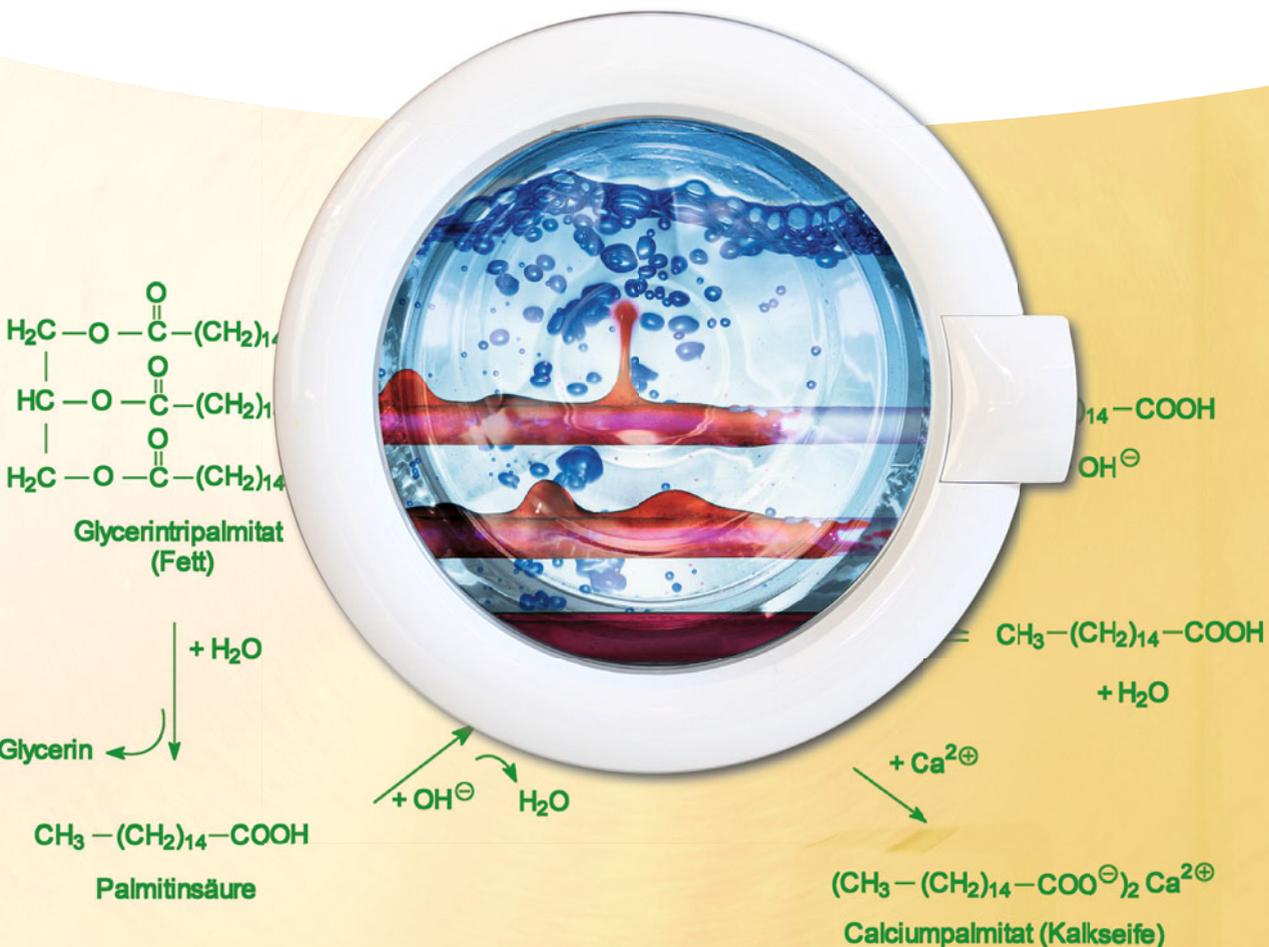


Günter Wagner

Waschmittel

Chemie, Umwelt, Nachhaltigkeit

5., vollständig überarbeitete
und aktualisierte Auflage

Günter Wagner

Waschmittel

Günter Wagner

Waschmittel

Chemie, Umwelt, Nachhaltigkeit

5., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage

WILEY-VCH
Verlag GmbH & Co. KGaA

Autor

Günter Wagner
Sandbuschweg 3
34132 Kassel
Deutschland

5. Auflage 2017

■ 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.

© 2017 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA,
Boschstr. 12, 69469 Weinheim, Germany

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.

Umschlaggestaltung Grafik-Design Schulz,
Fußgönheim
Satz le-tex publishing services GmbH, Leipzig,
Deutschland

Print ISBN 978-3-527-34316-4
ePDF ISBN 978-3-527-80982-0
ePub ISBN 978-3-527-80983-7
Mobi ISBN 978-3-527-80984-4

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung *XI*

Vorwort *XIII*

Abbildungsnachweis *XV*

1	Partner beim Waschprozess	1
1.1	Einführung	1
1.2	Der Wäscheschmutz	2
1.3	Wasser und Wasserhärte	4
1.4	Textilien	6
1.5	Waschmaschinen	18
1.5.1	Historische Entwicklung	18
1.5.2	Waschmaschinen im weltweiten Vergleich	21
1.5.3	Innovationen der Waschmaschinenentwicklung	22
1.5.4	EU-Energielabel für Waschmaschinen	31
1.5.5	Haltbarkeit und Lebensdauer von Waschmaschinen	37
1.5.6	Ausblick und Zukunftsperspektiven bei Waschmaschinen	38
1.6	Wäschetrockner	40
1.7	Waschtrockner	44
	Literatur	45
2	Chemie der Tenside	49
2.1	Überblick und wirtschaftliche Bedeutung	49
2.2	Anionische Tenside	54
2.2.1	Seife	54
2.2.2	Alkylbenzolsulfonate (TPS, LAS)	58
2.2.3	Alkansulfonate (SAS)	60
2.2.4	Fettalkoholsulfate (FAS)	60
2.2.5	Fettalkoholethersulfate (FAES)	61
2.2.6	Cumol- und Xylolsulfonate	61
2.3	Nichtionische Tenside	62
2.3.1	Fettalkoholethoxylate (FAEO)	63

2.3.2	Tenside auf Zuckerbasis	65
2.3.3	Sonstige Niotenside	66
2.4	Kationische Tenside	68
2.5	Amphotere Tenside	70
	Literatur	70
3	Eigenschaften der Tenside	71
3.1	Anordnung von Tensiden an Phasengrenzflächen	71
3.2	Das Verhalten von Tensiden in wässriger Lösung	72
3.2.1	Herabsetzung der Oberflächenspannung des Wassers durch Tenside	72
3.2.2	Mizellbildung von Tensiden	75
3.2.3	Schaumbildung von Tensidlösungen	77
3.2.4	Das Benetzungsvermögen von Tensidlösungen	79
3.3	Die Waschwirkung von Tensiden	81
3.3.1	Schmutzablösung von öl- und fetthaltigem Schmutz	82
3.3.2	Schmutzablösung von Pigmentschmutz	85
3.3.3	Schmutzablösung von stark polarem Schmutz	86
3.3.4	Tensidmischungen	87
	Literatur	88
4	Warenkunde der Waschmittel	89
4.1	Waschmitteltypen im Überblick	89
4.2	Vollwaschmittel	92
4.2.1	Vollwaschmittel, fest	92
4.2.2	Vollwaschmittel, flüssig und gelförmig	94
4.3	Colorwaschmittel	95
4.3.1	Colorwaschmittel, fest	95
4.3.2	Colorwaschmittel, flüssig und gelförmig	96
4.4	Portionierte Waschmittel (Tabs und Flüssigtabs)	97
4.5	Feinwaschmittel	98
4.6	Spezialwaschmittel	98
4.7	Waschmittel mit Zusatznutzen	99
	Literatur	99
5	Inhaltsstoffe von Waschmitteln	101
5.1	Tenside	101
5.2	Enthärter (Gerüststoffe)	104
5.2.1	Pentanatriumtriphosphat	106
5.2.2	Zeolithe	107
5.2.3	Zeolith- und phosphatfreie Enthärterssysteme	109
5.2.4	Citronensäure und Citrate	111
5.2.5	Polycarboxylate	111
5.2.6	Nitrilotriessigsäure und deren Salze (NTA)	114
5.3	Waschalkalien und pH-Wert	114

- 5.4 Bleichsysteme 115
 - 5.4.1 Bleichmittel auf Sauerstoffbasis 117
 - 5.4.2 Bleichmittel auf Chlorbasis 119
 - 5.4.3 Bleichaktivatoren 120
 - 5.4.4 Bleichkatalysatoren 122
 - 5.4.5 Peroxocarbonsäuren 124
- 5.5 Enzyme 124
- 5.6 Polymere Inhaltsstoffe 130
 - 5.6.1 Vergrauungsinhibitoren und Soil-Release-Polymere 130
 - 5.6.2 Farbschutzpolymere 133
 - 5.6.3 Folien für Portionierungen 136
- 5.7 Sonstige Inhaltsstoffe 137
 - 5.7.1 Optische Aufheller 137
 - 5.7.2 Stabilisatoren und Komplexbildner 139
 - 5.7.3 Schauminhibitoren 141
 - 5.7.4 Korrosionsinhibitoren 142
 - 5.7.5 Duftstoffe 143
 - 5.7.6 Farbstoffe 144
 - 5.7.7 Lösungsmittel und Lösungsvermittler (Hydrotrope) 145
 - 5.7.8 Stellmittel 146
 - 5.7.9 Antimikrobielle Wirkstoffe 146
 - 5.7.10 Sprengmittel 148
 - 5.7.11 Geruchsabsorber 149
- Literatur 150

- 6 Waschlifsmittel und Nachbehandlungsmittel 153**
 - 6.1 Waschlifsmittel (Vorbehandlungsmittel und Waschmitteladditive) 154
 - 6.2 Weichspülmittel 157
 - 6.3 Weichspülmittel mit Zusatzfunktionen 162
 - 6.3.1 Trocknerhilfsmittel 162
 - 6.3.2 Duftintensive Weichspüler 163
 - 6.3.3 2-in-1-Waschmittel 163
 - 6.4 Hygienespüler 163
 - 6.5 Weitere Nachbehandlungsmittel 164
 - 6.6 Textilerfrischer 165
- Literatur 166

- 7 Technologie der Waschmittelherstellung 167**
 - 7.1 Herstellung von pulverförmigen Waschmitteln nach dem Tennenverfahren 168
 - 7.2 Herstellung pulverförmiger Waschmittel nach dem Hochdrucksprühverfahren 168
 - 7.3 Herstellung von Kompakt- und Superkompaktwaschmitteln 171
 - 7.4 Herstellung von Waschmitteltabs 173

- 7.5 Herstellung von flüssigen Waschmitteln 174
- 7.6 Herstellung von Flüssigtabs 175
- Literatur 176

- 8 Waschmittel aus Sicht der Verbraucher 177**
 - 8.1 Geschichte der Waschmittel 177
 - 8.2 Waschgewohnheiten heute 188
 - 8.2.1 Fakten zum Waschaufwand insgesamt 188
 - 8.2.2 Das Waschmittellangebot 192
 - 8.2.3 Nutzung der Waschmittel 195
 - 8.2.4 Beachtung von Dosiervorschriften 197
 - 8.2.5 Nutzung der Waschmaschinen 198
 - 8.2.6 Vor- und Nachbehandlung der Wäsche 202
 - 8.2.7 Alternative Waschverfahren 203
 - 8.3 Waschen international 207
 - 8.4 Verbraucherschutz, Hygiene und Gesundheit 213
 - 8.4.1 Informationen, Warnhinweise und Gefahrenkennzeichnungen auf einer Waschmittelpackung 214
 - 8.4.2 Toxikologische Aspekte der Wasch- und Waschhilfsmittel 217
 - 8.4.3 Informationen zur Hygiene des Waschens 225
 - 8.5 Hinweise zum nachhaltigen Waschen 234
 - 8.5.1 Regel 1 – Pflegehinweise in den Textilien beachten 236
 - 8.5.2 Regel 2 – Wäsche sortieren nach weiß, bunt, fein und Wolle/Seide 236
 - 8.5.3 Regel 3 – Sichtbare Flecken vorbehandeln 236
 - 8.5.4 Regel 4 – Waschmaschine möglichst voll beladen – ausgenommen Fein- und Wollwäsche – und das passende Waschprogramm wählen 239
 - 8.5.5 Regel 5 – Je nach Wäscheart das entsprechende Waschmittel wählen (Voll-, Color-, Fein- und Wollwaschmittel) und jeweilige Dosieranweisung beachten 240
 - 8.5.6 Regel 6 – Mit möglichst niedriger Temperatur waschen. Jedoch mindestens einmal im Monat mit einem bleichmittelhaltigen Waschmittel bei 60 °C waschen 244
 - 8.5.7 Hinweise zum Trocknen der Wäsche 247
 - Literatur 247

- 9 Ökologie der Waschmittel 255**
 - 9.1 Allgemeine Problemstellung 255
 - 9.2 Abwasserbelastung durch Waschmittel 258
 - 9.3 Vorkommen von Tensiden in der Umwelt 263
 - 9.3.1 Tenside in Oberflächengewässern 264
 - 9.3.2 Tenside im Klärschlamm und Boden 269
 - 9.4 Biologische Abbaubarkeit von Tensiden 269
 - 9.4.1 Überblick 269

- 9.4.2 Der Primärabbau von Tensiden 272
- 9.4.3 Der Totalabbau von Tensiden 273
- 9.4.4 Vergleich der biologischen Abbaubarkeit wichtiger Tenside 276
- 9.5 Wirkung von Tensiden auf Gewässerorganismen (aquatische Toxizität) 278
 - 9.5.1 Die akute Toxizität 278
 - 9.5.2 Die Langzeittoxizität 279
- 9.6 Ökologische Bewertung wichtiger Tenside 281
- 9.7 Ökologische Auswirkungen weiterer Inhaltsstoffe von Waschmitteln 284
 - 9.7.1 Phosphate 284
 - 9.7.2 Phosphatfreie Enthärtersysteme und Komplexbildner 287
 - 9.7.3 Bleichmittel 289
 - 9.7.4 Enzyme 290
 - 9.7.5 Sonstige Inhaltsstoffe 291
 - 9.7.6 Umweltbelastung durch Waschmittelinhaltsstoffe im Überblick 294
- 10 Methoden zur Bewertung der Umweltauswirkungen des Waschens 297**
 - 10.1 Ökobilanzen 297
 - 10.1.1 Zielsetzungen von Ökobilanzen 299
 - 10.1.2 Ökobilanz des Waschens 301
 - 10.2 Produktlabel zur Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit 305
 - 10.2.1 Der Blaue Engel 306
 - 10.2.2 Europäisches Umweltzeichen für Waschmittel – EU-Ecolabel 308
 - 10.2.3 Europäische Nachhaltigkeitsinitiative „Nachhaltiges Waschen und Reinigen“ 309
 - 10.3 Der „Product Carbon Footprint (PCF)“ – Ein Maß für Ressourcenverbrauch und Klimarelevanz? 311
 - 10.4 EU-Product-Environmental-Footprint-Initiative (PEF) 313
- 11 Waschmittel und Nachhaltigkeit 317**
 - 11.1 Allgemeine Betrachtungen 317
 - 11.1.1 Zur Geschichte der Nachhaltigkeit 317
 - 11.1.2 Nachhaltigkeit konkret – Handlungsstrategien und Konsumverhalten 319
 - 11.2 Waschmittelhersteller und Verbraucher tragen Verantwortung für eine nachhaltige Entwicklung 324
 - 11.3 Forum Waschen – eine Initiative zum nachhaltigen Waschen, Abwaschen und Reinigen 326
 - 11.4 Der Beitrag nachwachsender Rohstoffe für eine nachhaltige Entwicklung der Waschmittel 329

- 11.4.1 Nachwachsende Rohstoffe als Basis für Wasch-
und Reinigungsmittel 330
- 11.4.2 Nutzung von Kokosöl als nachwachsender Rohstoff 331
- 11.4.3 Nutzung von Palmöl und Palmkernöl als nachwachsende
Rohstoffe 332
Literatur 336

Anhang A Methoden zur Synthese von Tensiden 339

Anhang B Messverfahren zur biologischen Abbaubarkeit 351

**Anhang C Gesetzliche Regelungen, Selbstverpflichtungen
und freiwillige Vereinbarungen 357**

Farbtafeln 361

Sachverzeichnis 379

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.

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

Prof. Dr. Dirk Bockmühl (Hochschule Rhein-Waal – Hygiene und Mikrobiologie) (Abschn. 8.4.3 und 8.5.6)

Elke Färber (Ärztin, Klinische Toxikologin, Giftinformationszentrum-Nord, Universitätsmedizin Georg-August-Universität Göttingen) (Abschn. 8.4.2)

Marcus Gast (Umweltbundesamt) (Abschn. 8.5, 10.2.1 und 10.2.2)

Prof. Dr. med. Johannes Geier (Informationsverbund Dermatologischer Kliniken (IVDK) Institut an der Universität Göttingen) (Abschn. 8.4.2)

Dr. Bernd Glassl (Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel IKW) (Abschn. 8.4.1 und Anhang C)

Dr. Claus-Dierk Hager (ehem. Sasol Germany GmbH) (Kapitel 2 und Anhang A)

Dr. Thomas Herbrich (fit GmbH) (Kapitel 5 und 6)

Rudolf Herden (Miele & Cie. KG) (Abschn. 1.5–1.7)

Kerstin Ochs (ehem. Henkel AG & Co. KGaA) (Abschn. 10.2.3)

Dr. Peter Schmiedel (Henkel AG & Co. KGaA) (Kapitel 3)

Christine Schneider (Henkel AG & Co. KGaA) (Kapitel 10 und Abschn. 11.4)

Prof. Dr. med. Axel Schnuch (Informationsverbund Dermatologischer Kliniken (IVDK) Institut an der Universität Göttingen) (Abschn. 8.4.2)

Dr. Roland Schröder (ehem. Henkel AG & Co. KGaA) (Abschn. 11.4)

Dr. Horst-Dieter Speckmann (Henkel AG & Co. KGaA) (Kapitel 4–7 und Abschn. 8.2, 8.3)

Prof. Dr. Rainer Stamminger (Universität Bonn, Institut für Landtechnik) (Abschn. 1.5, 8.2, 8.5)

Dr. Norbert Stelter (Henkel AG & Co. KGaA) (Kapitel 9 und Anhang B)

Dr. Bernd Wolff-Schladitz (ehem. Dalli-Werke GmbH & Co. KG) (Kapitel 5 und 6)

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

Vorwort

Waschmittel begegnen uns täglich im Haushalt, in der Werbung und im Supermarkt. Sie werden von uns 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, beschreibt die Auswirkungen des Waschens auf die Umwelt und geht dabei auch auf wichtige Aspekte des Verbraucherverhaltens und des Verbraucherschutzes ein.

Seinen besonderen Reiz erhält der Themenkreis Waschmittel durch die enge Verknüpfung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse mit technologischen, ökologischen, wirtschaftlichen und kulturhistorischen Aspekten, denn der Waschprozess ist vermutlich das älteste Recyclingverfahren in der Geschichte der Menschheit. Schon seit vielen Tausend Jahren dient das Waschen der Hygiene und dem Erhalt der Gebrauchsfähigkeit der Kleidung und ist überall auf der Welt ein integraler Bestandteil des täglichen Lebens.

Deshalb werden in diesem Buch die Waschmittel nicht isoliert betrachtet, sondern in den Kontext des gesamten Waschprozesses gestellt. Textilien und Textilpflege, Waschmaschinen und Wäschetrockner sind eng mit der Thematik Waschmittel verbunden und sie beeinflussen sich gegenseitig in ihrer Entwicklung. Ebenso haben die Verbraucher über ihre Waschgewohnheiten einen ganz entscheidenden Einfluss auf die Nutzung der Waschmittel und den Ressourcenverbrauch beim Waschen.

In der 5. Auflage sind wichtige Innovationen der letzten Jahre im Bereich der Waschmittelchemie sowie des Waschens insgesamt mitaufgenommen worden. Beispielsweise werden Flüssigwaschmittel verstärkt nachgefragt und neue Angebotsformen bei portionierten Waschmitteln (Tabs und Flüssigtabs) sind hinzugekommen. Durch das vermehrte Waschen bei tieferen Waschttemperaturen sind Fragen zur richtigen Hygiene im Haushalt wichtiger geworden. Ebenso hat auch die Thematik einer nachhaltigen Entwicklung mit den Aspekten Ressourcenver-

brauch und nachhaltiges Handeln im Haushalt an Bedeutung gewonnen. Alle Kapitel wurden deshalb überarbeitet und aktualisiert. Insbesondere sind die Kapitel 1.5 „Waschmaschinen“, Kapitel 8 „Waschmittel aus Sicht der Verbraucher“, Kapitel 10 „Methoden und Konzepte zur Bewertung der Umweltauswirkungen des Waschens insgesamt“ und Kapitel 11 „Waschen im Kontext einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“ weitgehend neu gestaltet worden, um die Entwicklungen und aktuellen Fragestellungen der letzten Jahre gebührend zu berücksichtigen.

Die Strukturierung des Buches hat sich insgesamt bewährt und ist deshalb im Wesentlichen beibehalten worden, zu einigen Themen sind neue Unterkapitel hinzugekommen.

Alle farbigen Abbildungen werden am Ende des Buches in Form von 24 Farbtafeln zusammenfassend dargestellt.

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. Ein ausführliches Sachregister hilft bei Auffinden der gewünschten Themen und Fachbegriffe. Das Literaturverzeichnis ist deutlich erweitert worden, um das Quellenstudium zu erleichtern.

Das Buch wendet sich an alle Leserinnen und Leser, die sich mit dem Themenkreis Waschmittel und Waschen näher beschäftigen wollen. Die Konzeption des Buches ist so angelegt, dass ein breiter Leser- und Benutzerkreis angesprochen werden kann: Alle interessierten Verbraucher, die mehr über Waschmittel und Waschen erfahren wollen, sowie alle, die beruflich mit dieser Thematik zu tun haben: Lehrerinnen und Lehrer der naturwissenschaftlichen Fächer; interessierte Schülerinnen und Schüler; Studierende der Naturwissenschaften an Universitäten und Fachhochschulen; Journalistinnen und Journalisten; Arbeitskreise, Verbände und Initiativen, 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.

Ich wünsche Ihnen viel Freude beim Lesen.

Kassel, September 2016

Günter Wagner

Abbildungsnachweis

- Association Internationale de la Savonnerie, de la Détergence et des Produits d'Entretien (A.I.S.E.): Abb. 8.22, 10.6: Label der A.I.S.E.
- BASF AG: Abb. 5.2, 5.11, 5.12
- Fonds der chemischen Industrie, Informationsserie „Textilchemie“: Abb. 1.14, Folienserie 14 „Tenside“: Abb. 3.9
- Gesellschaft für Konsumforschung (GfK): Abb. 1.30, 1.31, 1.33
- GINETEX GERMANY: Abb. 1.17
- Dr. Claus-Dierk Hager (ehem. Sasol Germany GmbH): Abb. 2.4, 2.5, 2.6
- Fachverband für Energie-Marketing und -Anwendung (HEA): Abb. 1.24
- Henkel AG & Co. KGaA: Abb. 1.11, 5.6, 5.23, 5.25, 5.26, 5.27, 5.30, 5.32, 5.41, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7
- Henkel AG & Co. KGaA, Konzernarchiv: Abb. 7.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.7, 9.1
- Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel (IKW): Abb. 1.8, 8.20, 8.21, 8.29
- Miele & Cie. KG: Abb. 1.19, 1.22, 1.25, 1.26, 1.27, 1.29, 1.32
- Novozymes A/S: Abb. 5.24
- Heinrich Oberlack: Abb. 1.18
- Procter & Gamble Service GmbH: Abb. 6.5, 6.9
- Dr. Roland Schröder (SEPAWA): Abb. 10.6
- Prof. Dr. Rainer Stamminger, Universität Bonn, Sektion Haushaltstechnik: Abb. 1.23
- Günter Wagner: Abb. 3.7, 8.16, 8.23, 8.24
- Rudolf Weber (SOFW, H. 15 (1985), S. 442): Abb. 3.11
- Thorsten Wind (Henkel AG & Co. KGaA, Henkel internal document: „Safe-Your-Future Webpage“): Abb. 9.4, 9.8, 9.10, B.3
- Umweltbundesamt: Abb. 10.6: Logo Blauer Engel, Logo EU Ecolabel
- Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. (ZVEI): Abb. 1.28 – EU Energielabel (ohne Erläuterungen)

1

Partner beim Waschprozess

1.1

Einführung

Das Ziel des Waschens ist die Wäschepflege. Dazu gehört 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 mit der Hand und in der Trommelwaschmaschine gegenübergestellt. Man sieht, dass sich die Bedeutung der Waschfaktoren deutlich verlagert hat. Beim Waschen im 40 °C-Waschgang mit Fleckentaste kann in etwa die gleiche Waschleistung erzielt werden wie im 60 °C-Waschgang, weil die verringerte Temperatur durch eine längere Waschzeit kompensiert wird.

Vor ca. 60 Jahren 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

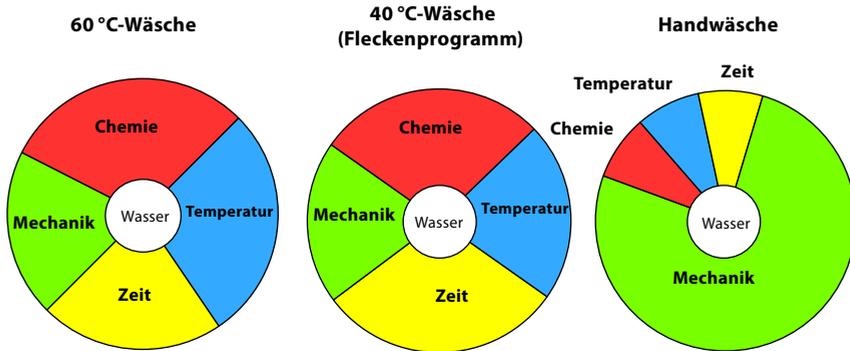


Abb. 1.1 Vergleich der Einflussfaktoren beim Waschen unter verschiedenen Waschbedingungen (Waschkreis nach Sinner).

Waschqualität sowie Schonung und Werterhalt auch von farbigen und empfindlichen 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 deutlich 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 bis 25 %) ist wasserlöslich. Der weitaus größte Teil lässt sich erst durch Waschmittel und mithilfe von Mechanik vom Waschgut entfernen. Ein Teil des Wäscheschmutzes, dazu gehören z. B. Farbstoffe sowie eiweiß- und stärkehaltiger Schmutz, lässt sich erst nach chemischer Veränderung durch Oxidation oder Hydrolyse beseitigen.

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

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, Betanidin u. v. a.	natürlichen Ursprungs: Fruchtsäfte, Rotwein, Obst, Gemüse, Gras, Tee, Kaffee synthetisch: Kosmetika, Filzstifte, Kugelschreiber u. a.
Pigmente	–	Straßenstaub, Ruß, Asche, Erde

Abb. 1.2 Wichtige Bestandteile von Wäscheschmutz.

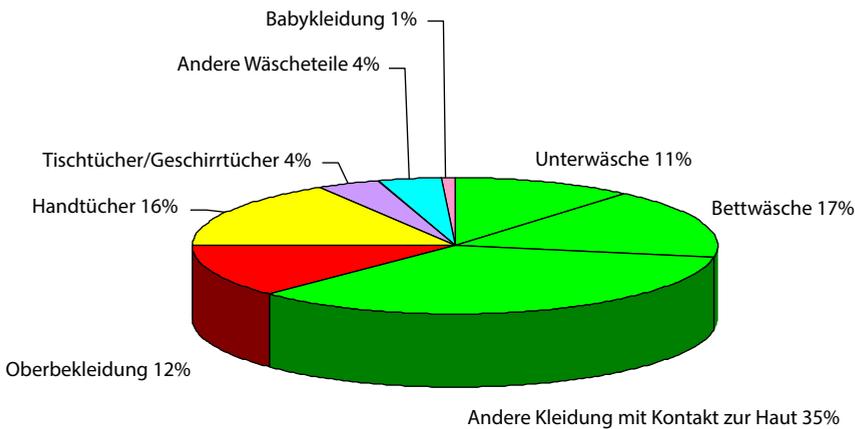


Abb. 1.3 Textilien in einer durchschnittlichen Waschladung.

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

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

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

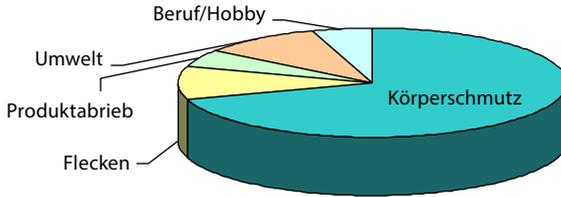


Abb. 1.4 Durchschnittliche Zusammensetzung von Wäscheschmutz.

Faseroberflächen. 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 Adsorptionserscheinungen und intermolekulare Wechselwirkungen zwischen Schmutz und Faser stärker wirksam werden. Schmutz mit Teilchengrößen kleiner als $0,2 \mu\text{m}$ 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 $200 \text{ m}^2/\text{g}$; Polyester $0,2$ bis $2 \text{ m}^2/\text{g}$) [2] und sind wesentlich polarer aufgebaut.

Schmutzhaftung und Schmutzablösung sind insgesamt sehr komplexe Vorgänge, die von vielen Faktoren beeinflusst werden. Am Beispiel der Tenside werden in Kapitel 3 Schmutzablöseprozesse genauer unter die Lupe genommen.

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.

1 mmol/L (Ca²⁺ + Mg²⁺) =	5,60 °dH (Grad deutscher Härte)	40,06 mg/L (Ca ²⁺)	24,3 mg/L (Mg ²⁺)	100 mg/L (CaCO ₃)
1 °dH = (Grad deutscher Härte)	0,178 mmol/L (Ca ²⁺ + 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.

Die Menge des pro Bundesbürger in Deutschland verbrauchten Wassers ist enorm. Durchschnittlich 121 L wurden in der Bundesrepublik pro Einwohner und Tag im Jahr 2013 verbraucht [3], davon rund 12 % (14 L) täglich zum Wäschewaschen [4]. Im zeitlichen Vergleich hat der Wasserverbrauch seit 1990 um 26 L (18 %) pro Person und Tag abgenommen.

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 Magnesiumionen bilden mit Seife schwer lösliche Salze, die Kalk- und Magnesiumseife. Auch mit einigen anderen anionischen Tensiden können schwer lösliche Verbindungen entstehen. Weiterhin können sich schwer lösliche Erdalkalicarbonat auf der Wäsche und den Heizstäben der Waschmaschinen ablagern. Beim Waschen sind Erdalkalitionen daher grundsätzlich unerwünscht.

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

Die Summe der Erdalkalien wird in Form der *Wasserhärte* (Gesamthärte) erfasst. Man bezeichnet Wasser mit hohem Gehalt an Calcium- und Magnesiumionen 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 Erdalkalitionen pro Liter Wasser (mmol/L). In Deutschland ist aber auch immer noch die traditionelle Einheit Grad deutscher Härte (°dH) gebräuchlich. Die internationale Standardisierung der Maßeinheit hat sich noch nicht überall durchgesetzt, sodass 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 Erdalkalitionen pro Liter (> 14 °dH) als hart (Abb. 1.6).

Entscheidend für die Konzentration der Erdalkalien ist die Herkunft des Wassers. Die Carbonate von Calcium und Magnesium sind sehr schwer löslich und würden für sich allein nicht zu einer nennenswerten Belastung des Wassers mit

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

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



Abb. 1.7 Carbonatgleichgewicht.

diesen Ionen führen. In Verbindung mit Kohlenstoffdioxid aus der Luft oder aus Oberflächengewässern kann sich jedoch in wässriger Lösung leicht lösliches Calciumhydrogencarbonat bilden (Abb. 1.7).

Als Folge dieses Carbonatgleichgewichtes kann es unter bestimmten Bedingungen zu sehr hohen Erdalkalikkonzentrationen im Wasser kommen. Im Extremfall können Konzentrationen von mehr als 100 °dH (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 Magnesiumionen gelten ähnliche Überlegungen, allerdings kann in alkalischer Lösung zusätzlich schwer lösliches Magnesiumhydroxid ausfallen.

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 [5] (Abb. 1.9). Regenwasser besitzt eine Wasserhärte unter 0,2 mmol/L (1 °dH).

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 bekannt gegeben (meist als Bestandteil der Wasserjahresabrechnung).

1.4

Textilien

Die Textilfasern stellen in ihrer chemischen Struktur und ihren Eigenschaften ein sehr weites Spektrum dar [6–9]. Sie lassen sich je nach ihrer Gewinnung bzw.



Abb. 1.8 Wasserhärteverteilung in Deutschland (Quelle: Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel (IKW)).

Wasserhärtebereich	bis 0,9 mmol/L	0,9–2,7 mmol/L	> 2,7 mmol/L
Deutschland	10,8	41,7	47,5
Frankreich	5	50	45
Italien	8,9	74,7	16,4
Spanien	33,2	24,1	42,7
Großbritannien	1	37	62
USA	60	35	5
Japan	92	8	0

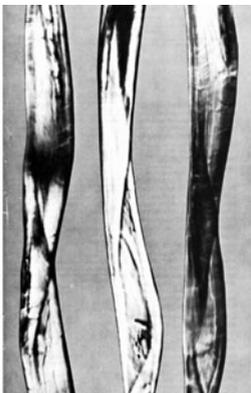
Abb. 1.9 Verteilung der Wasserhärte in ausgewählten Ländern in Prozent der jeweils im angegebenen Härtebereich befindlichen Haushalte [5].

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 Eigen-

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				

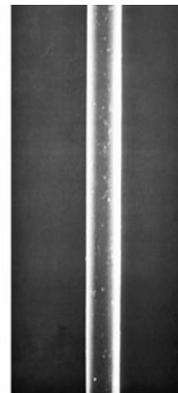
Abb. 1.10 Einteilung der Textilfasern (mit der zugehörigen standardisierten Kurzbezeichnung).



(a) Baumwollfaser



(b) Wollfaser



(c) Polyesterfaser

Abb. 1.11 Stark vergrößerte Textilfasern (Quelle: Henkel AG & Co. KGaA).

schaften 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, Waschmaschinenprogramm und Waschmittel.

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. 2014 wurden weltweit 26,4 Millionen Tonnen dieser Faser produziert (Abb. 1.12). Baumwolle ist preiswert, sehr hautfreundlich, lässt sich leicht bleichen, färben und weiterverarbeiten. Baumwolltextilien sind strapazierfähig, reißfest und angenehm zu tragen. Aus diesem Grund zählt Baumwolle weltweit zu den beliebtesten Ausgangsmaterialien für Textilien.

Baumwolle besteht aus nahezu reiner Cellulose, einem Polysaccharid, welches aus 8000 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 lang gestrecktes fadenförmiges Makromolekül (Abb. 1.13). Etwa 30 Celluloseketten lagern sich, über Wasserstoffbrückenbindungen zusammengehalten, zu kleinen Einheiten, den Elementarfibrillen zusammen. Mehrere

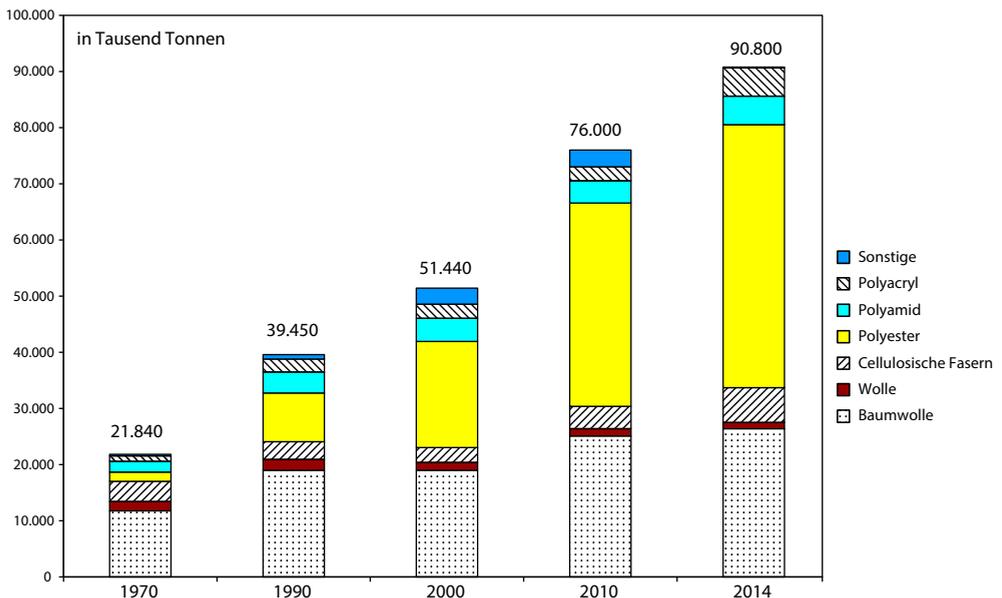


Abb. 1.12 Welttextilfaserproduktion 1970 bis 2014 (Quelle: Industrievereinigung Chemiefaser e. V. (IVC)).

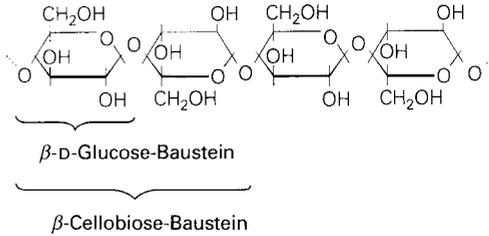


Abb. 1.13 Ausschnitt aus einem Cellulosemolekül.

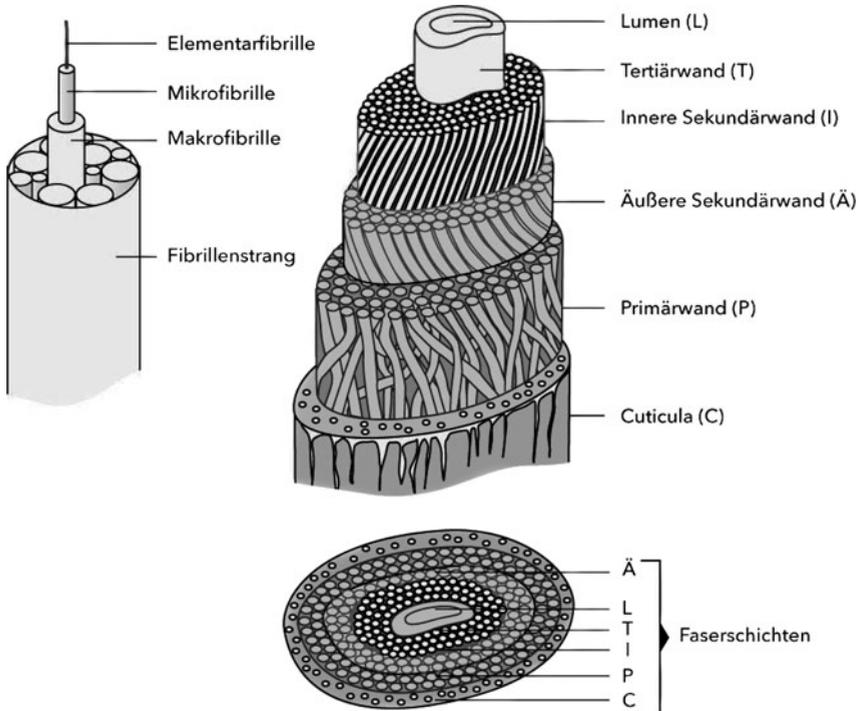


Abb. 1.14 Aufbau einer Baumwollfaser (Quelle: Fonds der Chemischen Industrie „Informati-onsserie – Textilchemie“).

Elementarfibrillen bilden miteinander verdrehte größere Verbände, die Mikrofi-brillen, die sich wiederum zu Makrofibrillen zusammenlagern. Mehrere Makro-fibrillen bilden einen Fibrillenstrang. Eine Baumwollfaser ist aus vielen Fibrillen-strängen 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 (Hemicel-lulose und Pektine) und einer Wachsschicht. Die äußere Form der Baumwollfaser ist flach und verdreht (Abb. 1.14).

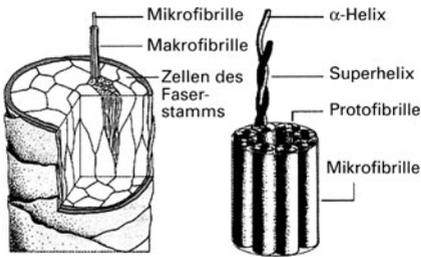


Abb. 1.15 Aufbau einer Wollfaser.

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

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.

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 (Stauhen 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 verdrillt, 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 gedrillten 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 Wassermoleküle, dadurch kann Wolle bis zu 30 % ihres Eigengewichtes an Wasser speichern, ohne sich feucht anzufühlen. Wolle ist bei allen Tierarten, u. a. Schaf, Ziege, Kamel, Lama und Kaninchen, 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 und 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*, *Polyacryl* und *Polyester* eingeführt (Abb. 1.16). 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 1. Generation unbefriedigend, denn sie hatten eine relativ glatte Oberfläche, konnten keine größeren Mengen Wasser binden, luden sich häufig elektrostatisch auf und rochen schon nach kurzer Tragezeit unangenehm.

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

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)	$\cdots - \text{C}(\text{O}) - (\text{CH}_2)_4 - \text{C}(\text{O}) - \text{N}(\text{H}) - (\text{CH}_2)_6 - \text{N}(\text{H}) - \cdots$ Polyamid	Nylon®

Abb. 1.16 Die chemische Struktur von Polyester und Polyamid.