Tensiden eignen. Typische Vertreter dieser Verbindungsklasse sind Fettalkoholsulfate und Fettalkoholethersulfate als anionische Tenside und Fettalkoholethoxylate als nichtionische Tenside. All diese Tenside stellen in der Regel eine Kombination aus einem „nachwachsenden“ Molekülteil und einem Molekülteil dar, der auf klassischer organischer bzw. anorganischer Chemie basiert. Selbst die Alkylpolyglucoside, die zu 100 % aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen, werden nicht direkt aus der Natur gewonnen, sondern stellen einen chemischen Umbau der natürlichen Chemikalien dar. Von den rund 193.000 Tonnen Tensiden, die in Deutschland 2007 in Wasch- und Reinigungsmitteln eingesetzt wurden, entstammten rund 39.000 Tonnen aus den nachwachsenden Rohstoffen Palmkern- und Kokosöl [11].

Palmkernöl – wie auch Palmöl – sind Produkte aus der Frucht der Ölpalme. 2008 betrug der Weltmarkt an Pflanzenölen 160 Millionen Tonnen. Palmöl hatte mit 38 Mio. Tonnen daran den größten Anteil, während die Produktion von Palmkernöl nur 4,8 Millionen Tonnen betrug. 80 % des Palmöls kommen aus Südostasien (Malaysia und vor allem Indonesien). In letzter Zeit ist der Ölpalmanbau zunehmend in die öffentliche Diskussion geraten, da eine Ausweitung der Anbauflächen zu einer Abholzung der Regenwälder, zur Verdrängung von Tierpopulationen und zum Rückgang der Artenvielfalt bei Flora und Fauna führen kann. Während in Malaysia nur noch 12 % des Primärwaldes intakt sind, sind es in Indonesien 25 %. Um die Waldgebiete und die dort lebenden Tiere zu schützen hat der „Roundtable for Sustainable Palm Oil (RSPO)“, eine Organisation von Plantagen, Weiterverarbeitern, Anwendern und nichtstaatlichen Organisationen ein Zertifizierungssystem entwickelt, das sicherstellen soll, dass Palmöl und Palmkernöl unter nachhaltigen Bedingungen gewonnen werden (www.rspo.org).

Ursache für die Ausweitung der Palmölplantagen ist die enorme Produktivität der Ölpalme, deren Ölertrag pro Hektar aufgrund der günstigen klimatischen Bedingungen in den Anbauzonen rund um den Äquator weit über den Werten anderer Ölpflanzen liegt (Abb. 11.3).

Bei den in Abb. 11.3 aufgeführten Erträgen handelt es sich um Durchschnittswerte. Während viele Kleinbauern nur Erträge von 1–2 Tonnen Palmöl pro Hektar erzielen, erreichen gut geführte Plantagen Werte von bis zu 6 Tonnen pro Hektar. Insofern kann die Produktion ausgeweitet werden, ohne dass es zu einer verstärkten Abholzung von Regenwäldern kommt. Auch die Erschließung von Brach- und Ödland für den Ölpalmanbau kann den Druck auf die Abholzung von Regenwald vermindern. Erträge aus dem RSPO-Zertifizierungsprogramm helfen, die Mehrkosten aufzufangen und erleichtern somit die Steigerung der Produktivität auf dem zur Verfügung stehenden Land. Seit Ende 2008 sind nach RSPO-Standard zertifiziertes nachhaltiges Palmöl und Palmkernöl kommerziell verfügbar. Mit dem ISCC-Schema (ISCC – International Sustainability and Carbon Certification, www.iscc-project.org) steht ab 2010 ein weiteres System für die Zertifizierung von nachhaltig erzeugter Biomasse zur Verfügung, das auch Palm(kern)öl umfasst.

Kokosöl und Palmkernöl sind aus chemischer Sicht weitestgehend identisch. Die Produktivität der Kokospalme liegt mit etwa 1 Tonne Öl pro Hektar niedriger

	Öl aus der Frucht	Öl aus den Kernen
	[t / ha]	[t / ha]
Soja	0,36	-
Sonnenblumen	0,42	-
Raps	0,59	-
Kokospalme	ca. 1	-
Ölpalme	3,68	0,44 (10,7 %)

Abb. 11.3 Ertrag von verschiedenen Pflanzenölen (in Tonnen pro Hektar) [12].

als bei der Ölpalme, wobei die Kokospalme häufig in kleinbäuerlichen Betrieben angebaut wird. Hauptanbauländer für die Kokospalme sind Indonesien, die Philippinen und Indien. Vor allem in den letztgenannten Ländern gibt es inzwischen nur noch wenige großflächige Primärwälder. Daher wird die Kokospalme nicht mit der Zerstörung des Regenwaldes in Zusammenhang gebracht und gilt aus ökologischer Sicht als unbelastet. Allerdings gibt es bei den kleinbäuerlichen Produktionsstrukturen aufgrund überholter gesellschaftlicher und ökonomischer Strukturen verstärkt soziale Probleme. Auch wenn es kein dem RSPO vergleichbares Zertifizierungssystem gibt, ist eine Verbesserung der sozialen und ökonomischen Strukturen bei der Produktion dringend erforderlich, um Kokosöl zu einem nachhaltigen Rohstoff zu machen.

Bei den **biotechnologischen Verfahren** werden nachwachsende Rohstoffe mit Hilfe von spezialisierten Mikroorganismen (Bakterien, Pilzen oder Hefen) im technischen Maßstab zu Wertstoffen umgesetzt (Fermentation). Häufig wird hier der Begriff „Weiße Biotechnologie“ zur Abgrenzung von der medizinischen Biotechnologie (Rote Biotechnologie) und Biotechnologie im Pflanzenbau (Grüne Biotechnologie) verwendet. Die Fermentation spielt insbesondere für die Produktion von Enzymen, organischen Säuren (Citronensäure, Milchsäure) und Alkoholen (Ethanol) eine zentrale Rolle.

Ausgangsstoffe für die Fermentation können sowohl Nahrungsmittelgrundstoffe (z. B. Stärke aus Weizen oder Mais für die Ethanolproduktion) als auch organische Abfallstoffe (z. B. Melasse als Rückstand der Zuckerproduktion, Schlempe und sogar Klärschlamm) sein. Der Einsatz von organischen Abfallstoffen reduziert nicht nur das Abfallaufkommen, sondern senkt auch den Druck auf die Nahrungsmittelgrundstoffe und somit auch die Lebensmittelpreise. Insofern kann man die biotechnologische Gewinnung von Waschmittelinhaltsstoffen unter diesen Randbedingungen als besonders nachhaltig ansprechen, da hier sowohl Ökologie als auch Ökonomie optimiert werden, ohne dass es zu sozialen Beeinträchtigungen kommt.

Logistik

Im Rahmen einer Lebenszyklusanalyse ist auch eine Untersuchung der Logistikkette erforderlich, die den Transport der Rohstoffe sowie des fertigen Waschmittels bis zum Handel umfasst. Aus energetischer Sicht – dies beinhaltet auch die Generierung von Treibhausgasen – spielt die Logistik eine eher untergeordnete Rolle. Dennoch gibt es hinsichtlich der Transportmittel eine deutliche Abstufung: So erzeugt der Transport einer Tonne Ladung per Binnenschiff etwa 35 g CO₂/km, während es beim Transport per Bahn oder LKW 23 g beziehungsweise 87 g CO₂/km sind [13]. Unter Berücksichtigung der geografischen Gegebenheiten lässt sich so ein optimierter Transportmix erstellen.

Produktion

Generell gibt es prinzipielle Unterschiede zwischen der Produktion von Flüssig- und Pulverwaschmitteln. Im Hinblick auf den Energieeinsatz ist die Produktion von Flüssigwaschmitteln günstiger, da die entsprechenden Trocknungsschritte

wegfallen. Weitere Optimierungspotentiale bei der Produktion ergeben sich vor allem durch die Rückführung von Brauchwasser oder aber der kombinierten Erzeugung von Prozesswärme und Energie (Kraft-Wärme-Kopplung). Die Energiekosten stellen für die Firmen einen wesentlichen Kostenfaktor dar. Insofern ist die Erfassung der verbrauchten Energiemengen und die Realisierung von Einsparpotenzialen heute Stand der Technik.

Gebrauchsphase

Insgesamt werden nur 1 bis 4 % der im Haushalt verwendeten Energie für das Waschen und Reinigen verwendet, wobei der größte Teil davon für das Aufheizen des Waschwassers verwendet wird (Einzelheiten siehe Kapitel 8).

Entsorgungsphase

Die nach dem Waschen in die Abwasserreinigungsanlagen gelangenden Waschmittelinhaltsstoffe tragen zu einem erheblichen Anteil zur Abwasserfracht bei. Inwieweit Waschmittelinhaltsstoffe in die Umwelt gelangen und welche möglichen Auswirkungen dies hat, wird in Kapitel 9 im Einzelnen diskutiert.

Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe für die Herstellung von Waschmitteln entfaltet das größte Potenzial an nachhaltiger Entwicklung in der Anbauphase sowie bei der Produktion der Waschrohstoffe und des Waschmittels. Beim Transport und während der Gebrauchs- und Entsorgungsphase verhalten sich petrochemisch und aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellte Produkte ähnlich. Entscheidend ist dann die jeweilige chemische Struktur und nicht der Herstellungsweg.

Bei einer ökologisch und sozial verantwortlichen Nutzung können nachwachsende Rohstoffe einen wichtigen Beitrag für eine nachhaltige Entwicklung leisten. Dafür bedarf es Aktivitäten und förderliche Rahmenbedingungen auf internationaler Ebene.

11.6

Ausblick – Wie sieht die Zukunft des Waschens aus?

Bei allen zukünftigen Entwicklungen des Waschens im Haushalt wird eine nachhaltige Entwicklung als übergeordnetes Leitprinzip dienen müssen. Nur dann werden wir die Lebensgrundlagen auf unserem Planeten erhalten können und daran sollten wir die Erfolge von Innovationen messen. Einige denkbare, an der Nachhaltigkeit orientierte Entwicklungsrichtungen bei Waschmitteln, Waschgewohnheiten, Waschtechnologien und Textilien werden im Folgenden kurz umrissen.

Wichtige Entwicklungsperspektiven zur Verbesserung der *Leistungsfähigkeit der Waschmittel* könnten sein:

- Entwicklung von innovativen Inhaltsstoffen, die bei tieferer Waschtemperatur wirksam sind, lang andauernde Effekte aufweisen, zeitverzögerte Freigabe von Wirkstoffen ermöglichen, die Oberflächen modifizieren oder ein besseres Leistungs-/Gewichtsverhältnis aufweisen;
- Forschungen an einem tieferen Verständnis der Grenzflächenchemie und -physik;
- neue Enzymtypen, z. B. mit Bleichwirkung (Oxidasen oder Peroxidasen).

Ein wesentlicher Schritt hin zu einer nachhaltigen Entwicklung wird zukünftig die *Erhöhung der Ressourceneffizienz* beim Waschen sein. Während beim Wasserverbrauch in den nächsten Jahren vermutlich nur noch geringe Einsparungen möglich sein werden, lassen sich Waschmittel- und Energieverbrauch beim Waschen noch deutlich reduzieren. Dabei wird, wie an mehreren Stellen dieses Buches bereits betont, der Verbraucherinformation und -kommunikation eine zentrale Bedeutung zukommen. Von entscheidender Bedeutung sind dabei:

- Reduktion des Waschmittelverbrauchs durch die Wahl von Niedrigdosierwaschmitteln und die Erhöhung der Dosiergenauigkeit;
- Reduktion des Energieverbrauchs durch eine möglichst niedrige Waschtemperatur und eine bessere Ausnutzung der Waschmaschinenkapazität.

Auch neue Formen der Kommunikation und Beratung werden sich etablieren müssen, um einerseits den Verbrauchern leicht verständliche und auf ihre Bedürfnisse zugeschnittene Informationen über die Neu- und Weiterentwicklungen bei Waschmitteln, Waschmaschinen und Wäschetrocknern zur Verfügung zu stellen und andererseits Verhaltensänderungen bei Verbrauchern in Richtung des nachhaltigen Waschens in Gang zu setzen.

Weltweit gesehen zeigen die europäischen Trommelwaschmaschinen das beste Leistungsprofil bezüglich hoher Waschleistung bei niedrigem Wasser- und Energieverbrauch. Dementsprechend setzen sich diese Maschinen weltweit immer stärker durch. Derzeit zeichnen sich keine grundlegend *neuen Waschtechnologien* ab, die in den nächsten Jahren die aktuelle Waschmaschinentechnologie ersetzen könnten. Es gibt aber bereits interessante Ansätze weitgehend veränderter oder alternativer Waschtechnologien in der Entwicklung [14]. Teilweise sind diese Entwicklungen in einigen Ländern – mit bisher allerdings unbefriedigendem Erfolg – auch schon erprobt worden: Ultraschallwaschmaschinen, Textilauffrischung und Reinigung mit Wasserdampf, Hygienewaschen mit Ozon u. a. Auch der Einsatz von Silber und Silberionen zur Keimverminderung beim Waschen ist erprobt worden, schafft aber durch den daraus resultierenden Schwermetalleintrag in die Umwelt wieder neue ökologische Probleme. Eine aktuelle Untersuchung aus dem Jahr 2009 zeigt, dass die derzeit bekannten alternativen Waschverfahren bei einer Gesamtbetrachtung von Waschleistung, ökologischer Verträglichkeit und Kosten noch zu viele Nachteile gegenüber den heutigen Trommelwaschmaschinen aufweisen [14]. Möglich ist in absehbarer Zeit ein Zusatznutzen bei der Fleckvorbehandlung (Ultraschall) oder der Waschhygiene (Ozon), wenn diese Technologien z. B. bei weiterentwickelten Waschmaschinen eingesetzt werden. Vorstellbar ist auch, dass die

Waschmaschine im eigenen Haushalt in fernerer Zukunft einmal abgelöst wird durch zentralisierte Serviceeinrichtungen zum Waschen in den Stadtteilen oder in den Gemeinden, bei denen dann hocheffiziente und besonders ressourcenschonende Waschverfahren zum Einsatz kommen können.

Ebenso können sich durch *neue Materialien und Technologien bei den Textilien* die Waschtechnologien grundlegend ändern, bzw. können diese Textilien die etablierten Waschverfahren erweitern. Beispiele dafür sind:

- Textilien mit schmutzabweisenden oder selbstreinigenden Oberflächen;
- Textilien mit antibakteriellen Eigenschaften und dadurch erhöhter Trage- bzw. Nutzungsdauer (Diese sind bereits erprobt worden, bisher konnten aber die daraus resultierenden toxikologischen Probleme nicht gelöst werden.);
- Wegwerf- bzw. Einmaltextilien aus biologisch abbaubaren Materialien;
- Textilien aus Spraydosen, die mit Wasser wieder abgewaschen werden können.

Die Innovationen werden sicher nie aufhören und so wird mit Spannung zu beobachten sein, wie die weitere Entwicklung des Waschens aussehen wird.

Literatur

- 1 Renn, O.: Nachhaltige Entwicklung – Konzept und Umsetzung in der Chemie. Chemkon 9(2002), H. 2, 66–76.
- 2 Brandt, Chr.: Die chemische Industrie auf dem Weg in eine grüne Zukunft? Chemie in unserer Zeit 36(2002), H. 4, 214–224.
- 3 Behrens, T./Koplin, J./Seuring, St./Schneidewind, U.: Nachhaltigkeit in der deutschen Waschmittelindustrie. Universität Oldenburg, Fachgebiet Produktion und Umwelt, Oldenburg Mai 2002.
- 4 www.forum-waschen.de (aufgerufen 12/2009).
- 5 Bundesverband des deutschen Textileinzelhandels (BTE), www.bte.de (aufgerufen 01/2010).
- 6 www.ecolabel.com (aufgerufen 12/2009).
- 7 PCF Pilotprojekt Deutschland: Product Carbon Footprinting – Ein geeigneter Weg zu klimaverträglichen Produkten und deren Konsum?, Berlin 2009.
- 8 www.vci.de (aufgerufen 01/2010).
- 9 Fonds der Chemischen Industrie: Informationsserie Nachwachsende Rohstoffe, Frankfurt 2009, <http://fonds.vci.de>.
- 10 Statusbericht zu möglichen Potentialen von Bioraffinerien für die Forschung und die Bereitstellung von Rohstoffen für die chemische Industrie. Positionspapier von VCI und DIB, November 2009.
- 11 Forum Waschen: Fakten zur Verwendung von Palm(kern)ölen in Wasch-, Pflege- und Reinigungsmitteln in Deutschland. Stand Dezember 2009, www.forum-waschen.de.
- 12 Basiron & Yew, MPOC, London 2009.
- 13 Deutsche Bahn AG, 2009.
- 14 Schambil, F./Buchmeier, W./Glösen, B./Bohnen, J.,/Hloch, H.G./Ophüls, A.: Will Detergents disappear? An Evaluation of Alternative Wash Technologies. SOFW-Journal, 135(2009), H. 6, 47–52.

12

Allgemeine Literatur, Übersichtswerke und Internetadressen

- 1 Bohmert, F.: Hauptsache sauber? – Vom Waschen und Reinigen im Wandel der Zeit. Stürtz Verlag, Henkel KGaA, Düsseldorf 1988.
- 2 Glathe, S. und Schermer, D.: Alles sauber? – Wasser, Wäsche, Umwelt. Chemie in unserer Zeit 37 (2003), H. 5, 336–346.
- 3 Hauthal, H. G. und Wagner, G.: Reinigungsmittel und Pflegemittel im Haushalt – Chemie, Anwendung, Ökologie und Verbrauchersicherheit. Verlag für chemische Industrie, 2. aktualisierte Auflage, Augsburg 2007.
- 4 Henning, K.: Wasch- und Reinigungsmittel – Inhaltsstoffe, Eigenschaften und Formulierungen. Verlag für chemische Industrie, Augsburg 2006.
- 5 Ho Tan Tai, L.: Formulating Detergents and Personal Care Products, AOCS Press, Champaign/Illinois, 2000.
- 6 Krings, P. und Sandkühler, P.: Waschen und Waschmittel im Wandel der Zeit. SÖFW-Journal 129 (2003), H. 5, 63–71.
- 7 Müller-Kirschbaum, T., Sandkühler, P., Wagner, G.: Waschmittel heute – Trends und aktuelle Entwicklungen in Europa. NiU-Chemie 12 (2001), H. 63, 11–15.
- 8 Smulders, E.: Laundry Detergents. Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2002.
- 9 Surfactant Science Series, Vol. 1 – 140 ff., New York, Dekker – Vol. 140, Mai 2007.
- 10 Zoller, U. (ed.): Handbook of Detergents (in six parts): Part A: Properties (ed. Broze, G.), Part B: Production (Sosis, P.), Part C: Formulations (DiGiacomo, P.), Part D: Analysis (Hepworth, P.), Part E: Applications (Mehreteab, A.), Surfactant Science Series, Vol. 82, Marcel Dekker New York 1999, 2000.

Nützliche Internetadressen zum Themenkreis Waschen und Waschmittel

Stand 12/2009

http://www.forum-waschen.de	Hier finden Sie aktuelle Informationen über das Nachhaltigkeitsprojekt FORUM WASCHEN der deutschen Wasch- und Reinigungsmittelindustrie.
http://www.aktionstag-nachhaltiges-waschen.de	Jeweils am 10. Mai eines Jahres findet der bundesweite Aktionstag – Nachhaltiges Waschen statt. Hierzu finden Sie Informationen und viele nützliche Hinweise, darunter Antworten auf häufig gestellte Fragen und einen „Waschrechner“ zur Berechnung der Verbrauchskosten im eigenen Haushalt.
http://www.oeko.de/publikationen/forschungsberichte/studien	Publikationen und Forschungsberichte des Öko-Instituts in Freiburg, darunter die Studie „Ökobilanz und Lebenszykluskostenrechnung Wäschewaschen“.
www.uba.de	Das Umweltbundesamt bietet viele aktuelle Informationen zum umweltbewussten Waschen und Reinigen sowie zum nachhaltigen Konsum.
www.cleanright.eu	Auf dieser Website finden sich eine Vielzahl nützlicher Informationen über Wasch-, Reinigungs- und Pflegemittel für den privaten Gebrauch. Cleanright bietet u. a. einen virtuellen Rundgang durch einen Privathaushalt zu den typischen Anwendungsbereichen für Wasch-, Pflege- und Reinigungsmittel. Informationen über die Inhaltsstoffe dieser Produkte und den sicheren Umgang damit und Informationen zum Sparen von Wasser, Energie und Geld.
http://www.heraproject.com	Im Rahmen des HERA-Projekts werden Sicherheitsbewertungen für Inhaltsstoffe von Wasch-, Putz- und Reinigungsmitteln erstellt, sowohl in Bezug auf Auswirkungen auf den Menschen als auch auf die Umwelt. (Englisch)
http://www.ikw.org	Viele Informationen und Fakten über Wasch- und Reinigungsmittel vom Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e. V. Download und Bestellung von aktuellen Informationsschriften zum Thema Waschen und Reinigen ist möglich.
http://www.aise-net.org	Die A.I.S.E. (= International Association for Soaps, Detergents and Maintenance Products) ist das offizielle Vertretungsorgan der europäischen Wasch- und Reinigungsmittelindustrie. Auf der Homepage finden sich viele Informationen zum Waschen und Reinigen (englischsprachig)

A1

Methoden zur Synthese von Tensiden

A1.1

Herstellung von Seife

In den ersten Jahrhunderten nach Christi Geburt werden die Seife und ihre Herstellung überwiegend in ärztlichen Schriften erwähnt. Das lässt darauf schließen, dass sie in dieser Zeit wenig zum Waschen und Reinigen benutzt wurde. Erst in den folgenden Jahrhunderten entstand eine nennenswerte Nachfrage nach Seife. Im 9. Jahrhundert bildeten sich in Europa (Sevilla, Alicante) und in den arabischen Ländern Zentren der Seifenherstellung aus. Es entstand das Seifensiederhandwerk. Seit dem Mittelalter (Seifensiederzünfte sind seit 1324 bekannt) blieb die Tätigkeit des Seifensieders bis ins 18. Jahrhundert weitgehend unverändert. Die Seife wurde in Mitteleuropa durch Reaktion von Holzasche mit überwiegend tierischen Fetten (Talg) hergestellt. Asche und Talg waren knappe und begehrte Rohstoffe. Die Herstellung der Seife war mühsam und umständlich, die Rezepte wurden als strenges Geheimnis gehütet.

Der Übergang vom Handwerk zur industriellen Herstellung von Seife wurde möglich durch *Leblancs* Erfindung der künstlichen Soda (vgl. auch Kap. 8.1). Preiswerte tropische Öle pflanzlicher Herkunft standen durch die sich immer enger entwickelnden internationalen Handelsbeziehungen in ausreichenden Mengen zur Verfügung. In Deutschland wurde Kokosnussöl erstmals 1830 zur Seifenherstellung verwendet. Chemische Betriebe nahmen die Produktion von Seifen auf. In der Folge reduzierte sich der Beruf des Seifensieders und ist heute völlig verschwunden. Die ehemals üblichen diskontinuierlichen Verfahren zur Seifenherstellung wurden durch moderne, großtechnische kontinuierliche Verfahren ersetzt, um den gestiegenen Bedarf an preiswerter Seife zu decken.

Die Herstellung von Seife geschieht heute durch Neutralöl-Verseifung (Abb. A1.1) oder durch Fettsäure-Verseifung (Abb. A1.2).

Neutralöl-Verseifung

Die Seifenherstellung aus Fetten und Ölen ist die typische alkalische Verseifung eines Esters (Abb. A1.1). Allerdings ist beim Betrachten des Reaktionsverlaufs zu beachten, dass es sich um eine heterogene Reaktion handelt, da die wässrige Phase und die Fettphase nicht miteinander mischbar sind.

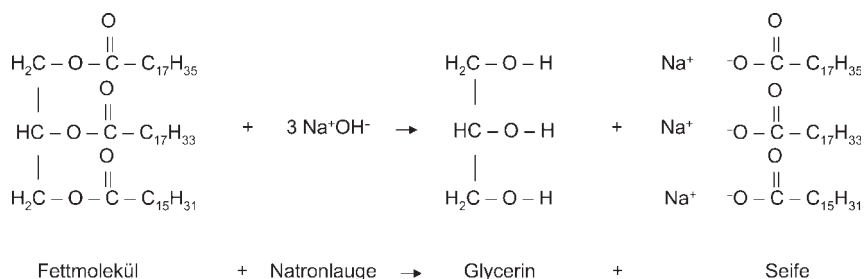


Abb. A1.1 Seifenherstellung durch Neutralöl-Verseifung (Reaktion von Natron- bzw. Kalilauge mit Fetten und Ölen).

Am Anfang verläuft die Reaktion sehr langsam, da nur ein ungenügender Kontakt der Reaktionspartner möglich ist. Im Laufe der Reaktion übernimmt die entstehende Seife die Rolle eines Emulgators, so dass sich die Reaktion immer mehr beschleunigt, bis der Hauptteil des Fettes umgesetzt wurde. Gegen Ende der Reaktion sinkt die Geschwindigkeit stark ab, ein 100%iger Umsatz nimmt daher sehr lange Zeit in Anspruch. Reste an unverseiftem Fett im Fertigprodukt sind nicht unerwünscht, weil dadurch eine leicht rückfettende Wirkung auf der Haut erzielt wird. Bei Textilien tritt eine Art Weichspüleeffect auf.

Die Natriumsalze von Fettsäuren führen zu festen harten Seifen (Kernseifen), die Kaliumsalze ergeben halb feste bis flüssige Produkte (Schmierseifen).

Das erhaltene zähflüssige Rohprodukt besteht aus der eigentlichen Seife, Resten an unverseiftem Fett, Natronlauge und Glycerin und wird Seifenleim genannt. Durch Zugabe von Kochsalz wird die Löslichkeit der Seife stark zurückgedrängt. Sie scheidet sich als feste Schicht (Seifenkern) auf der salz- und glycerinhaltigen Lösung ab. Die so erhaltene Rohseife ist noch stark alkalisch. Der Vorgang des *Aussalzens* wird deshalb mehrfach wiederholt, bis der gewünschte Reinheitsgrad erreicht ist.

Diese traditionelle Form der Seifenherstellung wird heute nur noch ausnahmsweise durchgeführt. Die großtechnische Synthese von Seife geschieht nach der Methode der Fettsäure-Verseifung.

Fettsäure-Verseifung

Freie Fettsäuren werden durch hydrolytische Spaltung von Fetten und Ölen bei hohem Druck und hoher Temperatur (180 °C) gewonnen. Die gewünschten Fettsäuren und das Glycerin werden voneinander getrennt und die Fettsäuren anschließend durch Vakuumdestillation gereinigt.

Im nächsten Reaktionsschritt erfolgt die Neutralisation der Fettsäuren mit Natronlauge oder Soda (Natriumcarbonat) (Abb. A1.2 und A1.3).



Abb. A1.2 Neutralisation von Fettsäuren mit Natriumcarbonat.

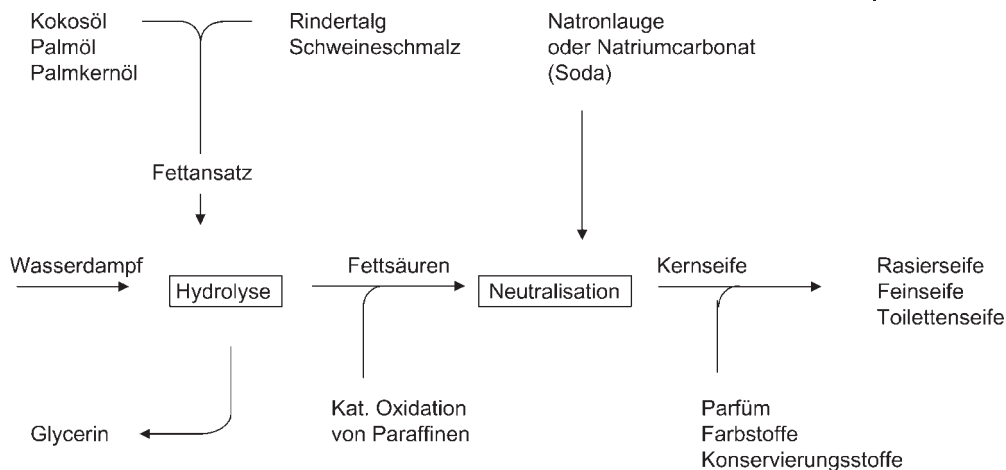


Abb. A1.3 Seifenherstellung durch Fettsäure-Verseifung (Neutralisation von freien Fettsäuren mit Natronlauge oder Soda).

Die Herstellung von Seife ist auch aus langkettigen Paraffinen, die aus Erdöl isoliert werden, möglich. Die Paraffine lassen sich durch katalytische Oxidation in Fettsäuren überführen. Durch anschließende Neutralisation mit Laugen werden daraus Seifen gewonnen. Da natürliche Fette und Öle im ausreichenden Maße zur Verfügung stehen, ist die wirtschaftliche Bedeutung dieses Verfahrens gering. Die Fettsäuremuster, d. h. die prozentualen Anteile der einzelnen Fettsäuren, unterscheiden sich auch grundlegend von denen der natürlichen Fette und Öle, denn in der Natur kommen nur Fettsäuren mit einer geraden Zahl von Kohlenstoffatomen vor.

Die Qualität der erhaltenen Seife hängt stark von den verwendeten Ausgangssubstanzen ab. Während früher der Fettansatz bestgehetetes Geheimnis war, ist es im Zeitalter der modernen Analytik nicht weiter schwierig, durch gaschromatographische Analyse der Fettsäuremethylester die Fettsäuremuster und damit die verwendeten Ausgangssubstanzen zu erkennen. Die wichtigsten Fette und Öle zur Seifenherstellung sind Rindertalg, Schweineschmalz, Kokosöl, Palmöl und Palmkernöl.

Die Wascheigenschaften der Seifen hängen in erster Linie von der Kettenlänge der eingesetzten Fettsäuren ab. Weiterhin spielt die Löslichkeit eine wichtige Rolle. So sind die Kalium- und Ammoniumsalze besser wasserlöslich als die Natriumsalze.

Seifen aus Kokosöl und Palmkernöl sind zum Wäschewaschen am besten geeignet. Seifen aus Olivenöl, mit einem hohen Anteil an Salzen der Ölsäure, zeichnen sich durch eine besonders gute Löslichkeit aus und eignen sich gut zum Duschen und Händewaschen. Mehrfach ungesättigte Fettsäuren neigen durch Oxidationsprozesse zum Ranzigwerden und führen zur Fleckenbildung in der Seife. Sie verringern dadurch wesentlich die Haltbarkeit der Seife.

Bildung langkettiger Alkene:

In einer darauffolgenden Eliminierungsreaktion (E-Reaktion) werden die Chloralkane zu Alkenen umgewandelt, wobei Chlorwasserstoff frei wird. Heute wird in immer zunehmenderem Maße das von UOP entwickelte Pacol Verfahren zur Herstellung von Alkenen eingesetzt. Hierbei werden lineare Paraffine in Gegenwart von Platin- oder Aluminiumkatalysatoren bei hoher Temperatur katalytisch zu den Alkenen dehydriert.

Synthese von Alkylbenzolen:

Nach dem Mechanismus einer Friedel-Crafts-Alkylierung werden die Alkene mit Benzol umgesetzt. Als Katalysator dient hierbei Fluorwasserstoff HF. Da Alkene mit unterschiedlicher Stellung der Doppelbindung vorliegen, entsteht im Endeffekt ein Gemisch verschiedener Alkylbenzole.

Synthese von Alkylbenzolsulfonsäuren:

Die erhaltenen Alkylbenzole werden anschließend mit Schwefeltrioxid SO_3 zur Reaktion gebracht. Dabei werden in einer typischen elektrophilen Substitution (S_E -Reaktion) Alkylbenzolsulfonsäuren gebildet. Die Sulfonsäuregruppe wird dabei ausschließlich in 1,4-Stellung substituiert, da die Alkylgruppe als Substituent erster Ordnung ortho-para-dirigierend ist. Die Ortho-Stellung ist durch den voluminösen Alkylrest blockiert.

Neutralisation:

Die Sulfonsäure wird nachfolgend mit Natronlauge neutralisiert. Das lineare Alkylbenzolsulfonat fällt dabei als wässrige Lösung an, da während der Neutralisationsreaktion Wasser gebildet wird. In einem letzten Produktionsschritt werden die linearen Alkylbenzolsulfonate manchmal mit Hypochloritlösung gebleicht, denn die rohen synthetisierten Alkylbenzolsulfonsäuren können durch in geringer Menge vorliegende Nebenprodukte unansehnlich bräunlich gefärbt sein.

A1.3**Herstellung von sekundären Alkansulfonaten (SAS)**

Die großtechnische Synthese der Alkansulfonate geht von unverzweigten Alkanen der Kettenlänge C_{12} bis C_{18} aus (Abb. A1.5). Die Einführung der Sulfonsäuregruppe geschieht durch Reaktion mit Schwefeldioxid und Sauerstoff. Die Reaktion läuft nach einem radikalischen Mechanismus ab, ist also als radikalische Substitution (S_R -Reaktion) zu bezeichnen, und wird Sulfoxidierung genannt. Unter Einwirkung von kurzweiligem UV-Licht wird aktiviertes Schwefeldioxid gebildet, das mit anwesenden Alkanen unter Bildung von Alkylradikalen reagiert. Diese reagieren anschließend in einer Kettenreaktion mit Schwefeldioxid und Sauerstoff. Dabei entstehen Alkansulfonsäuren und Schwefelsäure. Die Alkansulfonsäuren werden von der Schwefelsäure und nicht umgesetzten Alkanen abgetrennt und nachfolgend mit Natronlauge neutralisiert.

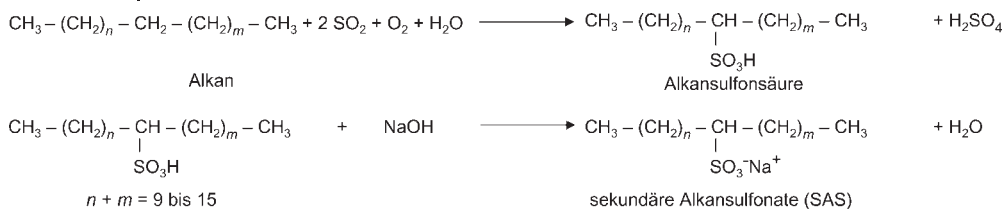


Abb. A1.5 Reaktionsgleichungen zur Herstellung von sekundären Alkansulfonaten (SAS).

A1.4

Herstellung von Fettalkoholen und Fettalkoholsulfaten (FAS)

Weltweit wurden 2008 ca. 2,1 Mio. Tonnen Fettalkohole produziert; davon etwa 65 % aus nachwachsenden Rohstoffen (Fetten und Ölen), 33 % aus Erdöl und 2 % aus Kohle. Die erhaltenen Alkohole haben abhängig von ihrer chemischen Struktur unterschiedliche physikalische und toxikologische Eigenschaften. Zur Begriffsbildung „Fettalkohol“ vgl. Kapitel 2.2.4.

Zur Herstellung *nativer, linearer Fettalkohole* werden natürliche Fette und Öle durch Reaktion mit Methanol in Fettsäuremethylester überführt. Mit Hilfe einer anschließenden fraktionierten Destillation werden die Fettsäuremethylester je nach Verwendungszweck aus dem Reaktionsgemisch abgetrennt. Durch Reduktion mit Wasserstoff (Hydrierung) werden aus den Methylestern die Fettalkohole gewonnen und destillativ gereinigt.

Geht man von Erdöl als Rohstoffbasis für Fettalkohole aus, so sind zwei grundsätzlich unterschiedliche Synthesewege möglich, die sich entweder vom Ethylen oder von langkettigen Paraffinen ableiten (Abb. A1.6). Alkohole, die aus langkettigen Alkanen gewonnen werden, bezeichnet man als Oxo-Alkohole. Alkane der gewünschten Kettenlänge lassen sich mit Hilfe von Molekularsieben aus Erdöl isolieren. Die Alkane werden in ungesättigte Kohlenwasserstoffe, die Alkene (Olefine), überführt, wobei mehrere technische Verfahren angewendet werden. Durch Reaktion mit Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff lassen sich aus den Olefinen die Fettalkohole herstellen. Oxo-Alkohole können eine sekundäre Stellung der Hydroxyl-Gruppe und Verzweigungen der Kohlenstoffkette aufweisen. Weiterhin bestehen sie im Unterschied zu nativen Fettalkoholen aus geradzahigen und ungeradzahigen Kohlenstoffketten.

Eine weitere wichtige Herstellungsmethode geht vom Ethylen aus. Dieses wird unter dem Einfluss von Aluminiumalkylen zu längeren Ketten verknüpft, die dann durch eine Oxidationsreaktion in Fettalkohole überführt werden. Nach dieser Methode gewonnene Alkohole werden als *Ziegler-Alkohole* bezeichnet. Die Ziegler-Alkohole ähneln in ihren Eigenschaften den aus Fetten und Ölen gewonnenen nativen Alkoholen. Es handelt sich um unverzweigte primäre Alkohole mit ausschließlich geradzahiger C-Kette.

Zur Herstellung von Fettalkoholsulfaten im Labor werden Fettalkohole mit konzentrierter Schwefelsäure umgesetzt. Bei ca. 50 °C bilden sich Schwefelsäure-

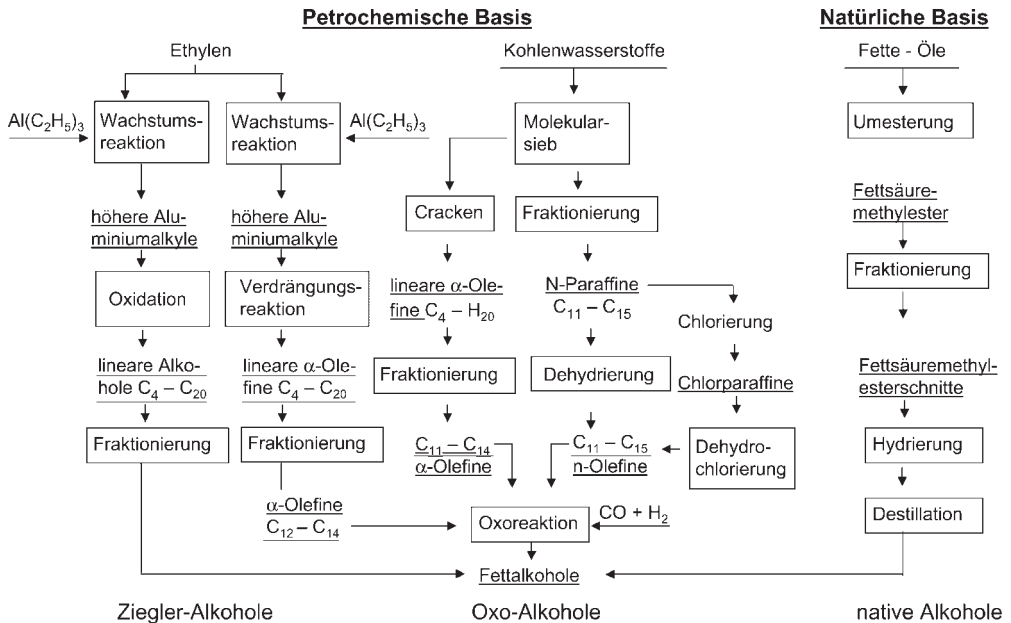


Abb. A1.6 Fließschema zur Herstellung von Fettalkoholen.

Großtechnische Synthese von Fettalkoholhydrogensulfat				
$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_n - \text{OH}$	+	SO_3	\longrightarrow	$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_n - \text{O} - \text{SO}_3\text{H}$
Fettalkohol				Fettalkoholhydrogensulfat
Laborsynthese von Fettalkoholhydrogensulfat				
$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_n - \text{OH}$	+	H_2SO_4	\longrightarrow	$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_n - \text{O} - \text{SO}_3\text{H} + \text{H}_2\text{O}$
Fettalkohol				Fettalkoholhydrogensulfat
Neutralisationsreaktion				
$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_n - \text{O} - \text{SO}_3\text{H}$	+	NaOH	\longrightarrow	$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_n - \text{O} - \text{SO}_3^-\text{Na}^+ + \text{H}_2\text{O}$
$n = 11 \text{ bis } 15$				Fettalkoholsulfat (FAS)

Abb. A1.7 Synthese von Fettalkoholsulfaten (FAS).

monoalkylester (Alkylhydrogensulfate), die anschließend mit Natronlauge neutralisiert werden (Abb. A1.7).

In der großtechnischen Synthese erhält man die Fettalkoholsulfate durch Reaktion von gasförmigen Schwefeltrioxid/Luft-Gemischen mit Fettalkoholen. Man vermeidet auf diese Weise die Bildung von Wasser, welches unter Energieeinsatz wieder abgetrennt werden müsste. Neutralisiert wird mit wässriger Natronlauge in einem kontinuierlichen Verfahren.

A1.5

Herstellung von Fettalkoholethersulfaten (FAES)

Durch Umsetzung von Fettalkoholen mit Ethylenoxid erhält man Fettalkoholethoxylate (s. Kap. 2.3.1). Die anschließende Umsetzung mit Schwefeltrioxid und Neutralisation mit Natronlauge führt zur Herstellung von Fettalkoholethersulfaten. Die Etherkette ist kurz und enthält zwei bis drei Ethylenoxid-Einheiten (Abb. A1.8).

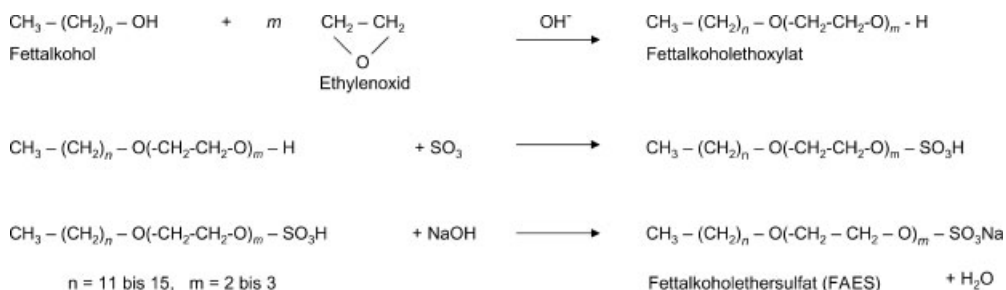


Abb. A1.8 Reaktionsgleichungen zur Herstellung von Fettalkoholethersulfaten (FAES).

A1.6

Herstellung von Fettalkoholethoxylaten (FAEO)

Zur Herstellung von Fettalkoholethoxylaten werden die Fettalkohole mit Ethylenoxid umgesetzt (Abb. A1.9 und A1.10) (s. auch Kap. 2.3.1). Es finden Fettalkohole aus petrochemischen und fettchemischen Rohstoffen gleichermaßen Verwendung. Ethylenoxid ist ebenfalls ein wichtiges technisches Zwischenprodukt. Es wird in großen Mengen durch eine katalytische Reaktion von Ethylen mit Sauerstoff gewonnen.

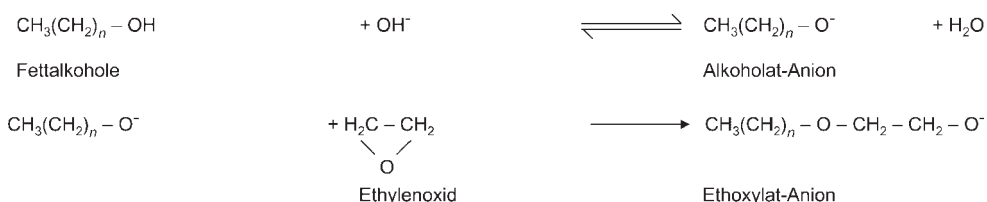
Ethylenoxid ist eine extrem reaktionsfähige gasförmige Substanz (Siedepunkt +11 °C). Sie neigt zum thermischen Zerfall und zur Polymerisation, so dass sie nach Möglichkeit im Anschluss an die Synthese sofort weiterverarbeitet wird. Ethylenoxid ist als krebserzeugender Arbeitsstoff eingestuft.

Die Reaktion von Fettalkoholen mit Ethylenoxid lässt sich sowohl mit sauren als auch basischen Katalysatoren durchführen. Der Mechanismus ist im Wesentlichen aufgeklärt. Formal lässt sich die Reaktion als typische nucleophile Substitution (S_N -Reaktion) auffassen, jedoch verlaufen Startreaktion und Wachstumsreaktion der Etherkette in alkalischer und saurer Lösung unterschiedlich.

Als alkalische Katalysatoren finden in der Praxis Natrium- oder Kaliumhydroxid und manchmal auch Natriummethylat Verwendung.

Etwas anders verläuft die sauer katalysierte Reaktion ab, da in diesem Fall der Katalysator am Ethylenoxid unter Bildung eines Carbokat-Ions angreift (Abb. A1.10).

Startreaktion:



Wachstumsreaktion:

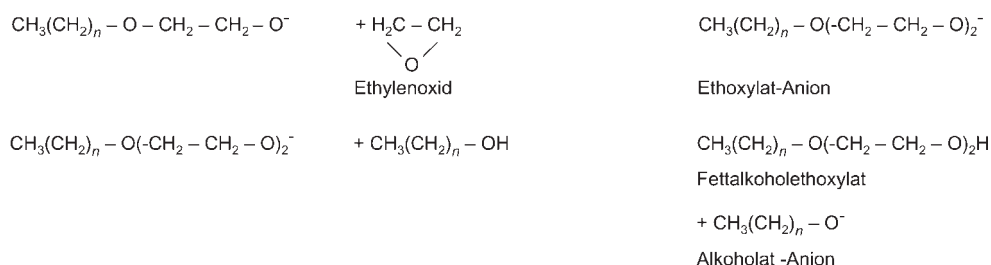
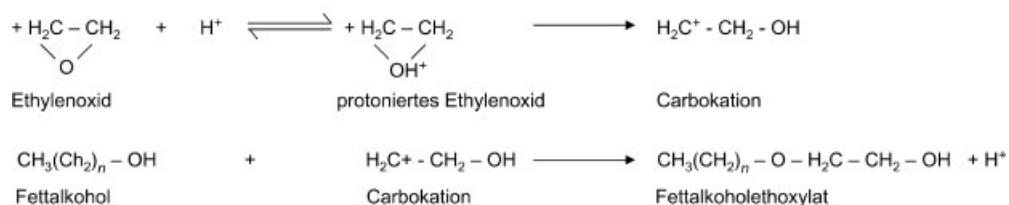


Abb. A1.9 Bildung von Fettalkoholethoxylaten (FAEO) bei alkalischer Katalyse ($n = 11-17$).

Startreaktion:



Wachstumsreaktion:

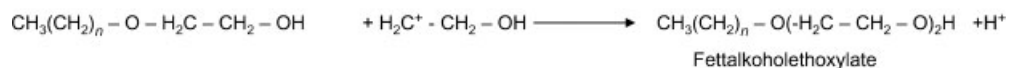


Abb. A1.10 Bildung von Fettalkoholethoxylaten (FAEO) bei saurer Katalyse ($n = 11-17$).

Heute wird ausschließlich die basisch katalysierte Reaktion durchgeführt, da sie ökonomischer ist und zu weniger Nebenprodukten führt. Ein typisches toxisches Nebenprodukt besonders der sauren Katalyse ist Dioxan, das durch Dimerisation von Ethylenoxid entsteht (Abb. A1.11). Es ist als unerwünschter Bestandteil von Shampoos, die Fettalkoholethersulfate (FAES) enthielten, in die Schlagzeilen geraten und darf nicht mit dem Sevesogift Dioxin verwechselt werden. Sowohl bei der Herstellung von Fettalkoholethoxylaten als auch bei der Herstellung



Dioxan

von Fettalkoholethersulfaten ist die Bildung von Dioxan möglich, lässt sich aber durch geeignete Reaktionsführung auf ein unbedenkliches Minimum reduzieren.

Die Tenseideigenschaften werden durch das Mischungsverhältnis der Reaktionspartner vorgegeben. Je höher der Anteil an Ethylenoxid, desto höher wird der Ethoxylierungsgrad werden. Untersuchungen zur Zusammensetzung von Fettalkoholethoxylaten zeigen, dass kein einheitliches Produkt entsteht, sondern eine Verteilung um eine stöchiometrisch wahrscheinliche Kettenlänge. Fettalkoholethoxylate sind also immer Stoffgemische. Die Homologenverteilung kann sehr unterschiedlich sein und hängt vom gewählten Syntheseweg ab. Mit Hilfe moderner Verfahren und neuentwickelter Katalysatoren ist es in jüngster Zeit gelungen, technisch besonders hochwertige Fettalkoholethoxylate mit enger Homologenverteilung herzustellen.

A1.7

Herstellung von Alkylpolyglucosiden (APG)

Als Rohstoffe zur Synthese von Alkylpolyglucosiden dienen Stärke oder Saccharose und Kokosfett oder Palmkernöl. Aus Stärke wird Glucose durch enzymatische Hydrolyse mit Hilfe von Amylasen gewonnen, Saccharose wird enzymatisch durch Invertasen in Glucose und Fructose überführt, die gebildete Fructose lässt sich dann mittels spezieller Enzyme zu Glucose umwandeln. Kokosfett wird zum Fettalkohol reduziert (s. Kap. 2.3.2). Alkylpolyglucoside lassen sich unter dem Einfluss geeigneter Katalysatoren durch direkte Reaktion von Glucose mit Fettalkohol erhalten. Die Reaktion verläuft nach dem Mechanismus einer nucleophilen Substitution (S_N -Reaktion). Es handelt sich um eine Gleichgewichtsreaktion (Abb. A1.12). Durch einen Überschuss an Fettalkohol und kontinuierliches Abdestillieren des Reaktionswassers gelingt es, das Gleichgewicht in Richtung der

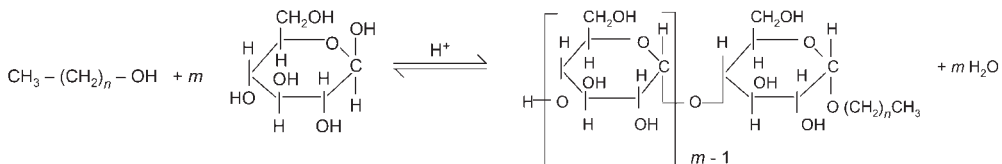


Abb. A1.12 Reaktionsgleichung zur Synthese von Alkylpolyglucosiden (APG) ($m = 1-6$).

Synthese von Esteraminen

Die Herstellung von Esterquats geht von Talgfettsäuren, deren wichtigster Bestandteil die Stearinsäure ist, aus. Die Talgfettsäuren aus Rinder- oder Schweine-talg werden durch Veresterung mit Alkanolaminen (z. B. Triethanolamin oder Methyl-diethanolamin) zu Esteraminen umgewandelt.

Bildung des quaternären Ammoniumsalzes


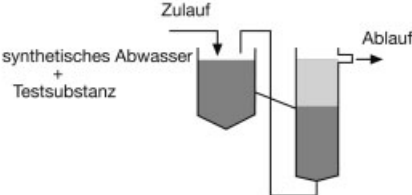
Zur Bildung des Esterquats wird das Esteramin mit Dimethylsulfat zur Reaktion gebracht, dadurch wird der Stickstoff methyliert und quaterniert. Das Methylsulfat-Anion bleibt als Gegenion im Esterquat.

Bei Esterquats auf Basis anderer Alkanolamine ist die Methylierung mit Chlor-methan üblich. Dann enthält das Esterquat als Gegenion das Chlorid-Anion.

A2

Messverfahren zur biologischen Abbaubarkeit

Um zuverlässig und reproduzierbar die Geschwindigkeit und das Ausmaß biologischer Abbaureaktionen zu messen, sind eine ganze Reihe international verwendeter Standard-Testverfahren entwickelt worden. Mit Hilfe dieser Tests lassen sich sowohl der Primärabbau als auch die Endabbaubarkeit von Tensiden bestimmen. Einen Überblick über wichtige Testverfahren zur Untersuchung der biologischen Abbaubarkeit bietet Abb. A2.1. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bilden zusammen mit den Ergebnissen aus ökotoxikologischen Studien die Grundlage zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Tensiden.

	Screening-Tests	Kläranlagen-Simulationstests
	Primärabbau (relevant für Tensidverordnung/WRM-Gesetz: anionische, nichtionische Tenside)	
Beispiele	<u>OECD Screening-Test</u> gefordert $\geq 80\%$ (MBAS, BiAS)	<u>OECD Confirmatory-Test</u> gefordert $\geq 80\%$ (MBAS, BiAS)
Testaufbau und Merkmale	 <ul style="list-style-type: none"> • einmalige Substanzzugabe • Testsubstanz ist C-Quelle • Testdauer bis zu 4 Wochen • streng bewertend 	
	Endabbau (relevant für: Chemikaliengesetz, EG-Klassifizierung "umweltgefährlich")	
	<u>OECD Tests for Ready Biodegradability</u> (OECD 301 A bis F), z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Closed Bottle Test (301 D): $\geq 60\%$ BSB/CSB* • DOC die-away Test (301 A): $\geq 70\%$ C-Abnahme* • CO₂ Evolutions-Test (301 B): $\geq 60\%$ CO₂-Bildung* 	<u>Coupled Units Test</u> : Messung der DOC-Abnahme [%]

* Grenzwert für Einstufung "leicht biologisch abbaubar"

Abb. A2.1 Standard-Testmethoden zur biologischen Abbaubewertung von Tensiden im Überblick.

A2.1**Methoden zur Untersuchung des Primärabbaus**

Die Primärabbaubarkeit ist nach Inkrafttreten der EU-Detergentienverordnung im Jahr 2004 nicht mehr das Zulassungskriterium für die Verwendbarkeit von anionischen und nichtionischen Tensiden in Wasch- und Reinigungsmitteln. Dennoch ist die Diskussion der dazugehörigen Testverfahren sinnvoll, da sie seit Mitte der 1960er Jahre bis Mitte 2004 die Abbaubewertungsbasis für Tenside darstellten und gleichzeitig überhaupt die ersten international verwendeten Abbau-Standardtests repräsentierten.

Der Auswahltest (OECD-Screening-Test)

Dieses Testverfahren wird auch statisches Verfahren genannt, weil die Untersuchungssubstanz zu Versuchsbeginn einmalig zum Testansatz zugegeben wird und dann über die Testdauer der Abbau der Ausgangsverbindung analytisch verfolgt wird (Abb. A2.1).

Messprinzip

10 mg des zu untersuchenden Tensids werden in zwei Liter einer mineralischen Nährlösung gelöst und mit einer geringen Menge an Mikroorganismen (0,5 mL Abwasser/L) angeimpft. Die in einem lose verschlossenen Gefäß befindliche Lösung wird bei 25 °C gehalten und zum Eintrag von Sauerstoff geschüttelt. Das Tensid ist dabei die einzige Kohlenstoffquelle für die Mikroorganismen. Es werden immer mehrere Ansätze parallel untersucht, wobei definierte Standardsubstanzen (leicht bzw. schwer abbaubares Tensid) als Vergleich dienen. Zur Messung des Primärabbaus werden in regelmäßigen Abständen, meist alle zwei Tage, Proben entnommen und die noch vorhandenen Tensidkonzentrationen bis zur maximalen Testdauer von 19 Tagen nach folgenden Methoden bestimmt:

- Bestimmung methylenblauaktiver Substanz (MBAS-Methode) zur Untersuchung anionischer Tenside;
- Bestimmung bismutaktiver Substanz (BiAS-Methode) zur Untersuchung nichtionischer Tenside.

Der statische Auswahltest ist streng bewertend, simuliert aber keine konkrete Umweltsituation, so dass im Zweifelsfall, d.h. bei Nicht-Erreichen des Abbaugrenzwerts, auf weitere Testverfahren, z. B. den praxisnahen Betätigungstest, zurückgegriffen werden sollte.

Der Bestätigungstest (OECD-Confirmatory-Test)

Mit diesem Verfahren wird der Betrieb einer biologischen Kläranlage im Modell nachgestellt (dynamisches Verfahren) (Abb. A2.1).

Messprinzip

Ein auf Labormaßstab verkleinertes Modell der biologischen Reinigungsstufe einer Kläranlage (ca. 5 Liter Volumen) mit hoher Mikroorganismenkonzentration (Belebtschlamm einer kommunalen Kläranlage) wird mit der zu untersuchenden Tensidlösung zusammen mit leicht abbaubaren Nährstoffen (synthetisches Abwasser) beschickt. Eine Dosierpumpe wird so eingestellt, dass die Untersuchungslösung mit einer Aufenthaltsdauer von drei Stunden das Belebungsbecken der Anlage durchläuft. Eine weitere Pumpe belüftet den Belebtschlammbehälter und sorgt so für ausreichende Mengen Sauerstoff. Im Absetzbecken wird der Belebtschlamm vom Anlagenablauf durch Sedimentation abgetrennt und mittels einer Pumpe wieder in das Belebungsbecken zurückgeführt.

Aus der Differenz der Tensidkonzentrationen im Zu- und Ablauf der Anlage lässt sich der Grad des biologischen Primärabbaus bestimmen. Der Untersuchungszeitraum beträgt insgesamt vier Wochen, wobei die ersten acht bis zehn Tage zur Adaption der Bakterien an die Testbedingungen dienen (Abb. A2.2).

Die Tensidkonzentrationen können durch stoff- oder substanzgruppenspezifische Analysenverfahren, z. B. als methylenblauaktive Substanz (MBAS) für anionische Tenside bzw. bismutaktive Substanz (BiAS) für nichtionische Tenside, gemessen werden. Der Bestätigungstest ist praxisnäher als der Auswahltest, jedoch hängt seine Aussagekraft von der Verfügbarkeit einer spezifischen Analysenmethode ab, da Abwasser ein Vielstoffgemisch darstellt. Ein wichtiger Aspekt ist, dass mit dieser Methode nicht nur die Elimination der Tenside durch den biologischen Abbau, sondern auch durch Adsorption des Tensids am Klärschlamm erfasst wird.

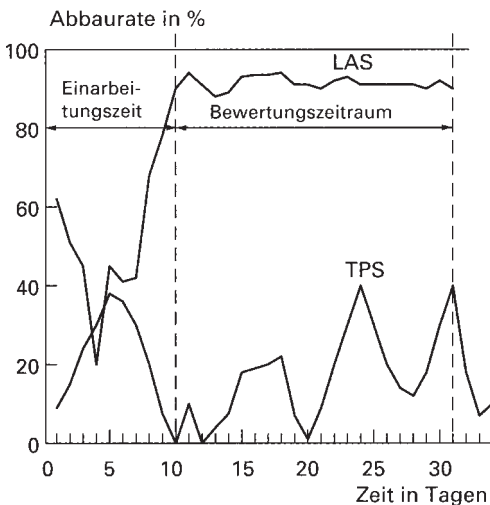
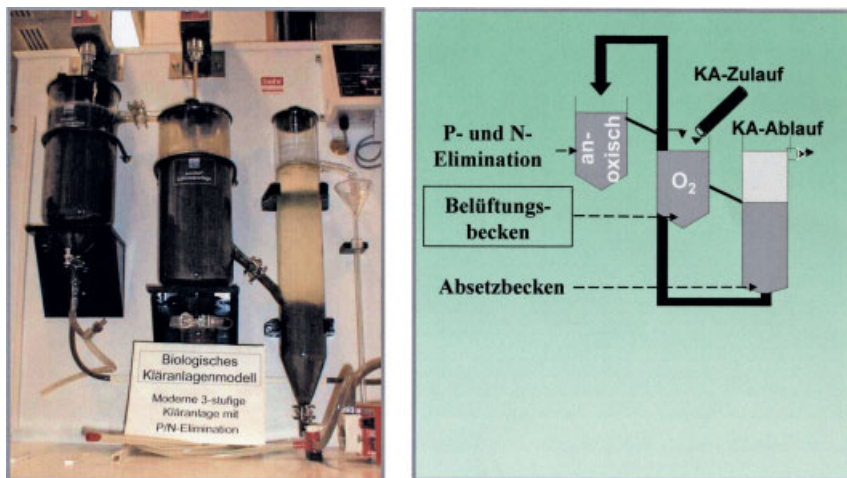


Abb. A2.2 Verlauf des biologischen Abbaus im OECD-Confirmatory-Test.



Quelle: Th. Wind, Henkel AG & Co. KGaA

Abb. A2.3 3-stufige Modell-Kläranlage im Labor zur Durchführung von Simulationstests.

Modell-Kläranlagen können unterschiedlich aufgebaut sein. Auch eine 3-stufige Kläranlage mit zusätzlicher Phosphor- und Stickstoff-Eliminationsstufe kann im Labormaßstab (5 L Belebungsbecken) realisiert werden (Abb. A2.3).

A2.2

Methoden zur Untersuchung des Totalabbaus

Seit Inkrafttreten der EU-Detergentienverordnung (2004) ist die Endabbaubarkeit für alle Tensidgruppen das maßgebliche Zulassungskriterium für den Einsatz in Wasch- und Reinigungsmitteln. Sie wird grundsätzlich in Prüfverfahren des Screening-Testtyps ermittelt, d. h. die nachfolgend diskutierte kontinuierliche Endabbau-Testmethode hat zwar im Kontext der aktuellen gesetzlichen Testanforderungen keine Relevanz, stellt aber als Kläranlagen-Simulationstest dennoch ein testmethodisch wichtiges Pendant zu den Screeningtests dar. Alle zur Endabbaubarkeitsprüfung maßgeblichen Screeningtests basieren auf den international verwendeten Standardtests für „leichte biologische Abbaubarkeit“ (*ready biodegradability*) der OECD und entsprechen auch den in der EU-Chemikaliengesetzgebung verankerten (End-)Abbauprüfmethoden.

Tests auf leichte biologische Abbaubarkeit (OECD 301A-F)

Grundsätzlich entspricht der Versuchsaufbau der statischen Tests zur Bestimmung der Totalabbaubarkeit organischer Verbindungen der in Abb. A2.1 gezeigten Screening-Testmethodik: Ein Testgefäß enthält eine mineralische Nährlösung und die zu untersuchende Testsubstanz als alleinige Kohlenstoffquelle. Nach Be-

impfung mit Mikroorganismen (Abwasser bzw. Klärschlamm aus einer kommunalen Kläranlage) erfolgt eine Inkubation über 28 Tage, wobei der Totalabbau je nach Testverfahren mit Hilfe eines hierzu geeigneten Analysenparameters verfolgt wird (Abb. A2.1).

Der Totalabbau organischer Verbindungen wird z. B. beim GF-Test (Geschlossener-Flaschen-Test bzw. Closed Bottle Test, OECD 301D) durch die Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfs (BSB) nach 7, 14, 21 bzw. 28 Tagen gemessen. Dabei wird die Abnahme des im Wasser gelösten Sauerstoffs mit dem bei 100%igem Abbau theoretisch zu erwartenden Sauerstoffverbrauch in Beziehung gesetzt. Als Bezug dient die vollständige Oxidation der Untersuchungssubstanz, wie sie sich über den chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) feststellen lässt. Das Untersuchungsergebnis wird in BSB_{28}/CSB angegeben. Dasselbe Messprinzip wird auch bei dem Manometric Respirometry Test (OECD 301F) und dem MITI-Test (OECD 301C) angewandt. Eine für schwerlösliche Verbindungen besonders geeignete Variante stellt der Two-phase Closed Bottle Test (ISO 10708:1997) dar.

Eine weitere Methode zur Bestimmung des Mineralisationsumfangs einer organischen Testverbindung ist die Messung der CO_2 -Produktion, wie im Falle des CO_2 -Evolutionstests (Sturm-Test, OECD 301B).

Der Totalabbau nichtflüchtiger, wasserlöslicher Testverbindungen kann schließlich auch noch über den Parameter der DOC-Abnahme (DOC = gelöster organisch gebundener Kohlenstoff) erfasst werden; dieses Messprinzip liegt dem DOC-die-away-Test (OECD 301 A) und dem modifizierten OECD Screening Test (OECD 301 E) zugrunde. Bei diesen auf Messung der Kohlenstoff-Abnahme beruhenden Tests wird nicht nur der zu CO_2 mineralisierte, sondern auch der in Biomasse umgesetzte Anteil der Testsubstanz erfasst. Da dieses Messverfahren bei Vorliegen schwerlöslicher Anteile der Testsubstanz oder der Abbauprodukte zu falsch positiven Abbauresultaten führen könnte, sind Ergebnisse aus DOC-basierten Abbautestverfahren nur unter bestimmten Voraussetzungen zum Nachweis der gesetzlich geforderten Mindest-(End-)Abbaubarkeit von Tensiden akzeptiert.

Generell gilt aber, dass aufgrund der Strenge der „OECD Tests auf leichte Abbaubarkeit“ (*ready biodegradability*) bei Überschreiten festgelegter Abbaugrenzwerte (60 % CO_2 bzw. BSB/CSB, 70 % DOC-Abnahme) für eine Testverbindung die Schlussfolgerung gerechtfertigt ist, dass der Endabbau in der Umwelt schnell und letztlich vollständig erfolgt.

Coupled-Units-Test (OECD 303 A)

Diese Untersuchungsmethode ist eine Weiterentwicklung des OECD-Confirmatory-Tests. Der Aufbau ist allerdings komplizierter und besteht aus zwei parallel betriebenen Belebtschlammanlagen wie sie für den Bestätigungstest notwendig sind (Abb. A2.4).

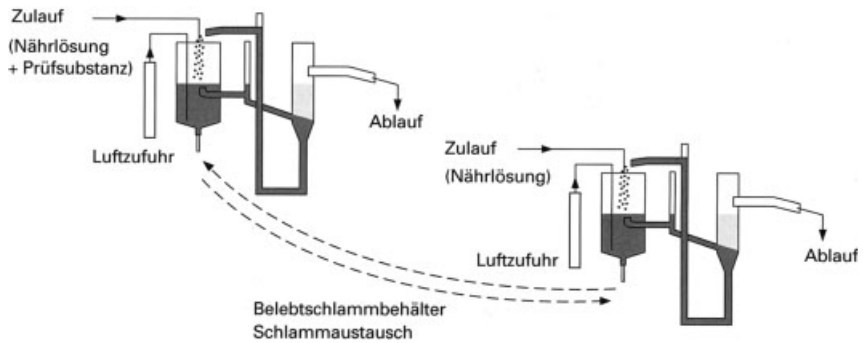


Abb. A2.4 Messprinzip zur Untersuchung der vollständigen biologischen Abbaubarkeit nach dem Coupled-Units-Test.

Messprinzip

Eine Belebtschlammanlage wird mit gemischtem Abwasser (Kontrollanlage) oder Nährlösung (Versuchsanlage) beschickt, die andere Anlage erhält die identische Nährlösung mit Zusatz der Untersuchungssubstanz. Der gelöste organische Kohlenstoff (DOC-Wert) im Zu- und Ablauf beider Anlagen wird gemessen. Aus der Differenz der Messergebnisse in den beiden Anlagen lässt sich das Abbau- bzw. Eliminationsverhalten des untersuchten Stoffes feststellen. Damit beide Anlagen eine identische Aktivität (gleiche biologische Basis) zeigen, wird der Schlamm in regelmäßigen Abständen teilweise ausgetauscht, daher auch der Name „gekoppelte Einheiten“ = *coupled units*.

Mit dem Coupled-Units-Test lässt sich praxisnah der Totalabbau von Tensiden erfassen, wobei der Einfluss adsorptiver Eliminationsprozesse während der mehrwöchigen Testdauer rechnerisch berücksichtigt werden kann. Die Testverhältnisse entsprechen in etwa realistischen Kläranlagenbedingungen.

A3

Gesetzliche Regelungen, Selbstverpflichtungen und freiwillige Vereinbarungen

In der Bundesrepublik Deutschland trat 1961 zum ersten Mal eine gesetzliche Regelung über Inhaltsstoffe in Wasch- und Reinigungsmitteln, das Detergentiengesetz, in Kraft. In diesem Gesetz wurde eine mindestens 80%ige biologische Primärabbaubarkeit für anionische Tenside vorgeschrieben. Das Gesetz war eine Reaktion auf die im heißen Sommer 1959 auftretenden Schaumberge auf den deutschen Flüssen, die durch das biologisch schwer abbaubare Tensid Tetrapropylenbenzolsulfonat (TPS) verursacht wurden. Da in diesem Gesetz ein rein ökologischer Substanzparameter, die biologische Abbaubarkeit, die Verwendbarkeit der Tenside in Wasch- und Reinigungsmitteln festlegte, kann das Detergentiengesetz als erstes Umweltgesetz der Bundesrepublik bezeichnet werden. Es trat zu einer Zeit in Kraft, als es ein Bewusstsein über ökologische Zusammenhänge, ein Umweltbewusstsein, wie wir es heute kennen, noch nicht gab.

Das Detergentiengesetz erwies sich in der Folgezeit durch die steigenden Verbrauchsmengen an Wasch- und Reinigungsmitteln nicht als ausreichend, zumal die immer wichtiger werdenden nichtionischen Tenside noch keiner gesetzlichen Regelung unterlagen. Daraufhin wurde es in den siebziger und achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts durch das Waschmittelgesetz (1975) abgelöst. Auf dessen Grundlage wurden die Tensidverordnung (1977) und die Phosphathöchstmengenverordnung (1980) erlassen. Das Waschmittelgesetz und die Verordnungen dienten vorrangig dem Schutz der Umwelt vor den unerwünschten Auswirkungen der Inhaltsstoffe von Wasch- und Reinigungsmitteln.

Am 1.1.1987 trat in der Bundesrepublik Deutschland eine geänderte und erweiterte Fassung des Waschmittelgesetzes von 1975 in Kraft, das Wasch- und Reinigungsmittelgesetz (WRMG). Danach durften Wasch- und Reinigungsmittel nur so in Verkehr gebracht werden, „dass nach ihrem Gebrauch jede vermeidbare Beeinträchtigung der Gewässer unterbleibt“: Wesentliche Anforderungen an Waschmittel waren der biologische Primärabbau von Tensiden sowie die Meldung von Rahmenrezepturen und anderer Angaben zur Umweltverträglichkeit an das Umweltbundesamt.

Das WRMG regelte zum ersten Mal nicht nur die Umweltverträglichkeit der Inhaltsstoffe, sondern besaß zusätzlich noch einen vorsorgenden Charakter. Ein wichtiges Anliegen war dabei, eine Minimierung der Verbrauchsmengen zu erreichen und damit den Eintrag von Wasch- und Reinigungsmitteln in die

Umwelt zu reduzieren. Aus diesem Grunde wurden sowohl die Dosierungsempfehlungen als auch die Kennzeichnung von Wasch- und Reinigungsmitteln einer gesetzlichen Regelung unterworfen mit dem Ziel, die Verbraucher zum sparsamen Umgang mit Wasch- und Reinigungsmitteln anzuhalten.

Im Rahmen der Harmonisierung in der Europäischen Union (EU) ist am 8. Oktober 2005 die Detergenzienverordnung (EG) Nr. 648/2004 in Kraft getreten, die als europäische Verordnung in ihren verbindlichen Teilen in allen Mitgliedstaaten gilt, ohne dass es einer Umsetzung bedarf. Sie hat das deutsche WRMG im Wesentlichen abgelöst und enthält Vorschriften sowohl zum Schutz der Umwelt als auch der Gesundheit der Verbraucher, z. B.

- zum Endabbau aller Tensidklassen (anionisch, nichtionisch, kationisch, amphoter), d. h. über den Primärabbau hinaus der vollständige biologische Abbau bis auf die Stufe von Mineralsalzen, Kohlendioxid und Biomasse;
- über zusätzliche Angaben zu den Waschmittelinhaltsstoffen: Neu hinzugekommen sind sowohl zwei Stoffgruppen (optische Aufheller und Duftstoffe) sowie als Einzelstoffe 26 Riechstoffe (s. unten) und die Konservierungsstoffe. Diese Einzelstoffe sind mit ihren INCI-Bezeichnungen zu kennzeichnen;
- zu Dosierungsempfehlungen, wobei drei Wasserhärtebereiche (weich, mittel, hart) berücksichtigt werden. Darüber hinaus muss die Zahl der Waschmaschinenfüllungen angegeben werden, die mit dem Packungsinhalt gewaschen werden können, und zwar bezogen auf normal verschmutzte Wäsche bei Vollwaschmitteln und auf leicht verschmutzte Wäsche bei Feinwaschmitteln.

Die Anpassung des deutschen Wasch- und Reinigungsmittelgesetzes an die europäische Detergenzienverordnung trat im Juni 2007 in Kraft. Dadurch wurde u. a. festgelegt, dass Rezepturinformationen über Wasch- und Reinigungsmittel, die in Deutschland vermarktet werden, an das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) gesandt werden müssen. Das BfR stellt diese Daten den deutschen Giftinformationszentren zur Verfügung, damit sie bei Anfragen schnell Therapieempfehlungen geben können.

Zusätzlich zum WRMG gelten für Waschmittel auch die Vorschriften des Chemikalienrechts, das Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB) und die Fertigpackungsverordnung.

Falls ein Waschmittel als gefährlich (z. B. reizend) gekennzeichnet werden muss, erfolgt dies bisher auf Grundlage der europäischen Zubereitungsrichtlinie 1999/45/EG. Spätestens ab dem 1. Juni 2015 muss die Kennzeichnung von Produkten, die neu in den Verkehr gebracht werden, auf die Vorschriften des Global harmonisierten Systems (GHS) zur Einstufung und Kennzeichnung gemäß der „GHS-Verordnung“ (EG) Nr. 1272/2008 umgestellt werden. Der Abverkauf bereits vorher hergestellter Produkte ist anschließend noch bis zum 1. Juni 2017 möglich.

Neben den gesetzlichen Regelungen spielen im Waschmittelbereich Selbstverpflichtungen und freiwillige Vereinbarungen eine ganz besondere Rolle als Ergebnis eines seit Jahrzehnten intensiv gepflegten Dialogs der Branche mit den zuständigen Behörden.

Nachfolgend sind die wesentlichen Selbstverpflichtungen und freiwilligen Vereinbarungen aufgeführt:

Kennzeichnung enzymhaltiger Waschmittel	1971
Dosierempfehlung für Waschmittel	1973
Beschränkung des Phosphateinsatzes in Waschmitteln	1985
Weitergabe von Rahmenrezepturen an Gesundheitsstellen	1975/1993
Begrenzung des Einsatzes von NTA in Waschmitteln	1984
Verzicht auf den Einsatz von APEO in Waschmitteln	1986
Freiwillige Meldung von Daten über die Umweltverträglichkeit	1987
Empfehlung zur umweltbezogenen Werbung für Waschmittel	1987
Inhaltsstoffkennzeichnung von Waschmitteln	1990
Verzicht auf Distearyltrimethylammoniumchlorid (DSDMAC)	1990
Verzicht auf EDTA	1991
Verzicht auf Moschusxylol	1993
Code of Practice zur Vermeidung von Verwechslungen mit Lebensmitteln	1995
Freiwillige Informationsweitergabe bezüglich gentechnisch hergestellter Enzyme seitens der Waschmittelhersteller (auf Anfrage)	1996
Reichweitenangaben auf Waschmittelpackungen	1997
Empfehlung zur Ergiebigkeit/ Messbecherinhalt	2002
Erhebung der Einsatzmengen der wichtigsten Inhaltsstoffe	jährlich seit 1997
IKW-Erklärung zum Umwelt- und Verbraucherschutz	1985/1995
Gründung der Dialogplattform FORUM WASCHEN für Nachhaltigkeit beim Waschen (www.forum-waschen.de)	2001
IKW-Erklärung zur Nachhaltigkeit	2004
IKW-Nachhaltigkeitsbericht (jährlich bzw. zweijährlich)	Seit 2005
Initiative Nachhaltiges Waschen und Reinigen (A.I.S.E. Charter Sustainable Cleaning; www.sustainable-cleaning.org)	2005
Information zur Wasch- und Reinigungsmitteln im Internet: www.cleanright.org	2008

Deklarierungspflichtige Duftstoffe gemäß europäischer Detergenzienverordnung (ab einem Gehalt von 0,01 % im Endprodukt):

AMYL CINNAMAL
BENZYL ALCOHOL
CINNAMYL ALCOHOL
CITRAL
EUGENOL
HYDROXYCITRONELLAL
ISOEUGENOL
AMYL CINNAMYL ALCOHOL
BENZYL SALICYLATE
CINNAMAL
COUMARIN
GERANIOL
HYDROXYISOHEXYL 3-CYCLOHEXENE CARBOXALDEHYDE
ANISE ALCOHOL
BENZYL CINNAMATE
FARNESOL
BUTYLPHENYL METHYLPROPIONAL
LINALOOL
BENZYL BENZOATE
CITRONELLOL
HEXYL CINNAMAL
LIMONENE
METHYL 2-OCTYNOATE
ALPHA-ISOMETHYL IONONE
EVERNIA PRUNASTRI EXTRACT
EVERNIA FURFURACEA EXTRACT

A4

Rahmenrezepturen verschiedener Vollwaschmitteltypen (Europa 2009)

A4.1

Pulverförmige Waschmittel

(Massenanteile der Bestandteile in %)

Funktions- bausteine	Beispiele	Voll-WM Normalware Kompaktat Zeolithbasis	Voll-WM Normalware Kompaktat Lösliche Enthärter- systeme	Color-WM Normalware Kompaktat Lösliche Enthärter- systeme	Voll-WM Super- kompakt	Color-WM Super- kompakt
Anionische Tenside	LAS, FAS	8 - 15	8 - 15	10 - 20	10 - 25	10 - 25
Nichtionische Tenside	FAEO	1 - 5	1 - 5	1 - 5	5 - 15	5 - 15
Seife		1 - 3	1 - 3	1 - 3	< 1	< 1
Gerüststoffe	Zeolith A	25 - 50	-	-	20 - 40	20 - 40
	Lösliche Silicate (Natriumdisilicat)	5 - 10	5 - 10	1 - 5		
Alkalien	Soda	20 - 40	20 - 40	20 - 40	1 - 5	1 - 5
Co-Builder	Polycarboxylate	3 - 5	3 - 5	3 - 5	2 - 8	2 - 8
Bleichmittel	Natriumper- carbonat	10 - 25	10 - 25	-	10 - 20	-
Bleich- aktivatoren	Tetraacetythylen- diamin - TAED	1 - 3	1 - 3	-	3 - 10	-
Stabilisatoren	Phosphonate, andere Komplex- bildner	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
Enzyme	Proteasen, Amyla- sen, Lipasen, Cel- lulasen, Mannana- sen	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0,5 - 2,0	0,5 - 2,0

Fortsetzung von A4.1 Pulverförmige Waschmittel (Massenanteile der Bestandteile in %)

Funktions- bausteine	Beispiele	Voll-WM Normalware Kompaktat Zeolithbasis	Voll-WM Normalware Kompaktat Lösliche Enthärter- systeme	Color-WM Normalware Kompaktat Lösliche Enthärter- systeme	Voll-WM Super- kompakt	Color-WM Super- kompakt
Farbüber- tragungs- inhibitoren	PVP / PVPNO	-	-	+	-	+
Optische Aufheller	Stilbenderivate	0,1 – 0,3	0,1 – 0,3	-	0,1 – 0,3	-
Cellulose- derivate (Vergrauungs- inhibitoren)	Carboxymethyl- cellulose	0 - 1	0 - 1	1 – 2	0 – 1	0 - 1
Schmutz- abweiser (Soil Release Polymere)	Copolymere aus Ethylenoxid und Terephthalsäure	+	+	+	+	+
Schaum- regulatoren	Paraffinöl, Silikonöl	0,1 – 4,0	0,1 – 4,0	0,1 – 4,0	0,1 – 2,0	0,1 – 2,0
Duftstoffe	Duftstoffgemisch	+	+	+	+	+/-
Füll- und Hilfsstoffe	Natriumsulfat	5 - 30	20 - 40	20 - 40	1 - 5	1 - 5
Wasser	Wasser	Rest	Rest	Rest	Rest	Rest

+ = enthalten

A4.2

Flüssige Waschmittel

(Massenanteile der Bestandteile in %)

Funktionsbausteine	Beispiele	Voll-WM Gel	Color-WM Gel	Voll-WM Superkonzentrat	Color-WM Superkonzentrat
Anionische Tenside	IAS, FAS, FAES, SAS	15 - 30	15 - 30	15 - 40	15 - 40
Nichtionische Tenside	FAEO	10 - 20	10 - 20	10 - 20	10 - 20
Seife		5 - 15	5 - 15	5 - 18	5 - 18
Gerüststoffe (Enthärter)	Citrat	1 - 5	1 - 5	1 - 5	1 - 5
Co-Builder	Polycarboxylate	1 - 5	1 - 5	< 1	< 1
Stabilisatoren	Phosphonate, andere Komplexbildner	< 1	< 1	< 1	< 1
	Borsäure	< 1	< 1	< 1	< 1
Enzyme	Proteasen, Amylasen, Lipasen, Cellulasen, Mannanasen	+	+	+	+
Farbübertragungsinhibitoren	PVP / PVPNO	-	+	-	+
Optische Aufheller	Stilbenderivate	+	-	+	-
Cellulosederivate (Vergrauungsinhibitoren)	Carboxymethylcellulose	+	+	+	+
Schmutzabweiser (Soil Release Polymere)	Copolymere aus Ethylenoxid und Terephthalsäure	+	+	+	+
Schaumregulatoren	Paraffinöl, Silikonöl	+	+	+	+
Duftstoffe	Duftstoffgemisch	+	+	+	+
Lösungsmittel	Propylenglykol	5 - 15	5 - 15	3 - 10	3 - 10
Wasser	Wasser	Rest	Rest	Rest	Rest

+ = enthalten

A4.3

Waschmitteltabs

(Massenanteile der Bestandteile in %)

Funktionsbausteine	Beispiele	Vollwaschmittel	Colorwaschmittel
Anionische Tenside	LAS, FAS	10 - 20	10 - 20
Nichtionische Tenside	FAEO	1 - 5	1 - 5
Seife		< 1	< 1
Gerüststoffe (Enthärter)	Zeolith A	15 - 30	15 - 30
Schichtsilicate/ Lösliche Silicate	Natriumdisilicat	0 - 9	0 - 9
Alkalien	Soda	<1	5 - 15
Co-Builder	Polycarboxylate	2 - 5	2 - 5
Bleichmittel	Natriumpercarbonat	10 - 20	-
Bleichaktivatoren	Tetraacetylenethyldiamin - TAED	3 - 7	-
Stabilisatoren	Phosphonate, andere Komplexbildner	<1	<1
Enzyme	Proteasen, Amylasen, Lipasen, Cellulasen, Mannanasen	1 - 4	1 - 4
Farbübertragungs- inhibitoren	PVP / PVPNO	-	+
Optische Aufheller	Stilbenderivate	+	-
Cellulosederivate (Vergrauungs- inhibitoren)	Carboxymethylcellulose	+	+
Schmutzabweiser (Soil Release Polymere)	Copolymere aus Ethylenoxid und Terephthalsäure	+	+
Schaumregulatoren	Paraffinöl, Silikonöl	+	+
Duftstoffe	Duftstoffgemisch	+	+
Füll- und Hilfsstoffe	Natriumsulfat	2 - 5	2 - 5
Zerfallsmittel	Alternativ: • Brausemittel: Hydrogencarbonat/ Citronensäure • Quellmittel: PVP (schwach vernetzt), Carboxymethylstärke, Cellulose • Gut lösliche Salze: Natriumacetat, Natriumcitrat • Wasserlösliches Coating: Dicarbonsäuren, Carboxymethylcellulose	5 - 20	5 - 20
Wasser	Wasser	Rest	Rest

+ = enthalten

A5

Abkürzungsverzeichnis

A.I.S.E.	Association Internationale de la Savonnerie, de la Détergence et des Produits d'Entretien; International Association for Soaps, Detergents and Maintenance Products; Verband der europäischen Waschmittelindustrie
APEO	Alkylphenolethoxylate
APG	Alkylpolyglucoside
ATMP	Aminotris(methylenphosphonsäure), (Nitrilotrismethylen)-trisphosphonsäure
BiAS	Bismutaktive Substanz (Summe der Niotenside)
BSB ₅	Biochemischer Sauerstoffbedarf bei einer Messdauer von fünf Tagen
CEFIC	European Chemical Industry Council, Verband der europäischen Chemieindustrie
CMC	Carboxymethylcellulose
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DAED	Diacetylenhendiarnin
DAIS	Dialkylimidazoliummethyisulfat
DOC	Dissolved organic carbon (in Wasser gelöster, organisch gebundener Kohlenstoff)
DSBAS	Disulfonblauaktive Substanz (Summe der Kationtenside)
DSDMAC	Distearyldimethylammoniumchlorid
DTPMP	Diethylenetriaminpenta(methylenphosphonsäure)
EC ₀ , EC ₅₀ , EC ₁₀₀	Effect concentration. Maß für akute oder subakute Toxizität bei Daphnien (Wasserflöhen), Algen und vergleichbaren Organismen. Gibt die jeweilige Konzentration an, bei der sich gerade bei 0 %, 50 % bzw. 100 % der untersuchten Individuen ein vorher definierter Effekt (Wachstumshemmung, Schwimmfähigkeit u. a.) beobachten lässt. Beobachtungszeitraum und Testbedingungen sind in verschiedenen genormten Testverfahren festgelegt. Messwerte bei Algen beziehen sich immer auf längere Beobachtungszeiträume, sind also als Maß für die chronische Toxizität aufzufassen.
EDDS	Ethylendiamin-N,N'-disuccinat
EDTA	Ethylendiamintetraacetat

EDTMP	Ethylendiamintetra(methylenphosphonsäure)
EQ	Esterquats
FAA	Fettsäurealkanolamide
FAEO	Fettalkoholethoxylate
FAES	Fettalkoholethersulfate
FAS	Fettalkoholsulfate
GLDA	Tetranatrium Glutamat-diacetat
HEDP	1-Hydroxyethan-1,1-diphosphonsäure, Etidronic acid, Ethylen-diamintetra(methylenphosphonsäure)
Hera-Projekt	Human and Environmental Risk Assessment
IDS	Iminodisuccinat
IKW	Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e. V.
INCI	International Nomenclature of Cosmetic Ingredients. INCI-System: Verbindliche einheitliche Vorgabe für kosmetische Mittel in den EU-Ländern, mit welchen Bezeichnungen und in welcher Reihenfolge die Zusammensetzung eines kosmetischen Produktes angegeben wird. Die Inhaltsstoffe sind erfasst in einer Liste, aus der ihre chemische Bezeichnung (in englisch) und ihre kosmetischen Funktionen hervorgehen. Durch die EU-Detergenzienverordnung von 2004 werden diese Bezeichnungen teilweise auch auf die Inhaltsstoffangaben von Wasch- und Reinigungsmitteln übertragen.
LAS	Lineare Alkylbenzolsulfonate
LC ₀ , LC ₅₀ , LC ₁₀₀	Lethal concentration. Maß für die akute Toxizität; gibt die jeweilige Konzentration an, bei der gerade 0 %, 50 % bzw. 100 % der untersuchten Individuen sterben. Messdauer 48–96 Stunden.
MBAS	Methylenblauaktive Substanz (Summe der Aniontenside)
MGDA	Methylglycindiessigsäure-Trinatriumsalz
NOEC	No observed effect concentration. Maß für die chronische Toxizität; jeweilige Konzentration, bei der kein schädigender Effekt bei den untersuchten Arten mehr beobachtet wird.
NTA	Nitrilotriacetat
NTPP	Natriumtripolyphosphat (in Wasch- und Geschirrspülmitteln eingesetztes Phosphat); Pentanatriumtriphosphat
OECD	Organisation for economic cooperation and development (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
PEC	Predicted environmental concentration. Unter ungünstigen, aber realistischen Bedingungen zu erwartende Konzentration einer Substanz in der Umwelt.
PNEC	Predicted no-effect concentration. Prognostizierte Konzentration, bei der in der Umwelt keinerlei negative Effekte auf Lebewesen mehr auftreten.
PVAL	Polyvinylalkohol
PVP	Polyvinylpyrrolidon (Farbübertragungsinhibitor)
PVNO	Poly-4-vinylpyridin-N-oxid

PVP/VI	Copolymere aus Vinylpyrrolidon und Vinylimidazol (Farbübertragungsinhibitor)
SAS	Sekundäre Alkansulfonate
SRP	Soil Release Polymere
TAED	Tetraacetylenylendiamin
TEGEWA	Verband der Hersteller von Textilhilfsmitteln, Gerbstoffen und Waschrohstoffen.
TPS	Tetrapropylenbenzolsulfonat
WRMG	Gesetz über die Umweltverträglichkeit von Wasch- und Reinigungsmitteln (Wasch- und Reinigungsmittelgesetz)

Sachverzeichnis

a

Abbaubarkeit von Tensiden, biologische
 – Abbauweg/-vorgänge
 – aerober Abbau
 – anaerober Abbau
 – Messverfahren zur biologischen Abbaubarkeit
 – – Primärabbau
 – – Totalabbau
 – Testergebnisse zur biologischen Abbaubarkeit
 Abkürzungsverzeichnis 321
 Ablufttrockner 27
 Absatzmärkte 187ff.
 – Deutschland 191
 – Europa 188ff.
 Abwasserbelastung 225ff.
 – Kläranlage 226ff.
 – Reinigung 225ff.
 – Sauerstoffbedarf 227
 – Untersuchungsmethoden 227
 Acrylsäure, Copolymer
 Adhäsionskräfte
 Adsorptionskinetik 70f.
 Agitator-Bottichwaschmaschinen 19
 A.I.S.E.
 akute Toxizität 245f.
 – Effektkonzentration (EC) 245
 – letale Konzentration (LC) 245
 Alkalität
 Alkanolamide 49, *siehe auch* Fettsäure-alkanolamide
 Alkansulfonate 42f.
 – sekundäre Alkansulfonate (SAS) 42f.
 Alkylbenzolsulfonate 40ff.
 – lineare Alkylbenzolsulfonate (LAS) 41f.
 – Synthese 300f.
 – Tetrapropylbenzolsulfonat (TPS) 40f.
 Alkylphenoethoxylate (APEO) 49, 250

Alkylpolyglucoside (APG) 47f.
 – Herstellung 48, 306f.
 Allergie, allergische Reaktionen
 Aminotris(methylenphosphonsäure) (ATMP)
 amphiphil
 Amphotenside, *siehe* amphotere Tenside
 amphotere Tenside 32f., 52f., 234
 Amylasen 114
 anionische Tenside 32f., 37ff., 85ff.
 – Alkansulfonate (SAS) 42f.
 – Alkylbenzolsulfonate (TPS, LAS) 40ff.
 – Fettalkoholethersulfate (FAES) 44
 – Fettalkoholsulfate (FAS) 43
 – Gewässerbelastung 230, 232ff.
 – methylenblauaktive Substanz (MBAS) 230
 – Micellbildung 58f.
 – Seife 37ff.
 antimikrobielle Substanzen
 APEO (Alkylphenoethoxylate)
 APG (Alkylpolyglucoside)
 aquatische Toxizität 245ff.
 – akute Toxizität 245f.
 – Langzeit-Toxizität 246ff.
 ATMP (Aminotris(methylenphosphonsäure))
 Aufheller, optische
 Avivagemittel
 aussalzen 298

b

Basiswaschmittel
 Baukastenwaschmittel/Baukastensysteme
 Baumwolle 9
 Baumwollfaser
 Beladung einer Waschmaschine
 Benetzungsvermögen 62ff.
 – Randwinkel 63
 – Umnetzung 65
 Bentonite 82f.

Benzalkoniumchlorid
 Betain
 Betanidin
 BIAS-Methode (bismutaktive Substanz)
 biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB₅) 227
 Biofilm 216
 Biokatalysator
 biologischer Abbau 229, 235ff.
 – anaerob 243f.
 – aquatische Nahrungskette 236
 – Primärabbau 237ff.
 – Tenside 235ff.
 – Testverfahren 237, 309ff.
 – Totalabbau 237ff.
 bismutaktive Substanz (BiAS) 230, 234
 Bleichaktivatoren 107ff.
 – Decanoyloxybenzoesäure (DOBA) 109
 – Natrium-nonanoyloxybenzolsulfonat (NOBS) 109
 – Ökologie 258
 – Tetraacetylenylendiamin (TAED) 107
 Bleichkatalysatoren 109f.
 Bleichmittel 75, 101ff.
 – Aktivatoren 107ff.
 – Bleichmechanismus 104ff.
 – Chlorbleiche 102, 106f.
 – Katalysatoren 109f.
 – Keimverminderung 215ff.
 – Natriumperborat 101ff.
 – Natriumpercarbonat 104
 – Ökologie 257
 – Peroxocarbonsäuren 110f.
 – Rasenbleiche 101
 – Sauerstoffbleiche 103ff.
 – separate Bleichmittel 138f.
 – Wasserstoffperoxid 104
 Bleichsoda
 Bleichstabilisatoren
 Bodensee (Gewässerökologie,
 Phosphorgehalt)
 Borate 101ff., 257
 Bottich-Waschmaschinen
 BSB (biochemischer Sauerstoffbedarf)
 Bügelhilfen 149
 Bügelwasser
 Builder, *siehe* Gerüststoffe
 Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR)
 213
 Buntwaschmittel

c

Carbon Footprint 271f., 290f.
 Carbonatgleichgewicht 6f.

Carboxymethylcellulose (CMC) 117, 120
 – Ökologie 260
 Carotin (β -Carotin)
 CEFIC
 Cellulasen 114f.
 Cellulose
 Celluloseether
 Chelatkomplex 91
 Chemiefasern 12ff.
 – Elastan 13
 – Lyocell 12
 – Mikrofaser 13
 – Polyamid 12f.
 – Polyester 12f.
 – texturieren 13
 – Viskose 12
 – Waschbarkeit 16
 chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) 227
 Chlorbleiche 102, 106f.
 – Mechanismus 107
 Citrate 96f.
 Citronensäure
 Co-Builder 97f.
 Colorwaschmittel 79ff.
 – Farbübertragungsinhibitor 79
 – flüssig 80f.
 – pulverförmig 79f.
 CSB (chemischer Sauerstoffbedarf) 227
 Curcumin
 Cyanidin
 Cyclodextrin 149f.

d

Dateninventar 269f.
 – Datenbanken 269
 – Waschmittel 273ff.
 Decanoyloxybenzoesäure (DOBA) 109
 Detergenzienverordnung (EG) 316
 Diethylentriaminpenta(methylenphosphon-
 säure) (DTPMP)
 Diffusionskinetik 70f.
 Dioxan 305f.
 Dispergiervermögen 67f.
 Dispersion 67
 Distearyltrimethylammoniumchlorid
 (DSDMAC) 52, 141
 DOC (gelöster organischer Kohlenstoff)
 Dosierung
 – Dosieranleitung
 – Dosierempfehlungen
 – Dosiergenauigkeit
 – Dosierhilfen
 – Dosiervorschriften 182f.

DSDMAC (Distearyldimethylammoniumchlorid) 52, 141
 DTPMP (Diethylentriaminpenta(methylenphosphonsäure))
 Duftstoffe 129f.
 – Deklarierungspflicht 318
 – Hautverträglichkeit 210
 – Ökologie 259f.
 Dye Fixatives, *siehe* Farbpflegepolymere

e

EDDS (Ethylendiamin-N,N'-disuccinat)
 EDTA (Ethylendiamintetraacetat)
 EDTMP (Ethylendiamintetra(methylenphosphonsäure))
 Einspülkammer einer Waschmaschine
 Elastan 13
 elektrokinetisches Potential
 Elimination 229
 Emulsion 67
 Endabbau, *siehe* Totalabbau
 Energielabel 25ff.
 Energieverbrauch/Energiebedarf beim Waschen
 Energy Efficiency Index (EEI) 26
 Enthärterssysteme, *siehe* Gerüststoffe
 Enzyme 111ff.
 – Amylase 114
 – Arten 111
 – Cellulase 114f.
 – Lipase 114
 – Mannanase 115f.
 – Ökologie 258f.
 – Protease 114
 – Stabilisierung 116
 Esterquats 52
 – Synthese 307f.
 Ethylendiamintetraacetat (EDTA) 125ff.
 – Ökologie 256
 Ethylendiamin-N,N'-disuccinat (EDDS)
 Ethylendiamintetra(methylenphosphonsäure) (EDTMP)
 Ethylenoxid 304
 Eutrophierung 251
 Extrusionstechnik

f

FAEO (Fettalkoholethoxylate) 46f.
 FAES (Fettalkoholethersulfate) 44
 FAS (Fettalkoholsulfate) 43
 Fällungsenthärter 89
 Farbpflegepolymere 122
 Farbstoffe 101f., 130

Farbübertragungsinhibitoren 79, 120ff.
 – Copolymere aus Vinylpyrrolidon und Vinylimidazol (PVPVI) 120f.
 – Polyvinylpyrrolidon (PVP) 120f.
 – Poly-4-vinylpyridin-N-oxid (PVNO)
 – separate Verfärbungsinhibitoren 140
 Feinwaschmittel 81f.
 Fettalkohole 43, 302
 – Synthese 302f.
 Fettalkoholethersulfate (FAES) 44
 – Synthese 304
 Fettalkoholethoxylate (FAEO) 46f.
 – Abbau 240
 – Dioxanbildung 305f.
 – Synthese 304ff.
 Fettalkoholpolyglykolether, *siehe* Fettalkoholethoxylate
 Fettalkoholsulfate (FAS) 43
 – Abbau 240, 242
 – Synthese 302f.
 Fettsäure-Verseifung 298f.
 Fettsäurealkanolamide 49
 Fleckensalze 138
 Fleckvorbehandlung 198ff.
 Flüssigwaschmittel 78f., 80f.
 – Herstellung 159f.
 Fluoreszenz, Mechanismus
 Formspüler 148
 FORUM WASCHEN 223, 285f.
 Frontlader
 Füllstoffe 131

g

Galactomannane
 Gardinenwaschmittel 82f., 149
 Gefahrenkennzeichnungen 204ff.
 Gefahrstoffsymbole
 gentechnisch produzierte Enzyme
 GLDA (Tetranatrium Glutamat-diacetat)
 Geruchsabsorber 132ff.
 – Cyclodextrine 133f.
 – Zinksalze 133
 Gerüststoffe 74, 88ff.
 – Citrate 96f.
 – Co-Builder 97f.
 – Entwicklung 90f.
 – Fällungsenthärter 89
 – Kriterien 89
 – Nitrilotriacetat (NTA) 99
 – Pentanatriumtriphosphat 91f.
 – Phosphate 89f.
 – Polycarboxylate 96ff.
 – Silicate 95f.

- Vergleich 94f.
 - Zeolithe 90, 92ff.
 - Gesamthärte, s. Wasserhärte
 - Geschichte 163ff.
 - Altertum 163f.
 - Angebotsformen 169ff.
 - Feinwaschmittel 167f.
 - industrielle Produktion 166
 - Mittelalter 165f.
 - Optimierung 168f.
 - Vollwaschmittel 166f.
 - Waschgewohnheiten 173ff.
 - Gesetzgebung 315ff.
 - Detergenzienverordnung (EG) 316
 - Selbstverpflichtungen 317
 - Wasch- und Reinigungsmittelgesetz (WRMG) 315
 - Gesundheitsrisiken 203ff.,
 siehe auch Verbraucherschutz
 - Gewässerbelastung
 - Gewässerökologie
 - Gewebeconditioner 147f.
 - Giftinformationszentrum 212
 - Global Harmonisiertes System (GHS) 204
 - Glycoside 47
 - „goldene“ Regeln 192ff.
 - Beladung 193
 - Dosierung 194ff.
 - Einkauf 198
 - Pflegehinweise 193
 - Sortieren 192
 - Temperatur 196f.
 - Trocknen 201
 - Grad deutsche Härte
 - Granulation
 - Grenzflächen 62ff.
 - flüssig-fest 63
 - flüssig-flüssig 62
 - Grenzflächenaktivität 55
- h**
- Handwaschmittel 83
 - Hautverträglichkeit 209ff.
 - Duftstoffe 210
 - Handwäsche 209f.
 - Risikobewertung 211f.
 - Weichspüler 211
 - Härtegrad des Wassers (s. Wasserhärte)
 - HEDP (1-Hydroxyethan-1,1-diphosphonsäure)
 - HERA-Projekt (Human and Environmental Risk Assessment)

- Hochdrucksprühverfahren 153ff.
- Slurry 153
- Holzäsche
- Human and Environmental Risk Assessment (HERA) 211f.
- Hydrogencarbonat (s. Natriumhydrogencarbonat)
- 1-Hydroxyethan-1,1-diphosphonsäure (HEDP)
- Hygiene 213ff.
- Biofilm 216
- Infektionskette 214
- Keimverminderung 215ff.
- Hygienespüler 149

i

- IDS** (Iminodisuccinat)
- Iminodisuccinat (**IDS**)
- Initiative „Nachhaltiges Waschen und Reinigen“ (CHARTER) 289f.
- Inkrustation
- Internetadressen 296
- ionische Tenside, *siehe* anionische Tenside *oder* kationische Tenside

k

- Kalkseife 39f.
- Kalt-Waschgang 73
- kationische Tenside 32f., 50ff.
- Distearldimethylammoniumchlorid (DSDMAC) 52
- Esterquats 52
- Gewässerbelastung 234
- Micellbildung 58f.
- Synthese 307f.
- keimvermindernde Faktoren 215f.
- Kläranlage, Aufbau
- Kokosöl
- Kompaktwaschmittel 76
- Herstellung 155ff.
- Komplexbildner 125ff.
- Entwicklung 128
- Ethylendiamin-N,N'-disuccinat (**EDDS**) 125ff.
- Ethylendiamintetraacetat (EDTA) 125ff.
- Iminodisuccinat (**IDS**) 125ff.
- Methylglycindiessigsäure-Trinatriumsalz (**MGDA**) 125ff.
- Phosphonate 125ff.
- Tetranatrium Glutamat-diacetat (**GLDA**) 125ff.
- Kondensationstrockner 27

Konfektionierungshilfen 131
 Konservierungsstoffe 131f.
 Korrosionsinhibitoren 129
 kritische Micellbildungskonzentration (CMC) 59f.

I

Langzeit-Toxizität 246ff.
 – No Observed Effect Concentration (NOEC)#246
 – Predicted No Effect Concentration (PNEC)#247
 Laundry Sustainability Project 2 77
 Life Cycle Assessment, *siehe* Ökobilanzen
 Life Cycle Inventory (LCI),
 siehe Dateninventar
 lineare Alkylbenzolsulfonate (LAS) 41f., 231ff.
 – Abbau 240f.
 – Aufbau 41
 – Synthese 300f.
 Lipasen 114
 Lyocell 12

m

MBAS (methylenblauaktive Substanz) 230, 232
 Magnesiumsilicat
 Mannanase 115f.
 methylenblauaktive Substanz (MBAS) 230, 232
 – Detektionslimit (LOD) 232
 Methylglycindiessigsäure-Trinatriumsalz (MGDA)
 MGDA (Methylglycindiessigsäure-Trinatriumsalz)
 Micellen 38f., 58ff.
 – Dynamik 70
 – kritische Micellbildungskonzentration (CMC) 59f.
 – Kugelmicellen 59
 – Micellbildung 58f.
 Mikroemulsionen 68
 Mikrofaser 13
 mikroporöse Membranen 13
 Moschusduftstoffe

n

Nachbehandlungsmittel 137, 148ff.,
 siehe auch Weichspüler
 Nachhaltigkeit 223, 283ff.
 – Definition 283f.
 – FORUM WASCHEN 223, 285f.

– Herstelleraufgaben 287
 – Initiativen 289f.
 – Product Carbon Footprint (PCF) 290f.
 – Umsetzung 284ff.
 – Umweltzeichen 288f.
 – Verbraucherinformation 287
 Natriumcarbonat, *siehe* Soda
 Natriumhydrogencarbonat
 Natriumhypochlorit 106
 Natrium-nonanoyloxybenzolsulfonat (NOBS) 109
 Natriumperborat 101ff.
 – Formen 103
 Natriumpercarbonat 104
 Natriumtripolyphosphat (NTPP),
 siehe Pentanatriumtriphosphat
 Natriumsilicat, -metasilicat, -disilicat
 Naturfasern 9ff.
 – Baumwolle 9
 – Seide 12
 – Waschbarkeit 14
 – Wolle 10ff.
 Neutralöl-Verseifung 297f.
 nichtionische Tenside 32f., 44ff.
 – Alkylphenolethoxylate (APEO) 49
 – Alkylpolyglucoside (APG) 47f.
 – bismutaktive Substanz (BiAS) 230, 234
 – Fettalkoholethoxylate (FAEO) 46f.
 – Fettsäurealkanolamide 49
 – Micellbildung 58f.
 – Saponine 50
 – Trübungspunkt 46
 – Vorteile 47
 Niedrigdosierwaschmittel
 Niotenside, *siehe* nichtionische Tenside
 Nitrilotriacetat (NTA) 99
 – Ökologie 256f.
 NOBS (Natrium-nonanoyloxybenzolsulfonat) 109
 NTA (Nitrilotriacetat) 99

o

Oberflächenspannung 56ff.
 – Benetzung 63f.
 Ökobilanzen 223f., 265ff.
 – Auswertung 272
 – Charakterisierung 271
 – Dateninventar 269f.
 – Erstellung 266f., 269ff.
 – Klassifizierung 271
 – Kritische Prüfung 272
 – Normen 268
 – Systemgrenzen 265f.

- Untersuchungsrahmen 269
- Waschverfahren 273ff.
- Wirkungsabschätzung 270f.
- Ökologie 221ff., 261f.
 - Abwasserbelastung 225ff.
 - aquatische Toxizität 245ff.
 - biologischer Abbau 229, 235ff.
 - Bleichmittel 257f.
 - Carbon Footprint 271f., 290f.
 - Duftstoffe 259f.
 - Elimination 229
 - Enzyme 258f.
 - Ethylendiamintetraacetat (EDTA) 256
 - Eutrophierung 251
 - Nachhaltigkeit 223, 283ff.
 - Nitrilotriacetat (NTA) 256f.
 - optische Aufheller 259
 - Phosphate 250ff.
 - Phosphonate 256
 - Polycarboxylate 255f.
 - Risikobewertung 248f.
 - Tenside 230ff.
 - Umweltbelastung 221ff.
 - Umweltzeichen 288f.
 - Verträglichkeit 222f.
 - Zeolithe 255
- optische Aufheller 123ff.
 - Eigenschaften 123
 - Mechanismus 124
 - Ökologie 259
- Oxo-Alkohole 302

p

- Palmkernöl
- PAP (N,N-Phthalimidoperoxyhexansäure) 111
- Paraffinöl
- Pentanatriumtriphosphat 91f.
- Percarbonat 257f.
- Peressigsäure
- Peroxocarbonsäuren 110f.
 - N,N-Phthalimidoperoxyhexansäure (PAP) 111
- Persil 166f.
- Pflegekennzeichnung 14f.
- pH-Wert 100
- Phosphate 89f., 250ff.
 - Gewässerbelastung 252f.
 - Ökologie 250ff.
 - Reduktion 254
- Phosphonate 125ff.
 - Ökologie 256

- N,N-Phthalimidoperoxyhexansäure (PAP) 111
- Pigmentschutz 68ff.
- Polyamid 12f.
- Polyasparaginsäure 97f.
- Polycarboxylate 96ff.
 - Eigenschaften 97f.
 - Ökologie 255f.
- Polyester 12f.
- Polymere 116ff.
 - Farbpflegepolymere 122
 - Farbübertragungsinhibitoren 79, 120ff.
 - Folienmaterial 122
 - Soil Release Polymere (SRP) 117ff.
 - Vergauungsinhibitoren 117
- Polyethylen
- Polyethylenglycol
- Polyvinylacetat
- Polyvinylalkohol
- Poly-4-vinylpyridin-N-oxid (PVNO)
- Polyvinylpyrrolidon (PVP) 120f.
- Primärabbau 237ff.
 - Auswahltest 310
 - Bestätigungstest 310f.
 - Reaktionen 238
 - Tenside 237ff.
 - Testverfahren 310ff.
- Primärwaschvermögen 55, 68
- Product Carbon Footprint (PCF) 290f.
- Produktion 151ff.
 - Entwicklung 151
 - Flüssig-Tabs 161
 - Flüssigwaschmittel 159f.
 - Hochdrucksprühverfahren 153ff.
 - Kompaktwaschmittel 155ff.
 - Tennungsverfahren 152f.
 - Waschmittel-Tabs 157ff.
- Propylenglycol
- Proteasen 114
- Pulsator-Wellenradwaschmaschinen 19

r

- Rasenbleiche 101, 167

s

- Sachbilanz, *siehe* Dateninventar
- Saponine 50
- SAS (sekundäre Alkansulfonate) 42f.
- Sauerstoffbleiche 103ff.
 - Mechanismus 104ff.
- Schaumbildung 60ff.
- Schaumbooster 61
- Schauminhibitoren 61, 128

- Schmutz 64ff., *siehe auch* Wäscheschmutz
- Schmutzablösung 65ff.
 - öl- und fetthaltig 65ff.
 - Pigmentschmutz 68ff.
 - stark polar 70
- Schmutzarten 2f., 64
- Schmutzhaftung 3f.
- Schmutztragevermögen 65f.
- Schüttdichte 155
- Seide 12
- Seife 31f., 37ff., 87, 297ff.
 - Abbau 242
 - aussalzen 298
 - Fettsäure-Verseifung 298f.
 - Herstellung 297ff.
 - industrielle Produktion 166
 - Kalkseife 39f.
 - Kernseife
 - Leitfähigkeit 39
 - Löslichkeit 38f.
 - Neutralöl-Verseifung 297f.
 - Protolyse 39
 - Rohmaterialen 299
 - Schmierseife
 - Zusammensetzung 37
- Seifensieder 297
- sekundäre Alkansulfonate (SAS) 42f.
 - Synthese 301f.
- Sekundärwaschvermögen 55, 68
- Silicate 95f.
 - SKS-6 95
- Siliconöl
- Soda 89, 96, 100
- Soil Release Polymere (SRP) 117ff.
- Spezialwaschmittel 82f.
- Sprengmittel 132
- Stabilisatoren, *siehe* Komplexbildner
- Stärke
- Stellmittel, *siehe* Füllstoffe
- Superkompaktwaschmittel 76f.
 - Herstellung 155ff.
 - Megaperls 156
- surfactant, *siehe* Tenside
- Suspension 67
- Sustainable development (nachhaltige Entwicklung)
- t**
- Tabs 81
 - Flüssig-Tabs 161
 - Herstellung 157ff.
- TAED (Tetraacetylenhendiämin) 107
- Tennenverfahren 152f.
- Tensiddoppelschicht 60f.
- Tenside 31ff., 55ff., 74, 85ff.
 - Abbaubarkeit 235ff.
 - Abwasserbelastung 228
 - amphotere 52f.
 - anionische 37ff.
 - aquatische Toxizität 245ff.
 - Aufbau 32, 55
 - Benetzungsvermögen 62ff.
 - Eigenschaften 55ff., 85
 - Herstellung 35f., 297ff.
 - kationische 50ff.
 - Klärschlammbelastung 235
 - Klassen 32ff., 85ff.
 - Micellbildung 58ff.
 - nichtionische 44ff.
 - Rohstoffe 34f.
 - Rückstände 208
 - Schaumbildung 60ff.
 - Schmutztragevermögen 66f.
 - Seife 31f.
 - ternäre Systeme 88
 - Umweltbelastung 230ff.
 - Umweltrisikobewertung 248f.
 - Trübungspunkt 46
 - Verbrauch 33f.
 - wässrige Lösung 56ff.
 - Waschwirkung 64ff.
- Tensidmischungen 70f., 87f.
- ternäres Tensidsystem 88
- Tetraacetylenhendiämin (TAED) 107
- Tetranatrium Glutamat-diacetat (GLDA)
- Tetrapropylenbenzolsulfonat (TPS) 40f., 221
- Textilerfrischer 148f.
- Textilfasern 8ff.
 - Chemiefasern 12ff.
 - Fasermischungen 13
 - Kennzeichnung 14
 - Naturfasern 9ff.
- Textilien 8ff.
 - Fasern 8ff.
 - Innovationen 14
 - Klassen 8
 - Membrantextilien 13, 16
 - Pflegekennzeichnung 14f.
 - Waschbarkeit 14
- Textilkennzeichnungsgesetz (TKG) 14
- Totalabbau 237ff.
 - Analytik 239
 - Coupled-Units-Test 313f.
 - β -Oxidation 241
 - Reaktionen 240ff.
 - Testverfahren 312ff.

TPS (Tetrapropylenbenzolsulfonat) 40f., 221
 Trockner, *siehe* Wäschetrockner
 Trocknerhilfsmittel 146
 Trommelwaschmaschine 19ff.
 – Aufbau 23
 Türkischrotöle 32
 Tyndall-Effekt 38

u

Umnetzung 65
 Umweltbelastung 221ff., *siehe auch* Ökologie
 – Abwasserbelastung 225ff.
 – Bewertung 222f., 248f.
 – Moschusduftstoffe 222
 – Phosphate 252
 – Tenside 230ff.
 Umweltzeichen 288f.

v

Verbraucherschutz 203ff.
 – Aufbewahrung 206
 – Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) 213
 – Gefahrenkennzeichnungen 204ff.
 – Giftinformationszentrum 212
 – Hautverträglichkeit 209ff.
 – Hygiene 213ff.
 – Sicherheitshinweise 207
 – Unfälle 212f.
 – Waschmittelrückstände 208
 Verbraucherverhalten 163ff.
 – Dosiervorschriften 182f.
 – „goldene“ Regeln 192ff.
 – Historie 163ff.
 – internationaler Vergleich 187ff.
 – Marktanteile 179ff.
 – Nachhaltigkeit 287
 – Waschgewohnheiten 173ff.
 – Waschmittelverbrauch 177f.
 – Waschverfahren 183ff.
 Vergrauungsinhibitoren 117ff.
 – Carboxymethylcellulose (CMC) 117, 120
 Verpackungsangaben 201ff.
 – Gefahrenkennzeichnung 204ff.
 Vollwaschmittel 76ff.
 – Baukastensysteme 77f.
 – Dosierung 77
 – Entwicklung 166f.
 – flüssig 78f.
 – Kompaktwaschmittel 76f.
 – pulverförmig 76f.
 – Superkompaktwaschmittel
 Vorbehandlungsmittel

w

Wäscheschmutz 2ff., 64ff.,
 – *siehe auch* Schmutz
 – Farbstoffe 101f.
 – öl- und fetthaltig 65ff.
 – Pigmentschmutz 68ff.
 – Schmutzablösung 65ff.
 – Schmutzhaftung 3f.
 – Schmutztragevermögen 65f.
 – stark polar 70
 Wäschesteifen 148
 Wäschetrockner 27ff.
 – Energieverbrauch 28f., 278f.
 – Trockenstufen 28
 – Typen 27
 Warenkunde 73ff.
 Wasch- und Reinigungsmittelgesetz
 (WRMG) 315
 waschaktive Substanzen (WAS)
 (s. auch Tenside) 31
 Waschalkalien 100
 Waschaufwand 176
 Waschgewohnheiten 173ff.
 Waschhilfsmittel 137ff.
 – Einweichmittel 138
 – Nachbehandlungsmittel 148f.
 – Schwerpunktverstärker 138
 – separate Bleichmittel 138f.
 – separate Verfärbungsinhibitoren 140
 – separate Wasserenthärter 140
 – Spezial-Fleckentferner 140
 – Textilerfrischer 149f.
 – Weichspüler 141ff.
 Waschhilfsstoffe 70
 Washkraftverstärker 139f.
 Waschkreis 1f.
 Waschmaschinen 16ff.
 – Beladungserkennung 25
 – Energiebedarf 275
 – Energieeffizienz 25ff.
 – Historie 16f.
 – Innovationen 21ff.
 – Mengenautomatik 25
 – Öko-Schleuse 22
 – Typen 19f.
 – Verbreitung 18
 – Waschbedingungen 20
 – Wasserführungssysteme 24
 Waschmittel 73ff., 85ff., 151ff., 163ff., 221ff.
 – 2-in-1-Waschmittel 147
 – Basistenside 85ff.
 – Bleichsysteme 101ff.
 – Carbon Footprint 290f.

- Colorwaschmittel 79ff.
 - Dateninventar 273ff.
 - Duftstoffe 129f.
 - Enthärter 88ff.
 - Enzyme 111ff.
 - Farbstoffe 130
 - Feinwaschmittel 81f.
 - Füllstoffe 131
 - Funktionsbausteine 74ff.
 - Geruchsabsorber 132ff.
 - Geschichte 163ff.
 - Inhaltsstoffe 85ff.
 - Komplexbildner 125ff.
 - Konfektionierungshilfen 131
 - Konservierungsstoffe 131f.
 - Korrosionsinhibitoren 129
 - Marktanteile 179ff.
 - Nachhaltigkeit 283ff.
 - Ökobilanz 267f., 273ff.
 - Ökologie 221ff.
 - optische Aufheller 123ff.
 - pH-Wert 100
 - Polymere 116ff.
 - Produktgruppen 73f.
 - Produktion 151ff., 274
 - Schaumminhibitoren 128
 - Schüttdichte 76
 - Spezialwaschmittel 82f.
 - Sprengmittel 132
 - Tabs 81
 - Tensidkombinationen 87f.
 - Umweltzeichen 288f.
 - Verbrauch 177f.
 - Verwendung 177ff.
 - Vollwaschmittel 76ff.
 - Waschalkalien 100
 - Zusatznutzen 83
 - Waschmittel-Tabs, *siehe* Tabs
 - Waschmittelproduktion, *siehe* Produktion
 - Waschmittellrückstände 208
 - Waschmittelverbrauch 177f.
 - Waschnüsse 186
 - Waschprozess, *siehe* Waschverfahren
 - Waschregeln, *siehe* „goldene“ Regeln
 - Waschverfahren 1ff., 183ff.
 - Bügeln 185
 - Energiebedarf 275ff.
 - Füllungsgrad 184
 - Global Warming Potential 280
 - Handwäsche 185
 - Ökobilanz 273ff.
 - Partner 1ff.
 - Programm 184
 - Temperatur 183f.
 - Trocknen 185, 201
 - Wasseremissionen 277
 - Waschwirkung 64ff.
 - Wasser 4ff., 56
 - Härte 5ff.
 - Oberflächenspannung 56ff.
 - Verbrauch 5
 - Wasserenthärter 88ff.,
siehe auch Gerüststoffe
 - Wasserhärte 5ff.
 - Carbonatgleichgewicht 6f.
 - Maßeinheiten 5
 - Verteilung 7
 - Wasserstoffbrückenbindungen 56f.
 - Wasserstoffperoxid 104
 - Weichspülmittel 51, 141ff.
 - 2-in-1-Waschmittel 147
 - Distearyl-dimethylammoniumchlorid (DSDMAC) 141
 - Duftstoffe 147
 - Gewebeconditioner 147f.
 - Hautverträglichkeit 211
 - Kationentenside 143
 - Nachteile 145
 - Silicone 143f.
 - Trocknerhilfsmittel 146
 - Vorteile 144f.
 - Wirkung 141
 - Zusammensetzung 143
 - Weißmacher, *siehe* optische Aufheller
 - Wirtschaft 187ff.
 - internationaler Markt 187ff.
 - Marktanteile 179ff.
 - Wolle 10ff.
 - Verfilzen 11
 - Wollwaschmittel 82
- Z**
- Zeolithe 75, 90, 92ff.
 - Funktion 93f.
 - Ökologie 255
 - Sasil 93
 - Typen 92
 - Zeolith A 93f.
 - Zeolith P 94
 - Zerfallsmittel, *siehe* Sprengmittel
 - Zeta-Potential (ξ -Potential) 69
 - Ziegler-Alkohole 302
 - Zinkricinoleat, 133, 149f.
 - Zuckertenside

Vita

Günter Wagner studierte Chemie und Physik an der Georg-August-Universität Göttingen. Nach der Dipl.-Prüfung in Chemie 1979 und dem 1. und 2. Staatsexamen für das Lehramt an Gymnasien war er von 1984 an viele Jahre als Lehrer an der Elisabeth-Knipping-Schule in Kassel tätig. Von 1997 bis 2004 arbeitete er als Pädagogischer Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe „Didaktik der Chemie“ am Fachbereich Naturwissenschaften der Universität Kassel.

Herr Wagner ist Autor zahlreicher Veröffentlichungen zum Chemieunterricht und war von 1998 bis 2006 Mitherausgeber der Zeitschrift „Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie“.

Er ist Mitglied der GDCh-Fachgruppe Chemieunterricht und Kursleiter von zahlreichen Lehrerfortbildungsveranstaltungen der GDCh und des Verbandes der Chemischen Industrie VCI.

2004 wurde Herrn Wagner für seine Verdienste um die Lehrerfortbildung und als Autor und Mitherausgeber des Buches „Reinigungs- und Pflegemittel im Haushalt“ der Fachgruppenpreis der GDCh-Fachgruppe „Waschmittelchemie“ verliehen. Seit September 2004 ist er Schulleiter der Elisabeth-Knipping-Schule in Kassel. Herr Wagner ist Mitglied im FORUM WASCHEN und leitet dort das Projektteam „Schule“.