

1

Partner beim Waschprozess

1.1

Einführung

Das Ziel des Waschens ist die Wäscheschpflege. Dazu gehört nicht nur die Schmutz-entfernung, 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

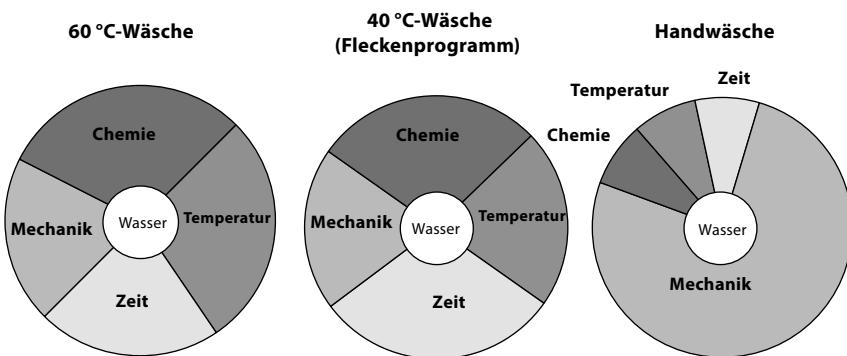


Abb. 1.1 Vergleich der Einflussfaktoren beim Waschen unter verschiedenen Waschbedingungen (Waschkreis nach Sinner).

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.

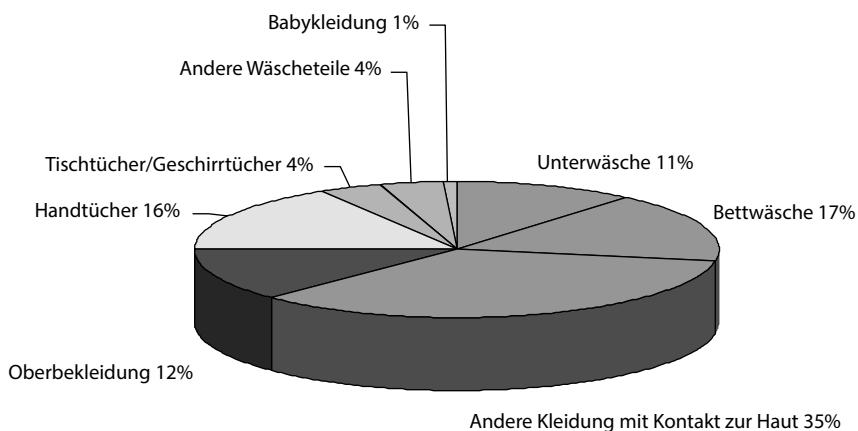


Abb. 1.3 Textilien in einer durchschnittlichen Waschladung.

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

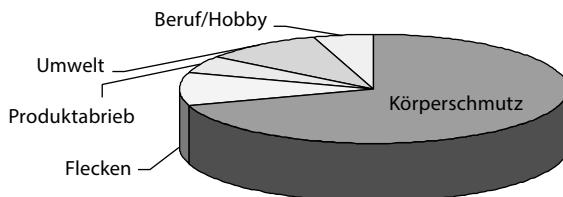


Abb. 1.4 Durchschnittliche Zusammensetzung von Wäscheschmutz.

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	=	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	=	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 Erdalkalcarbonate auf der Wäsche und den Heizstäben der Waschmaschinen ablagern. Beim Waschen sind Erdalkaliionen 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 brettharter Wäsche führte. Die zahlenmäßige Festlegung geschieht in Form von Härtegraden (Abb. 1.5). Die gesetzlich vorgeschriebene Maßeinheit lautet Millimol Erdalkaliionen 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 Erdalkaliionen 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 Erdalkalikonzentrationen im Wasser kommen. Im Extremfall können Konzentrationen von mehr als 100 °dH (entspricht mehr als 18 mmol/L Ca²⁺- und Mg²⁺-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)). Eine farbige Version finden Sie im Farbtafelabschnitt am Ende des Buches.

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	Polyamid	PA	
Flachs (Leinen)	LI	Schurwolle	WV	Cupro	Polyester	PES	
Hanf	HA	Alpaka	WP	Lyocell	Polyethylen	PE	
Jute	JU	Angora	WA	Modal	Polypropylen	PP	
Ramie	RA	Kamel	WK	Triacetat	Polyurethan	PUR	
Kokos	CC	Kaschmir	WS	Viskose	Polyvinylchlorid	CLF	
Sisal	SI	Lama	WL	<i>Gummifasern</i>			
		Mohair	WM	Gummi	EL		
		Vikunja	WG	LA			
<i>Seiden</i>							
Maulbeerseide		SE					
Tussahseide		ST					

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

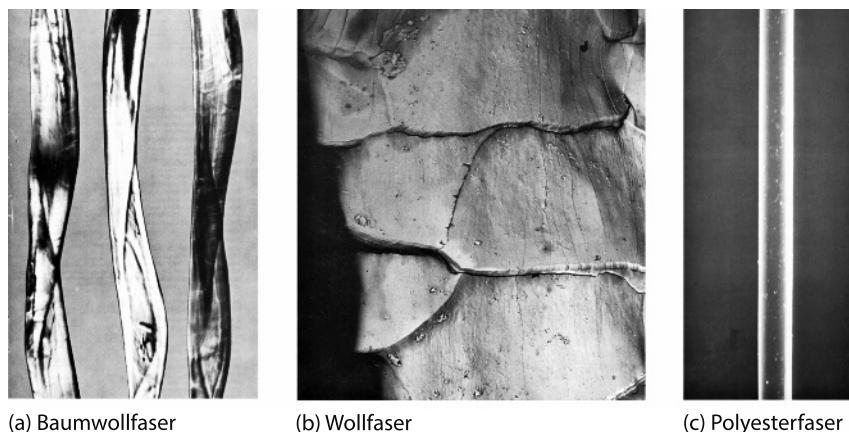


Abb. 1.11 Stark vergrößerte Textilfasern (Quelle: Henkel AG & Co. KGaA).

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 Synthesefasern. 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

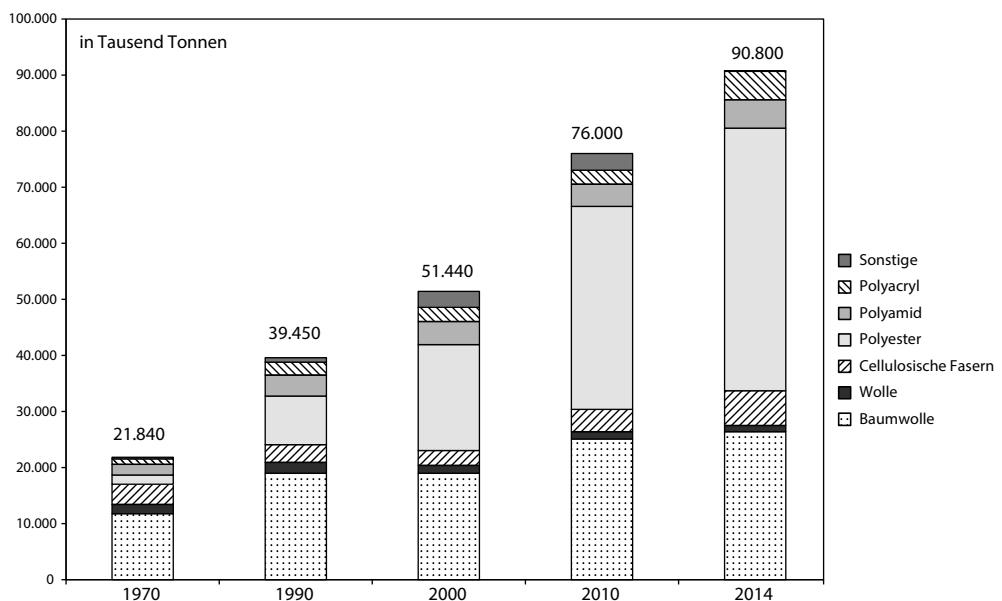


Abb. 1.12 Welttextilfaserproduktion 1970 bis 2014 (Quelle: Industrievereinigung Chemiefaser e. V. (IVC)).

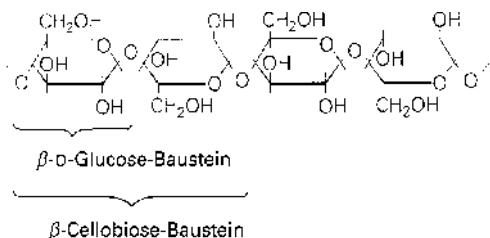


Abb. 1.13 Ausschnitt aus einem Cellulosemoleköl.

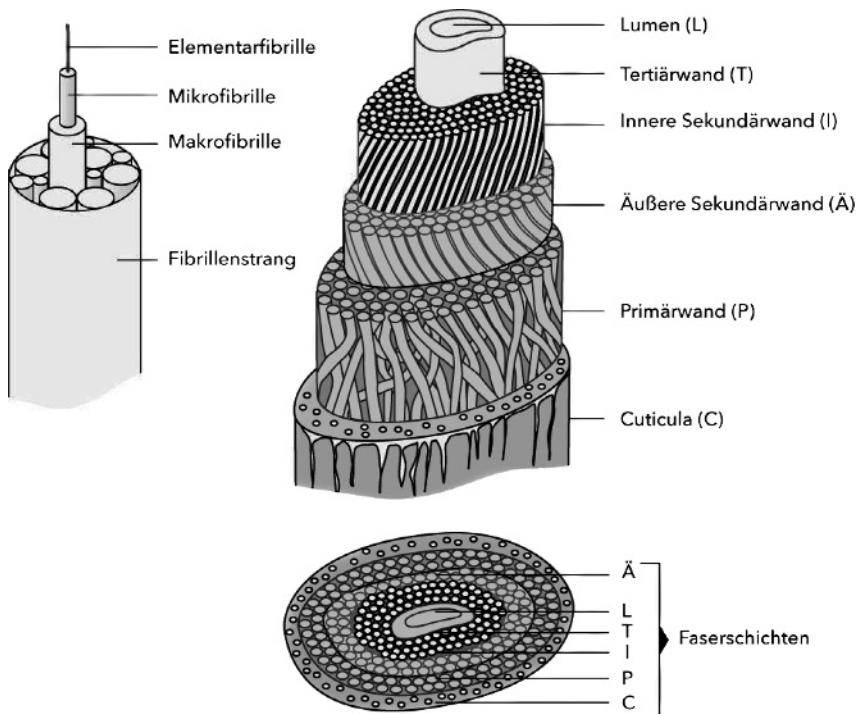


Abb. 1.14 Aufbau einer Baumwollfaser (Quelle: Fonds der Chemischen Industrie „Informationsserie – Textilchemie“).

Elementarfibrillen bilden miteinander verdrillte 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 besonderes widerstandsfähigen Kohlenhydraten (Hemicellulose und Pektine) und einer Wachsschicht. Die äußere Form der Baumwollfaser ist flach und verdreht (Abb. 1.14).

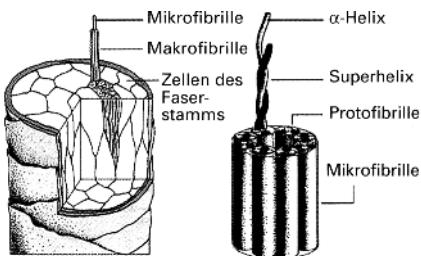


Abb. 1.15 Aufbau einer Wollfaser.

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 Schmutzaufnahmefähigkeit 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 Verzähnen 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 Waschlaugen, erhöhte Temperatur und mechanische Einflüsse (Stauchen 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 Spinndüsen 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
 Terephthalsäure	... - $\text{O}-\overset{\text{ }}{\underset{\text{IO}}{\text{C}}}-\text{C}_6\text{H}_4-\overset{\text{ }}{\underset{\text{IO}}{\text{C}}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\cdots$ lineärer Polyester	Trevira® Diolex® Dacron®
$\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$ 1,2-Ethandiol		
$\text{HOOC}-\text{(CH}_2)_4-\text{COOH}$ Hexanidisäure (Adipinsäure)	... $\text{C}-\overset{\text{ }}{\underset{\text{IO}}{\text{C}}}-\text{(CH}_2)_4-\text{C}-\overset{\text{ }}{\underset{\text{IO}}{\text{N}}}-\text{(CH}_2)_6-\overset{\text{ }}{\underset{\text{H}}{\text{N}}}-\cdots$ Polyamid	Nylon®
$\text{H}_2\text{N}-\text{(CH}_2)_6-\text{NH}_2$ 1,6-Diaminohexan (Hexamethylenediamin)		

Abb. 1.16 Die chemische Struktur von Polyester und Polyamid.

den Feuchtigkeitsaustausch, die Chemiefaser sorgt für eine pflegeleichte Stoffkonstruktion. Pflegeleichte Mischfaserstoffe aus Natur- und Chemiefasern machen heute einen großen Anteil des Bekleidungsmarktes aus.

Polyesterfasern, mit Handelsnamen z. B. Trevira®[®], Diolen® oder Dacron® bezeichnet, sind mengenmäßig mit 51 % der Welttextilfaserproduktion (2014) die weltweit wichtigsten Textilfasern. Die Produktion von Polyesterfasern ist in den letzten Jahren nochmals deutlich angestiegen. Artikel aus Polyester laufen nicht ein, sie sind in hohem Maße formstabil. Darüber hinaus sind sie überdurchschnittlich strapazierfähig.

An Bedeutung gewonnen haben in den letzten Jahren *Polypropylenfasern (PP)*, die u. a. für funktionelle Sportunterwäsche, Outdoor- und Funktionsbekleidung und Heimtextilien verwendet werden.

Bei *Synthesefasern* 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 entfernt werden. Chemiefasern neigen leichter zum Vergrauen als Naturfasern, weil insbesondere bei höherer Temperatur fettähnlicher (lipphiler) Schmutz durch Diffusionsprozesse tief in die Faser hineinwandern kann, was zu einer dauerhaften Schmutzbindung führt. Synthesefasern haben ferner die unerwünschte Eigenschaft, sich bei mechanischer Bewegung elektrostatisch aufzuladen, was zu einer erhöhten Schmutzablagerung führen kann.

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. Mischgewebe aus Polyamid (Nylon®) und Elastan sind die Basis für gut sitzende Strumpfhosen und Leggings.

Textilkonstruktionen mit *mikroporösen Membranen* aus Teflon® (Goretex®) oder hydrophilen Membranen aus Polyester (Sympatex®) sind undurchlässig für Regen und Wind, aber durchlässig für Wasserdampf, sodass 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. Um die Gebrauchseigenschaften dieser modernen Textilien zu erhalten, ist eine genaue Beachtung der Pflegeanweisungen notwendig.

Kennzeichnung von 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 ge normte Kurzbezeichnung angegeben (siehe Abb. 1.10).

Waschbarkeit von Textilien

Ein sicherer Leitfaden zur Waschbarkeit von Textilien ist die *Pflegekennzeichnung* (Abb. 1.17). Die Pflegekennzeichnung beruht auf einer freiwilligen Übereinkunft der Textilhersteller und ist im Rahmen der GINETEX (Internationale Vereinigung für die Pflegekennzeichnung von Textilien) geregelt. Sie ist innerhalb der GINETEX-Mitgliedstaaten einheitlich und meist in die Kleidungsstücke eingenäht. Neben den EU-Staaten gehören die Schweiz, Tunesien, Brasilien und Japan dazu [10]. Textilien ohne Pflegekennzeichnung sollten besser nicht gekauft werden.

Zu beobachten ist, dass sich die Pflegehinweise in den letzten Jahren in Richtung erhöhte Empfindlichkeit und verringerte maximale Waschtemperatur verändert haben. Pflegehinweise mit „Normalwaschgängen“ nehmen ab, „Schon- und Spezialwaschgänge“ nehmen zu. Häufiger als früher sind 30 oder 40 °C die maximalen Waschtemperaturen. Gründe dafür dürften u. a. Modeströmungen (z. B. speziell behandelte, stark gefärbte oder empfindliche Textilfasern) sowie das Bestreben der Textilhersteller und -händler sein, durch eine entsprechend vorsichtige Kennzeichnung vorsorglich Schäden und Reklamationen zu vermeiden, die durch das Waschen der Textilien auftreten könnten.

Vor dem Waschen, Trocknen oder Bügeln sollten in jedem Fall die Pflegehinweise auf dem Etikett des Kleidungsstücks beachtet werden (siehe auch Abschn. 8.5). Jede Textilfaser hat dabei ihre eigene Charakteristik und stellt unterschiedliche Anforderungen an den Waschmitteltyp und die Waschbedingungen sowie Art des Trocknens und Bügelns. Der folgende Infokasten bietet einen kurzen Überblick über die Bedingungen zum Waschen und Trocknen wichtiger Textilien [11]:

Viele *Baumwollgewebe* lassen sich bei Temperaturen bis 60 °C waschen. Für Weißwäsche und helle Wäsche mit bleichbaren Flecken, z. B. Obst, Gemüse, eignen sich feste Vollwaschmittel (Pulver, Perlen, Granulat oder Tabs). Für intensiv Buntes sind Colorwaschmittel am besten geeignet, um die Farben zu schonen. Ist das Baumwollgewebe spezialbehandelt oder besonders empfindlich, sollte ein Schonwaschgang („pflegeleicht“) bei 30 bis 60 °C gewählt werden.

Wenn die Wäsche nicht im Freien getrocknet werden kann und kein Schonwaschgang empfohlen wird, sollte sie mit möglichst hoher Drehzahl, z. B. 1400 U/min, geschleudert werden. Das spart Energie beim Trocknen im Wäschetrockner. Baumwolle kann einlaufen.

Die Pflege von *Wolle* erfordert besondere Sorgfalt. Nicht alle Wolltextilien sind waschbar, manche nur von Hand, andere auch in der Waschmaschine im Waschprogramm „Wolle“ oder „Handwäsche“. Moderne Waschmaschinen waschen in diesen Waschprogrammen häufig schonender als mit der Hand. Wolle neigt bei mechanischer Beanspruchung zum Verfilzen. Eine Handwä-

sche sollte daher so kurz wie möglich sein, ohne Einweichen, Rubbeln oder Wringen. Anschließend mit reichlich Wasser spülen. Für Wolle nicht geeignet sind Voll- und Colorwaschmittel aufgrund ihrer hohen Alkalität und leistungsstarker Proteasen. In alkalischer Lösung verfilzt Wolle, und Proteasen können die Wollfaser angreifen. Wolle sollte deshalb nur mit einem pH-neutralem Wollwaschmittel gewaschen werden.

Auch die Pflege von *Seide* erfordert besondere Sorgfalt. Seide sollte man nie einweichen, Flecken werden unmittelbar vor der Wäsche vorbehandelt, z. B. mit flüssigem Wollwaschmittel oder geeigneten Fleckentfernern. Seidentextilien mit speziellem, für Wolle und Seide geeignetem Waschmittel bei niedrigen Temperaturen, höchstens jedoch 30 °C, waschen. In der Waschmaschine ein Spezial-Schonwaschprogramm (Seide, Feinwäsche oder Wolle) wählen und nicht schleudern, bei der Handwäsche viel Wasser verwenden.

Zum Trocknen Textilien aus Wolle und Seide nur leicht auswringen, besonders empfindliche Stücke tropfnass in saugfähige Handtücher rollen, anschließend auf trockene Handtücher legen, in Form ziehen und liegend trocknen. Im Freien darauf achten, dass die Wäsche nicht direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist, da Helles vergilben und Dunkles ausbleichen kann.

Viskosegewebe ähneln in ihren Eigenschaften der Seide und sind ähnlich empfindlich. Sie erlauben nur schonende Waschgänge mit Feinwaschmitteln, die stark schäumen. Dabei die Waschtrommel gemäß Herstellerempfehlung der Maschine beladen. Wäsche auf keinen Fall stark schleudern, sinnvoller ist kurzes Anschleudern.

Am besten Wäschestücke aus Viskose tropfnass im Freien aufhängen. Soll in der Wohnung getrocknet werden, Wäsche über der Badewanne aufhängen oder ein Behältnis für das Tropfwasser darunter stellen. Für den Trockner sind Viskosegewebe nicht geeignet, da sie sehr stark einlaufen.

Die *Chemiefasern Polyamid, Polyester und Polyacryl* („Synthetik“) lassen sich aufgrund ihrer glatten Oberfläche meist leicht waschen. Weiße und stark fleckige Textilien aus Polyesterfasern und Baumwoll-Polyester-Mischgewebe sind mit Vollwaschmitteln bei einer Temperatur von maximal 60 °C waschbar, Farbiges mit Colorwaschmitteln. Textilien aus Polyacryl oder Polyamid sollten bis maximal 40 °C im Schonwaschgang („Pflegeleicht“, „Synthetik“) gewaschen werden.

Textilien aus Synthetik möglichst nicht bei hohen Umdrehungszahlen schleudern, z. B. maximal 800 U/min, kurz ausschütteln und aufhängen. Polyesterfasern und Baumwoll-Polyester-Mischgewebe können bei reduzierter Temperatur im Trockner getrocknet werden. Gewebe aus Polyacryl, Polyamid und Elastan sind nicht trocknergeeignet.

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.

GINETEX GERMANY			
□△□△○			
WASCHEN			
Normalwaschgang 	Normalwaschgang 	Schonwaschgang 	
Normalwaschgang 	Schonwaschgang 	Spezialschonwaschgang 	
Normalwaschgang 	Schonwaschgang 	Spezialschonwaschgang 	
Handwäsche maximale Temperatur 40 °C 	Nicht waschen 	Die Zahlen im Waschbottich zeigen die maximal zulässige Waschtemperatur in °C an.	
BLEICHEN			
Chlor- oder Sauerstoffbleiche erlaubt 	Nur Sauerstoffbleiche (keine Chlorbleiche) erlaubt 	Nicht bleichen 	
TROCKNEN			
Trocknen im Tumbler möglich, normale Temperatur, 80 °C normaler Trocknungsprozess 	Trocknen im Tumbler möglich, niedrige Temperatur, 60 °C normaler Trocknungsprozess 	Nicht im Wäschetrockner/ Tumbler trocknen 	
Trocknen auf der Wäscheleine 	Trocknen aus dem tropfnassen Zustand 	Liegend trocknen 	
Liegend trocknen aus dem tropfnassen Zustand 	Trocknen auf der Wäscheleine im Schatten 	Trocknen aus dem tropfnassen Zustand im Schatten 	
Liegend trocknen im Schatten 	Liegend trocknen aus dem tropfnassen Zustand im Schatten 	Die Punkte kennzeichnen die Trocknungsstufe des Tumblers. Die Striche kennzeichnen Art und Ort des Trocknens.	
BUGELN			
Bügeln mit einer Höchsttemperatur der Bügeleisensohle von 200 °C 	Bügeln mit einer Höchsttemperatur der Bügeleisensohle von 150 °C 	Die Punkte kennzeichnen die Temperaturstufe des Bügeleisens.	
Bügeln mit einer Höchsttemperatur der Bügeleisensohle von 110 °C * 	Nicht bügeln 	* Kein Bügeln mit Dampf	
PROFESSIONELLE TEXTILPFLEGE			
Professionelle Trockenreinigung, normaler Prozess 	Professionelle Trockenreinigung, schneller Prozess 	Professionelle Trockenreinigung, normaler Prozess 	
Professionelle Trockenreinigung, schneller Prozess 	Nicht trockenreinigen 	Die Buchstaben im Kreis kennzeichnen die Lösemittel (P, F) die in der Trockenreinigung angewendet werden oder die Nassreinigung (W).	
Professionelle Nassreinigung, normaler Prozess 	Professionelle Nassreinigung, schneller Prozess 	Generell: Der Strich unter dem Symbol kennzeichnet eine milderere Behandlung (z.B. Schongang für Pflegeleichtartikel). Der doppelte Strich kennzeichnet Pflegestufen mit besonders schonender Behandlung.	
Professionelle Nassreinigung, besonders schneller Prozess 	Nicht nassreinigen 		

Abb. 1.17 Symbole für die Pflegebehandlung von Textilien (Quelle: GINETEX GERMANY c/o GermanFashion, www.ginetex.de).

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 (*Lotuseffekt*[®], katalytische Schmutzentfernung), heizbar sind oder Wärme speichern. Mikroelektronische Sensoren in der Kleidung, z. B. für Puls, Blutdruck, Temperatur, Herzfrequenz, Stresslevel, Trainingsintensität bei Sportlern u. a., können ihre Informationen an ein Smartphone oder einen Computer weiterleiten und damit auch das Verhalten ihrer Nutzer beeinflussen. Auch Steuerfunktionen, z. B. zur Klimatisierung der Kleidung, befinden sich in der Erprobung. 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 [12]. Schon heute gibt es Kleidung aus dem 3-D-Drucker [13].

Völlig neue Materialeigenschaften lassen sich erzielen, wenn es gelingt, Spinnenseide gentechnisch zu produzieren und daraus entsprechend dünne Fasern herzustellen. Daran wird gearbeitet. Spinnenseide ist extrem leicht, reißfester und belastbarer als Stahl und damit ein perfekter Rohstoff z. B. für Funktionskleidung oder kugelsichere Westen.

Auch an neuartigen Fasern aus nachwachsenden Rohstoffen, z. B. auf Basis von Milchproteinen (Casein) oder Polymilchsäure, wird geforscht.

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

Bei all diesen technisch möglichen Innovationen wird aber der weitaus wichtigste Zukunftsaspekt sein, eine nachhaltige Entwicklung bei der Produktion, des Gebrauchs und der Entsorgung von Textilien zu fördern und sicherzustellen [14]. Das bedeutet, u. a. daran zu arbeiten,

- Kleidung möglichst ressourcenschonend herzustellen,
- eine sozialverträgliche Produktion und Verarbeitung der Textilien in den Herstellerländern sicherzustellen,
- ein neues Modebewusstsein zu schaffen: weg von der „Fast Fashion“, der modischen Kleidung als Wegwerfware, hin zu einer Haltung, dass Kleidung lange getragen und genutzt werden kann und lange haltbar ist.

Die Bedeutung eines nachhaltigen Konsums lässt sich beispielhaft an folgenden Aspekten aufzeigen:

- Nach Berechnungen der Bekleidungsindustrie könnte der deutsche Durchschnittsbürger theoretisch ohne weiteres sieben bis zehn Jahre ohne den Neukauf von Textilien auskommen, bei voller Funktionsfähigkeit seiner Kleidung.

Zehn bis Fünfzehn Prozent der gekauften Kleidung wurde nie oder nur einmal getragen und war eine reine Fehlinvestition [15]. Auch wenn es sich bei diesen Zahlen nur um grobe Schätzungen handeln dürfte, so regen sie doch zum Nachdenken an.

- Bei der Produktion einer durchschnittlichen Jeanshose kann ein Verbrauch von 10 000 L Wasser und 25 kg CO₂-Emission zugrunde gelegt werden. Mit dieser Wassermenge und CO₂-Emission kann eine Jeans 200 Mal im 60 °C-Waschgang gewaschen werden.
- Waschen dient dem Werterhalt der Textilien und ist somit ein Beitrag zum nachhaltigen Handeln im Haushalt.

1.5

Waschmaschinen

Spätestens seit der Verwendung elektrischer Waschmaschinen steht die Waschmittelentwicklung in enger Beziehung zur jeweiligen Waschtechnik. Der sinnersche Waschkreis (siehe Abschn. 1.1) verdeutlicht dies, aber auch die aktuellen Diskussionen zur Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz zeigen die große Bedeutung der Waschmaschinentechnologie. Waschmittelentwicklung und Waschmaschinentechnologie bedingen sich gegenseitig und sind eng miteinander verbunden.

1.5.1

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. Häufig wurde die Wäsche zur mechanischen Behandlung geschlagen, mit den Füßen getreten oder mit dem Pleuel (oder Bleuel) behandelt. Eine Art Pleuel war schon den alten Ägyptern bekannt. Der Waschpleuel dürfte damit das älteste mechanische Hilfsmittel zum Wäschewaschen sein. In Europa findet man die älteste schriftliche Erwähnung des Pleuels in einer deutschen Handschrift aus dem 10. Jahrhundert [16]. Die Waschbretter waren eine Erfindung des 19. Jahrhunderts. Sie wurden noch bis Mitte der 1960er-Jahre im Haushalt verwendet.

Erste Ideen für mechanische Waschmaschinen sind für die gewerbliche Wäscherei vom englischen Ingenieur John Tyzacke aus dem Jahr 1691 überliefert [17]. Für den privaten Haushalt beschreibt der Theologe Jacob Christian Schäffer in einer Schrift von 1766 den Bau einer mechanischen Waschmaschine. „Die bequeme und höchstvortheilhafte Waschmaschine. Wie solche in den damit gemachten Versuchen bewährt gefunden und damit dieselbe umso sicherer und nützlicher gebraucht werden könne“ [18]. Zu seinen Lebzeiten konnte er davon immerhin etwa 60 Exemplare verkaufen. Die Waschmaschine wurde in verschie-



Abb. 1.18 Historische Waschmaschine von 1939 (Fa. Krauss).

denen Städten nachgebaut und kam in kaum veränderter Form noch 1862 zum Einsatz [19].

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 wurden erste, noch recht einfach aufgebaute Bottichwaschgeräte mit einem elektrischen Antrieb entwickelt. Als Erfinder der elektrischen Waschmaschine gilt der Amerikaner Alva J. Fisher, der 1910 ein Patent dafür anmeldete [20]. Aber erst etwa 20 Jahre später fanden elektrische Waschmaschinen eine größere Verbreitung. 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 und anderen europäischen Ländern Jahren nach 1950 [21]. Zu Beginn der Fünfzigerjahre wurde die Wäsche häufig noch in der Waschküche im Waschkessel von Hand gewaschen. In der ersten Hälfte der Fünfzigerjahre hielten Bottichwaschmaschinen Einzug in die Haushalte. Diese Maschinen waren noch recht einfach aufgebaut und standen im Allgemeinen in der Waschküche.

Ab Mitte der Fünfzigerjahre 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



Abb. 1.19 Waschmaschinen im Wandel der Zeit (Quelle: Miele & Cie. KG). Eine farbige Version finden Sie im Farbtafelabschnitt am Ende des Buches.

der beim Schleudern entstehenden Unwuchtkräfte mussten die Waschmaschinen fest am Boden verankert werden. Zu Beginn der Sechzigerjahre 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 % [22]. Heute gehört eine Waschmaschine in den hochindustrialisierten Ländern zur Grundausstattung eines Haushaltes (Abb. 1.19). 2015 sind in Deutschland ca. 94 % der Haushalte mit einer elektrischen Waschmaschine ausgestattet [23], die restlichen Haushalte waschen ihre Wäsche entweder in Waschsalons, bei Familienmitgliedern oder Freunden oder lassen waschen. Weitere Fakten und Daten zum Waschverhalten in deutschen Haushalten finden sich im Abschn. 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 2300 DM (umgerechnet 1200 €), ein moderner Waschautomat 2016 zwischen 300 € und 1000 €, Spitzengeräte auch deutlich darüber. Berücksichtigt man den Kaufkraftverlust seit 1962 (ca. ein Faktor von 4,1), so ist der Preis einer Waschmaschine im letzten halben Jahrhundert auf etwa ein Zehntel des damaligen Preises gesunken, obwohl die Waschmaschinen sich qualitativ und quantitativ seitdem wesentlich verbessert haben.

1.5.2

Waschmaschinen im weltweiten Vergleich

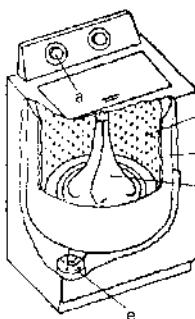
Die Waschtechnik und der technische Aufbau der Waschmaschinen haben sich weltweit nicht einheitlich entwickelt. Neben der unterschiedlichen Wasserhärte in den verschiedenen Weltregionen sind die andersartigen Lebensgewohnheiten in den einzelnen Ländern Ausdruck dafür, dass sich Waschgewohnheiten und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

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*).

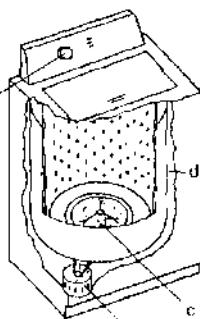
Agitator-Bottichwaschmaschinen (Nordamerika) sind mit einem rotierenden Wäschebewegler (sogenannter Agitator) mit vertikaler Drehachse ausgestattet, der die Wäsche in der Waschlauge röhrt. Dazu muss die Wäsche vollständig in der Waschlauge schwimmen.

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

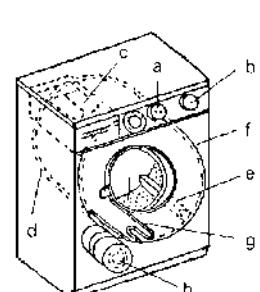
I Bottichwaschmaschine
(USA)



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) Waschmittelleinspülvorrichtung; d) Waschtrommel; e) Mitnehmerrippen; f) äußerer Laugenbehälter; g) Heizstäbe; h) Motor

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

	Nordamerika	Europa	Japan
Wäschen pro Haushalt und Jahr	290	170	520
Wasserharte durchschn. Wasserverbrauch pro Waschgang	im Wesentlichen 'weich' 144 L	'weich' bis 'sehr hart' 60 L	'weich' 120 L
Wasserverbrauch jährlich	42 m³	10 m³	62 m³
durchschr. 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 [24].

Sowohl die Verbrauchergewohnheiten als auch die Waschbedingungen haben sich in den verschiedenen Regionen der Welt unterschiedlich entwickelt (Abb. 1.21) [24]. Ausgehend von europäischen Verhältnissen wäscht der japanische Verbraucher seine Wäsche etwa dreimal so häufig und der US-amerikanische sie 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.

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 es wurden auch viele Innovationen der europäischen Trommelwaschmaschine der letzten Jahrzehnte gleich mit umgesetzt bzw. auch neu entwickelt. Die weitaus größte Marktbedeutung bei Trommelwaschmaschinen haben Frontlader. Toplader besitzen nur einen relativ geringen Marktanteil.

1.5.3

Innovationen der Waschmaschinenentwicklung

In den letzten Jahrzehnten haben sich Trommelwaschmaschinen stetig verbessert. Wichtige Entwicklungsrichtungen waren dabei:

- Energie- und Wassereinsparung,
- Optimierung des Waschprozesses hinsichtlich Waschleistung und Wäscheschonung,

- fortschrittliche Sensortechnologie und digitale Steuerungssysteme,
- Verbesserung der Sicherheit,
- komfortable Bedienung.

Den Aufbau einer modernen Trommelwaschmaschine zeigt Abb. 1.22. Ausgewählte Aspekte der Waschmittelentwicklung werden im Folgenden näher vorgestellt:

Energie- und Wassereinsparung

Seit der Zeit der ersten Ölkrise Mitte der 1970er-Jahre sind bei Trommelwaschmaschinen große Erfolge hinsichtlich der Wasser- und Energieeinsparung erzielt worden. Brauchte eine Waschmaschine zum Waschen von 5 kg Wäsche 1970 im 60 °C-Waschgang noch ca. 2,7 kWh, so lag der Verbrauch 2015 bei nur noch 0,9 kWh. Der Wasserverbrauch ist im gleichen Zeitraum von 205 L auf durchschnittlich 44 L zurückgegangen (Abb. 1.23). Bei einigen Modellen ist sogar bis auf 39 L reduziert worden.

Mitte der 1980er-Jahre waren wichtige Neuerungen der Waschmaschinentechnik die Verhinderung von Waschmittelverlust („Ökoschleuse“) und wassersparende Befeuchtungssysteme der Wäsche, z. B. Schöpfrippen- und Sprühsysteme

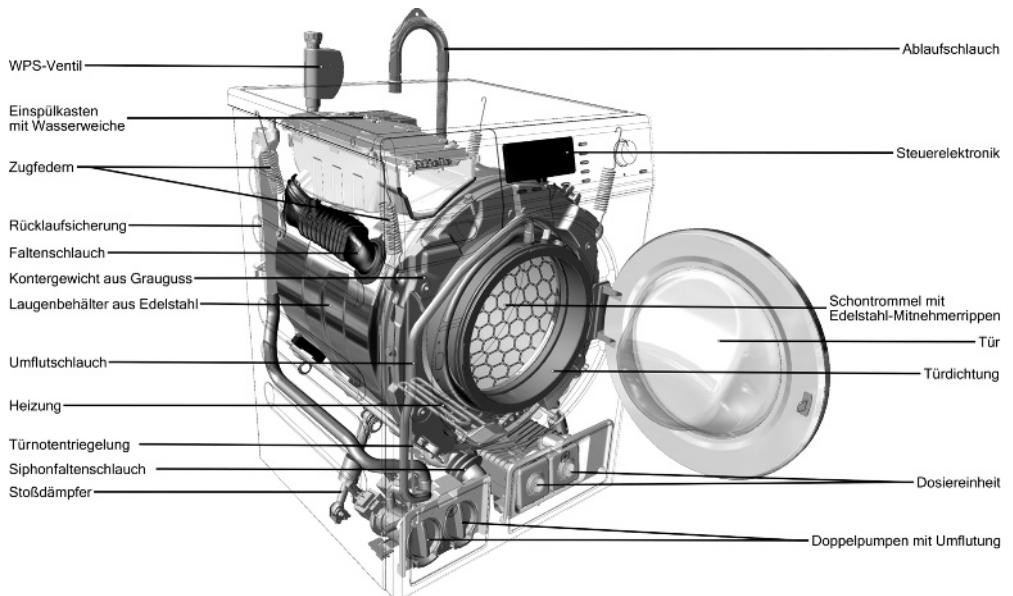


Abb. 1.22 Aufbau einer modernen Trommelwaschmaschine. WPS = Waterproof-System: An der Verschraubung des Wasserzulaufs ist ein Doppelmagnetventil angebracht. Erkennt der Waschvollautomat einen Defekt, verschließt er automatisch das Ventil und sperrt damit den Wasserzulauf ab. Ein Hüll-

schlauch umschließt den Zulaufschlauch und ist maschinenseitig mit der Rückwand verbunden. In der Bodenwanne befindet sich ein Schwimmerschalter, der bei Nässe das Wasserzulaufventil sofort verschließt (Quelle: Miele & Cie. KG).

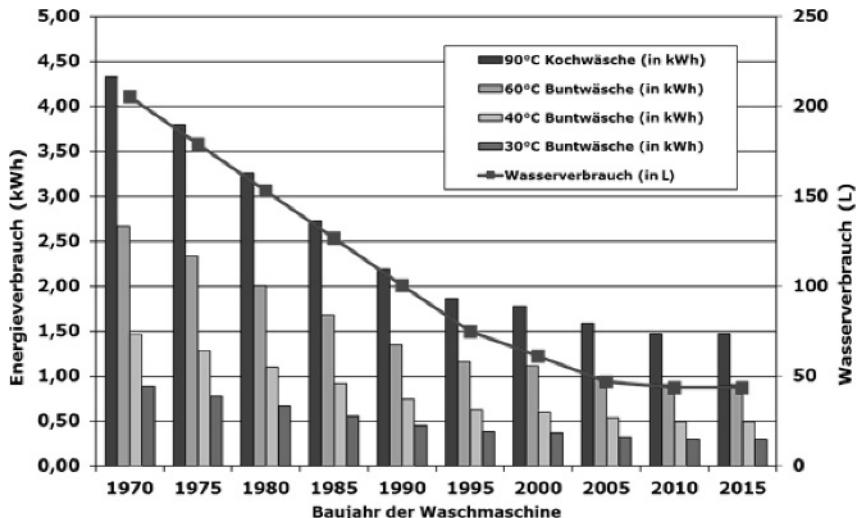


Abb. 1.23 Entwicklung der Verbrauchswerte bei Waschmaschinen (1970 bis 2015) (Quelle: Rainer Stamminger, Universität Bonn, Sektion Haushaltstechnik).

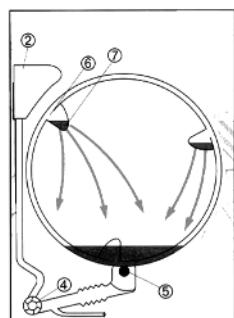
(Abb. 1.24). Während die Ökoschleuse seit vielen Jahren in allen Waschmaschinen Standard ist, wurden wassersparende Befeuchtungssysteme ständig weiterentwickelt. Die in Abb. 1.24 gezeigte Umwälzpumpe ist in vielen modernen Waschmaschinen zu finden. Sie erlaubt besonders wassersparende Technologien im Hauptwaschgang.

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. Durch eine veränderte und optimierte Konstruktion der Waschtrommeloberfläche ist es gelungen, die Wäscheschonung während des Waschens nochmals zu verbessern.

Mit Beginn des *21. Jahrhunderts* sind Technologien zur Senkung des Ressourcenverbrauchs nochmals weiterentwickelt worden. Seit 2009 sind 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 so den (elektrischen) Energiebedarf zu reduzieren [25].

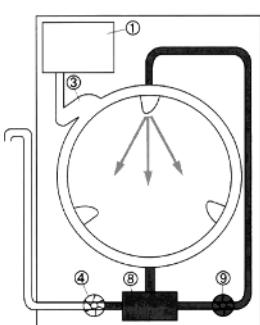
Neueste Verfahren waschen mit nochmals geringerer Wassermenge ohne freie Flotte in der Hauptwäsche, wodurch eine höhere Waschmittelkonzentration und bei gleichem Energieeintrag eine höhere Wäschetemperatur erreicht wird. Diese Verfahren wirken sich besonders positiv bei niedrigen Beladungen der Waschmaschine aus. Erreicht wird dies z. B. durch die Technologie des Umflutens, die seit 2015 in einigen Waschmaschinentypen zu finden ist. Dabei wird durch eine Umwälzpumpe (siehe Abb. 1.24) die Waschlauge nach einem kurzen Anschleudern

Einrichtungen zur Einsparung von Wasser



(a) Schöpfrippensystem

- ① Waschmittelschublade
- ② Ausgleichsgefäß
- ③ Siphon
- ④ Laugenpumpe
- ⑤ Verschluss mit Klappe oder Kugel („Ökoschleuse“)
- ⑥ Wasserschaufeln
- ⑦ Mitnehmer mit Wasserbehälter und Sprühöffnungen
- ⑧ Auffangbehälter
- ⑨ Umlölpumpe



(b) Sprühssystem

Abb. 1.24 Wasserführungssysteme bei Waschmaschinen (Quelle: HEA).

von oben zurück in die Waschtrommel gepumpt. Die Aufheizung von Wäsche und Wasser geschieht über Wasserdampf [26].

Durch die Reduktion der Wassermengen im Hauptwaschgang (über die Waschmaschinenkonstruktion) und durch reduzierte Waschtemperaturen (über das Verbraucherverhalten) wird die größte *Energieersparnis* erreicht, denn der überwiegende Anteil der Energie wird zum Aufheizen des Wassers benötigt (Abb. 1.25).

Grundsätzlich kann auch ein *Warmwasseranschluss* zur Energieersparnis beim Waschen beitragen. Allerdings ist dies differenziert zu betrachten. Nur beim eigentlichen Waschgang wird warmes Wasser benötigt, nicht bei den Spülgängen. Ebenso sind die Art der Warmwassererzeugung und ein möglicher Kaltwasser-Vorlauf zu berücksichtigen. Das Wasser darf auch nicht zu heiß sein, da sonst die empfindliche Wäsche geschädigt werden kann. Da heute überwiegend bei möglichst niedrigen Temperaturen gewaschen werden sollte, ist die Bedeutung von Warmwasseranschlüssen bei Waschmaschinen zurückgegangen.

Die größte *Wasserersparnis* bei Waschmaschinen wurde durch moderne Spülprogramme erzielt. Durch kombinierte Spül- und Zwischenschleuderschritte ge-

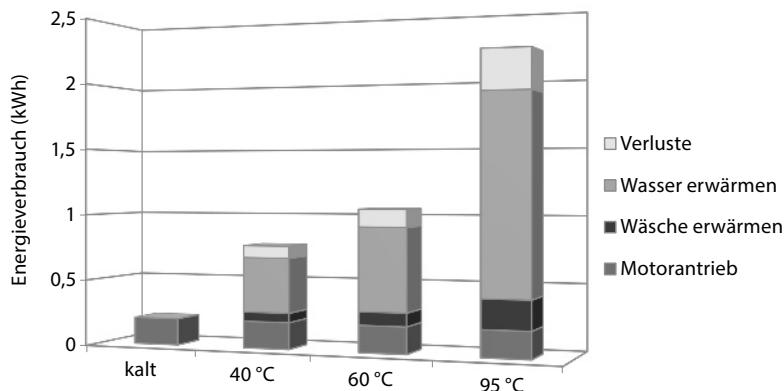


Abb. 1.25 Aufteilung der Energieverbräuche beim Waschen (Quelle: Henning, K.: SOFW Journal 138 (2012), H. 10, 65).

lingt es, mit sehr viel weniger Wasser als früher Schmutz und Waschmittelreste auszuspülen. Den Ablauf von zwei typischen Wasch- und Spülprogrammen (Temperatur-, Wasser- und Bewegungsverlauf) zeigt Abb. 1.26.

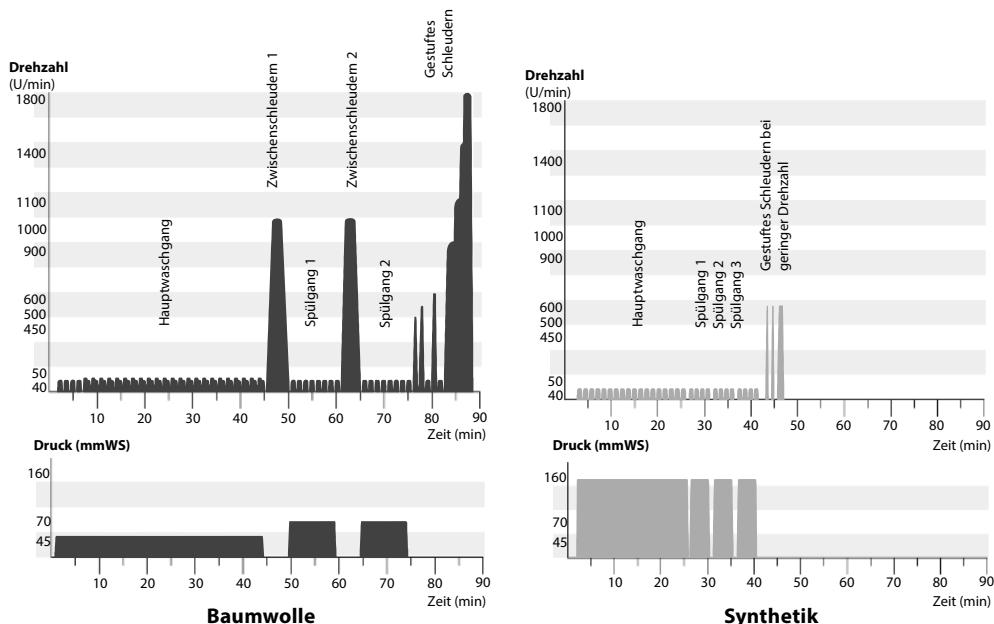


Abb. 1.26 Schema häufig genutzter Waschprogramme (Quelle: Miele & Cie. KG).

Fortschrittliche Sensortechnologie und digitale Steuerungssysteme

Jede moderne Waschmaschine verfügt heute über eine Vielzahl von Waschprogrammen und Programmvariationen, die eine optimale, häufig automatische Anpassung an die zu waschende Wäsche erlauben (siehe Infokasten). Die verschiedenen Wasch- und Spezialprogramme unterscheiden sich dabei hinsichtlich:

- Flottenverhältnis (Massenverhältnis von Trockenwäsche und Waschlauge),
- Wasch- und Wechselrhythmus der Trommel,
- Waschzeit,
- Temperaturführung,
- Schleuderprofile.

Ziele sind optimale Wasch- und Spülergebnisse, eine größtmögliche Wäscheschönung und niedrige Verbrauchswerte. Zusatzfunktionen (Kurzwaschen, Fleckenprogramm, Hygiene, Vorwäsche, Spülstopp u. a.) ergänzen und erweitern die verschiedenen Programmeinstellungen.

Infokasten – Wichtige Waschprogramme im Überblick

Koch-/Buntwäsche Das Koch- und Buntwäscheprogramm (Standardwaschprogramm) hat einen Temperaturbereich von 20 bis 95 °C und ist geeignet für Textilien aus Baumwolle und Leinen. Es besteht aus den Programmabschnitten Hauptwäsche, Spülen, evtl. Nachbehandlung und Schleudern. Die Waschmaschine kann dabei mit der maximalen Beladungsmenge befüllt werden.

Pflegeleichtwäsche Das Programm Pflegeleichtwäsche hat einen Temperaturbereich von 20 bis 60 °C und ist geeignet für Textilien aus synthetischen Fasern, Mischgewebe oder pflegeleicht ausgerüsteter Baumwolle. Es besteht aus den Programmabschnitten Hauptwäsche, Spülen, evtl. Nachbehandlung und Schleudern. Die empfohlene Füllmenge variiert je nach Gerät zwischen 1,5 und 4 kg.

Der Waschgang erfolgt mit mittlerem Wasserstand. Zur Reduzierung der Knitterbildung wird bei einigen Geräten die Schleudererdrehzahl reduziert und/oder am Ende des Waschganges die Lauge stufenweise durch zulaufendes Wasser abgekühlt. Das Spülen umfasst im Allgemeinen zwei bis drei Spülgänge und erfolgt mit hohem Wasserstand und teilweise reduzierter Trommelbewegung.

Feinwäsche/Seide Das Feinwaschprogramm hat einen Temperaturbereich von 30 bis 40 °C und ist geeignet für Textilien aus synthetischen Fasern, Mischgewebe, Kunstseide oder pflegeleicht ausgerüsteter Baumwolle, evtl. auch Gardinen. Es besteht aus den Programmabschnitten Hauptwäsche, Spülen und Schleudern. Die empfohlene Füllmenge variiert je nach Gerät zwischen 1 und 2,5 kg.

Waschgang und Spülgang erfolgen bei hohem Wasserstand und stark verminderter Trommelbewegung. Bei einigen Geräten erfolgt während der Spülgänge kein Zwischenschleudern, sondern lediglich ein Abpumpen.

Wollwäsche/Handwäsche Dieses Programm hat einen Temperaturbereich von kalt bis 40 °C und ist für maschinenwaschbare und z. T. auch für handwaschbare Wolle vorgesehen (siehe Pflegekennzeichen). Die Füllmenge beträgt 1 bis 2 kg. Es besteht aus den Programmabschnitten Hauptwäsche, Spülen und Schleudern. Der Hauptwaschgang sowie die zwei bis drei Spülgänge werden mit mittlerem oder hohem Wasserstand und stark verminderter Trommelbewegung durchgeführt. Das Kurzschießen ist dem empfindlichen Gewebe angepasst.

Darüber hinaus gibt es eine Fülle von Spezialprogrammen für bestimmte Textilarten und Anwendungen, die bezüglich der Temperatur- und Wasserführung, Trommelbewegung, Spülgänge und Schleuderfunktion für die jeweilige Textilart bzw. Anwendung optimiert sind. Da die verschiedenen Waschmaschinenhersteller z. T. unterschiedliche Begriffe für die Bezeichnung ihrer Programme verwenden, findet man eine große Anzahl von Bezeichnungen, z. B.:

Spezialprogramme für Textilarten: Mischwäsche/Mixwäsche/Automatik; Blusen/Hemden/Oberhemden; Gardinen; Mikrofaser/Outdoor/Sportwäsche/Synthetics; Fashion; Jeans/dunkle Wäsche; Daunen/Kopfkissen; Sportschuhe; Seide/Dessous u. a.

Spezialprogramme für bestimmte Anwendungen: Allergiker/Hygiene/Sensitiv; Flecken-/Intensivprogramm; Auffrischen; Leichtbügeln; Imprägnieren; Handwäsche/Handwaschprogramm; Energiespar-/Eco-Programme; Kurzprogramm/Zeit sparen/Express; Mini/halbe Füllung u. a. Einige Maschinenhersteller bieten auch spezielle Maschinenreinigungsprogramme an. Dabei wird die Waschmaschine ohne Wäschebeladung mit einem Maschinenreinigungsmittel betrieben.

Von besonderer Bedeutung sind die Spezialprogramme *Hygiene/Allergiker/Sensitiv* und das *Flecken-/Intensivprogramm*. Im Hygieneprogramm wird eine Waschtemperatur von etwa 60 °C über einen längeren Zeitraum gehalten (Abb. 1.27). Das ist von Bedeutung für das Abtöten von Keimen und Allergieauslösern wie die Hausstaubmilbe (weitere Informationen zur Waschhygiene und zum Verbraucherverhalten finden sich in den Abschn. 8.4.3 und 8.5). Beim Flecken-/Intensivprogramm wird die Waschzeit verlängert, sodass mit geringerer Waschtemperatur sehr gute Waschergebnisse erzielt werden können (siehe Abschn. 8.5). Das hilft, Energie beim Waschen zu sparen [27].

Ergänzt werden die Waschprogramme durch Zusatzfunktionen und -programme, die zum gewählten Waschprogramm gewählt werden können: Vorwäsche; Einweichen; Intensiv-/Fleckentaste; Schongang; Kurz/Zeit sparen; Spülstopp; Wasser plus; zusätzlicher Spülgang; Stärken/Extraspülen/Feinspülen/Imprä-



Abb. 1.27 Temperaturführung in Abhängigkeit vom Waschprogramm (Standard, Eco, Hygiene) (Quelle: Miele & Cie. KG).

nieren; Schonschleudern; Bügelleicht/Knitterschutz; Schleudern; Pumpen; Funktion extra leise; Dampf/Dampfglätten/SteamCare u. a.

In der Praxis zeigt sich, dass die Verbraucher im Haushalt überwiegend mit wenigen Standardprogrammen arbeiten (Koch-/Buntwäsche, Pflegeleichtwäsche, Feinwäsche) und die vielen Spezialfunktionen nur selten genutzt werden (siehe auch Abschn. 8.2).

Die Reduktion der Verbrauchswerte, die Vielzahl der Waschprogramme und der heutige Bedienungskomfort waren nur möglich durch die Einführung vieler technischer Neuerungen. Präzisere Sensoren für Wassermengen- und Temperatursteuerungen, die computergesteuert häufig auf dem Prinzip der Fuzzylogik beruhen, haben z. B. eine genauere Anpassung der Waschparameter an die Beladungsmenge und die Programmwahl ermöglicht. Dazu kommt der Einsatz von immer ausfeilerten elektronischen Steuerungen und Regelungen, die eine punktgenaue Führung des Waschprozesses durch die Waschmaschine erlauben und z. T. sogar lernfähige und mit Expertenwissen ausgestattete Prozessführungen implementiert haben [28].

Eine weitere Verbesserung des *Bedienungskomforts* wird durch die Einführung von großflächigen grafischen Displays zur Programmeinstellung erreicht. Die Fernbedienung oder Fernabfrage per Smartphone oder Tablet ist bei einigen Waschmaschinentypen möglich. Dabei sind die Waschmaschinen über WLAN (WiFi) oder den Anschluss der Waschmaschine an ein hausinternes Kommunikationssystem dauerhaft mit dem Internet verbunden. Möglich ist auch ein zeitversetztes Waschen mittels Timer. Die Vernetzung der Waschmaschine mit dem Internet erlaubt auch die Nutzung „smarter“, zeitvariabler Stromtarife, so weit diese angeboten werden. Dabei wird die Waschmaschine dann automatisch eingeschaltet, wenn der Strompreis besonders günstig ist. Diese Entwicklungen stehen allerdings noch ganz am Anfang.

Wichtige *Steuerungssysteme* sind:

Mengenautomatik

Über die 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.

Sobald das Waschprogramm gestartet wird, fließt eine definierte Menge Wasser in den Laugenbehälter. Der Wasserstand wird mit einem Druckwächter überwacht. Abhängig von der Art der zu waschenden Kleidung und der eingefüllten Wäschemenge saugt die Wäsche einen Teil des eingelaufenen Wassers auf. Nach einer kurzen Laufzeit der Maschine wird der Wasserstand erneut ermittelt. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis ein konstanter Wasserstand erreicht ist. Aus der Zulaufdynamik wird rechnerisch mit hinreichender Genauigkeit die Wäschemenge und das dazu passende Waschprogramm ermittelt. Technisch angewandt wird von einigen Herstellern auch die Methode, die Trägheit der zu bewegenden Trommel aus dem benötigten Stromverbrauch zu ermitteln und daraus einen Rückschluss auf die Wäschemenge zu ziehen.

Die *erweiterte Mengenautomatik* hat zusätzlich Einfluss auf die Anzahl der Spülgänge. Berücksichtigt wird die Temperaturabkühlung der Wäsche beim ersten Spülwassereinlauf und daraus wird die optimale Anzahl der Spülgänge elektronisch errechnet.

Beladungserkennung

Mithilfe der *Beladungserkennung* wird die Wäschemenge in der Trommel per Sensor ermittelt, der das geringfügige Absinken der Wäschetrommel beim Befüllen erfasst und anzeigt, sodass eine optimale Beladung der Maschine und die Angabe der benötigten Waschmittelmenge möglich wird. Einzelne Hersteller ermitteln die Beladungsmenge über die Massenträgheit beim Anschleudern der Wäsche.

Aquasensor

Einige Geräte werden mit einem sogenannten Aquasensor angeboten. Dazu wird die Waschlauge durchleuchtet, um die Anzahl der Spülgänge in Abhängigkeit von der Trübung oder Verschmutzung des Spülwassers zu minimieren.

Automatische Dosierung

Bei manchen Modellen ist eine *automatische*, der Wäsche angepasste *Dosierung* der Waschmittel möglich. Automatische Dosiersysteme gibt es seit 2006 für flüssige und seit 2010 für pulverförmige Waschmittel. Die Wahl des Waschmittels ist dann häufig eingeschränkt. Für die einwandfreie Funktionsfähigkeit empfehlen manche Waschmaschinenhersteller vorgegebene Waschmittel. Automatische Dosiersysteme stellen sicher, dass immer genau die richtige Waschmittelmenge dosiert und die optimale Konzentration der Waschlauge erreicht wird. Unter- oder Überdosierungen, die das Waschergebnis gefährden oder die Wäsche schädigen, werden vermieden und ein gutes Spülergebnis wird sichergestellt.

Seit 2013 gibt es integrierte automatische Dosiersysteme mit mehreren Spezielleschittelkomponenten des jeweiligen Waschmaschinenherstellers. In einer ersten Waschphase werden im Wesentlichen Tenside und Enzyme genutzt, um den Schmutz zu lösen und in Schwebefest zu bringen. Danach kommen in einer zweiten

ten Phase bleichende Substanzen zum Einsatz, die bei etwas erhöhter Temperatur aktiv werden, wenn die Enzyme ihre Aufgabe erledigt haben.

Zu berücksichtigen ist, dass es je nach Hersteller und Preisniveau deutliche Unterschiede in der Leistungsfähigkeit der Waschmaschinen bezüglich Waschleistung, Wäscheschonung, Energie- und Wasserverbrauch sowie Bedienungsfreundlichkeit und Lebensdauer gibt [29].

Verbesserung der Sicherheit

Bezüglich der Sicherheit sind *Wasserschutzsysteme* weiterentwickelt worden, die bei einem unkontrollierten Auslaufen von Wasser den Wasserzulauf sofort unterbrechen und dadurch größere Wasserschäden verhindern, z. B. bei defektem Zulaufventil, Undichtigkeiten oder Platzen des Zulaufschlauches (siehe auch Abb. 1.22). Bei einem Leck im Zulaufschlauch unterbricht ein Sicherheitsventil, welches sich direkt beim Wasserhahn befindet, die Wasserzufluss. Manche Geräte haben zusätzlich einen Schwimmschalter in einer Bodenwanne eingebaut, der bei Wasseraustritt im Gerät die Wasserzufluss unterbricht und gleichzeitig die Laugenpumpe aktiviert.

1.5.4

EU-Energielabel für Waschmaschinen

Seit 1996 sind alle Waschmaschinen in Europa mit dem EU-Energielabel ausgezeichnet. Damals wurde dem Verbraucher in einer Skala, die von A bis G reicht, eine Information über die Effizienz der Waschmaschinen bezüglich Waschleistung, Energie- und Wasserverbrauch, Schleuderwirkung und Geräuschenentwicklung gegeben, wobei A die effizienteste Klasse bezeichnet. Allerdings bezogen sich diese Angaben nur auf ein Vergleichsprogramm (für 60 °C Baumwollwäsche), sodass es durchaus große Unterschiede in anderen Programmen gab, die nicht relevant für das Energielabel waren. 2009 hatten fast alle Waschmaschinen eine Einstufung für Energieeffizienz, Waschwirkung und Schleuderwirkung in der Klasse A. Als Differenzierungskriterium für die Verbraucher war es damit kaum noch geeignet.

Das EU-Energielabel für Haushaltsgroßgeräte wurde daraufhin auf europäischer Ebene grundlegend überarbeitet und ist 2011 in Kraft getreten (Abb. 1.28). Bezogen auf Waschmaschinen hat sich Folgendes geändert:

- Zu dem bisherigen Label werden drei neue Klassen A+, A++ und A+++ hinzugefügt.
- Die maximale Anzahl der Effizienzklassen ist auf sieben begrenzt.
- Die Farbskala bleibt wie bei der bisherigen Klassifizierung von dunkelgrün (bisher A) bis rot (bisher G) und wandert mit.
- Das neue Label nennt den Energie- und Wasserverbrauch pro Jahr bei einer Nutzung von 220 Waschzyklen.
- Die Daten und Klassen auf dem Label beziehen sich nicht mehr nur auf ein Waschprogramm, sondern bei der Berechnung wird der Energieverbrauch im 60 °C-Standard-Programm bei voller und bei Teilbeladung sowie der Energieverbrauch im 40 °C-Standard-Programm bei Teilbeladung berücksichtigt.

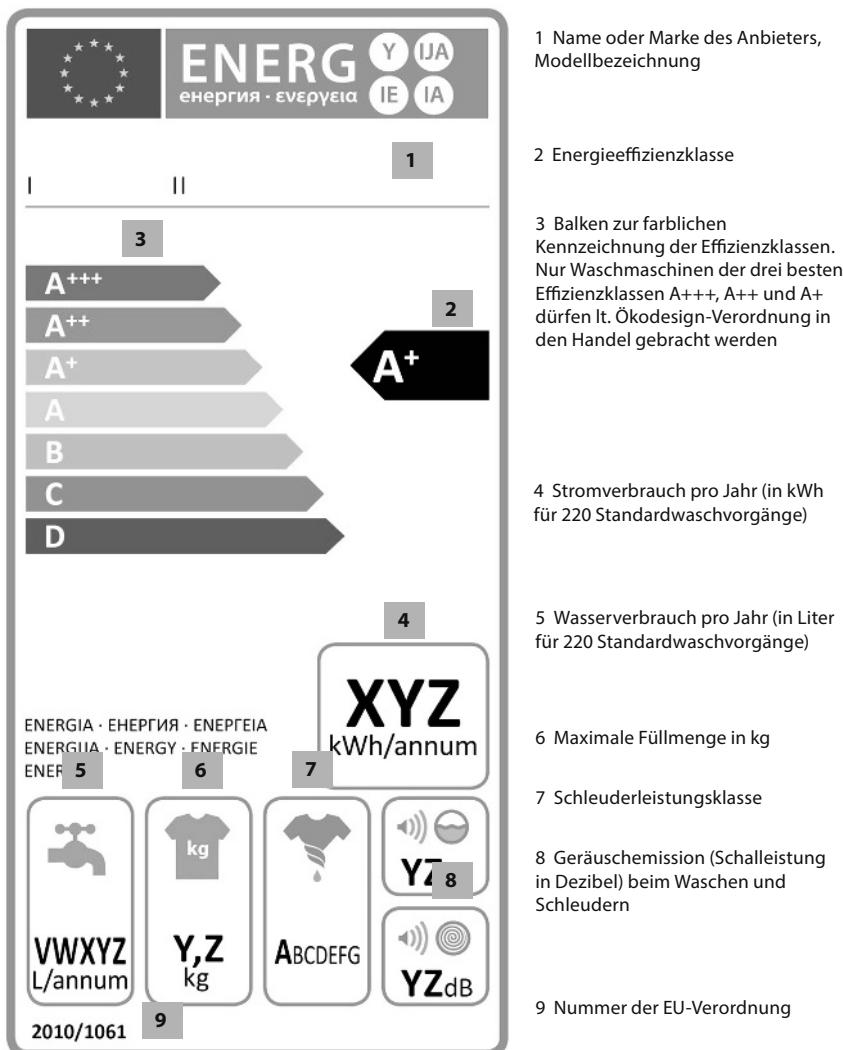


Abb. 1.28 Energielabel für Waschmaschinen (Quelle: Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI), Erläuterungen: Günter Wagner). Eine farbige Version finden Sie im Farbtafelabschnitt am Ende des Buches.

- 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 Stand-by-Verbrauch mit einbezogen wird.
- Nicht mehr enthalten im neuen Label ist die Waschwirkungsklasse. Es gibt einen Mindeststandard, den alle Neugeräte erfüllen müssen. Er entspricht der Klasse A.

- Die Schleuderwirkung wird nach wie vor in die Klassen A (beste) bis G (schlechteste) eingeteilt.

In Ergänzung zum EU-Energielabel regelt die europäische Ökodesign-Richtlinie 1015/2010, dass ineffiziente Waschmaschinen nicht mehr verkauft werden dürfen [30]. Seit Dezember 2013 dürfen nur noch Waschmaschinen der drei besten Energieeffizienz-Klassen A++, A+ und A+ in den Handel gebracht werden, obwohl auf dem Energielabel weiterhin sieben Klassen von A+++ bis D abgebildet sind. Darüber hinaus muss jede Waschmaschine ein 20 °C-Programm haben.

EU-Energielabel und Ökodesign-Richtlinie tragen wesentlich zur Entwicklung und Vermarktung besonders energieeffizienter Geräte bei. Das Energielabel ist sehr gut eingeführt worden und wird im Bewusstsein der Verbraucher als wichtiges Kriterium beim Kauf von Produkten angesehen.

Das Energielabel hat dazu geführt, dass sich alle Anbieter auf dem europäischen Markt darauf konzentriert haben, in den Angaben des Energielabels möglichst gut dazustehen. Erhöht wurde z. B. die Dauer der Waschprogramme für den Energielabel-Leistungstest (Energielabel-Programme einiger Hersteller können im Extremfall bis zu 5 h dauern), da die Waschdauer nicht auf dem Energielabel angegeben wird, eine längere Waschzeit sich aber positiv auf die erzielbare Reinigungsleistung auswirkt. Durch Kombination einer langen Waschdauer mit einer Absenkung der tatsächlichen Waschtemperatur gegenüber der angegebenen Solltemperatur lassen sich Vorteile beim Energielabel erzielen. In mehreren Untersuchungen wurde festgestellt, dass die tatsächliche Waschtemperatur der Energielabel-Programme teils erheblich tiefer liegt als die angegebene Solltemperatur [27]. Bei einigen Waschmaschinentypen beträgt die tatsächliche Temperatur statt der angegebenen 60 °C nur ca. 30 °C [31]. Das hat nicht unbedingt Einfluss auf den Wascherfolg, ist aber von großer Bedeutung für die Waschhygiene (weitere Informationen dazu siehe Abschn. 8.4.3).

Verbraucher gehen häufig davon aus, dass energieeffiziente Waschmaschinen (A++ und besser) grundsätzlich energiesparend waschen. Das ist aber nur bei den Energiespar- bzw. Energielabel-Programmen der Fall. Da die Akzeptanz der langen Programmzeiten gering ist, nutzen Verbraucher in der täglichen Praxis deshalb häufig Programme mit kürzerer Laufzeit, die mit deutlich mehr Energie arbeiten und über deren Energieverbrauch das Energielabel keine Auskunft gibt. In einigen Normalwaschprogrammen wird bei gleicher Temperaturwahl z. T. fast doppelt so viel Energie verbraucht wie im Energiesparprogramm [31]. Eine europaweite Untersuchung zeigt, dass der Energieverbrauch der häufig gewählten „Normal“programme im Mittel 42 % und der Wasserverbrauch im Mittel 23 % über dem der Energielabel-Programme liegt [32].

Eine Folge des Energielabels ist auch, dass alle Hersteller das Beladungsvolumen immer mehr vergrößert haben. Mit steigendem Fassungsvermögen der Waschmaschine sinkt der spezifische Energieverbrauch pro kg Wäsche. Das führt zu dazu, dass große Maschinen besonders energieeffizient sind – aber nur dann, wenn sie voll gefüllt werden. Durch moderne Steuersysteme, z. B. die Mengenautomatik, ist die Energieeffizienz bei Teilbeladungen zwar verbessert worden, liegt aber insbesondere bei geringer Beladung immer noch deutlich unter der Effizi-

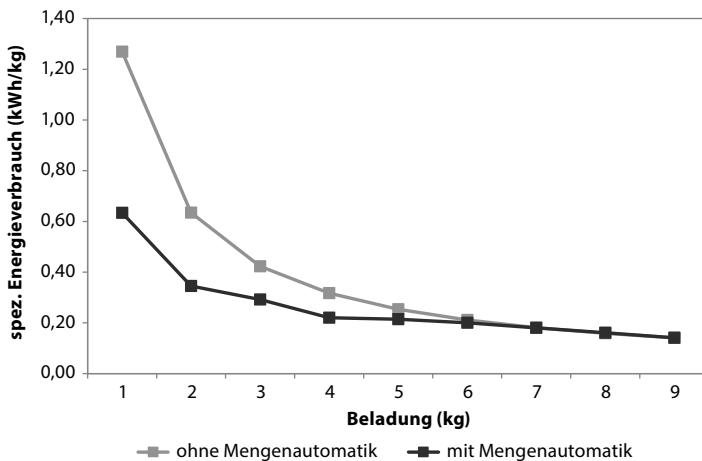


Abb. 1.29 Spezifischer Energiebedarf als Funktion der Beladung.

enz bei voller Beladung (Abb. 1.29). Auch seitens der Verbraucher ist ein größeres Fassungsvermögen beliebt, weil dadurch die Flexibilität bezüglich der Beladungs-menge erhöht werden kann.

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 Waschma-schinentypen und die verschiedenen Hersteller miteinander vergleichen zu kön-nen [33].

1970 betrug das durchschnittliche Fassungsvermögen der Haushaltswaschma-schine relativ einheitlich für alle Hersteller 4,5 kg Trockenwäsche (für Baumwolle bzw. Buntwäsche). Ende der 1980er-Jahre wurde es auf 5 kg erhöht. Seit etwa 2005 ist das Fassungsvermögen der Frontlader durch neue Konstruktionskonzepte stetig erhöht worden. Es gibt seit 2015 Waschmaschinen mit bis zu 12 kg Fas-sungsvermögen am Markt, häufig unter Beibehaltung der äußeren Dimensionen. Toplader haben durchschnittlich ein geringeres Fassungsvermögen von 4 bis 7 kg.

Der Trend zu Waschmaschinen mit größerem Fassungsvermögen ist anhand der Verkaufszahlen deutlich erkennbar (Abb. 1.30). In Deutschland stellten 2010 Waschmaschinen mit 6 kg Fassungsvermögen mit rund 45 % der verkauften Gerä-te den wichtigsten Waschmaschinentyp dar. 2015 bildeten 7 kg-Waschmaschinen mit 43 % der verkauften Waschmaschinen das Hauptmarktsegment. Insgesamt haben große Waschmaschinen mit 7 kg und mehr Fassungsvermögen ihren Marktanteil innerhalb von fünf Jahren mehr als verdoppelt, von 29,5 % im Jahr 2010 auf 66,8 % im Jahr 2015.

Im Spannungsfeld dazu steht, dass Ein- und Zwei-Personen-Haushalte in Deutschland deutlich zugenommen haben (siehe Abschn. 8.2) und kleine Haus-halte die Maschinenkapazität im Alltag erfahrungsgemäß nicht ausnutzen kön-nen. Der Vorteil der Energieeffizienz der großen Maschinen geht damit verloren. Für kleine Haushalte wären kleinere Waschmaschinen effizienter zu nutzen. Als

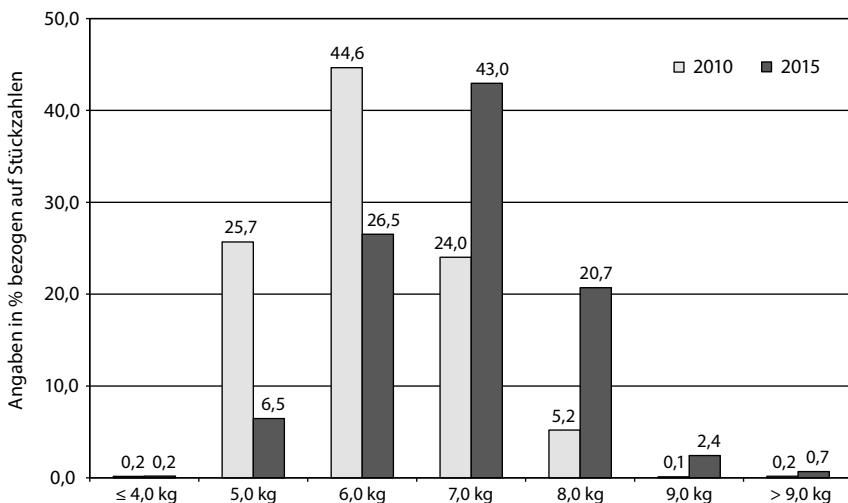


Abb. 1.30 Marktanteile Waschmaschinen in Deutschland (bezogen auf Stückzahlen) (Quelle: Gesellschaft für Konsumforschung GfK).

weiterer Vorteil kommt hinzu, dass kleinere Waschmaschinen bei entsprechender Konstruktion („Slimline-Maschinen“) mit 40 bis 46 cm Breite deutlich weniger Platz benötigen.

Die maximalen Schleuderdrehzahlen haben sich in den letzten Jahren relativ wenig verändert (Abb. 1.31). Waschmaschinen mit 1400 U/min bilden 2015 mit rund 70 % Marktanteil an den verkauften Waschmaschinen das Hauptmarktsegment, 2010 betrug ihr Marktanteil 63 %. Maschinen mit noch höherer Schleuderzahl bis zu 1600 U/min haben einen Marktanteil von 13,6 % erobert. Wasch-

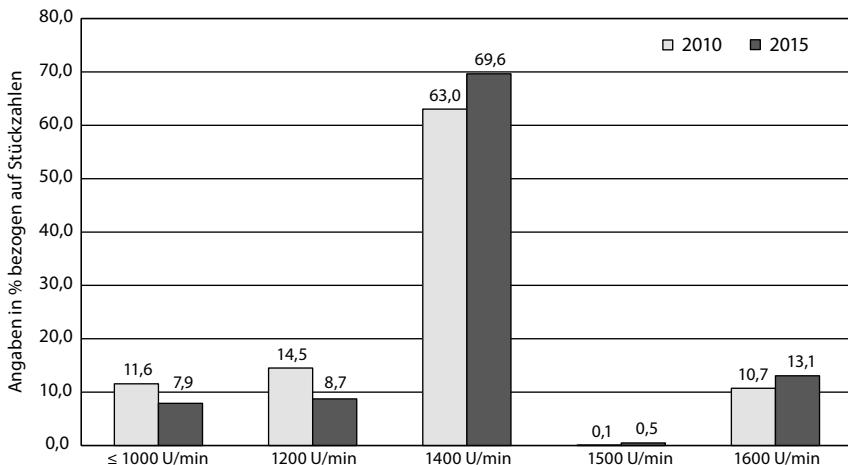


Abb. 1.31 Maximale Schleuderdrehzahlen von Waschmaschinen (Marktanteile bezogen auf Stückzahlen) (Quelle: Gesellschaft für Konsumforschung GfK).

maschinen mit geringen Schleuderzahlen von 1200 U/min und weniger werden immer weniger nachgefragt und erreichen 2015 insgesamt nur noch einen Marktanteil von 16,6 %.

Es hat sich gezeigt, dass das Energielabel eine ganz wesentliche Triebkraft der Waschmaschinenentwicklung war und ist. Allerdings können dadurch auch fragwürdige Entwicklungsanreize gesetzt werden, zu beobachten beispielsweise bei der Maschinengröße oder der maximalen Wassereinsparung.

Extrem wassersparende Waschmaschinen stehen im Zielkonflikt mit einem möglichst weitgehenden Ausspülen von Waschmittelresten aus der Wäsche und aus der Waschmaschine. Darüber hinaus führt eine zu starke Reduktion des Wasserverbrauchs beim Spülen zu einer verringerten Spülleistung und fördert dadurch möglicherweise auch die Bildung von Biofilmen in der Waschmaschine. Auf die Frage, inwieweit Waschmittlerückstände nach dem Waschen auf den Textilien verbleiben, wird in Abschn. 8.4.2 näher eingegangen.

Es besteht durchaus die Gefahr, durch eine zu große und alleinige Fokussierung auf die Verbesserung der Energieeffizienz neuer Geräte andere Einflussfaktoren, z. B. die Haushaltsgröße und das tatsächliche Nutzerverhalten, aus dem Auge zu verlieren. Insbesondere scheint der Faktor des Nutzerverhaltens, das den Umgang mit den energieverbrauchenden Geräten beschreibt, hier die wichtigste Größe zu sein [34]. Durch falsche Kaufanreize (große Maschinen für kleine Haushalte), energieintensive Programmwahl und häufigere Verwendung bei Teilbeladung können die Vorteile energieeffizienterer Geräte leicht ins Gegenteil verkehrt oder zumindest die erwarteten Einsparungen nicht erreicht werden.

2015 haben fast alle Waschmaschinen eine Einstufung nach dem EU-Energielabel in der Klasse A+++ bis A+. Als Differenzierungskriterium für die Verbraucher ist das 2011 überarbeitete Energielabel nur noch bedingt geeignet. Darüber hinaus gilt die Aussagekraft des Energielabels über den tatsächlichen Energieverbrauch unter realen Haushaltsbedingungen nur sehr begrenzt, da Energiespar- bzw. Eco-Programme nur verhältnismäßig selten benutzt werden. 2014 beschloss die EU deshalb eine Überarbeitung und Weiterentwicklung des Energielabels [35].

Dabei stehen die beiden folgenden Fragen im Mittelpunkt:

- Wie lässt sich am besten eine Reduzierung des Energieverbrauchs von Waschmaschinen unter realen Haushaltsbedingungen erreichen?
- Wie lässt sich die Weiterentwicklung und Fortschreibung des Energielabels und der Ökodesign-Richtlinie gestalten, um diese kontinuierlich an die jeweiligen zukünftigen Entwicklungslinien anzupassen?

Aufgrund der bisherigen Erfahrungen kann der Schwerpunkt der Weiterentwicklung des Energielabels und der Ökodesign-Richtlinie nicht einseitig auf eine weitere Steigerung der Energieeffizienz der Energiespar- bzw. Eco-Programme gelegt werden. Dazu wurden u. a. die folgenden weitergehenden Vorschläge diskutiert:

- Es sollte ein Standard für die am häufigsten verwendeten Programme geschaffen werden, der repräsentativ die Verbrauchsdaten der Waschmaschine abbildet.

- Ergänzend dazu ist es wichtig, Grenzwerte und Toleranzen bezüglich der gewählten Programme zu definieren:
 - Festlegung von Obergrenzen für die Programmdauer sowie Angabe der Laufzeit auf dem Energielabel.
 - Sicherstellung, dass die angegebene Waschtemperatur auch tatsächlich erreicht wird, z. B. durch verbindliche Vorgaben maximaler Toleranzen bezüglich der Temperaturabweichung oder Angabe der realen Waschtemperatur auf dem Display der Maschine.
- Ein anderer Vorschlag geht davon aus, ein festes „Normal“programm einzuführen, das auf die Bedürfnisse der Verbraucher optimal zugeschnitten und für normal verschmutzte Baumwolle (egal, ob für 40 oder 60 °C) geeignet ist. Die Waschtemperatur beträgt real 40 °C. Dieses Programm wird beim Einschalten der Waschmaschine automatisch aufgerufen. Für die relativ wenigen Waschladungen, die aus hygienischen Gründen bei 60 °C gewaschen werden, können separate „Hygieneprogramme“ eingestellt werden. Ähnlich könnte ein weiteres Programm für Pflegeleichtes und Feinwäsche aufgebaut sein, z. B. bei 30 °C. Diese Programme müssen für die Verbraucher klar identifizierbar sein.
- Klare Verbraucherinformationen zur Waschhygiene über das Display der Waschmaschine.
- Angaben zur Energieeffizienz bei Teilbeladungen, z. B. bei 1/3- und 2/3-Beladung.
- Mindestanforderungen an die Spülleistung.
- Begleitend dazu sind verbesserte Informationen erforderlich, damit die Verbraucher den Energie- und Wasserverbrauch sowie die Waschleistungen der gewählten Waschprogramme richtig einschätzen können.

1.5.5

Haltbarkeit und Lebensdauer von Waschmaschinen

In den letzten Jahren ist zu beobachten, dass die durchschnittliche Nutzungsdauer von Waschmaschinen, ebenso von Wäschetrocknern, abgenommen hat. Das durchschnittliche Alter der Waschmaschinen betrug 2004 noch 16 Jahre und ist im 2013 auf 13,7 Jahre zurückgegangen. Auffällig ist, dass mehr als 10 % der Waschmaschinen im Jahr 2013 nur fünf Jahre und weniger alt wurden im Vergleich zu 6 % im Jahr 2004 [36]. Diese Verkürzung der Lebensdauer ist in die öffentliche Diskussion geraten und wird unter den Fachbegriff Obsoleszenz gefasst. Die genauen Ursachen, warum die Lebensdauer von Waschmaschinen und Wäschetrocknern abgenommen hat, sind noch nicht erforscht. Es ist zu vermuten, dass dafür mehrere Faktoren eine Rolle spielen.

Der Begriff Obsoleszenz bezeichnet die Alterung (natürlich oder künstlich) eines Produktes. Die Begriffsverwendung erfolgt häufig in zweierlei Hinsicht, wobei mitunter nicht klar beschrieben wird, welche Form gemeint ist: Alterung oder Verschleiß oder *vorzeitige* Alterung oder Verschleiß. Bei letzterem spricht man auch von geplanter Obsoleszenz.

Um Missverständnisse in der Diskussion und Bewertung zu vermeiden, sollten die folgenden Fachbegriffe klar voneinander unterschieden werden:

Lebensdauer: Die technische Lebensdauer ist die durchschnittliche Zeit von der Erstvermarktung bis zum endgültigen Defekt eines Geräts.

Nutzungsdauer: Die Nutzungsdauer beschreibt, wie lange ein Gerät durch den Anwender genutzt wird. Darunter fallen auch die Zweit- und Dritt Nutzung der Geräte durch Weitergabe bzw. Weiterverkauf.

Erstnutzungsdauer: Die Erstnutzungsdauer umfasst die Zeitspanne der Nutzung nur durch den Erstnutzer.

Der Sachstand der Diskussion lässt sich in Bezug auf Waschmaschinen folgendermaßen zusammenfassen:

- Der vorzeitige Verschleiß eines Produktes lässt sich nur in Bezug zu einer erwarteten Lebensdauer feststellen. Die Festlegung der Erwartungen ist dabei ein gesellschaftlicher Prozess, mit durchaus heterogenen Positionen auch aus der Verbraucherperspektive, welcher vielfältigen Einflüssen unterworfen ist [36].
- Bei ihren Geräten planen die Hersteller schon bei der Produktion, wie lange es halten soll. Der Kunde erfährt davon allerdings nichts. Im Allgemeinen gilt: Billige Geräte haben oft eine geringere Lebensdauer als teure. Bei Waschmaschinen im unteren Preissegment halten ca. 25 % dieser Waschmaschinen weniger als fünf Jahre [37].
- Der Verdacht, dass gezielt ein frühzeitiger Verschleiß von Produkten herbeigeführt wird, die sogenannte geplante Obsoleszenz, lässt sich nicht belegen [36].
- Der Hauptaufgrund für eine neue Waschmaschine ist ein Defekt der Geräte, gefolgt von dem Wunsch, ein besseres Gerät zu kaufen, obwohl das alte Gerät noch funktioniert.

Im Sinne der Ressourcenschonung und einer nachhaltigen Entwicklung sind eine möglichst lange Lebens- und Nutzungsdauer von Waschmaschinen genauso anzustreben wie eine hohe Reparatur- und Wartungsfreundlichkeit. Wann aus ökonomischer oder ökologischer Sicht ein Austausch eines Altgerätes gegen ein Neugerät sinnvoll ist, muss im Einzelfall entschieden werden [38]. Zu berücksichtigen ist, dass seit etwa 2005 nur noch geringe Effizienzsteigerungen im Energie- und Wasserverbrauch zu verzeichnen sind.

Berücksichtigt werden muss generell, dass sich aufgrund einer mittleren Nutzungsdauer der Waschmaschinen von rund 14 Jahren und einem durchschnittlichen Alter in den Haushalten von 5,3 Jahren (Stand 2015) [39] Innovationen erst mit längerer Verzögerung am Markt durchsetzen.

1.5.6

Ausblick und Zukunftsperspektiven bei Waschmaschinen

Es ist zu erwarten, dass weitere Optimierungen in Richtung Erhöhung des Bedienungskomforts, stärkere Einbindung in Netzwerksysteme sowie Verbesserung des Preis-Leistungs-Verhältnisses stetig fortgeführt werden. Die Reduktion des

Energie- und Wasserverbrauchs bei Trommelwaschmaschinen hat nach mehreren Optimierungsphasen in vielen Bereichen eine Grenze erreicht. Eine weitere Reduktion des Ressourceneinsatzes ist bei den bestehenden Konstruktionen vermutlich nur unter größerem technischen und finanziellen Aufwand möglich.

Grundlegend neue Systeme bei Waschmaschinen wurden immer wieder in den Medien angekündigt, haben bisher aber nicht durch eine entsprechende Leistungs- und Gebrauchsfähigkeit überzeugen können [40–42]. In einigen Ländern sind diese Entwicklungen – mit bisher allerdings unbefriedigendem Erfolg – schon erprobt worden: Ultraschallwaschmaschinen, Textilauffrischung und Reinigung mit Wasserdampf, Hygienewaschen mit Ozon u. a. Eine Idee aus England aus dem Jahr 2010 arbeitet mit Nylonkugeln, sogenannten Beads, und soll dadurch bis zu 90 % Wasser einsparen. Die Wirksamkeit unter praktischen Waschbedingungen ist bisher aber nicht nachgewiesen [40]. 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 Untersuchung aus dem Jahr 2009 zeigt, dass die derzeit bekannten alternativen Waschtechnologien bei einer Gesamtbetrachtung von Waschleistung, ökologischer Verträglichkeit und Kosten noch zu viele Nachteile gegenüber den heutigen Trommelwaschmaschinen aufweisen [43]. Möglich erscheint in absehbarer Zeit ein Zusatznutzen bei der Fleckvorbehandlung (Ultraschall) oder der Waschhygiene (Ozon), wenn diese Technologien z. B. bei weiterentwickelten Waschmaschinen eingesetzt werden. Derartige Ideen sind in der Entwicklungsphase.

So sind grundlegende Neuentwicklungen zurzeit (2016) nicht in Sicht, zumal Trommelwaschmaschinen bezüglich Waschleistung, Verbrauchsdaten und Bedienungsfreundlichkeit heute ein hohes Maß an Effizienz erreicht und weltweit an Bedeutung gewonnen haben [44]. Möglicherweise können durch Zusatzfunktionen Verbesserungen bezüglich der Fleckentfernung und Hygiene erzielt werden.

Zentraler Zukunftstrend bei Waschmaschinen sollten Innovationen in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung sein. Dazu gehören u. a. die folgenden Ideen:

- Reduktion des Rohstoffverbrauchs durch möglichst langlebige Waschmaschinen:
 - Erhöhung der Haltbarkeit und geringe Reparaturanfälligkeit,
 - Erleichterung der Reparierbarkeit, z. B. durch modulare Bauweise mit leichter Austauschbarkeit von defekten Komponenten,
 - Verbesserung der Wiederverwertbarkeit ausgesonderter Maschinen.
- Verbesserte Verbrauchswerte mit Energieeffizienz jenseits A++:
 - Hocheffizienzmotoren,
 - hocheffiziente Wasserführungssysteme,
 - kleine energieeffiziente Maschinen für kleine Haushalte,
 - optimale Nutzung energieeffizienter Waschprogramme.

- Verbesserung der Bedienungsfreundlichkeit:
 - preisgünstige automatische Dosiersysteme,
 - unterstützende, leicht zugängliche und gut verständliche Verbraucherinformationen sowie Displays mit individuell angepassten Informationen,
 - Weiterentwicklung der Sensortechnologie durch Erkennung von Textilart und Farben.
- Effektivere Nutzung der „Ressource“ Waschmaschine durch gemeinsame Nutzung von mehreren Haushalten („Share Economy“):
 - erfordert möglichst langlebige Waschmaschinen,
 - erfordert erhöhte Aufmerksamkeit zur Sicherstellung der Waschhygiene.
- Neue Vertriebskonzepte, z. B. Leasing von Waschmaschinen:
 - Hersteller übernehmen Wartung, Reparatur und die kontrollierte Entsorgung bzw. das Recycling,
 - erfordert möglichst langlebige, leicht zu reparierende Waschmaschinen.

1.6

Wäschetrockner

Der elektrische *Wäschetrockner* hat sich in Deutschland in den Haushalten mit größerem Wäscheanfall als unverzichtbares Gerät zur schnellen und vor allem disponierbaren Nachbehandlung der Wäsche heute fest etabliert. So ist im Jahr 2015 im Mittel in 39,5 % aller deutschen Haushalte ein solches Gerät zu finden [23], mit deutlich höheren Anteilen bei Drei- und Mehr-Personenhaushalten. Bei Wäschetrocknern gibt es mehrere Konstruktionsprinzipien, die sich entweder in ihrem Heizungsprinzip, ihrem Funktionsprinzip bezüglich der Behandlung der feuchten Luft oder ihrer Steuerung unterscheiden.

Bei den Bauarten hat sich der *Trommeltrockner* durchgesetzt, in dem die Wäsche während des Trocknungsvorganges in einer Trommel bewegt wird. Das System der *Schrantrockner*, in dem die Wäscheteile auf Bügel oder Trockenstäbe gehängt oder auf Einlegeböden gelegt werden, hat nur einen geringen Marktanteil. Trockenschränke arbeiten überwiegend nach dem Prinzip der Ablufttrockner mit eingebautem Gebläse, entweder mit kalter oder vorerwärmter Luft.

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. Kondensationstrockner mit Wärmepumpe verwenden einen Teil der Abwärme wieder für den Trocknungsvorgang. Sie arbeiten nach folgendem Prinzip: Die beim Kondensieren der Feuchtigkeit aus der mit Wasserdampf gesättigten Prozessluft frei werdende Wärmemenge wird der entfeuchteten Luft vor Eintritt in die Wäschetrommel teilweise wieder zugeführt, sodass die zuströmende Luft dabei vorgewärmt wird. Das Trockenprinzip ist vergleichbar mit dem Kühlzirkulationskompressor mit einer warmen und einer kalten Seite. Wärmepumpentrockner kommen dadurch mit deutlich weniger Energie aus im Vergleich zu den klassischen elektrisch beheizten Wäschetrocknern, dafür liegen die Anschaffungskosten häufig höher.



Abb. 1.32 Funktionaler Aufbau von Wäschetrocknern (Quelle: Miele & Cie. KG).

Als Alternative zur elektrischen Beheizung gibt es gasbeheizte Ablufttrockner. Allerdings sind solche Modelle in Deutschland kaum verbreitet. Ganz besonders sparsam im Verbrauch sind Wäschetrockner, wenn sie in Verbindung mit Sonnenkollektoren (Solarthermie) betrieben werden. Der Wäschetrockner wird dabei an die solarbetriebene Heizungsanlage angeschlossen, aus der er seine Wärme bezieht [45]. Seit 2013 sind diese Geräte erhältlich, allerdings ist die Installation des Gerätes sehr aufwendig und rechnet sich in der Regel nur für Neubauten und bei Haussanierungen.

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. 1.32). Die zur Kondensation notwendige Kühlung 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.

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 die gewünschte Trockenstufe möglichst gezielt erreicht wird. Dies kann zum einen dadurch geschehen, 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 Zeitverlän-

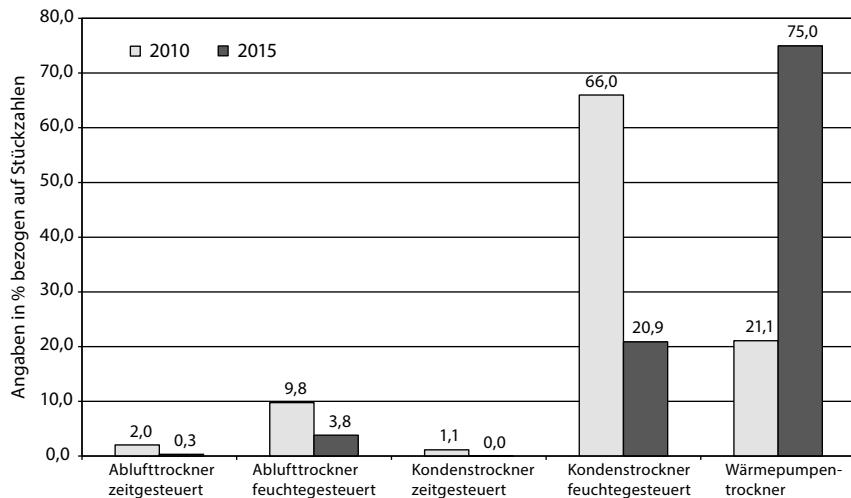


Abb. 1.33 Marktanteile Wäschetrockner (Quelle: Gesellschaft für Konsumforschung GfK).

gerung einstellen. Dieses Problem wird bei Wäschetrocknern mit *Feuchtigkeitssteuerung* umgangen, denn hier messen Sensoren im Gerät die Feuchtigkeit der Wäsche und lassen den Trockenprozess solange laufen, bis die gewünschte Endfeuchte erreicht wird. Die feuchtigkeitsabhängige Steuerung hat sich aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, der fasergerechten Trocknungsart und der einfachen Bedienung durchgesetzt. Zeitgesteuerte Geräte spielen praktisch keine Rolle mehr (siehe Abb. 1.33).

Seit 2012 werden Wäschetrockner mit einer *Beduftungsmöglichkeit* angeboten [46]. Die Parfümmischung befindet sich in einem Flakon, der in eine spezielle Halterung im Türfilter des Wäschetrockners eingesetzt wird. Während des Trockenvorganges strömt die Heizluft am Flakon vorbei. Somit wird der Duft während des Trockenvorgangs kontinuierlich und gleichmäßig in den Textilien verteilt. Die Intensität des Duftes kann individuell durch Drehen am Flakon eingestellt werden. Schließt man den Flakon ganz, lässt sich ein Trockenvorgang auch ohne Duft durchführen [47]. Der Duft wird normalerweise über das Waschmittel oder den Weichspüler zugegeben. Dabei besteht das Problem, dass der Duft die Produktion der Wasch- und Waschlhilfsmittel, die Lagerung und den Transport und dann den Waschprozess, den Spülprozess und den Trockenprozess mit Temperatur, Chemie und Verdünnung überstehen muss, um auf der trockenen Wäsche im Kleiderschrank noch den gewünschten Dufteinindruck zu gewährleisten. Gibt man den Duftstoff in den Luftkreislauf des Trockners, so reicht eine wesentlich geringere Duftmenge und es lassen sich völlig andere Duftstoffe einsetzen. Beachtet werden muss dabei, dass die Duftnoten des vorher benutzten Waschmittels und die des Trockners miteinander harmonieren. Wer Weichspülmittel überwiegend wegen ihres Duftes einsetzt kann durch diese Technologie darauf verzichten.

Ähnlich wie bei Waschmaschinen gibt es seit 1996 auch eine europaweit einheitliche Deklaration der Effizienz von Wäschetrocknern nach dem EU-Energielabel, bei dem der Energieverbrauch (bzw. Energieeffizienz), die Trocknerart und ggf. die Geräuschentwicklung dem Verbraucher in seiner Entscheidung helfen. Ab dem 01.01.2011 ist bei Wäschetrocknern eine Neufassung des EU-Energielabels in Kraft getreten. Seit 2012 gilt die neue EU-Verordnung 392/2012 für alle Haushaltswäschetrockner. Diese Verordnung berücksichtigt die Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG [48] und wurde am 3. Oktober 2012 im Amtsblatt der europäischen Union veröffentlicht. Sie legt Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von elektrisch- bzw. gasbeheizten Haushaltswäschetrocknern fest. Damit wurde nun auch ein Label für gasbeheizte Trockner eingeführt. Es gibt nun drei verschiedene Energielabel für Trockner: Abluft, Kondens-/Wärmepumpe und gasbeheizt. Die effizientesten Wärmepumpentrockner werden der neuen Klasse A+++ zugeordnet, Gastrockner erreichen Klasse A+, die besten konventionellen Kondensationstrockner erreichen nur B.

Wäschetrockner haben ein Fassungsvermögen von 5 bis 8 kg Trockenwäsche. Besonders effizient arbeiten Wäschetrockner bei voller Beladung. Bei Teilbeladungen ist der Energieverbrauch pro kg Wäsche entsprechend höher. Der Bedarf an elektrischer Energie liegt bei Abluft- und Kondensationstrocknern in einer vergleichbaren Größenordnung von ca. 500 bis 550 kWh pro Jahr (Normbedingungen), je nach Energieeffizienzklasse. Wärmepumpentrockner kommen mit weniger als der Hälfte an Energie aus, im Mittel 220 kWh pro Jahr [49].

Wärmepumpentrockner werden immer sparsamer, indem die Antriebe für die Trommel, den Kompressor und das Gebläse als deutlich sparsamere elektronisch gesteuerte Motoren ausgeführt und deutlich längere Laufzeiten zugelassen werden. Auch die Wärmepumpenkreisläufe werden immer weiter an die Anforderungen eines Trockners angepasst. Wärmepumpentrockner sind nach den solarbetriebenen Wäschetrocknern im Sinne der Nachhaltigkeit die effizientesten und ressourcenschonendsten Wäschetrockner. Der Marktanteil der Wärmepumpentrockner ist in den letzten Jahren stark angestiegen, von 21 % im Jahr 2010 auf 75 % im Jahr 2015, bezogen auf die verkauften Stückzahlen. Sie bilden damit seit einigen Jahren das wichtigste Marktsegment bei Wäschetrocknern. Das hat mehrere Gründe: Es sind sehr energiesparende Geräte und die Anschaffungskosten sind so weit gesunken, dass Wärmepumpentrockner bei Berücksichtigung der laufenden Betriebskosten auch wirtschaftlich günstiger sind als andere Kondensationstrocknertypen [49]. Die Marktbedeutung der Ablufttrockner ist in den letzten Jahren weiter gesunken. Sie haben im Jahr 2015 nur noch einen Marktanteil von ca. 4 % (Abb. 1.33).

Die Nutzungsdauer (Erstnutzung) von Wäschetrocknern liegt bei durchschnittlich zwölf Jahren [36].

Allgemein gilt bei Wäschetrocknern die Devise, dass auf eine gute Vorentwässerung der Wäsche zu achten ist, denn je weniger Wasser verdampft werden muss, umso weniger Energie wird dafür verbraucht, unabhängig woher die Energie im Einzelfall kommt. Eine hohe Schleudererdrehzahl der Waschmaschine (mindestens 1400 U/min) 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 [50].

1.7

Waschtrockner

Ein Waschtrockner ist ein Kombigerät. Es vereint die Funktionen des Waschens und Trocknens der Wäsche. Ein Waschtrockner kann somit als Waschvollautomat mit einem zusätzlichen Trockensystem bezeichnet werden. Rein äußerlich ähnelt der Waschtrockner einer Waschmaschine und hat auch vergleichbare Abmessungen. Es gibt Waschtrockner als Front- und als Toplader. Waschtrockner gibt es seit 1976 auf dem deutschen Markt.

Beide Funktionen eines Waschtrockners, das Waschen und das Trocknen, können unabhängig voneinander oder als Kombiprogramm gewählt werden. Das Trockenprinzip des Waschtrockners unterscheidet sich von dem des Wäschetrockners. Der überwiegende Teil der Waschtrockner (ca. 90 % der Geräte) arbeitet mit einer Wasserkühlung. Die erwärmte Trockenluft wird dabei an einer wassergekühlten Fläche vorbeigeführt, an der der Wasserdampf auskondensiert und als Wasser abfließt. Zum Trocknen benötigen diese Geräte zusätzlich ca. 25 L Kühlwasser. Seit 2014 gibt es Waschtrockner in Deutschland, die nach dem Prinzip des Wärmepumpentrockners energiesparender als herkömmliche Waschtrockner arbeiten.

Der große Vorteil eines Waschtrockners ist der geringe Platzbedarf im Vergleich zu einer Waschmaschine mit separatem Wäschetrockner. Die kombinierte Wasch-/Trockenfunktion ist zudem sehr bequem und zeitsparend und besonders vorteilhaft für kleinere Haushalte mit wenig Stellflächen.

Bezüglich der Waschleistung sind Waschtrockner mit Waschvollautomaten vergleichbar. Sie waschen nicht schlechter. Auch die Trockenleistung entspricht einem durchschnittlichen Wäschetrockner. Die Verbrauchswerte von Waschtrocknern sind allerdings ungünstiger als die der jeweiligen Einzelgeräte (Waschmaschine und Kondensations- bzw. Wärmepumpentrockner). Ältere Waschtrockner haben häufig noch deutlich höhere Verbrauchswerte gegenüber den Einzelgeräten. Besonders energiesparend sind Wärmepumpenwaschtrockner [49].

Das Fassungsvermögen üblicher Waschtrockner beträgt im Mittel 6 bis 8 kg trockene Wäsche. Es gibt auch Geräte mit 5,5 bis 9 kg Fassungsvermögen. Bei einem Waschtrockner entspricht die Menge der Kleidung, die getrocknet werden kann, nicht jener, die für den Waschvorgang maximal möglich ist. Wenn 6 kg Wäsche gewaschen werden, beträgt die Trocknerkapazität 3 bis maximal 4 kg. Nach dem

Waschen muss also zunächst ein Teil der Wäsche entnommen werden, die verbleibende Menge kann dann getrocknet werden.

Neuere Waschtrockner ermöglichen das kontinuierliche Waschen und Trocknen einer reduzierten Waschladung in einer einzigen Aktion. Die Wasch- und Trocknungsfunktionen werden dabei ohne Unterbrechung hintereinander ausgeführt. Je nach Größe der Maschine können ohne Unterbrechung bis zu 6 kg Wäsche gewaschen und getrocknet werden.

Waschtrockner haben 2013 in Westeuropa einen Marktanteil von ca. 5 % bezogen auf alle Haushaltswaschmaschinen (persönliche Mitteilung Miele AG, 05/2015).

Das Energielabel für Waschtrockner ist eine Kombination der Label für Waschmaschinen und Wäschetrockner [51]. Es befindet sich seit 2015 in der Überarbeitung.

Literatur

- 1 Metzger-Groom, S. (2002) The importance of soil in laundry process. 49. SEPAWA Kongress, Conference Proceedings, S. 134 ff.
- 2 Hauthal, H.G. (2006) Organische Polymere in Wasch- und Reinigungsmitteln. *SOFWJ*, 132 (10), 2–22.
- 3 Statistisches Bundesamt: https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Wasserwirtschaft/Tabellen/Wasserabgabe_2013.html (aufgerufen 06.01.2016).
- 4 Umweltbundesamt: Daten zur Umwelt, Berlin 2015.
https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/Broschuere_UBA_Daten_Zur_Umwelt.pdf?__blob=publicationFile (aufgerufen 01.06.2016).
- 5 Jakobi, G. und Löhr, A. (1987) *Detergents and Textile Washing*, VCH Verlagsellschaft, Weinheim.
- 6 Fonds der Chemischen Industrie: Folienserie „Textilchemie“, Frankfurt 2007 <https://www.vci.de/fonds/schulpartnerschaft/unterrichtsmaterialien/textilchemie.jsp?fsID=30793>.
- 7 Industrievereinigung Chemiefaser e. V./www.ivc-ev.de (aufgerufen 07.01.2016).
- 8 <http://www.stofflexikon.com/search.php>.
- 9 Mecheels, S., Vogler, H. und Kurz, J. (2009) *Kultur- & Industriegeschichte der Textilien*, Verlag Wachter, Bönnigheim.
- 10 <http://www.ginetex.net/ginetex/country-members/> (aufgerufen 07.01.2016).
- 11 Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel e. V. (IKW) (2015) Der IKW-Waschratgeber. Frankfurt <http://www.ikw.org/haushaltspflege/themen/alle/der-ikw-waschratgeber/> (aufgerufen 07.01.2016).
- 12 Schambil, F., Buchmeier, W., Glüssken, B., Bohnen, J. und Hloch, H.G. (2008) Werden Waschmittel vom Markt verschwinden? 55. SEPAWA Kongress und 4. European Detergents Conference, Würzburg.
- 13 http://www.ispo.com/produkte/id_76176678/kleider-fuer-die-zukunft.html (aufgerufen 08.01.2016).
- 14 Bündnis für nachhaltige Textilien. <https://www.textilbuendnis.com/> (aufgerufen 18.01.2016).
- 15 http://universal_lexikon.deacademic.com/309237/Textilien%3A_Recycling_und_Entsorgung (aufgerufen 08.01.2016).
- 16 Bohmert, F. (1988) *Hauptsache sauber? – Vom Waschen und Reinigen im Wandel der Zeit*, Stürtz, Henkel KGaA, Düsseldorf.
- 17 (2008) Die große Chronik-Weltgeschichte von den Anfängen bis zur Gegenwart. Bd. 11: Absolutismus, Auf-

- klärung und Revolution, Wissen Media Verlag GmbH, Gütersloh, München, S. 120.
- 18 Schäffern, J.C. (1766) *Die bequeme und höchstvorteilhafte Waschmaschine*, Regensburg.
- 19 Roloff, E. (2010) *Göttliche Geistesblitze – Pfarrer und Priester als Erfinder und Entdecker*, Verlag Wiley VCH, Weinheim.
- 20 <http://www.webcitation.org/69n3ow8FT?url=http://web.archive.org/web/20090301131450/http://www.allbiographies.com/biography-AlvaJohnFisher-11836.html> (aufgerufen 14.12.2015).
- 21 Harder, H. und Löhr, A. (1981) Der Wandel der Waschverfahren im Haushalt seit 1945. *Tenside Deterg.*, **18** (5), 246–252.
- 22 Henkel & Cie GmbH (Hrsg.) (1976) *Waschmittelchemie*, Dr. Alfred Hüthig, Heidelberg.
- 23 Statistisches Bundesamt: https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/AusstattungGebrauchsguetern/Tabellen/Haushaltsgeraete_D.html (aufgerufen 28.09.2016).
- 24 Pakula, C. und Stamminger, R. (2010) Electricity and water consumption for laundry washing by washing machine worldwide. *Energ. Eff.*, **3** (4), 365–382.
- 25 Herden, R.: Anschluss von Waschmaschine und Geschirrspüler an Warmwasser – wann kann man damit sparen? Forum Waschen, Multiplikatorenseminar 2009. www.forum-waschen.de.
- 26 Herden, R. (2015) PowerWash: Das neue Waschen – der Sinnerische Kreis explodiert. Konferenzbericht. *SOFWJ.*, **141** (10), 34.
- 27 Janczak, F., Stamminger, R., Nickel, D. und Speckmann, H.-D. (2010) Energy savings by low temperature washing. *SOFWJ.*, **136** (4), 75–80.
- 28 Tschulena, G. und Lahrmann, A. (Hrsg.) (2003) *Sensors in Household Appliances*. Verlag Wiley VCH, Weinheim.
- 29 Stiftung Warentest. Zeitschrift Test, verschiedene Beiträge zum Thema Waschmaschinen. Test Waschmaschinen: Hef-te 11/2016; 11/2015; 11/2014; 11/2013; 01/2013; 10/2011.
- 30 Verordnung (EU) Nr. 1015/2010 der Kommission vom 10.11.2010 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltswaschmaschinen. Amtsblatt der Europäischen Union L 293/21.
- 31 Stiftung Warentest: Zeitschrift Test, Heft 11/2015.
- 32 Stamminger, R. und Schmitz, A. (2016) Washing machines in Europe – detailed assessment of consumption and performance. *Tenside Surfactants Deterg.*, **53** (1), 70–86.
- 33 <http://forum-waschen.de/files/content/pdf-waschen-abwaschen-reinigen/Richtige-Beladung-einer-Waschmaschine.pdf> (aufgerufen 29.10.2015).
- 34 Stamminger, R. (2012) Energie-Label Entwicklungen: gestern – heute – morgen. in *Haushaltstechnik – Berichte aus Forschung und Praxis*, Bd. 19/20, (Hrsg. S. Bichler, S. Gorny), Dokumentation der Jahrestagungen 2011 und 2012, Shaker, Aachen.
- 35 http://susproc.jrc.ec.europa.eu/Washing_machines_and_washer_dryers/index.html (aufgerufen 10.04.2016).
- 36 Umweltbundesamt (Hrsg.) Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“. Prakash, S., Dehoust, G., Gsell, M. und Schleicher, T. (Öko-Institut e. V. Freiburg) in Kooperation mit Prof. Dr. Rainer Stamminger Universität Bonn, Institut für Landtechnik. Texte 10/2015 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/---publikationen/texte_10_2015_einfluss_der_nutzungsdauer_von_produkten_auf_ihre_umwelt_obsoleszenz.pdf.
- 37 Stiftung Warentest. Pressemitteilung 08/2013: <https://www.test.de/Geplante-Obsoleszenz-Gerade-gekauft-und-schon-wieder-hin-4596260-0/> (aufgerufen 28.09.2016).

- 38 Rüdenauer, I., Gensch, C.-O. und Quack, D. (2005) Eco-efficiency analysis of washing machines – Life cycle assessment and determination of optimal life span, Öko-Institut e. V., Freiburg.
- 39 Schmitz, A., Alborzi, F. und Stammlinger, R. (2016) Large washing machines are not used efficiently in Europe. *Tenside Surfactants Deterg.*, **53** (3), 227–234.
- 40 Süddeutsche Zeitung: Die Waschmaschine der Zukunft – Plastik statt Wasser. 17.05.2010. <http://www.sueddeutsche.de/wissen/die-waschmaschine-der-zukunft-plastik-statt-wasser-1.175870> (aufgerufen 19.07.2015).
- 41 Bild der Wissenschaft: Wundersame Waschkraft – Ultraschallwaschmaschine. Ausgabe: 12/2007, S. 110. http://bild-der-Wissenschaft.de/bdw/bdwlive/heftarchiv/index2.php?object_id=31239506 (aufgerufen 19.07.2015).
- 42 Die Welt: Die Waschmaschine der Zukunft wäscht ohne Wasser, 17.08.2013. <http://www.welt.de/wissenschaft/article119094038/Die-Waschmaschine-der-Zukunft-waescht-ohne-Wasser.html> (aufgerufen 19.07.2015).
- 43 Schambil, F., Buchmeier, W., Glüsen, B., Bohnen, J., Hloch, H.G. und Ophüls, A. (2009) Will detergents disappear? An evaluation of alternative wash technologies. *SOFWJ.*, **135** (6), 47–52.
- 44 Abeliotis, K., Amberg, C., Candan, C., Ferri, A., Osset, M., Owens, J. und Stamminger, R. (2015) Trends in laundry by 2030. *Househ. Personal Care Today*, **10** (5), 22–28.
- 45 <http://www.miele.de/haushalt/solartrockner-1683.htm> (aufgerufen 08.08.2015).
- 46 Henning, K. (2013) Veranstaltungsbericht, 46th International Detergency Conference, Wäschetrockner mit Beduftungseinrichtung. *SOFWJ.*, **7**, 72.
- 47 Verfahren zur Abgabe eines Duftstoffes während des Trocknungsprozesses in einem Wäschetrockner. Patent Nr. DE102009006233A1, 05.08.2010 (Deutschland), Nr. EP 2 546 405 A2, 16.01.2013 (Europa).
- 48 Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates v. 21.10.2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte.
- 49 Verbraucherzentrale Bundesverband e. V. (2016) Besonders sparsame Haushaltsgeräte 2015/16, Berlin, Januar 2016.
- 50 Vergleich der Umweltauswirkungen und Kosten verschiedener Wäschetrocknungssysteme. Studie des Öko-Instituts, Freiburg 2008.
- 51 EU-Richtlinie zur Energieverbrauchskennzeichnung von Wäschetrocknern (96/60/EG vom 19. September 1996).

