

Deutsche Gesellschaft für Hauswirtschaft  
- Herausgeberin -



Deutsche Gesellschaft  
für Hauswirtschaft e.V.

# LEBENSMITTELVERARBEITUNG IM HAUSHALT - TEIL VI (2021)





## LEBENSMITTELVERARBEITUNG IM HAUSHALT - TEIL VI

## INHALT

9	REINIGEN	5
9.1	MANUELLES GESCHIRRSPÜLEN	5
9.2	MASCHINELLES GESCHIRRSPÜLEN	10
9.3	VERFAHRENSVERGLEICH UND EMPFEHLUNGEN	23
9.4	OBERFLÄCHENREINIGUNG IN DER KÜCHE	26
10	SPEZIELLE PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE GRÖßEN	31
10.1	ENERGIE, LEISTUNG	31
10.2	WÄRMEMENGE, WÄRMETRANSPORT	38
10.3	PHASENÜBERGÄNGE, LUFTFEUCHTIGKEIT	43
10.4	DRUCK, VISKOSITÄT	47
10.5	STOFFMENGE, KONZENTRATION, WASSERHÄRTE	50
10.6	STOFFKENNWERTE	52

## URHEBERRECHTLICHE HINWEISE UND BILDNACHWEISE

Die vorliegenden Texte, Abbildungen und Tabellen entstammen der aid-Publikation „Lebensmittelverarbeitung im Haushalt“ (3953), 2. Auflage (2016). Die redaktionelle Bearbeitung der Texte und die konzeptionelle Federführung hatten seinerzeit Prof. i.R. Dr. *WOLFHART LICHTENBERG* (HAW Hamburg) und Dipl.oec.troph. *UTE GOMM* (heute: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung), in Zusammenarbeit mit dem Fachausschuss Haushaltstechnik der Deutschen Gesellschaft für Hauswirtschaft e.V. (dgh) und den Autorinnen und Autoren der jeweiligen Kapitel.

Mit der Online-Publikation (2021) soll dieses in der Druckversion vergriffene Fachbuch für die Öffentlichkeit erhalten bleiben. Die Endredaktion hat lediglich das Kap. 9.2 (Maschinelles Geschirrspülen) vor dem Hintergrund des neuen EU-Energie-labels 2017 sowie die Kap. 10.1 (Energie, Leistung) und 10.2 (Wärmemenge, Wärmetransport) im Hinblick auf die Entwicklungen in der deutschen Energiewirtschaft und der Gesetzgebung aktualisiert. Zudem sind thermodynamische Fachbegriffe in den Kapiteln revidiert und vereinheitlicht worden.

Herausgeberin (2021) ist die Deutsche Gesellschaft für Hauswirtschaft e. V. (dgh), auf Basis des Vertrags vom 01. Dezember 2020 zur Einräumung von Nutzungsrechten durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). Die Urheberrechte aller Texte, Abbildungen und Tabellen liegen bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) [©BLE, 53179 Bonn], sofern nichts anderes angegeben ist.

Titelbild: Eak K. auf <https://pixabay.com/de/>

ENDREDAKTION UND INTERNET-LAYOUT: PROF. I.R. DR.-ING. *ELMAR SCHLICH*

Die vorliegende pdf-Datei ist für beidseitigen Druck auf Vor- und Rückseite DIN A4 formatiert. Daher beginnen die Hauptkapitel jeweils auf einer ungeraden Seite.

### Zitation

Andreä J, Lichtenberg W, Stamminger R (2021): Lebensmittelverarbeitung im Haushalt - Teil VI. Deutsche Gesellschaft für Hauswirtschaft e.V. (Hrsg.). Hauswirtschaft und Wissenschaft 69 (2021), ISSN online 2626-0913.  
doi: 10.23782/HUW\_18\_2021

### Impressum

Deutsche Gesellschaft für Hauswirtschaft e.V.  
Hafenstraße 9  
48432 Rheine  
Tel.: +49 (0) 5971 8007398  
Mail: [dgh@dghev.de](mailto:dgh@dghev.de)

## 9 REINIGEN

Im Zusammenhang mit der Lebensmittelverarbeitung im Haushalt spielt die Reinigung von Oberflächen allgemein und speziell von Geschirr sowie von Arbeitsmitteln eine wichtige Rolle. Dieses Kapitel behandelt die dafür verfügbaren Verfahren, Geräte und Betriebsstoffe.

### 9.1 MANUELLES GESCHIRRSPÜLEN

*RAINER STAMMINGER*

Nach jeder Mahlzeit und häufig auch noch zwischendurch müssen das Essgeschirr und die für die Zubereitung verwendeten Teile so gereinigt werden, dass sie unbedenklich für eine folgende Mahlzeit oder weitere Arbeiten in der Küche einsetzbar sind. Dazu ist zumindest eine optisch einwandfreie Reinigung notwendig. An den Geschirrtteilen, die mit pathogenen (krankmachenden) Mikroorganismen in Kontakt gekommen sein könnten, ist zudem eine ausreichende Keimentfernung zu fordern. Letztlich sollen auch möglichst wenige Spülmittelrückstände auf dem Geschirr verbleiben, da sie bei der nächsten Mahlzeit mit den Speisen aufgenommen werden können. Der dazu erforderliche gründliche Reinigungsprozess muss zusätzlich zur notwendigen Sauberkeit auch den übergeordneten ökologischen und ökonomischen Zielsetzungen entgegen kommen, d. h. er soll einen möglichst geringen Einsatz von Ressourcen (Wasser, Energie, chemischen Hilfsmitteln) erfordern und ergonomische Aspekte berücksichtigen.

Die folgenden Ausführungen gelten ebenso wie für das manuelle Geschirrspülen auch für die maschinelle Geschirreinigung. Die täglich im Haushalt anfallende Geschirrmenge ist durch die Anzahl der beköstigten Personen, die Haushaltsstruktur, Art und Umfang der zu Hause eingenommenen Mahlzeiten sowie die Haushaltsführung bestimmt. Nach Angaben aus dem Jahr 1998 fallen je Person und Tag (ohne das Geschirr für die Mahlzeitenzubereitung) rechnerisch im Mittel 25 Geschirrtteile an, wie Tab. 9.1 im Detail zu entnehmen ist.

Tab. 9.1: Anzahl der Geschirrtteile pro Person und Tag

Mahlzeit	Geschirr- und Besteckteile
Frühstück	6
Warme Mahlzeit mit Vor- oder Nachspeise	8
Kalte Mahlzeit und Getränk	5
Zwischenmahlzeit (Obst, kaltes Getränk o. ä.)	1
Zwischenmahlzeit (warmes Getränk plus z. B. Kuchen)	5
Summe	25

## EINFLUSSFAKTOREN

Außer zur Entfernung grober Lebensmittelreste (Vorabräumen), die in den Abfall entsorgt werden sollten, wird die Reinigung des Geschirrs im Haushalt als Waschprozess durchgeführt. Dies erfordert den Einsatz von Wasser, das vielerlei Funktionen übernimmt – als Lösungsmedium für die eingesetzten chemischen Stoffe, als Transportmedium für den Schmutz und als Trägermedium für die Energie (mechanische Energie und Wärme). Die chemischen Hilfsmittel dienen dazu, die Essensreste vom Geschirr zu lösen (alkalischer Reiniger mit Tensiden) und sie im Wasser in Schwebelage zu halten. Um hartnäckige Anschmutzungen zu zersetzen, werden teilweise auch Bleichmittel benötigt. Wegen der besseren Fettlösung und der schnelleren Reaktionsabläufe wird das Geschirrspülen meist bei erhöhter Temperatur durchgeführt. Dennoch brauchen die Reaktionen eine gewisse Zeit, die deshalb bei der Reinigung eine wichtige Rolle spielt. Wesentlich ist nicht zuletzt, mit wie viel mechanischer Energie hartnäckig anhaftende Essensreste vom Geschirr entfernt werden.

Die vier Faktoren Chemie, Temperatur, Mechanik und Zeit tragen gemeinsam zum Reinigungsergebnis bei. Die drei ersten repräsentieren die entsprechenden Energieformen, also chemische Energie, Wärmeenergie und mechanische Energie. Die Zeit steht für deren Einwirkungsdauer. Zur Verdeutlichung werden sie oft im „Sinnerschen Kreis“ dargestellt (siehe Abb. 9.1).

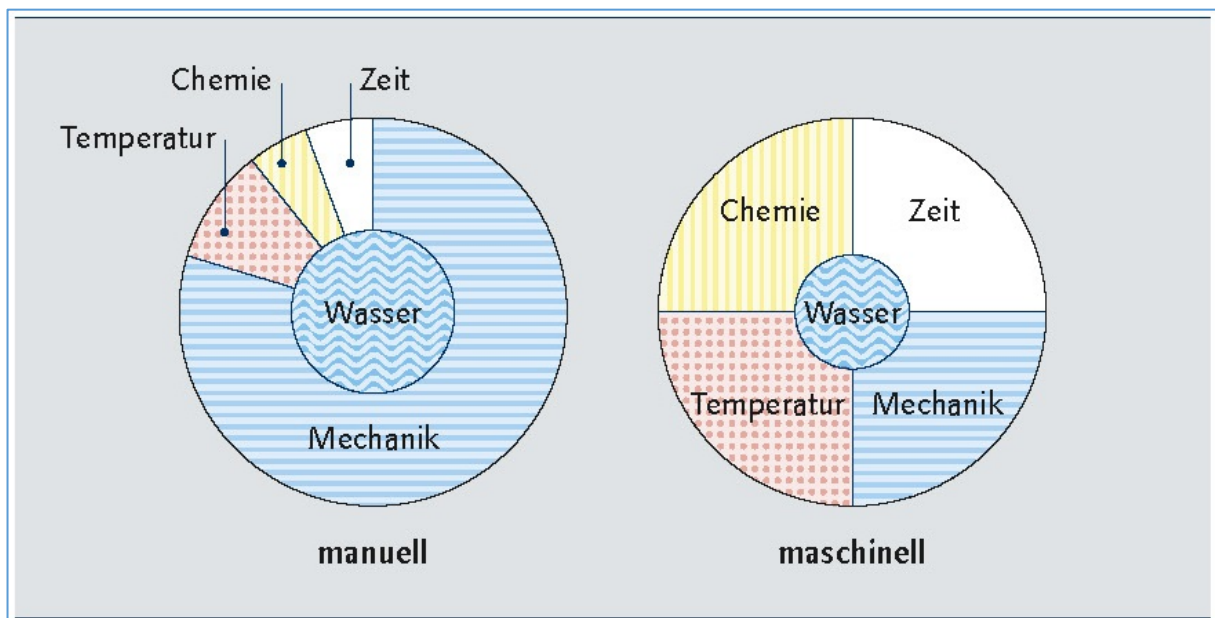


Abb. 9.1: Sinnerscher Kreis zum qualitativen Vergleich des manuellen und maschinellen Spülens

In Abb. 9.1 ist die typische Aufteilung der Reinigungsfaktoren bei der Geschirrcleaning dargestellt. Das manuelle Spülen (linke Seite) unterscheidet sich wesentlich von dem Bild, das den Reinigungsprozess im Geschirrspüler charakterisiert (rechte Seite).



Während beim manuellen Reinigen die mechanische Bearbeitung bei entsprechendem Zeitaufwand den Hauptanteil einnimmt, ist hierbei der Anteil der Temperatur (mit Rücksicht auf die Verbrühungsgefahr der Hände) und der Chemie (wegen der Hautverträglichkeit) gering. Die eingesetzte Wassermenge (Innenkreis) spielt eine wichtige Rolle zur Abschwemmung der Essensreste, wobei die Aufnahmefähigkeit für Schmutz begrenzt ist. Im Gegensatz zum Handspülen wird das Wasser aber in der Maschine laufend gefiltert und kann so – von der größten Schmutzlast befreit – erneut Essensreste abtragen und aufnehmen. Darüber hinaus unterscheidet sich das maschinelle Geschirrspülen vor allem durch den Einsatz höherer Temperaturen (bis zu 70 °C), eine intensivere Chemie und insbesondere eine längere Spülzeit. Die mechanische Einwirkung auf den Schmutz spielt dagegen eine weitaus kleinere Rolle als beim Handspülen, da über den Wasserstrahl nur relativ geringe Kräfte ausgeübt werden können. Welche Art des Ablösens letztlich zum Erfolg führt, hängt in hohem Maße von der Zusammensetzung und Vorgeschichte des Schmutzes selbst ab.

Beim Geschirrspülen wird zwischen wasserlöslichen, in Wasser emulgierbaren, chemisch zu zersetzenden und chemisch emulgierbaren Substanzen unterschieden (siehe Tab. 9.2).

Tab. 9.2: Schmutzarten beim Geschirrspülen

Schmutzart	Entfernbarkeit	Beispiele
Wasserlösliche Substanzen	Durch Abspülen mit Wasser allein gut zu lösen und zu entfernen	Zucker, Salz, Fruchtsäuren, viele Farbstoffe, frisches Hühner-eiweiß
Wasseremulgierbare Substanzen	Durch Einwirkung des Reinigers emulgierbar, d. h. im Wasser in einem stabilen Schwebezustand zu halten	Fette, Öle, Lipide (fettähnliche Substanzen), Wachse, Paraffine, Butter, Schmalz, Eigelb
Chemisch zersetzbare Substanzen	Durch Einwirkung des Reinigers aufzuspalten in wasserlösliche oder wasseremulgierbare Substanzen	Gerbstoffe aus Kaffee, Tee etc.; Proteine aus Eiern, Milchprodukten, Fleisch, Fisch; Getreide- oder Kartoffelstärke; Lippenstiftreste
Chemisch nicht zersetzbare, aber emulgierbare Substanzen	Unter den Bedingungen des Spülens nicht chemisch zu verändern, aber durch den Reiniger in einen stabilen Schwebezustand zu bringen	Zellulose aus Gemüse wie Spinat, Grünkohl usw., aus natürlichen Säften (Orangen, Karotten); ferner Asche, Erdpartikel, Staub und Sand

## ARBEITS- UND BETRIEBSMITTEL

Beim manuellen Geschirrspülen ist vor allem menschliche Arbeitskraft gefordert, und daher sind ergonomische Aspekte z. B. bei der Gestaltung der Spüle zu berücksichtigen, die in Einbaulage und Höhe auf die vornehmlich arbeitende Person abgestimmt sein und mindestens eineinhalb Becken umfassen sollte. Wird ausschließlich manuell gespült, sind zwei normalgroße Becken zu empfehlen. Der Wassereinlass muss einerseits die volle Ausnutzung der Spülbeckenflächen, gleichzeitig aber ein gezieltes Richten des Wassers auf einzelne Bereiche der Becken erlauben. Dies ist vorzugsweise durch Armaturen mit flexiblem Auslaufschlauch erreichbar. Neben den Becken sollte beiderseits ein Arbeitsbereich von wenigstens 50 cm Breite und zumindest auf einer Seite eine Abtropffläche verfügbar sein. Empfehlenswert ist ein Abtropfgitter, in dem die gespülten Teile zum Trocknen aufgestellt werden können. Die Spüle selbst ist meist aus Edelstahl gefertigt.

Vor dem eigentlichen Spülen sind zunächst die gröberen Speisereste zu entfernen, ggf. mit Küchenpapier ohne Wassereinsatz. Beim Spülen selbst wird als Hilfsmittel vorzugsweise eine Spülbürste eingesetzt, mit deren Hilfe die Essensreste vom Geschirr entfernt oder abgewaschen werden (Stiellänge etwa 30 cm, Bürste mit Kunststoff- oder Naturborsten). Alternativ bewährt sich auch als Schwammtuch ein dicker, saugfähiger Lappen aus Viskose, der eine große Wassermenge aufnehmen kann (häufig waschen!).

Spülmittel werden prinzipiell nach ihrer Konzentration unterschieden. Während konventionelle, nicht konzentrierte Produkte mit 5 ml pro Becken (ca. 5 Liter Fassungsvermögen) dosiert werden, reichen bei konzentrierten Produkten 2 ml aus. Wesentlicher Bestandteil des Spülmittels sind Tenside, die sowohl zur Benetzung des Spülgutes als auch zum Ablösen und Emulgieren des abgelösten Schmutzes dienen. Zur Ermittlung der Ergiebigkeit von Spülmitteln wird nach IKW-Methode<sup>1</sup> geprüft, wie viele Teller mit einer definierten Menge fetthaltiger Rückstände in einer Spülflotte mit der vom Hersteller vorgegebenen Konzentration gespült werden können, bis der Schaumteppich aufbricht. Dabei zeigen sich große Unterschiede zwischen den einzelnen Produkten.

## SPÜLPROZESS

Tab. 9.3 gibt einen Überblick über Phasen, Zweck und Ausführung beim manuellen Geschirrspülen.

---

<sup>1</sup> IKW Methode 2002: Handgeschirrspülmittel. Empfehlungen zur Qualitätsbewertung (2002). Industrierverband Körperpflege und Waschmittel, Frankfurt (IKW). <https://www.ikw.org/haus-haltungspflege/themen/detail/handgeschirrspuelmittel-empfehlungen-zur-qualitaetsbewertung-2002-206/> (zuletzt abgerufen am 19.07.2021).



Tab. 9.3: Stufen des manuellen Geschirrspülens

Phase	Zweck	Ausführung
Sortieren	Definiert die Reihenfolge des Spülens, hilft die Prozessschritte in einer ergonomischen und effizienten Art abzuarbeiten	Geschirr nach Art und Anschmutzung sortieren (Besteck separat), Abstellbereiche für Schmutzgeschirr und sauberes Geschirr vorbereiten (Orientierung nach Bedarf von links nach rechts oder umgekehrt), Bereitstellen der Spülutensilien wie Bürste oder Spültuch und Spülmittel
Abräumen	Entfernen grober Speisereste, um Schmutzbelastung der Flotte zu reduzieren	Entsorgung (ggf. mit Küchenpapier) in einem Wertstoffbehälter
Einweichen	Aufweichen angetrockneter oder fest haftender Essensreste; Reduktion der Haftkräfte	Einweichen in warmem oder kaltem Wasser mit oder ohne Spülmittel in Spülbecken oder separater Schüssel (Einweichzeit kann stark variieren)
Phase	Zweck	Ausführung
Vorreinigen	Entfernen schwach gebundener bzw. schwach haftender Speisereste	Im mit Wasser gefüllten Spülbecken oder unter laufendem Wasser Speisereste kalt oder warm grob abtragen bzw. abschwemmen
Reinigen	Entfernen auch der restlichen (feineren) Schmutzrückstände	Reinigen der Geschirrtteile mit Bürste oder Spültuch und Spülmittel; das Spülmittel wird entweder in ein mit warmem Wasser gefülltes Becken oder direkt auf die Geschirrtteile oder das Spülutensil gegeben. Das Wasser weicht die Speisereste auf, verringert ihre Haftung und transportiert den gelösten Schmutz ab.
Nachspülen	Entfernung von Spülmittelrückständen (auch Schaum) und von losen Schmutzpartikeln auf dem Spülgut	Im Spülbecken oder unter fließendem Wasser
Abtropfen	Reduktion von Wasserresten auf dem Spülgut	Nahezu vertikale Anordnung in einem Gestell ermöglicht das Abfließen und Abtropfen des Restwassers
Trocknen	Trocknen des Spülguts	Verdunsten lassen oder mit Geschirrtuch abtrocknen

## 9.2 MASCHINELLES GESCHIRRSPÜLEN

*RAINER STAMMINGER*

Wie erwähnt gelten die allgemeinen Ausführungen aus Kap. 9.1 auch für das maschinelle Spülen.

### AUFBAU EINES GESCHIRRSPÜLERS

Augenfälligstes Bauteil von Geschirrspülern ist der Innenbehälter, meist aus Edelstahl, der zur Geräuschkämmung außen mit einer Bitumenfolie beklebt und ggf. mit weiterem Dämmmaterial umgeben ist. Unterbaugeräte besitzen eine vollständige Tür, die ggf. noch mit einer dünnen Dekorplatte an das Küchendesign angepasst werden kann. Im Gegensatz dazu müssen die Türen integrierbarer Geräte mit einer eigenen Küchenfrontplatte ausgestattet werden. Bei vollintegrierbaren Geschirrspülern sind auch noch die Bedien- und die Anzeigeelemente verdeckt (meist an der Oberkante der Tür), damit die Front im Interesse des Küchendesigns völlig verkleidet ist. Mehr als 80 % aller Geschirrspüler sind heute unterbaubar oder in die Küchenzeile integrierbar.

Geschirrspüler werden in den Normmaßen mit einer Breite von 60 oder 45 cm angeboten, ferner als Kompaktmodelle, die sich auf die Küchenarbeitsplatte stellen oder unter einem Oberschrank anbringen lassen. Ergonomischer ist die Unterbringung eines normalen Geschirrspülers in einem Schrank auf einem Sockel von 40 bis 80 cm Höhe.

Die Maschine ist meist mit mehreren Drahtkörben für das Einordnen des Geschirrs ausgestattet, die mit Kunststoff beschichtet sind, außerdem in der Regel mit klappbaren Auflagen aus Kunststoff, die weitere Ablage- und Einstellmöglichkeiten bieten. Unter jedem Geschirrkorb (und meist auch noch an der Decke des Behälters) ist ein rotierender Sprüharm angebracht, aus dem die Spülflüssigkeit auf das Geschirr gesprüht wird. Die Sprüharme werden nach dem Rückstoßprinzip in Drehung versetzt. Die Spülflüssigkeit (Spülflotte) wird von einer Pumpe unter Druck über Rohre und Schläuche zu den Sprüharmen gefördert (siehe Abb. 9.2).

Nachdem die Spülflüssigkeit das Geschirr und den anhaftenden Schmutz benetzt und die Essensreste soweit möglich entfernt hat, tropft sie ab und strömt zurück in den Ansaugbereich der Pumpe. Dabei fließt sie über ein ausgeklügeltes mehrstufiges Filtersystem, in dem der abgelöste Schmutz möglichst weitgehend von der Spülflüssigkeit getrennt wird (siehe Abb. 9.3), so dass sie gefiltert wieder auf das Geschirr gelangen kann, um erneut Schmutz abzulösen.

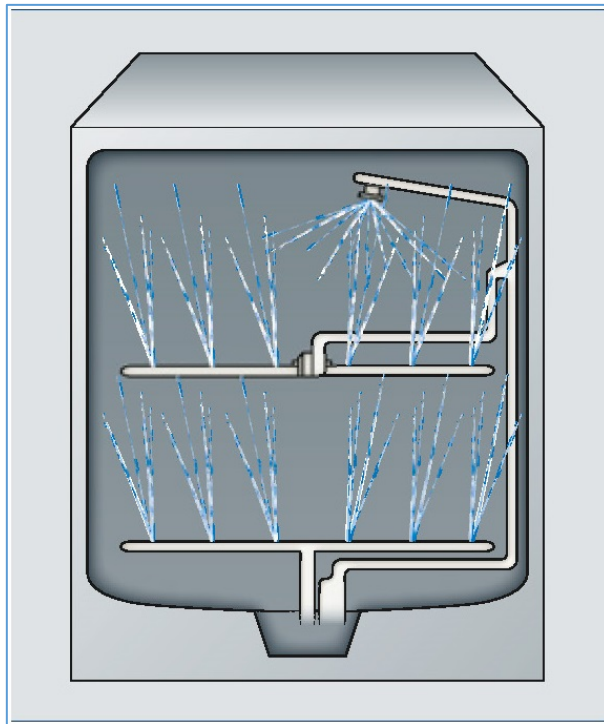


Abb. 9.2: Wasserführung eines Geschirrspülers

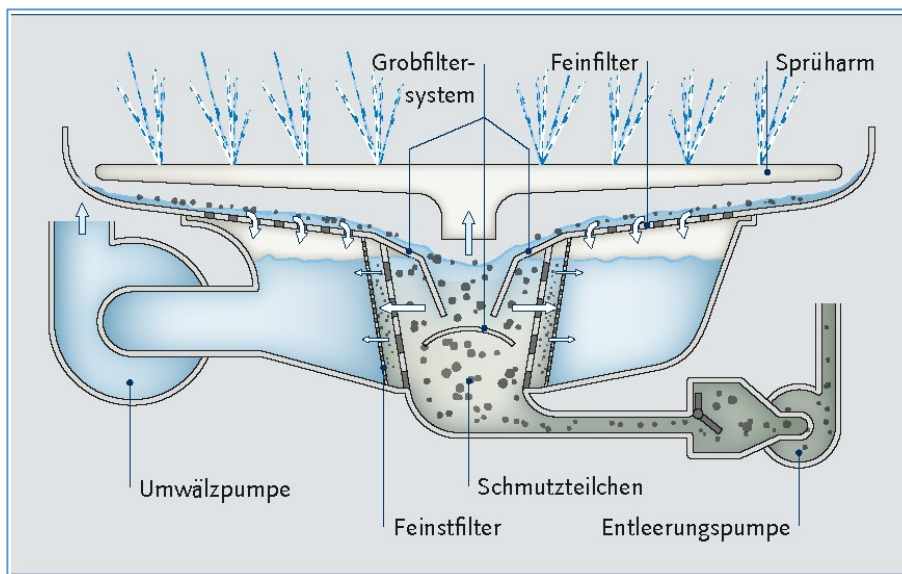


Abb. 9.3: Beispiel für ein Filtersystem im Umwälzbereich des Geschirrspülers

Die gesamte Spülflüssigkeit wird auf diese Art etwa zehnmal pro Minute gereinigt und wieder auf das Geschirr gesprüht. Für ihre Erwärmung auf die Reinigungstemperatur sorgt eine elektrische Heizung, die entweder im Bodenbereich des Behälters oder aber als Durchlaufheizung im Rohrsystem hinter der Pumpe angeordnet ist. Zur automatischen Zugabe des Reinigers dient eine Vorrichtung in der Tür des Geschirrspülers. Der Reiniger ist vor jedem Programmstart einzufüllen. Die Tür enthält außerdem eine Dosiervorrichtung für die selbsttätige Zugabe des Klarspülers in der Klarspülphase (aus einem Vorratsbehälter für viele Spülgänge).

Das im Geschirrspüler verwendete Wasser muss frei von sogenannten Härtebildnern sein, d. h. vor allem von Calcium- und Magnesium-Ionen, die den Reinigungsprozess stören und zur Ausfällung von wasserunlöslichem Kesselstein führen. Die Enthärtung erfolgt durch einen in die Maschine eingebauten Ionenaustauscher, der die Calcium- und Magnesium-Ionen bindet und durch Natrium-Ionen ersetzt (siehe Kap. 10.5). Die Natrium-Ionen beeinträchtigen den Reinigungsprozess nicht. Ist die Kapazität des Enthärters erschöpft, wird er durch Spülen mit konzentrierter Kochsalzlösung aus einem Vorratsbehälter in der Maschine automatisch regeneriert. Die Spüllösung wird durch die Entleerungspumpe des Geschirrspülers abgepumpt. In den Salzlösungs-Vorratsbehälter muss regelmäßig sogenanntes Regeneriersalz eingefüllt werden (Kochsalz mit Zusätzen, die es für den Verzehr ungeeignet machen).

#### BETRIEBSMITTEL

Das verwendete Maschinengeschirrspülmittel muss eine Reihe von Anforderungen erfüllen. Es enthält außer Tensiden insbesondere Bestandteile, die zur Komplexbildung der Calcium- und Magnesium-Ionen aus den Speiseresten, zum Emulgieren oder Dispergieren der Speisereste, zur Vermeidung von Wiederanlagerung am Geschirr sowie zu ihrem enzymatischen oder oxidativen Abbau dienen. Darüber hinaus enthalten Geschirrrreiniger auch Pflegekomponenten, die eine Schonung von Gläsern oder Silberbestecken bewirken.

Seit einigen Jahren werden sogenannte multifunktionale Produkte immer beliebter (mit Bezeichnungen wie „2 in 1“ oder „3 in 1“ usw.), die neben dem Reinigen auch die Funktionen des Klarspülens oder des Enthärtens übernehmen. Ein Ersatz der separaten Zugabe von Klarspülmittel wird bei diesen Produkten z. B. dadurch erreicht, dass die „Verschleppung“ von Tensiden aus dem Reinigungsgang gefördert wird, so dass sie ihre Wirkung auch noch im Klarspülgang entfalten können, oder die Klarspülkomponenten sind so verkapselt, dass sie zwar im Reinigungsgang mit zugegeben werden können, aber erst im Klarspülgang – aufgrund dessen höherer Temperatur – freigesetzt werden (z. B. durch Einbindung in Wachs).

Ein Ersatz des Regeneriersalzes kann durch eine erhöhte Menge an Komplexbildungsstoffen im Reiniger selbst erreicht werden, weil damit die Calcium- und Magnesium-Ionen aus dem zulaufenden Wasser gebunden werden. Dies funktioniert allerdings nur bis zu mittleren Wasserhärten – bei hartem Wasser ist weiterhin Regeneriersalz in der Enthärtungseinrichtung des Geschirrspülers erforderlich (siehe Tab. 9.4).



Tab. 9.4: Maschinelle Geschirreiniger – Inhaltsstoffe eines phosphathaltigen Reinigers

Inhaltsstoffe	Anteil in %	Aufgabe
Polyphosphate	> 30	Ent härten des Wassers
Phosphonate	< 5	Dispergieren und Emulgieren des Schmutzes
Polycarboxylate	< 5	Verhindern von Ablagerungen
Soda	30	Gewährleistung der Alkalität
Silikat	5	Aufquellen hartnäckiger Anschmutzungen, Abtrennung des Schmutzes durch Abstoßreaktion
Perborat und TAED <sup>2)</sup>	5 bis 15	Bleichmittel zur oxidativen Zersetzung des Schmutzes
Protease und Amylase	3 bis 6	Enzyme zur enzymatischen Zersetzung von proteinhaltigem (Protease) und stärkehaltigem (Amylase) Schmutz
Schaumarme Tenside	2	Reduktion der Oberflächenspannung, Ablösen und Emulgieren fetthaltiger Verschmutzungen
Paraffine	0 bis 2	„Schaumbremse“
Silberschutz	< 0,5	Korrosionsinhibitor
Duftstoffe	< 0,5	Erzielen einer angenehmen Duftnote

<sup>1)</sup> pH-Wert in einprozentiger Lösung 9 bis 11: Gefährlichkeitsstufe: Reizend  
<sup>2)</sup> Tetraacetylenylendiamin = Bleichmittelaktivator

Wie bereits erwähnt, wird zur Unterstützung des Trocknungseffekts ein Klarspüler eingesetzt, wodurch der auf dem Geschirr verbliebene Wasserfilm minimiert und die rückstandsfreie Verdunstung gefördert wird. Der Klarspüler besteht im Wesentlichen aus nichtionischen Tensiden und einer schwachen Säure (siehe Tab. 9.5 und 9.6).

Tab. 9.5: Inhaltsstoffe flüssiger Klarspüler (Teil 1)

Inhaltsstoffe	Wirkungsweise
Nichtionische Tenside	<ul style="list-style-type: none"> <li>• setzen die Oberflächenspannung herab</li> <li>• sorgen für gleichmäßigen Ablauf der Klarspülerlösung vom Spülgut</li> <li>• reduzieren die Trocknungszeit</li> </ul>
Organische Säuren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• binden die Resthärte des Wassers</li> <li>• verhindern mineralische Ablagerungen</li> <li>• neutralisieren Alkalireste aus der Reinigungsphase (Laugenverschleppung)</li> </ul>
Lösungsvermittler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verhindern Entmischung der Inhaltsstoffe und halten sie in Lösung</li> <li>• sorgen für Stabilität</li> </ul>

Tab. 9.6: Inhaltsstoffe flüssiger Klarspüler (Teil 2)

Inhaltsstoffe	Wirkungsweise
Konservierungsstoffe	• schützen vor Verkeimung
Duft-Hilfsstoffe	• vermitteln einen angenehmen Duft

Weitere Produkte zur Unterstützung der Funktion der Geschirrspüler sind Maschinenreiniger, Duftspender und Reinigungsverstärker (sogenannte „Booster“). Da Geschirrspüler in immer mehr Haushalten eingesetzt werden, wächst auch der Markt für die zugehörigen chemischen Erzeugnisse stetig.

Ungeeignet für die Reinigung im Geschirrspüler sind wegen der auftretenden Korrosion Gusseisen sowie Chromstahl mit einem Chromgehalt von weniger als 12 % (z. B. für Messerklingen verwendet), außerdem nicht eloxiertes Aluminium. Bei Gläsern können u. U. Trübungen auftreten (sogenannte Glaskorrosion). Keramik mit Aufglasurdekor ist ebenfalls ungeeignet für Geschirrspüler. Generell können neben der Werkstoffwahl auch Aufdrucke und Verzierungen die Eignung für die maschinelle Reinigung einschränken. Artikel aus Polystyrol sollten nicht in die Geschirrspüler, und auch Plexiglas kann bei ungeeignetem Reiniger Schaden nehmen. Gegenstände aus Holz (auch Messer mit Holzgriff) gehören ebenfalls nicht in die Geschirrspüler. Die Eignung von Geschirr und Arbeitsmitteln der Küche für Geschirrspüler sollte ein wichtiges Kriterium beim Einkauf sein.

## SPÜLPROZESS

Der Spülprozess setzt sich aus den folgenden Phasen zusammen:

- Vorspülen (kann bei geringer Verschmutzung entfallen): Über die Enthärtungsanlage fließen 3 bis 5 l Wasser in den Geschirrbehälter und werden von der Umwälzpumpe kontinuierlich auf das Geschirr gesprüht. Dabei wird insbesondere grober und nur leicht haftender Schmutz abgetragen und im Filtersystem abgetrennt. Nach einigen Minuten wird das mit Schmutz beladene Wasser abgepumpt.
- Hauptreinigung: Der Geschirrspüler nimmt frisches Wasser auf, das kontinuierlich zu den Sprüharmen gepumpt und dabei durch das Heizelement (Heizleistung ca. 2 kW) je nach gewähltem Programm auf 40 bis 70 °C erwärmt wird. Zu Beginn dieser Phase wird automatisch der beim Beladen der Maschine eingefüllte Reiniger zugegeben. Nach Erreichen der Solltemperatur wird der Spülprozess noch einige Zeit fortgesetzt, wobei sich die Spülflotte allmählich abkühlt, wenn sie nicht (abhängig vom Programm) durch einen Heizschritt nochmals auf die Solltemperatur gebracht wird. Über die heiße Spülflotte werden auch Geschirr und anhaftender Schmutz auf die Solltemperatur erwärmt.



- Zwischenspülen: Nach Abschluss der Hauptreinigung wird die Spülflotte mit dem abgelösten Schmutz abgepumpt und durch frisches Wasser ersetzt. Dadurch werden verbliebene Schmutzreste und vor allem die Rückstände des Spülmittels vom Geschirr abgespült. Diese Programmphase endet wieder mit Abpumpen.
- Klarspülen: Erneut wird Wasser zugeführt und aufgeheizt. Bei Erreichen einer Temperatur von ca. 40 °C wird automatisch der Klarspüler zudosiert, bevor weiter auf die Klarspültemperatur von ca. 60 bis 70 °C erwärmt wird. Auch das Geschirr erreicht diese Temperatur und speichert Wärme, die nach Beenden des Klarspülgangs und Abpumpen des Wassers genutzt wird, um noch am Geschirr haftende Flüssigkeitsreste zu verdunsten. Die im Klarspüler enthaltenen Tenside setzen die Oberflächenspannung des Wassers so weit herab, dass nur ein dünner Wasserfilm auf dem Geschirr verbleibt.
- Trocknen: Die Spülraumwände kühlen durch Wärmeabgabe an die Umgebung schneller ab als das Geschirr. Infolge der Temperaturdifferenz zwischen den heißen Geschirrtteilen und dem kälteren Gehäuse verdunstet die Feuchtigkeit von den Geschirrtteilen und kondensiert an den Spülraumwänden. Ein Ventilator kann die Trocknung unterstützen.

Seit einiger Zeit sind auch Geschirrspüler auf dem Markt, die einen Siebbehälter mit Adsorberkügelchen (z. B. Zeolith®) enthalten. Bei diesen Geräten wird die wasserdampfhaltige Luft im Spülraum während der Trocknungsphase mittels eines kleinen Ventilators durch den Adsorber geblasen, wobei der Wasserdampf adsorbiert wird und den Adsorber sowie die umgewälzte Luft erwärmt. Deshalb ist für das Trocknen kaum noch Energie von außen zuzuführen. Der Adsorber muss allerdings beim folgenden Spülgang durch Energiezufuhr zunächst ausgeheizt (regeneriert) werden, wobei die Feuchtigkeit wieder entweicht. Insgesamt lassen sich aber bis zu 20 % der Prozessenergie einsparen, und die Geschirrtrocknung erfolgt wirkungsvoller.

Bei dem beschriebenen Prozess wird das Wasser viermal ausgetauscht und in zwei Fällen aufgeheizt. Durch Veränderung dieses Ablaufs (insbesondere der Anzahl der Wasserwechsel und der erreichten Temperaturen) ergeben sich spezielle Programmprofile mit unterschiedlichen Reinigungs- und Trocknungsleistungen. Bei „Kurzprogrammen“ wird auf das Vorspülen verzichtet und der Reinigungsgang verkürzt, „Schon- und Sparprogramme“ laufen meist bei niedrigerer Temperatur ab, „Intensivprogramme“ dagegen bei höherer Temperatur und mit zusätzlichen Wasserwechseln. Wasser- und Energiebedarf wie auch die Laufzeit hängen stark vom gewählten Programm ab.

## SPÜLPROBLEME UND IHRE URSACHEN

Im komplexen Zusammenwirken der Reinigerkomponenten mit den aktuellen Bedingungen des Geschirrspülers, des Wassers, des Geschirrs und des Schmutzes kann trotz dafür geeigneten Materials ein unbefriedigendes Reinigungs- oder Trocknungsergebnis resultieren. Ursachen für mangelhafte Reinigung können eine Blockierung des Sprüharmes, die Wahl eines Spülprogramms mit zu niedriger Temperatur, der Einsatz eines ungeeigneten Reinigers oder falsche Dosierung sein. Die Verschleppung von Schmutz auf andere Geschirrteile ist oft auf verstopfte oder nicht korrekt eingesetzte Siebe zurückzuführen.

Andere Spülfehler lassen sich weniger leicht diagnostizieren wie etwa Trocknungsdefizite, die durch Klarspülmittelmangel / Fehldosierung / zu niedrige Klarspültemperatur / falsches Einstellen der Geschirrteile (Wasser läuft nicht ab) verursacht sein können.

Die folgenden Abbildungen 9.4 bis 9.6 zeigen die professionelle Vorgehensweise bei der Diagnose von Spülfehlern bei Gläsern, Porzellan und Metallen.

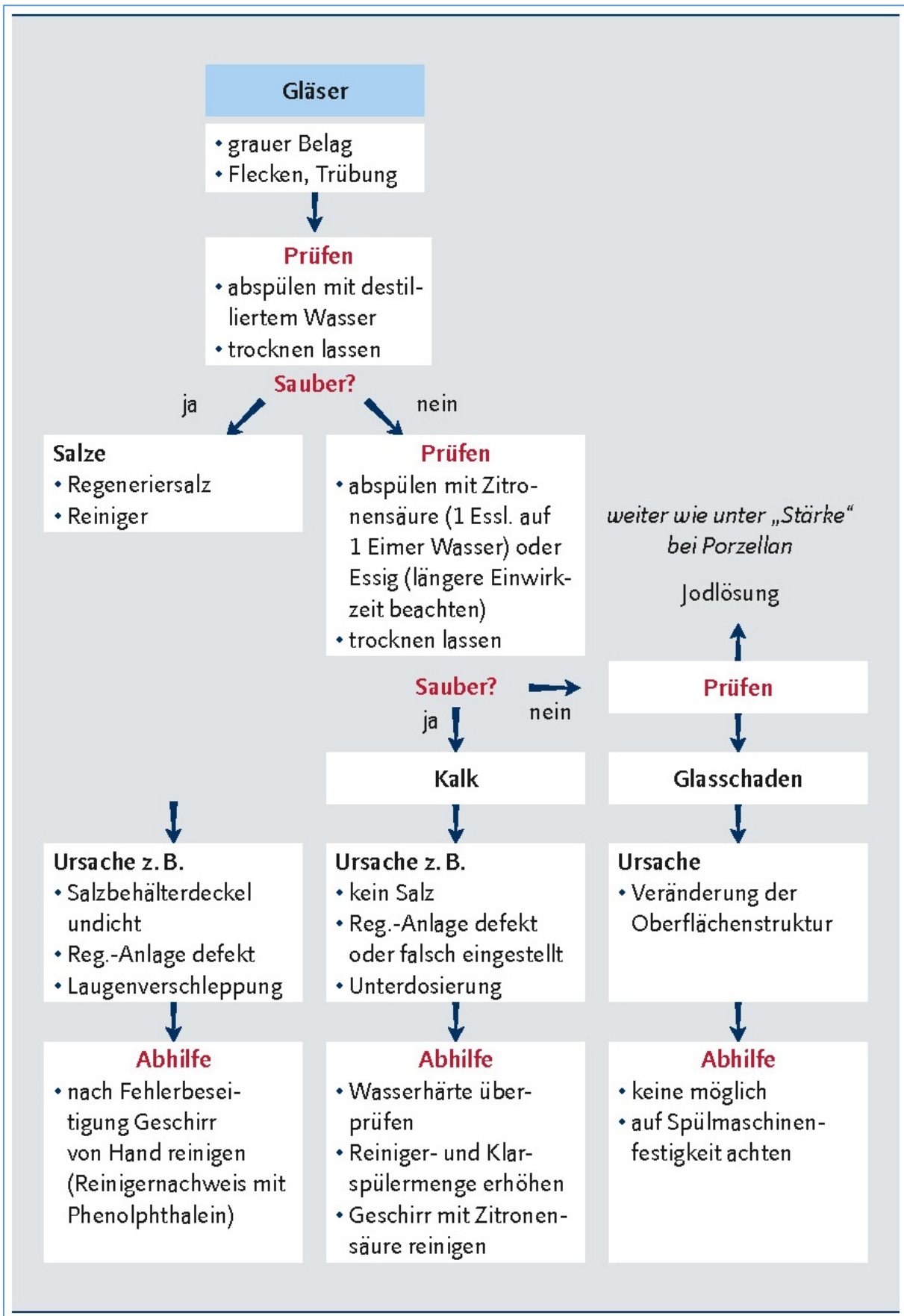


Abb. 9.4: Spülfehlerdiagnose bei Gläsern

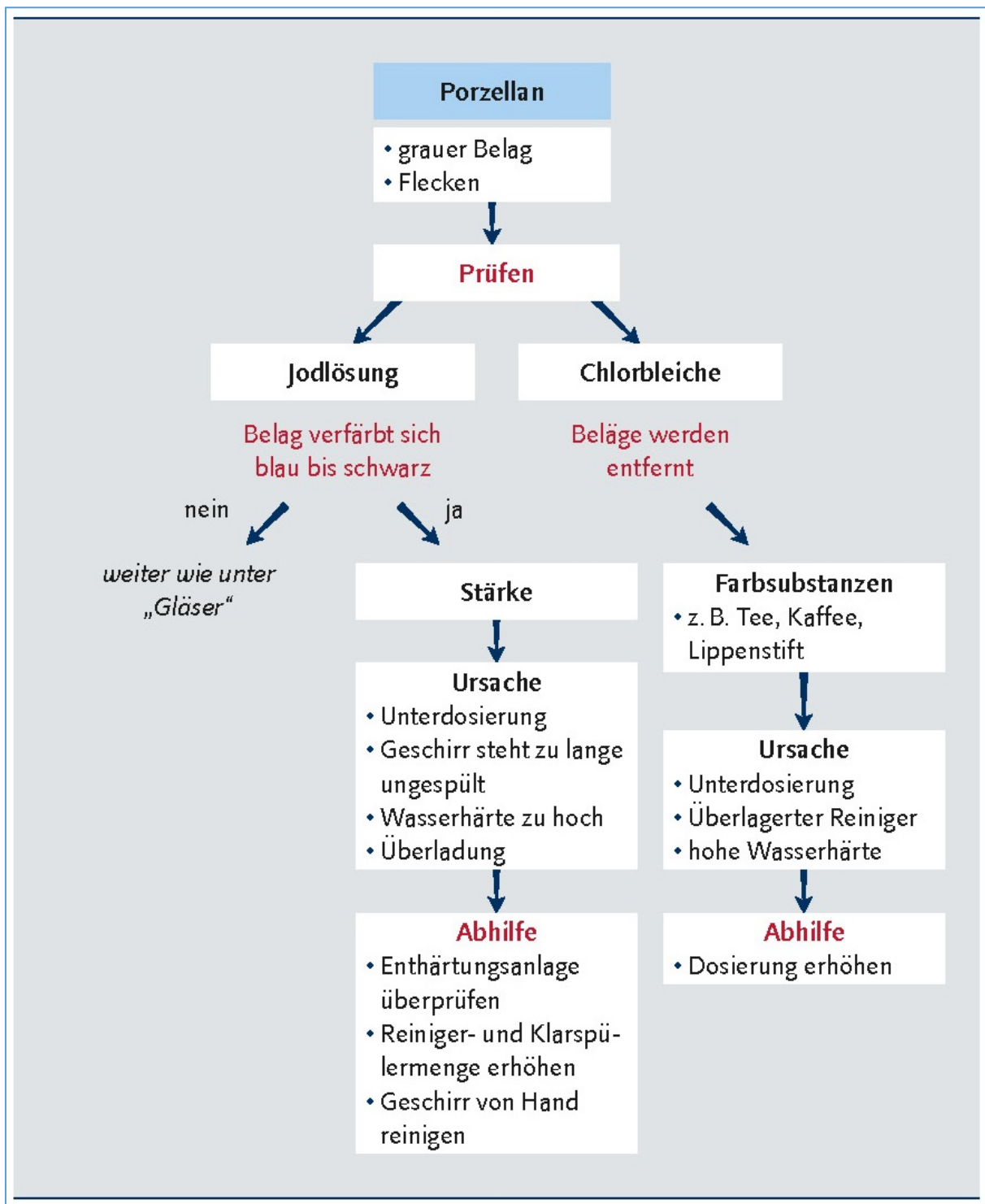


Abb. 9.5: Spülfehlerdiagnose bei Porzellan

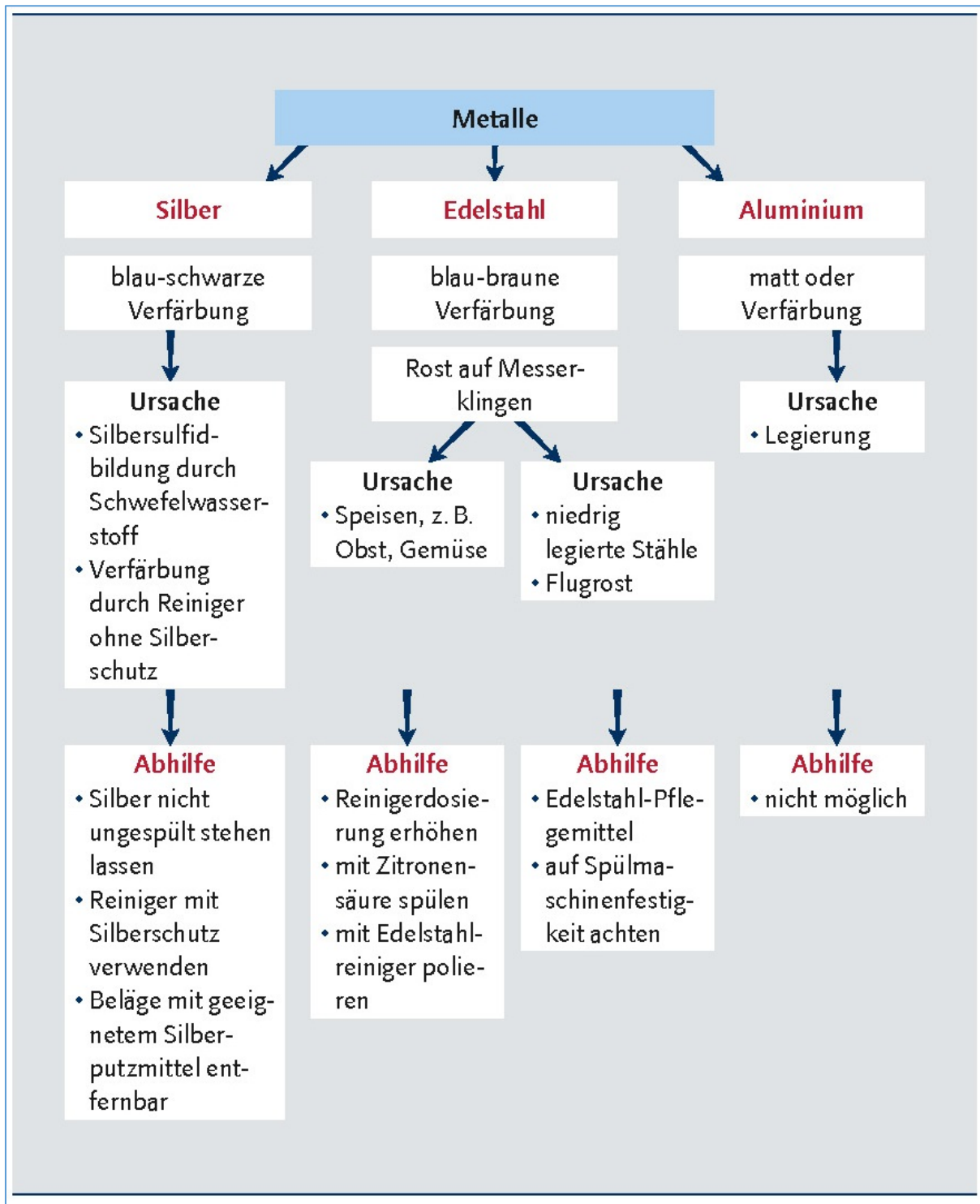


Abb. 9.6: Spülfehlerdiagnose bei Metallen

## ENTWICKLUNGSTENDENZEN

Geschirrspüler erfreuen sich großer Beliebtheit; die Marktsättigung hat kontinuierlich zugenommen (siehe Abb. 9.7).

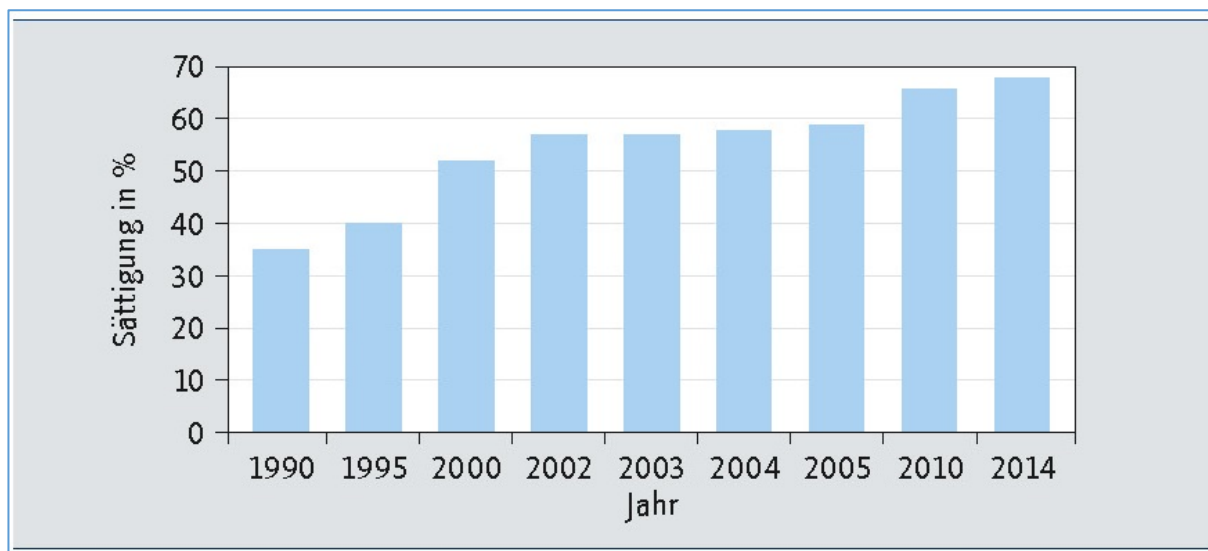


Abb. 9.7: Marktsättigung bei Geschirrspülern 1990 - 2014

Für den Betrieb werden Wasser und Elektroenergie benötigt – zur Reduktion der Umweltbelastung sind aber im Lauf der Entwicklung nachhaltige Verbesserungen realisiert worden. Der Wasserverbrauch pro Spülgang ist bei einem mit 12 Maßgedecken beladenen Geschirrspüler von 1970 bis 2015 um 87 % (siehe Abb. 9.8) und der Energieverbrauch um 67 % gesunken (siehe Abb. 9.9). Leistungsfähige Geschirrspüler verbrauchen aktuell nur noch 6 l Wasser und weniger als 0,7 kWh an elektrischer Energie im genau definierten „Eco“-Programm.

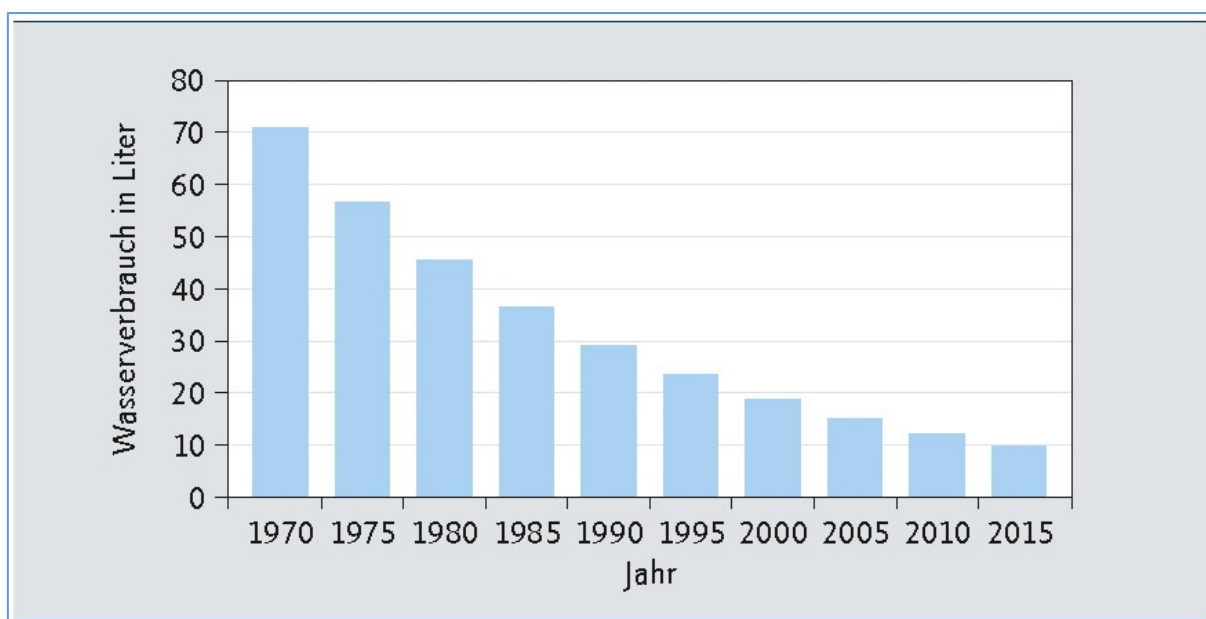


Abb. 9.8: Wasserverbrauch eines Geschirrspülers der Baujahre 1970 bis 2015 für 12 Maßgedecke



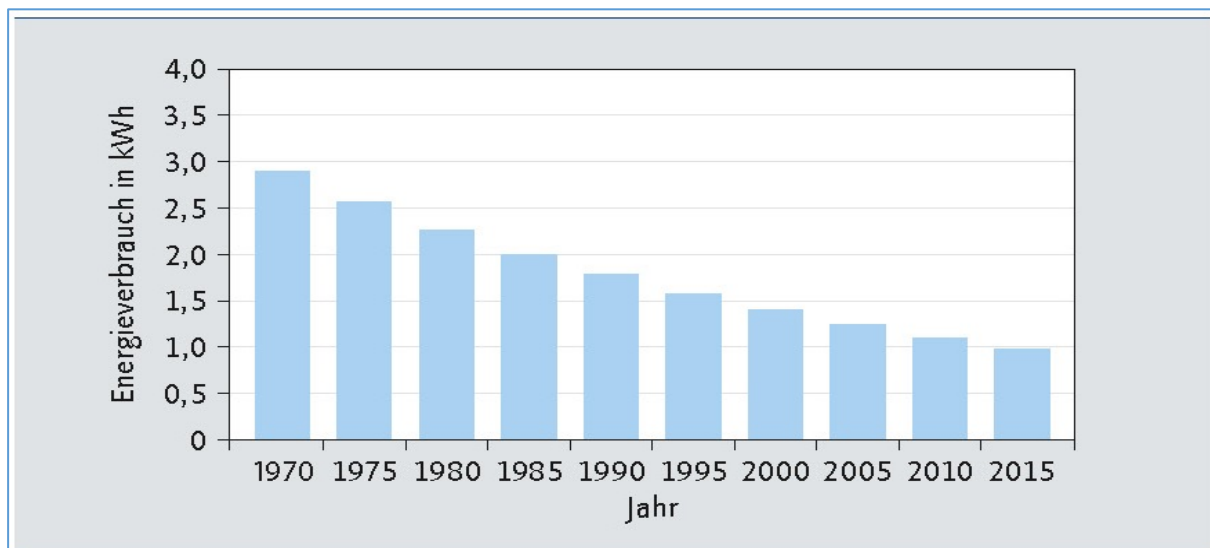


Abb. 9.9: Verbrauch an Elektroenergie eines Geschirrspülers der Baujahre 1970 bis 2015 für 12 Maßgedecke

Treibende Kraft dieser Effizienzsteigerung ist seit den 1990er Jahren das EU-Energieverbrauchs-Kennzeichnungsetikett (EEK), mit dem alle zum Verkauf angebotenen Geschirrspüler gekennzeichnet sein müssen. Hierzu werden Geschirrspüler nach DIN EN 60436<sup>2</sup> bezüglich der Verbrauchsdaten und der erzielten Reinigungs- und Trocknungsergebnisse untersucht. Mit Hilfe einer anschaulichen Skala erhält der Verbraucher eine umfassende Information in komprimierter Form. Neugeräte in Verkaufs- und Ausstellungsräumen müssen nach der gültigen europäischen Richtlinie etikettiert werden, um den Kunden einen Vergleich zu ermöglichen.

Nach mehreren Modifikationen der EEK-Richtlinie haben das Europäische Parlament und der Rat am 04. Juli 2017 die aktuell gültige Energieverbrauchs-Kennzeichnungs-Verordnung (EnKVO 2017<sup>3</sup>) erlassen, die am 01. März 2021 in Kraft getreten ist. Geschirrspüler unterliegen zusätzlich der Delegierten Verordnung (EU) 2019/2017<sup>4</sup>. Zudem enthält die EU VO 2019/2021<sup>5</sup> zu erfüllende Mindestanforderungen an die Reinigungs- und Trocknungswirkung von ECO-Programmen sowie Anforderungen an die Reparierbarkeit, Ersatzteilbeschaffung und -bevorratung für 7 oder 10 Jahre nach Ende der Produktion der Geräteserie.

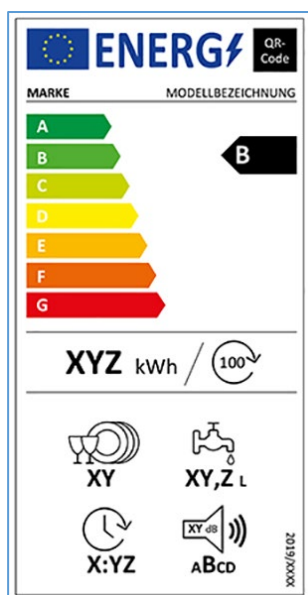
<sup>2</sup> DIN EN 60436:2021-04 (VDE 0705-436:2021-04) Elektrische Geschirrspüler für den Hausgebrauch - Messverfahren für Gebrauchseigenschaften (IEC 60436:2015, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60436:2020 + AC:2020.

<sup>3</sup> EnKVO 2017: Verordnung (EU) 2017/1369 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2017 zur Festlegung eines Rahmens für die Energieverbrauchskennzeichnung und zur Aufhebung der Richtlinie 2010/30/EU.

<sup>4</sup> (EU) 2019/2017: Delegierte Verordnung (EU) 2019/2017 der Kommission vom 11. März 2019 zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2017/1369 des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf die Energieverbrauchskennzeichnung von Haushaltsgeschirrspülern und zur Aufhebung der Delegierten Verordnung (EU) Nr. 1059/2010 der Kommission.

<sup>5</sup> (EU) 2019/2022 der Kommission vom 1. Oktober 2019 zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an Haushaltsgeschirrspüler gemäß der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1275/2008 der Kommission und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 1016/2010 der Kommission.

In Abb. 9.10 ist das seit 01. März 2021 vorgeschriebene europäische Energieverbrauchskennzeichnungsetikett (EU-Energielabel) für Geschirrspüler dargestellt. Das Energielabel 2021 für Geschirrspüler gibt neben der farblichen Visualisierung der Klassen A bis G folgende Informationen:



- Elektroenergieverbrauch in kWh für 100 Betriebszyklen,
- maximale Beladung in Maßgedecken,
- Wasserverbrauch eines Betriebszyklus in Liter,
- Programmdauer im Eco-Programm in Stunden und Minuten (h:min) sowie
- Geräusentwicklung in dB(A) und Luftschallemissionsklasse von A bis D.

Abb. 9.10: EU-Label für Geschirrspüler (EU-Kommission 2017)

Wie schon in Teil II, Kap. 3.2 (2021) dargelegt, werden die Geräte nach dem Verbrauch an Betriebsenergie in Energieeffizienzklassen eingeteilt. Die EnKVO 2017 schreibt die Einteilung in die Energieeffizienzklassen A bis G vor. Die früheren Klassen A+, A++ und A+++ sind entfallen. Die Energieeffizienzklassen gemäß EnKVO 2017 entsprechen inhaltlich nicht den bisherigen, obwohl nominell gleichlautend.

Zu beachten ist jedoch, dass sich alle Verbrauchsangaben des EEK auf ein Eco-Programm beziehen, das der Hersteller als das effizienteste Programm zur Reinigung normal verschmutzten Geschirrs angibt. Die Angaben werden unter Laborbedingungen ermittelt – der tatsächliche Verbrauch hängt aber auch von den jeweiligen Nutzungsbedingungen ab (z. B. Beladung, Kaltwassertemperatur). Die Eco-Programme sind „Stromspar“-Programme, die meist bei niedriger Temperatur arbeiten und deshalb eine lange Laufzeit benötigen, damit trotzdem eine gute Reinigungsleistung erreicht wird (siehe Abb. 9.1 – Sinnerscher Kreis).

Ein weiterer Bestandteil des Energielabels ist der QR-Code, der mit einem Smartphone gescannt werden kann, um über die EPREL-Datenbank<sup>6</sup> zusätzliche Produktinformationen zu erhalten. Diese Daten geben die Hersteller derzeit in die öffentlich einsehbare Datenbank ein. Zudem können von privatwirtschaftlichen Unternehmen und Nichtregierungsorganisationen weitere Apps zur Unterstützung der Kaufentscheidungen entwickelt werden, zum Beispiel zur Berechnung der Amortisationszeit oder zum Produktvergleich.

<sup>6</sup> EPREL: Europäische Produktdatenbank für Energielabel [https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/product-database\\_de](https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/product-database_de) (abgerufen am 05.08.2021).

### 9.3 VERFAHRENSVERGLEICH UND EMPFEHLUNGEN

*RAINER STAMMINGER*

#### UMWELTAUSWIRKUNGEN

Die Methode des Geschirrspülens hat großen Einfluss auf die damit verbundenen Umweltauswirkungen. In Tab. 9.7 sind durchschnittliche Verbrauchswerte, der Zeitbedarf und die erzielten Reinigungsergebnisse beim manuellen und maschinellen Spülen von 12 Maßgedecken (für Deutschland) dargestellt. Der Reinigungsindex (beste Punktzahl 5) wird beim maschinellen Spülen wie beim Handspülen visuell nach DIN EN 50242 ermittelt.

Tab. 9.7: Durchschnittswerte beim Spülen von 12 Maßgedecken

Verfahren	Wasser	Energie	Spülmittel (Reiniger)	Reinigungsindex	Zeitbedarf		
					Arbeitszeit		Programmdauer
					min	Anmerkung	
	l	kWh	g	Punktzahl <sup>1)</sup>			
Von Hand	46	1,3	21	3,2	76	spülen	
Maschinell, Programm:							
• Normal	15	1,0	(30)	3,3	15	be- und entladen	100
• Intensiv	22	2,0	(30)	4,3	15	be- und entladen	150

Ein Life Cycle Assessment (entsprechend einer Ökobilanz) im Auftrag der EU bestätigt, dass ca. 90 % und mehr der ökologischen Belastung durch einen Geschirrspüler (vor allem infolge des Wasser- und Energiebedarfs) während der Benutzung entstehen, außerdem gelangen Reiniger, Klarspüler und Regeneriersalz letztlich ins Abwasser und müssen abgebaut werden. Im Vergleich zum Handspülen werden beim maschinellen Spülen von 12 Maßgedecken etwa 1,25 h Arbeitszeit eingespart – bei fünf Spülgängen pro Woche sind das im Jahr rund 40 Arbeitstage à 8 Stunden, die als Freizeit oder für andere Aktivitäten besser genutzt werden können.

#### KOSTENASPEKT

Ein Vergleich des manuellen mit dem maschinellen Spülen muss neben den Kosten für den Wasserverbrauch, die (elektrische) Erwärmung des Wassers und die benötigte sonstige elektrische Energie auch die Kosten für die verwendeten Betriebsstoffe berücksichtigen (Handspülmittel und Spülutensilien bzw. Reiniger, Klarspüler und Regeneriersalz).

Basierend u. a. auf Zahlen der Stiftung Warentest zeigt der historische Vergleich, dass Geschirrspülen per Hand in der Vergangenheit einmal ökonomischer war als maschinelles Spülen (siehe Abb. 9.11). Infolge der stark gestiegenen Kosten für Wasser und Strom einerseits und der Verbrauchsdaten-Reduktion bei Geschirrspülern andererseits ist die Relation aber seit Mitte der 1980er Jahre umgekehrt: Heute ist das maschinelle Spülen in der Regel kostengünstiger als das Spülen von Hand.

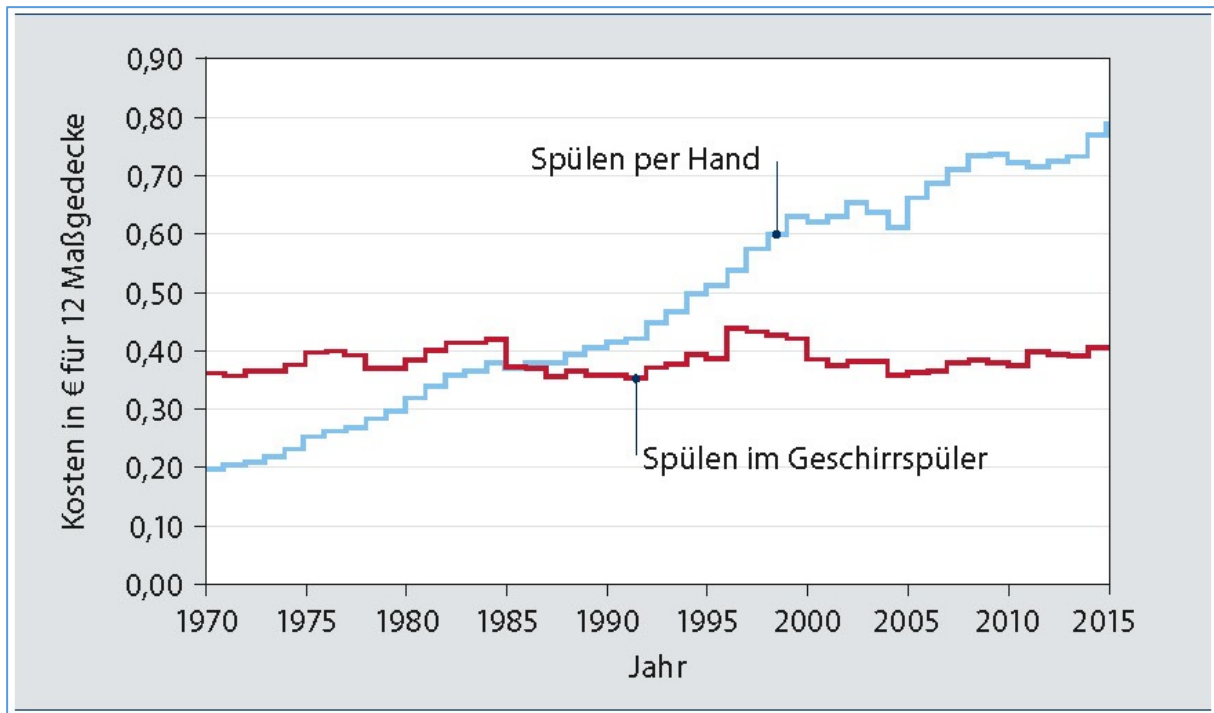


Abb. 9.11: Vergleich der Betriebskosten von Hand- und Maschinenspülen 1970 - 2015

Dies bleibt gültig, wenn die Anschaffungskosten des Geschirrspülers (Kapitalzins und Abschreibung) einbezogen werden, denn auch das manuelle Spülen benötigt Hilfsmittel wie Spültuch, Bürste, Schwammtuch, Handschuhe und Trockentücher. Außerdem ist der Aufwand für das regelmäßige Waschen dieser Utensilien zu beachten. Ein Vergleich der investitionsbedingten Kosten ergibt in etwa denselben Betrag für beide Arten des Geschirrspülens. Durch die Einführung der kostenlosen Rücknahmepflicht für Altgeräte fallen bei der Entsorgung des Geschirrspülers keine zusätzlichen Kosten für den Verbraucher an (und aufgrund der Verpflichtung zur Wiederverwertung weniger Umweltbelastungen).

Den Vergleichen (siehe Tab. 9.7 und Abb. 9.11) liegen das „übliche“ Verbraucherverhalten beim Handspülen und der normgerechte Einsatz eines durchschnittlichen Geschirrspülers zugrunde. Beides ist durchaus nicht immer gegeben, und daher kann der Vergleich im Einzelfall sehr viel anders ausfallen. Meist wird auch der Besitzer eines Geschirrspülers nicht gänzlich auf das Spülen einzelner Geschirrteile von Hand verzichten. Deshalb gilt es, Hand- und Maschinenspülen optimal zu gestalten, um die Umweltbelastungen zu reduzieren.

## EMPFEHLUNG HANDSPÜLEN

Das „Forum Waschen“<sup>7</sup> hat sechs goldene Regeln zum Geschirrspülen per Hand herausgegeben (siehe Tab. 9.8), die als Basis für effizientes und ökologisch verträgliches Geschirrspülen gelten können.

Tab. 9.8: Die sechs goldenen Regeln zum Geschirrspülen per Hand

1. Grobe Speisereste in den Abfall entsorgen.
2. Angetrocknetes und Eingebanntes in möglichst heißem Wasser mit wenig Spülmittel einweichen.
3. Geschirrtteile zum Spülen ansammeln. In einem halbvoll gefüllten Becken mit heißem Wasser spülen. Nicht unter fließendem Wasser reinigen.
4. Zur Vermeidung zu starker Schaumbildung erst Wasser einlassen. Dann die vom Hersteller empfohlene Menge an Spülmittel dazugeben. Durch zu viel Schaum können Schmutzteilchen auf bereits gespültes Geschirr gelangen.
5. Nach dem Reinigen: Nachspülen in einem mit kaltem Wasser gefüllten Becken oder in einer Schüssel. Geschirr möglichst an der Luft trocknen lassen.
6. Spültuch /Schwamm spätestens nach einer Woche bei 60 °C waschen.

Zu empfehlen ist, vorab zu sortieren und mit dem relativ saubersten Geschirr zu beginnen. Beim Handspülen ist das Zwei-Becken-Spülen anzuraten, bei dem in einem Becken gespült und im zweiten Becken mit klarem kaltem Wasser durch kurzes Eintauchen des gereinigten Geschirrs zur Entfernung der verbliebenen Essens- und Chemiereste nachgespült wird. Dabei bleibt die Wärme im Geschirrtteil gespeichert, so dass es in einem Abtropfgitter praktisch vollständig von selbst trocknet. Die hygienisch kritische Benutzung eines Geschirrtuches zum Trocknen entfällt.

## EMPFEHLUNG MASCHINENSPÜLEN

Ebenfalls vom „Forum Waschen“ liegen sechs goldene Regeln zum Geschirrspülen in der Maschine vor (siehe Tab. 9.9). Aus ökologischen Gründen sollte die Spültemperatur möglichst reduziert werden, weil moderne Reiniger auch schon bei niedrigen Temperaturen (40 bis 55 °C) gute Reinigungsleistungen erbringen. Zur Gewährleistung einer einwandfreien Innenraumhygiene sollte von Zeit zu Zeit ein 60 °C-Programm gewählt werden. Neuere Geschirrspüler bieten Automatikprogramme, bei denen sich der Ablauf automatisch an die Schmutz- und Geschirrmenge anpasst und so bei jeder Beladung für ein einwandfreies Reinigungs- und Trocknungsergebnis mit optimalen Verbrauchswerten gesorgt ist.

<sup>7</sup> Forum Waschen des Industrieverbands Körperpflege und Waschmittel (IKW): <https://www.forum-waschen.de/abwaschen-geschirrspuelen.html> (zuletzt abgerufen am 21.07.2021)

Tab. 9.9: Die sechs goldenen Regeln zum maschinellen Geschirrspülen

1. Grobe Speisereste in den Abfall entsorgen.
2. Geschirr nicht von Hand vospülen.
3. Geschirr so einräumen, dass alle Flächen von den Wasserstrahlen getroffen werden können.
4. Geschirrspüler möglichst voll beladen, dabei Berührung der Geschirrtteile untereinander vermeiden.
5. Reiniger, Klarspüler und Regeneriersalz einzeln oder als Systemprodukt entsprechend der Herstellerempfehlung einsetzen.
6. Spülprogramm und -temperatur nach Geschirrtart und Verschmutzungsgrad mit Hilfe der Herstellerangaben wählen.

## 9.4 OBERFLÄCHENREINIGUNG IN DER KÜCHE

*RAINER STAMMINGER*

Das Reinigen diverser Oberflächen in der Küche folgt den gleichen Prinzipien wie die Geschirrereinigung. Allerdings ergibt sich vor allem beim Einsatz von Spezialreinigern (z. B. Backofenreinigern) eine andere Aufteilung der Sinnerschen Reinigungsfaktoren (siehe Abb. 9.1) als beim Geschirrspülen.

### MATERIALIEN

Im Küchenbereich wird (abgesehen von Geschirrmaterial) für die unterschiedlichen Zwecke (Wände, Boden, Arbeitsflächen, Fußboden, Mobiliar) eine Vielzahl von Werkstoffen für Oberflächen verwendet, die genau genommen jeweils eine spezifische Reinigungstechnik erfordern. Zu differenzieren ist grob zwischen

- Kunststoffen: Gerätefronten, Arbeitsflächen usw.,
- mineralischen Werkstoffen: Fliesen, Glas usw.,
- Holz: Möbelfronten, Schneidbretter usw.,
- Metallen: Geräte, ggf. Frontplatten usw. sowie
- Farben, Anstrichen und Lacken.

Innerhalb dieser Kategorien wäre wiederum nach der Art des Materials zu unterscheiden, bei Kunststoffen etwa nach Thermoplasten, Kunstharzbeschichtungen (Melamin, Polyester), Elastomeren, Duroplasten usw., wobei im Detail exakt nach den chemischen Grundstoffen zu fragen ist – bei Thermoplasten beispielsweise kann es sich um Polyamide, Polyacrylnitril, Polyethen, Polystyrol, Polyvinylchlorid (PVC) oder ein Mischpolymerisat wie ABS (Acryl-Butadien-Styrol) handeln.



Es übersteigt hier den Rahmen und im Allgemeinen wohl auch die Grenzen des Küchennutzers, die Materialien und ihre speziellen Ansprüche im Einzelnen zu erörtern.

#### REINIGUNGSMITTEL

Bei der Vielzahl von Reinigungsmitteln, die zur Reinigung von anderen als Geschirroberflächen in der Küche eingesetzt werden, ist zwischen Allzweckreinigern, Scheuermittel und Spezialreinigern zu unterscheiden.

#### ALLZWECKREINIGER

Allzweckreiniger werden meist als universelle Haushaltsreiniger überwiegend flüssig, selten in Pulverform, dem Putzwasser beigegeben oder als Spray oder Schaum (einwirken lassen!) angewendet. Bei hartnäckigen, insbesondere bei fetthaltigen Anschmutzungen werden sie aber auch unverdünnt angewendet. Die wesentlichen Bestandteile sind Tenside und Komplexbildner wie Citrat, Gluconat und Polycarboxylate. Zur Enthärtung des Wassers dienen die Komplexbildner, zur Verstärkung der Reinigungswirkung anionische Tenside (Alkansulfonate, Fettalkoholethersulfate, seltener auch Seifen) und Niotenside (z. B. ethoxylierte Fettalkohole oder Alkylpolyglucoside). Bei antimikrobiellen Allzweckreinigern hemmen geeignete Wirkstoffe das Keimwachstum.

#### SCHEUERMITTEL

Scheuermittel sind hauptsächlich für die mechanische Entfernung hartnäckiger Verschmutzungen (z. B. in Küche und Bad) gedacht. Sie haben einen hohen Gehalt an wasserunlöslichen Abrasivstoffen und dienen der Entfernung hartnäckiger (eingebrennter, gealterter) Verschmutzungen auf mechanisch widerstandsfähigen Oberflächen. Nach der Anwendung von Scheuermitteln sind deren Rückstände sorgfältig zu beseitigen. Angeboten werden Scheuerpulver und flüssige Scheuermittel.

Scheuerpulver enthalten als Abrasivstoff vorwiegend Quarzmehl. Bei schlechten Emaille-Qualitäten, weichen Metallen, Kunststoffen und lackierten Oberflächen hinterlassen diese Reinigungsmittel leicht Kratzspuren. Flüssige Scheuermittel enthalten Marmormehl, das weicher als Quarzmehl ist. Daher behandeln sie die Oberflächen etwas schonender. Auch sind sie bequemer in der Handhabung.

#### SPEZIALREINIGER

Spezialreiniger (siehe Tab. 9.10) haben jeweils einen spezifischen Anwendungsbereich. Die Zusammensetzung richtet sich nach der Aufgabenstellung. Interessant für die Küche sind insbesondere die Spezialreiniger für Backofen und Grill sowie für das Glaskeramik-Kochfeld.

Letztere enthalten auch Poliermittel, die aber feiner sind und deswegen sanfter wirken als in Scheuermitteln. Die Rezepturen der Backofenreiniger sind in den letzten Jahren entschärft worden; ätzende Stoffe wie Natronlauge sind nicht mehr darin enthalten. Trotzdem sind bei vielen Schaumreinigern noch diverse Gefahrensymbole angebracht. Bei allen Backofenreinigern sind ganz besonders die jeweiligen Anwendungshinweise zu beachten.

Tab. 9.10: Spezialreiniger: Eigenschaften und Einsatzbereiche

Reinigungsmitteltyp	Eigenschaften	Einsatzbereich	Besondere Hinweise
Backofenreiniger	Aggressiv gegenüber Lack, Kunststoff und Aluminium, z.T. auch Katalyt-Emaille	Hartnäckig haftende, eingebrannte oder klebende Verkrustungen	Benutzungshinweise beachten – die Reiniger enthalten meist Gefahrstoffe
Essigreiniger/ Zitronensäure	Kalk wird in wasserlösliche Verbindungen überführt	Entkalken, Entfernen von Kalkrückständen z. B. auf Armaturen und Spülen	Mit klarem Wasser nachspülen und trocken reiben
Glaskeramik-Reiniger	Enthält sehr feines Poliermittel, damit die Oberfläche nicht zerkratzt wird	Entfernen von feinen haftenden und fetthaltigen Rückständen	Auf abgekühlte Oberfläche auftragen
Edelstahlpflege	Enthält Säure und feine Poliermittel; bewirkt Oberflächenschutz	Entfernen von Kalkablagerungen und Wasserflecken	Nie Scheuermittel, harte Bürsten, Stahlwolle oder Topfschwämme benutzen

#### ARBEITSHILFSMITTEL

Als Wischtücher werden statt des traditionellen Fensterleders heute meist Vliestücher eingesetzt, die sich befeuchtet ähnlich wie Leder verhalten. Sie sind aber widerstandsfähiger gegen Chemikalien und gut waschbar. Diese Tücher sind (wie Mikrofaser-tücher) auch in unterschiedlichen Farben für die diversen Anwendungsbereiche in der Küche erhältlich.

Mikrofaser-tücher bestehen aus sehr feinen Polyamid- oder Polyester-Fasern (Durchmesser unter 5 µm). Diese Tücher weisen eine sehr gute Reinigungswirkung auf. Am besten werden sie schleuderfeucht und ohne Gebrauch von tensidhaltigen Reinigungsmitteln angewendet. Sie ermöglichen dann sogar die einfache Beseitigung leichter Öl- und Fettverschmutzungen (Auswaschen in der Waschmaschine, aber ohne Weichspülen!). Um eine höhere Verschleißfestigkeit zu erzielen, werden auch mit Polyurethan beschichtete Mikrofaser-tücher angeboten.

Schwammtücher (flache Schwämme) weisen eine waffelartige Struktur auf und werden häufig für das Abwaschen von Oberflächen benutzt – sie sind wenig abriebfest. Padschwämme (Kissen-Schwämme) mit weißer Auflage arbeiten kratzfrei, während blau, grün oder schwarz eingefärbte Pads abrasiv wirken. Radierschwämme eignen sich für hartnäckige Verschmutzungen (grundsätzlich nass). Sie dürfen auf kratzempfindlichen Oberflächen außer Keramik und Edelstahl nicht angewendet werden. Topfschwämme aus Metallstrick oder Stahlwolle wirken stark abrasiv.

Feuchte Abwasch- und Wischlappen, Spülschwämme, Abwaschbürsten sowie diverse Geschirr- und Handtücher bieten ein günstiges Milieu für Mikroorganismen. Diese verbreiten sich über typische Kontaktflächen, d. h. über Arbeitsflächen, Arbeitsgeräte, Schneidbretter, Lebensmittel, Geschirr und alle Griffe. Die Tücher und Bürsten zum Reinigen von Oberflächen und Geschirr sollten hygienisch rein und nicht nur optisch sauber sein – die Tücher sind häufig (ein- bis zweimal pro Woche) bei 60 °C zu waschen und unmittelbar anschließend zu trocknen. Die Küche ist wegen des Umgangs mit offenen Lebensmitteln grundsätzlich ein hygienischer Problembereich (siehe dazu auch Lebensmittelverarbeitung im Haushalt - Teil II (2021), Kap. 4: Hygiene).



© Michal Jarmoluk auf pixabay

## 10 SPEZIELLE PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE GRÖßEN

Für die optimale Gestaltung der Lebensmittelverarbeitung im Haushalt ist auch die Kenntnis einer Reihe von physikalischen und chemischen Zusammenhängen unerlässlich. In diesem Kapitel werden die in vorherigen Kapiteln bereits mehrfach verwendeten Begriffe erläutert und soweit erforderlich durch zusätzliche Informationen ergänzt. Vielfach ist auf umweltrelevante Fakten hingewiesen, vor allem in Verbindung mit Fragen des Energieeinsatzes.

Die folgende knappe Zusammenstellung erhebt selbstverständlich nicht den Anspruch, umfassend zu sein, denn stellenweise muss zugunsten von Kürze und Praxisnähe etwas auf fachwissenschaftliche Präzision verzichtet werden. Im Kap. 10.6 steht eine Vielzahl von einschlägigen Materialdaten zur Verfügung.

### 10.1 ENERGIE, LEISTUNG

*WOLFHART LICHTENBERG*

#### ENERGIEFORMEN UND UMWANDLUNGSPROZESSE

Physikalische Systeme oder chemische Stoffe beinhalten Energie, wenn sie im Stande sind, mechanische Arbeit zu verrichten (Beispiele im Haushalt: Rührgerät, Gebläse im Umluftbackofen), Wärme zuzuführen (Beispiele: Wasserkocher, Kochfeld, Gasheizung) oder durch das Bereitstellen elektrischer Energie in elektromagnetischen Feldern (Beispiele: Mikrowelle, Induktionskochfeld).

Stoffe, die Energie freisetzen können, werden als Energieträger bezeichnet. Energie in der ursprünglichen Form, wie sie die Natur als Rohstoff bereitstellt, heißt **Primärenergie**. Primärenergieträger sind z. B. die fossilen Brennstoffe Steinkohle, Braunkohle, Rohöl und Rohgas. Auch Solarenergie, Wind- und Wasserkraft stellen Primärenergie dar.

Energieversorgungsunternehmen (EVU) stellen aus Primärenergie in technischen Umwandlungsprozessen **Endenergie** her (früher auch Sekundärenergie genannt). Zu den Endenergieträgern gehören neben Elektroenergie auch Erdgas, Heizöl sowie Raffinerieprodukte wie Benzin oder Dieselkraftstoff. Als Endenergie wird also diejenige Energie bezeichnet, die letztlich beim EVU vom Endverbraucher gekauft wird und im Haushalt zur Zeit der Nutzung in **Nutzenergie** umgewandelt wird.

Dabei gilt thermodynamisch zwangsläufig, dass bei jeder Umwandlung sog. Umwandlungsverluste auftreten, wie auch in Abb. 10.1 im Energieflussdiagramm Deutschlands im Jahr 2019 zu erkennen ist. Unter dem dort genannten nichtenergetischen Verbrauch ist die Verwendung von Energieträgern als chemischer Rohstoff zu verstehen wie z. B. für die Kunststoffproduktion oder Pharmaka.



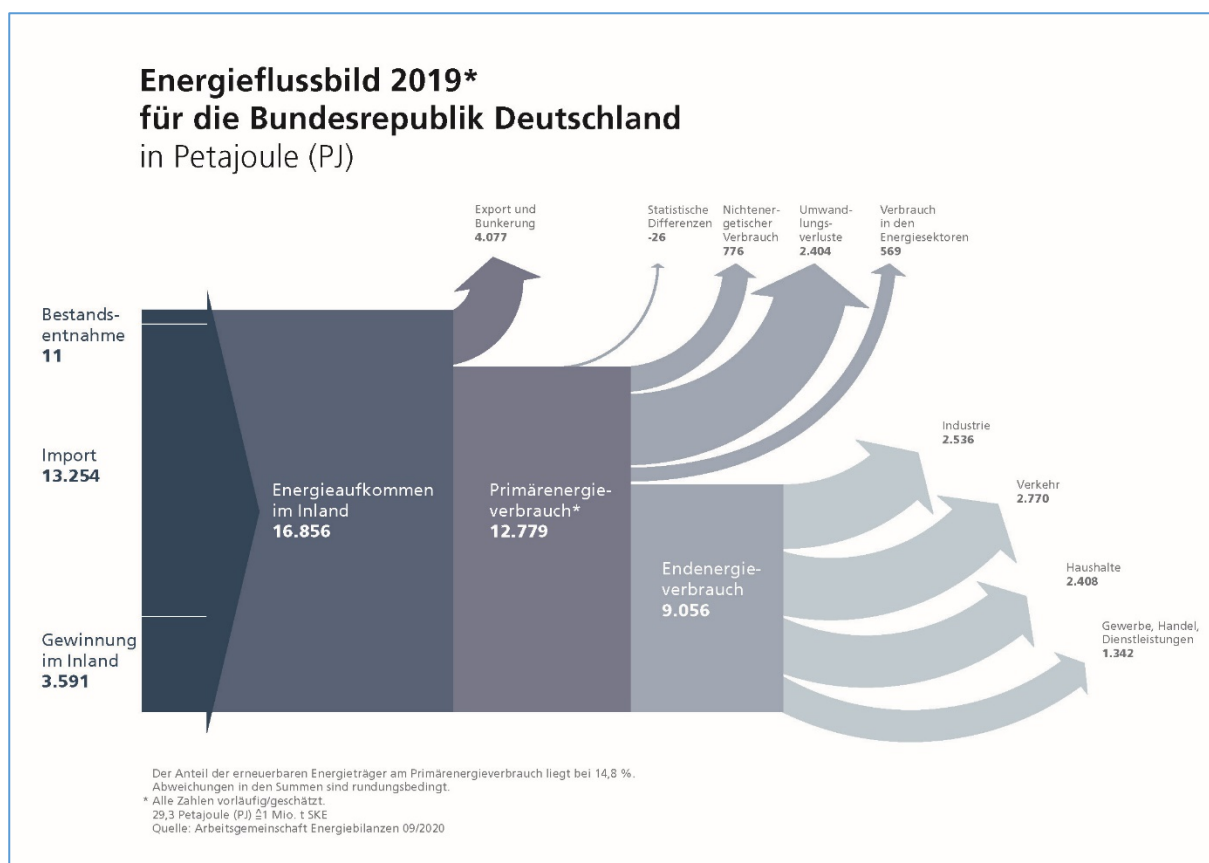


Abb. 10.1: Energieflussdiagramm für Deutschland 2019 (1 PJ =  $10^{12}$  kJ)

Die Basiseinheit für Energie ist gemäß SI-Standard<sup>8</sup> ist das Joule (J). Häufig genutzt werden dezimale Vielfache wie 1 kJ ( $10^3$  Joule), 1 MJ ( $10^6$  Joule) und 1 PJ ( $10^{15}$  Joule). Die Einheit Joule gilt für alle Energieformen, also für mechanische Arbeit, thermische Energie (Wärme) und chemisch gebundene Energie (Brennwert, Heizwert). Für Elektroenergie ist auch die Kilowattstunde als Abrechnungseinheit gebräuchlich (1 kWh = 3.600 kJ). Die früheren Einheiten Kalorie für die Wärmeenergie (1 cal = 4,18 J; 1 kcal = 4,18 kJ) gehören bereits seit 1948<sup>9</sup> nicht mehr zum SI-Standard und sind in Deutschland seit 1969 im Warenverkehr und bei amtlichen Angaben gesetzlich nicht zulässig.

Der Brennwert eines Brennstoffs gibt an, welche Energie bei der vollständigen Verbrennung einer bestimmten Menge dieses Stoffes frei wird. Bei der physiologischen Verstoffwechslung eines Lebensmittels wird ca. 25 % des Brennwertes in mechanische Arbeit (Muskelarbeit) umgewandelt. Der überwiegende Teil geht in die Wärmeerzeugung zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur. Auch die ausgeschiedenen Endprodukte des Stoffwechsels enthalten noch Energie.

<sup>8</sup> SI: Système international d'unités: Internationales Einheitensystem; in Deutschland und der EU gesetzlicher Standard.

<sup>9</sup> Bereits 1948 vereinheitlicht die 9. Internationale Generalkonferenz für Maße und Gewichte die verschiedenen gebräuchlichen Energieeinheiten und ersetzt die bis dahin für die Wärme gebräuchliche Einheit Kalorie durch die Einheit Joule (1 J = 1 N/1 m<sup>2</sup>).



Energie ist eine thermodynamische Erhaltungsgröße und kann in einem abgeschlossenen System weder erzeugt werden noch verloren gehen, sondern nur von einer Form in eine andere umgewandelt werden.<sup>10</sup> Dabei treten prinzipiell Umwandlungsverluste in Form von Abwärme auf niedrigem Temperaturniveau auf.

Bei einem elektrischen Handrührgerät z. B. wird nur etwa die Hälfte der zugeführten elektrischen Energie am Rührwerkzeug als mechanische Energie abgegeben, während die andere Hälfte als Verlustwärme durch das Kühlgebläse abgeführt wird. Diese Wärme entsteht teils in den Spulenwicklungen des Motors, teils durch Reibung im Getriebe und in den Lagern.

Das Verhältnis „Nutzleistung durch Leistungsaufnahme“ wird als Wirkungsgrad bezeichnet. Ein Wirkungsgrad von 100 % ergibt sich nur theoretisch bei der vollständigen Umwandlung von mechanischer oder elektrischer Energie in Wärmeenergie. Die Umwandlung von Wärme auf hohem Temperaturniveau in mechanische und elektrische Energie wie z. B. in Kraftwerken ist dagegen möglich, wobei immer Energieverluste in Form von Abwärme auf niedrigem Temperaturniveau auftreten.

Beim Energieeinsatz im Haushalt ist ein hoher Wirkungsgrad nicht nur aus wirtschaftlichen, sondern mehr noch aus ökologischen Gründen zu fordern. Jede Verbrennung fossiler Brennstoffe setzt Kohlenstoffdioxid frei, das hauptverantwortlich für den zunehmenden Treibhauseffekt ist, also für den Temperaturanstieg in der Atmosphäre infolge Absorption der Wärmestrahlung, die von der Erde ausgeht (siehe Abb. 10.2).

Dieser Effekt wird außerdem wesentlich durch Stickstoffoxide (Entstehung vor allem bei hohen Verbrennungstemperaturen) sowie durch die Freisetzung von Methan und Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffen gefördert. Einen sparsamen Umgang mit Energie erzwingt nicht zuletzt die absehbare Erschöpfung der Brennstoffvorräte der Erde. Die Reichweite ist bei Mineralöl auf wenige Jahrzehnte begrenzt, ebenso bei den meisten anderen fossilen Brennstoffen mit Ausnahme von Steinkohle. Die Förderung von energiesparenden Technologien und von Verfahren zur nachhaltigen Nutzung regenerativer (nicht erschöpfbarer) Energieformen wie Solarenergie, Wind- und Wasserkraft sowie Erdwärme ist daher vordringlich.

---

<sup>10</sup> Dies gilt nicht für physikalische Kernreaktionen, die bei der Lebensmittelverarbeitung im Haushalt wohl keine Rolle spielen.

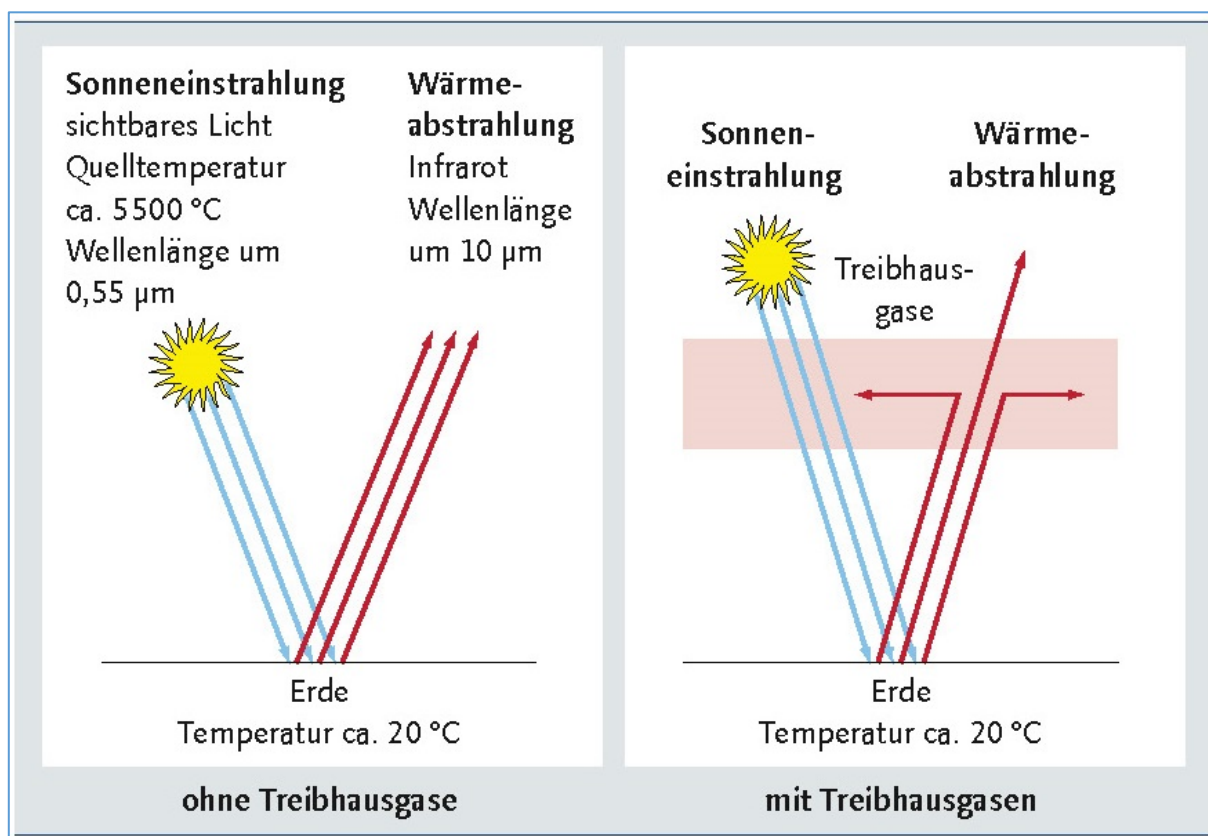


Abb. 10.2: Atmosphärischer Treibhauseffekt

Unter dem Eindruck der japanischen Reaktorkatastrophe hat Deutschland im Jahr 2011 die Energiewende beschlossen. Diese beinhaltet die folgenden konkreten Ziele, die im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und seinen Novellierungen festgeschrieben sind:

- Schrittweiser Ausstieg aus der Kernenergie bis 2022;
- Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien am Energieverbrauch auf 60 Prozent bis zum Jahr 2050;
- Anteil am Bruttostromverbrauch dann mindestens 80 Prozent;
- Einsparung vermeidbaren Energieverbrauchs;
- Erhöhung der Energieeffizienz;
- Verringerung des Primärenergieverbrauchs um 50 % (gegenüber 2008) sowie
- Minderung der jährlichen Treibhausgasemissionen um 80 % gegenüber 1990.

Die wichtigsten Quellen regenerativer Energie sind in Deutschland (neben der bereits weitestgehend ausgeschöpften Wasserkraft) die Wind- und die Solarenergie. Bei den Windkraftanlagen zur Stromerzeugung bietet das küstennahe Meer als Standort (Off-Shore-Technik) eine aussichtsreiche Perspektive, und für die Nutzung der Sonnenstrahlung zur Stromerzeugung haben sich Silizium-Solarzellen (Fotovoltaikanlagen) bereits etabliert.

Blockheizkraftwerke hoher Effizienz können für die dezentrale Versorgung mit Strom und Heizwärme eine relevante Rolle spielen. Biogasanlagen für die Stromerzeugung ersparen fossile Brennstoffe, und die Treibhausgasemissionen lassen sich z. B. durch die Wärmedämmung von Gebäuden, die Warmwasserbereitung mittels Solarkollektoren und den Einsatz von Wärmepumpen reduzieren.

Das Hineinwachsen der erneuerbaren Energien in die bisherige Stromversorgung stellt erhebliche Forderungen insbesondere an die Stromnetze. Außerdem ist die Entwicklung neuer Speichertechnologien wegen der schwankenden Verfügbarkeit der regenerativen Energie erforderlich.

Für einen erheblichen Teil des Energiekonsums sind die privaten Haushalte verantwortlich. Die Haushalte beanspruchen (mit Heizung und Privatfahrzeugen) mehr als ein Drittel der Energie, die insgesamt eingesetzt wird. Nach der Raumheizung und dem Kfz-Betrieb entfallen die höchsten Anteile dabei auf die Warmwasserbereitung sowie auf Kühlen und Gefrieren: Fast immer ist hoher Energieverbrauch im hauswirtschaftlichen Bereich durch thermische Prozesse bedingt, während der Anteil mechanischer Arbeit vernachlässigbar ist.

#### VERBRAUCHSSTRUKTUR DER PRIVATHAUSHALTE

Im Haushalt spielen neben elektrischer Energie vor allem Erdgas und Heizöl eine Rolle. Feste Brennstoffe wie Koks, Briketts oder Brennholz haben geringere Bedeutung. Etwa drei Viertel des Endenergieverbrauchs der privaten Haushalte Indoor - also ohne Einbezug des Verbrauchs für Kraftfahrzeuge gehen zu Lasten der Raumheizung. Das verbleibende Viertel beanspruchen etwa gleichanteilig die Warmwasserbereitung sowie die Summe für Hausgeräte, Beleuchtung und Unterhaltungselektronik. Der entscheidende Vorteil des unmittelbaren Einsatzes von Erdgas und Heizöl als Endenergie für Wärmezwecke anstelle von elektrischer Energie besteht darin, dass die Umwandlungsverluste vermieden werden – bei der Stromerzeugung in Dampfkraftwerken gehen von der eingesetzten Primärenergie bis zum Verbraucher rund zwei Drittel als Umwandlungs- und Leitungsverluste verloren (siehe Abb. 10.3, linke Seite). Insofern ist Elektroenergie ideal zum Einsatz als Antriebsenergie (elektrische Arbeit) wie z. B. in Pumpen, Gebläsen und Rührwerken.

Wird lediglich Wärme benötigt – sei es nun für Heizung, Garprozesse oder Warmwasserbereitung – ist der Einsatz von Erdgas oder Heizöl generell kostengünstiger und bei richtiger Handhabung weniger umweltbelastend als die Verwendung elektrischer Energie (siehe Abb. 10.3, rechte Seite). Von regenerativen Energieträgern wie Umgebungswärme und Solarenergie für Heizung und Warmwasserbereitung wird bisher eher wenig Gebrauch gemacht.

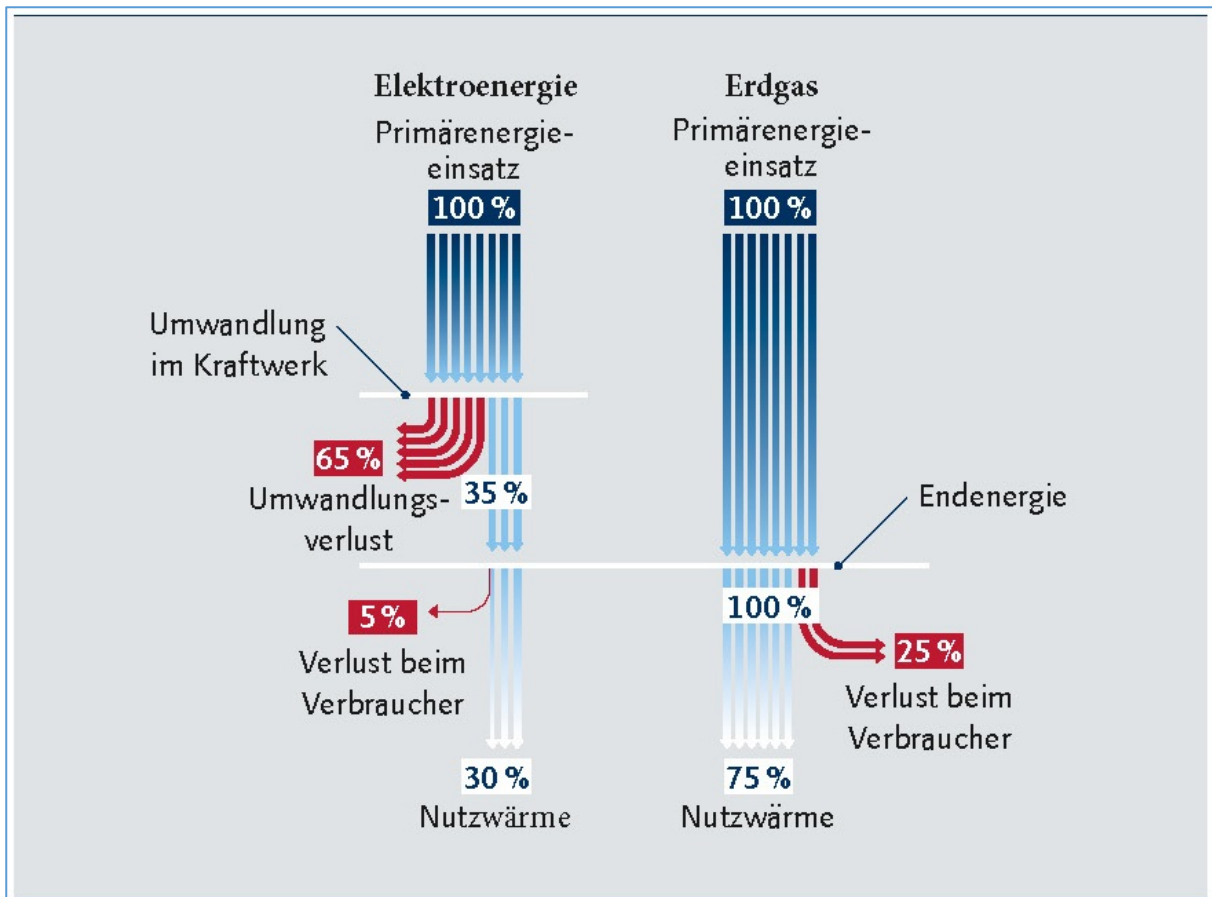


Abb. 10.3: Wärmeerzeugung aus konventionell erzeugter Elektroenergie<sup>11</sup> im Vergleich zu Erdgas<sup>12</sup>

Etwa ein Viertel der im Haushalt eingesetzten Endenergie ist Erdgas. Dessen Hauptbestandteil ist Methan ( $\text{CH}_4$ ), das mit Luftsauerstoff zu Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ , hier gasförmig als Wasserdampf im Abgas) verbrennt.

Bei der Kondensation des aus der Verbrennung stammenden Wasserdampfs entsteht je Kubikmeter verbranntes Erdgas etwa 1,5 l flüssiges Wasser. Dabei wird zusätzlich Energie frei. Die Thermodynamik spricht hier von der spezifischen Kondensationsenthalpie<sup>13</sup> des Wassers in Höhe von rund 1 kWh/m<sup>3</sup>. Diese ist vom Brennwert abzuziehen, um den sogenannten „Heizwert“ zu erhalten. Zum Vergleich mit konventionellen Heizkesseln wird beim sogenannten „Brennwertgerät“, das zusätzlich die freiwerdende Kondensationsenthalpie nutzt, die erzeugte Nutzwärme auf den kleineren Heizwert bezogen. Dadurch ergeben sich rechnerisch Wirkungsgrade für Brennwertgeräte von mehr als 100 %.

<sup>11</sup> Die Elektroenergie im hier gezeigten Beispiel stammt aus konventionellen Großkraftwerken mit einem Wirkungsgrad von 35 %.

<sup>12</sup> Die Aufwendungen für die Förderung und den Transport des Erdgases bis zum Endverbraucher in Höhe von 1 – 2 % sind hier vernachlässigt. Im Beispiel wird beim Endverbraucher eine Heizwertanlage mit 75 % Wirkungsgrad angenommen.

<sup>13</sup> Spezifische Kondensationsenthalpie: Summe aus thermischer Energie und Volumenänderungsarbeit, die bei der Kondensation frei wird, bezogen auf die Masse (kg), das Volumen (m<sup>3</sup>) oder die Menge (kmol).

## ELEKTRISCHE ENERGIE

Bei konventionellen Großkraftwerken, die im Jahr 2020 nur noch etwa 22 % der gesamten Stromerzeugung<sup>14</sup> in Deutschland beigesteuert haben, erfolgt die Beheizung des Kessels für die Dampferzeugung durch Verfeuern von fossilen Brennstoffen (vorwiegend Stein- und Braunkohle) oder auch von Hausmüll. Die freigesetzte thermische Energie wird in einer Dampfturbine nur zum Teil in mechanische und anschließend im Generator in elektrische Energie umgewandelt: Bei der unvermeidlichen Kondensation des Dampfes, der die Turbine mit niedriger Temperatur verlässt, wird die freiwerdende Kondensationsenthalpie ungenutzt an das Kühlwasser über Kühltürme oder Flusswasser abgegeben.

Insgesamt gehen praktisch etwa zwei Drittel der Brennstoffenergie als Abwärme verloren – sofern das Kraftwerk nicht als Heizkraftwerk ausgelegt ist. Nur dann kann die Abwärme als Fernwärme zu Heizungs- und anderen Zwecken genutzt werden (sogenannte Kraft-Wärme-Kopplung), wobei allerdings ein etwas geringerer Wirkungsgrad der Stromerzeugung in Kauf zu nehmen ist.

Bei der in Deutschland auslaufenden Kernenergie erfolgt die Dampferzeugung durch die thermische Energie, die in einem Kernreaktor bei der Uranspaltung frei wird. Der Dampf wird wie bei einem Verbrennungskraftwerk zum Antrieb von Turbinen und Generatoren eingesetzt. Die Betriebsrisiken von Kernkraftwerken sind seit den Katastrophen von Tschernobyl (1986) und Fukushima (2011) ins allgemeine Bewusstsein gerückt.

Gaskraftwerke arbeiten hingegen mit Gasturbinen ähnlich einem Strahltriebwerk, wobei die Gasturbine den Generator zur Erzeugung der Elektroenergie unmittelbar antreibt. So kann ein Wirkungsgrad bis zu 60 % erzielt werden.

Die Tarife für die Versorgung mit elektrischer Energie bestehen im Durchschnitt zu etwa drei Vierteln aus Fixkosten für Erstellung, Betrieb und Erhalt von Kraftwerken und Stromverteilungsnetz, aber nur zu etwa einem Viertel aus Brennstoffkosten. Die festen Kosten wachsen mit der Spitzenleistung an, die ein Versorgungsunternehmen zur Verfügung stellen muss.

Die höchste Netzbeanspruchung tritt am späten Vormittag auf, die niedrigste Belastung in den Nachtstunden. Um eine Verlagerung des Verbrauchs in die Schwachlastzeiten zu fördern, wird neben dem Normaltarif mit konstantem Preis pro Kilowattstunde (Arbeitspreis) ein Nachtstromtarif (meist von 22 h bis 6 h) mit etwa halbiertem Arbeitspreis bei leicht erhöhtem Tagstrompreis angeboten.

---

<sup>14</sup> Strommix 2020 laut AG Energiebilanzen: Erneuerbare: 45 %; Erdgas 16 %; Braunkohle 16 %; Kernenergie 11 %; Steinkohle 8 %; Sonstige 4 % - insgesamt 564 Mrd. kWh [Nickels M (2020): Entwicklungen in der deutschen Stromwirtschaft – das Jahr 2020. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 16.12.2020].

## 10.2 WÄRMEMENGE, WÄRMETRANSPORT

WOLFHART LICHTENBERG

Der Begriff Wärme wird umgangssprachlich sowohl für die Temperatur eines Körpers wie auch für die in ihm gespeicherte thermische Energie (synonym: Innere Energie) verwendet. Dabei ist aber zu unterscheiden: Die Temperatur bezeichnet den Zustand des Körpers (vergleichbar einer Farbangabe), während die thermische Energie den Energiebetrag angibt, den der Körper aufgrund der statistisch verteilten Schwingungsenergie der Materiebausteine beinhaltet. Je höher die Temperatur, umso intensiver ist die Molekularbewegung. In der Thermodynamik bezeichnet der Begriff Wärme hingegen eine von zwei energetischen Übertragungsgrößen: durch Wärme und/oder Arbeit wird Energie von einem auf das andere System übertragen.

### TEMPERATURSKALEN

Als Temperaturskalen gebräuchlich sind neben der vertrauten Celsius-Skala in angloamerikanischen Ländern die Fahrenheit-Skala und in der Physik die Kelvin-Skala (thermodynamische oder „absolute“ Temperatur). Bei der Celsius-Skala (Formelzeichen  $\vartheta$ ) sind als Fixpunkte für 0 °C der Schmelzpunkt von Wassereis bei einem Druck von 1,013 bar und für 100 °C der Siedepunkt des Wassers unter gleichem Druck definiert. Bei der thermodynamischen Skala (auch Kelvin-Skala mit Formelzeichen  $T$ ) ist als unterer Fixpunkt (0 K) der absolute Nullpunkt (–273,16 °C) gewählt. Dabei entspricht eine Temperaturdifferenz von 1 K<sup>15</sup> auch einer Temperaturdifferenz von 1 °C<sup>16</sup>, d. h. die Gradabschnitte beider Skalen sind identisch.

### SPEZIFISCHE WÄRMEKAPAZITÄT

Eine Wärmemenge stellt einen Energiebetrag dar. Als Formelzeichen für die Wärmemenge wird der Buchstabe  $Q$  benutzt. Die spezifische Wärmekapazität  $c$  eines Materials gibt die Wärmemenge an, durch deren Zu- oder Abfuhr die Temperatur von 1 kg des Stoffes um 1 Kelvin (1 K) geändert wird. Die spezifische Wärmekapazität wird daher in der Einheit kJ/(kg · K) angegeben. Stoffwerte für gebräuchliche Materialien sind in Kap. 10.6 tabelliert. Die Erwärmung oder Abkühlung eines Körpers der Masse  $m$  aus einem Material mit der spezifischen Wärmekapazität  $c$  um die Temperaturdifferenz  $\Delta T$  erfordert die Übertragung der Wärmemenge

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (\text{Gl. 1}).$$

<sup>15</sup> 1 K: Sprich „ein Kelvin“.

<sup>16</sup> 1 °C: Sprich „ein Grad Celsius“.



Diese Formel gilt nur, wenn bei der Temperaturänderung keine Änderung des Aggregatzustands (siehe Kap. 10.3) eintritt. Durch die spezifische Wärmekapazität des Wassers war ursprünglich die veraltete Einheit Kalorie definiert. Eine Energiezufuhr von 1 kWh = 3.600 kJ erwärmt 10 kg Wasser (eine Eimerfüllung) um 86 K, d. h. etwa von Kaltwasser- auf Siedetemperatur.

WÄRMETRANSPORT

Der Transport von Wärmeenergie spielt eine wichtige Rolle bei Garprozessen. Der Quotient der Wärmemenge  $\Delta Q$  im Zeitintervall  $\Delta t$  heißt Wärmestrom oder Wärmeleistung (SI-Einheit: Watt<sup>17</sup>). Der Transport kann durch Leitung, Konvektion oder Strahlung erfolgen; meist sind in einem komplexen System alle drei Mechanismen gleichzeitig beteiligt. In Flüssigkeiten und Gasen ist jedoch vorwiegend Konvektion wirksam, in festen Körpern ausschließlich Wärmeleitung.

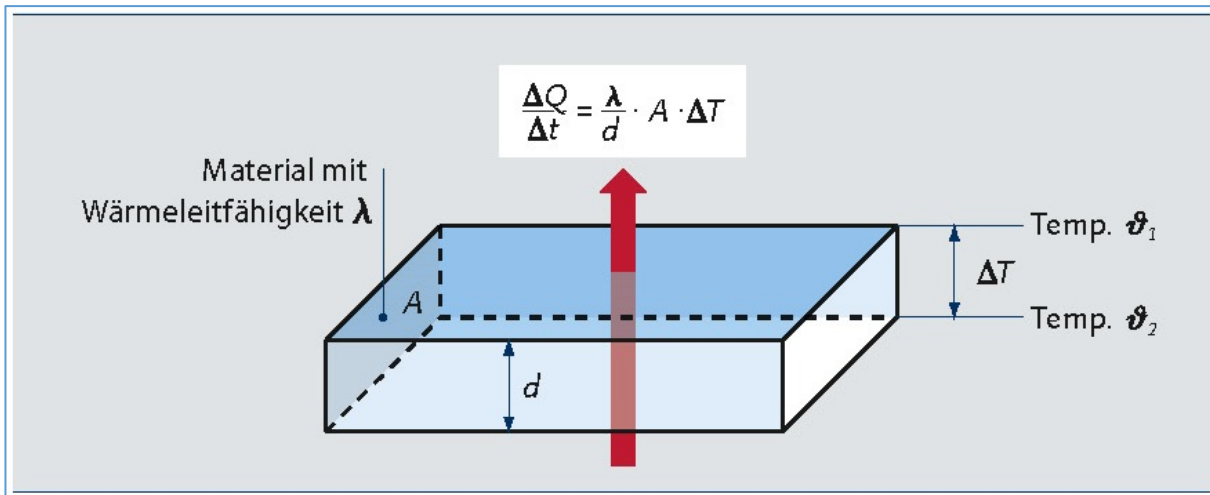


Abb. 10.4: Prinzipbild der Wärmeleitung in festen Körpern

**Wärmeleitung** liegt vor, wenn Wärmeenergie in einem Körper durch Ausbreitung der atomaren bzw. molekularen Wärmebewegung ohne Materietransport weitergegeben wird. Haben zwei parallele Körperflächen (z. B. Ober- und Unterseite eines Geschirrbodens) der Größe  $A$  den Abstand  $d$  voneinander und besteht zwischen ihnen eine Temperaturdifferenz  $\Delta T$ , so fließt durch den Körper ein Wärmestrom gemäß Gl. 2 (siehe Abb. 10.4).

$$\Delta Q/\Delta t = \lambda \cdot A/d \cdot \Delta T \quad \text{Gl. 2}$$

Hier ist  $\lambda$  die Wärmeleitfähigkeit des Materials; sie wird in W/(m · K) angegeben. Die Wärmeleitfähigkeiten gängiger Materialien sind in Kap. 10.6 zusammengestellt. Hiernach ergibt sich z. B. für einen 6 mm starken Aluminium-Geschirrboden von 180 mm Durchmesser bei einer Temperaturdifferenz von 2 K zwischen Ober- und Unterseite eine Wärmeleistung von  $\Delta Q/\Delta t = 1,73 \text{ kW}$ .

<sup>17</sup> 1 Watt entspricht der Wärmeleistung von 1 Joule pro 1 Sekunde (1 W = 1 J/1 s).

**Konvektion** (auch Wärmeströmung genannt) ist an die Bewegung erwärmter Materie gebunden. Wird einer Flüssigkeit oder einem Gas an einer Festkörperoberfläche Wärme zugeführt (z. B. kalter Raumluft an einem Warmwasser-Heizkörper), heißt das Wärmeübergang durch Konvektion. Die Strömung kann durch temperaturbedingte Dichteunterschiede bewirkt werden (natürliche oder freie Konvektion), aber auch durch ein Gebläse oder eine Pumpe (Zwangskonvektion). Der Wärmestrom hängt von der Fläche  $A$ , der Temperaturdifferenz  $\Delta T$  zwischen dem strömenden Medium und der Fläche sowie vom Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha$  ab (siehe Abb. 10.5 und Gl. 3).

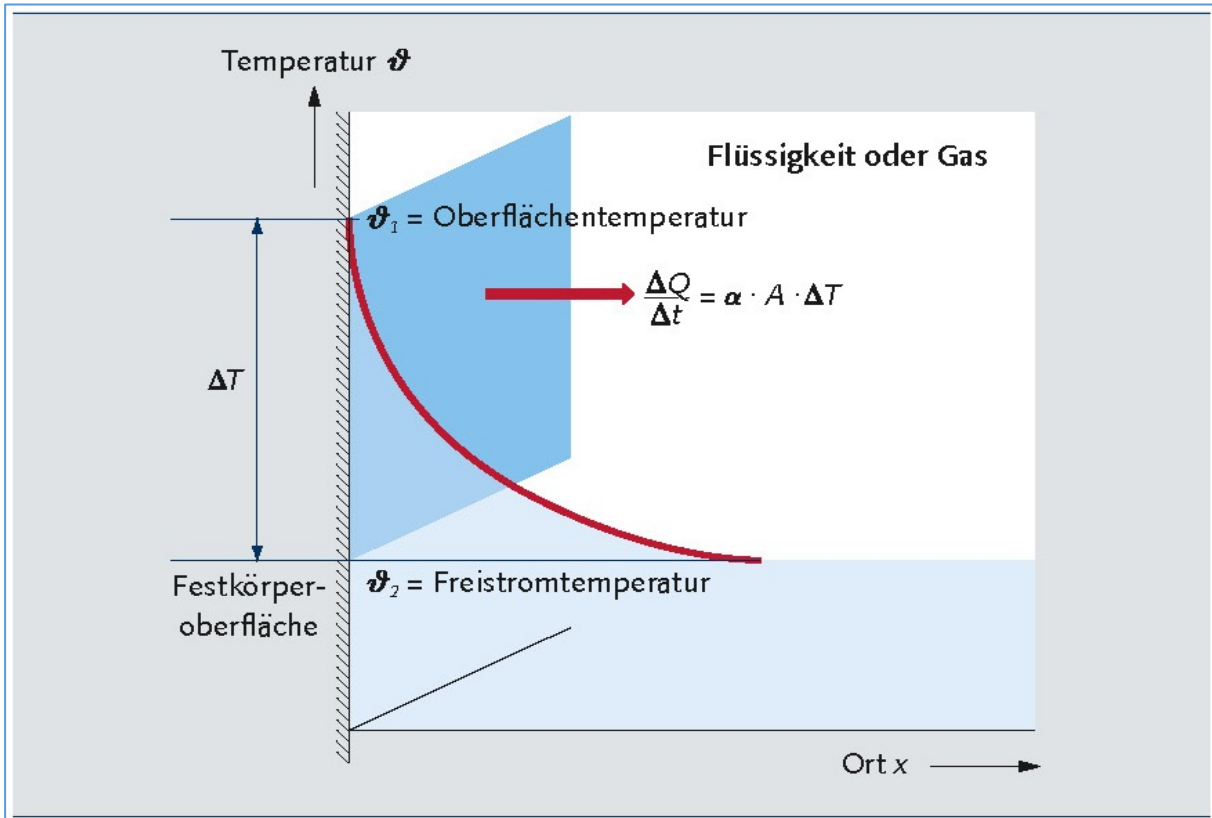


Abb. 10.5: Wärmeübertragung durch Konvektion

$$\Delta Q/\Delta t = \alpha \cdot A \cdot \Delta T \quad \text{Gl. 3}$$

Der Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha$  ist durch Art und Strömungsgeschwindigkeit des bewegten Mediums sowie durch die Beschaffenheit der Oberfläche bestimmt. Als Anhaltswerte gelten bei freier Konvektion für Luft  $10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , für nicht siedendes Wasser  $3.000 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Erfolgt die Wärmeübertragung durch Wasserdampf, der sich auf einer kalten Oberfläche (etwa auf einem Lebensmittel) niederschlägt, wird durch die Kondensation zusätzlich eine große Energiemenge übertragen, nämlich  $2.256 \text{ kJ}$  pro  $\text{kg}$  kondensierendem Dampf<sup>18</sup>. Hierauf beruht die effektive Wärmeübertragung beim Dampfgaren.

<sup>18</sup> Die Thermodynamik spricht hier von der spezifischen Kondensationsenthalpie in  $\text{kJ}/\text{kg}$ .

**Wärmedurchgang** liegt vor, wenn ein Wärmetransport zwischen Flüssigkeiten oder Gasen erfolgt, die durch eine feste Wand getrennt sind (siehe Abb. 10.6). Dann sind Wärmeübergang durch Konvektion und Wärmeleitung zugleich beteiligt.

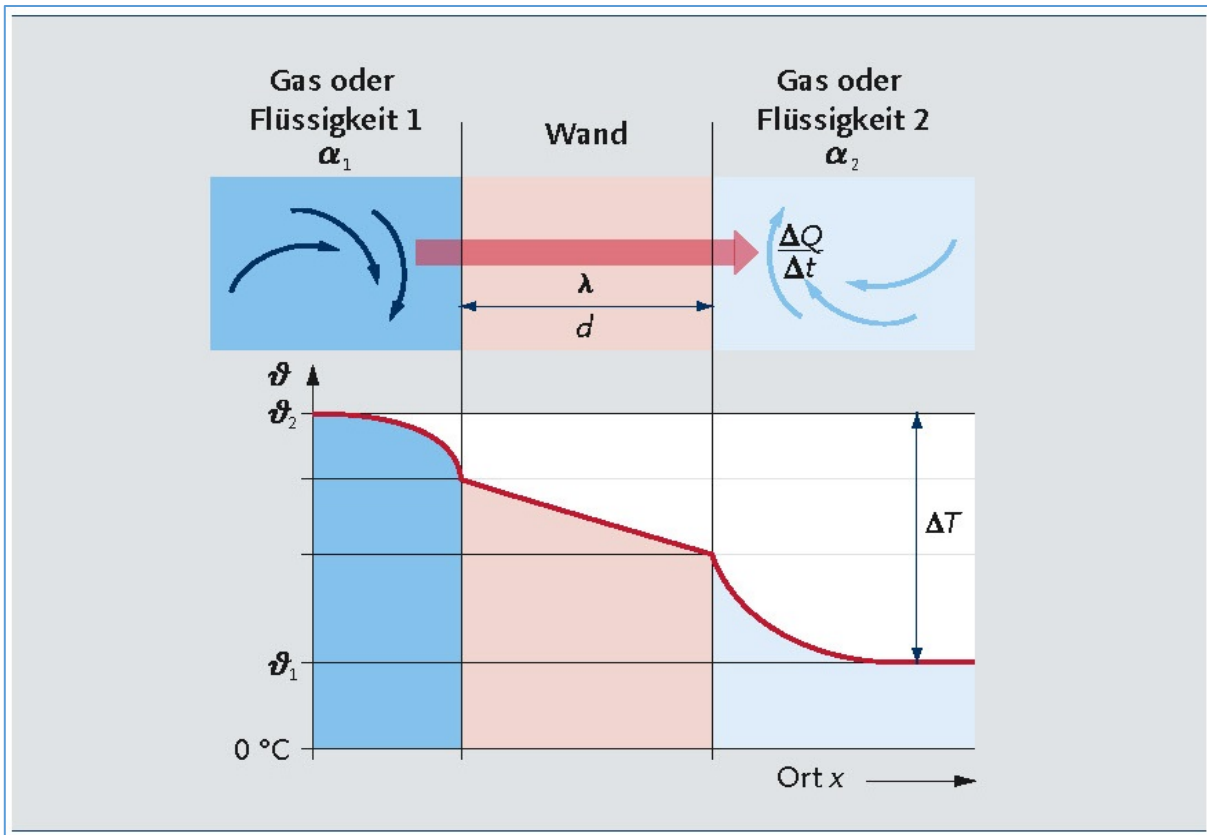


Abb. 10.6: Wärmedurchgang

$$\Delta Q/\Delta t = U \cdot A \cdot \Delta T \quad \text{Gl. 4}$$

Der Wärmestrom ist das Produkt aus der Temperaturdifferenz  $\Delta T$  zwischen den Medien, der Wandflächengröße  $A$  und dem Wärmedurchgangskoeffizienten  $U$ , angegeben in  $W/(m^2 \cdot K)$ . Dieser Koeffizient ist durch die Wandstärken, die Wärmeleitfähigkeiten der einzelnen Wandschichten sowie durch die beiden Wärmeübergangskoeffizienten beiderseits der Wand bestimmt.

**Wärmestrahlung** (Infrarote Strahlung, IR-Strahlung) ist elektromagnetische Strahlung, die sich auch im materiefreien Raum (Vakuum) ausbreitet. Wärmestrahlung ist langwelliger als sichtbares Licht, jedoch von gleicher physikalischer Natur. Sie wird von jeder warmen Oberfläche abgegeben, z. B. von einem Grillheizkörper. Für die Wärmestrahlung ist neben der Temperatur die Oberflächenbeschaffenheit wesentlich. Emission und Absorption sind am höchsten bei einem schwarzen Körper; ähnlich verhalten sich im Infrarotbereich alle nichtmetallischen Materialien. Von blanken Metalloberflächen dagegen wird elektromagnetische Strahlung nicht absorbiert, sondern reflektiert. Den Wärmestrom, den ein (schwarzer) Körper mit der absoluten Temperatur  $T$  über seine Oberfläche  $A$  abstrahlt, beschreibt das Stefan-Boltzmann-Gesetz:

$$\Delta Q/\Delta t = \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad \text{Gl. 5}$$

Dabei ist  $\sigma^{19}$  die „Stefan-Boltzmann-Konstante“ mit  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ .

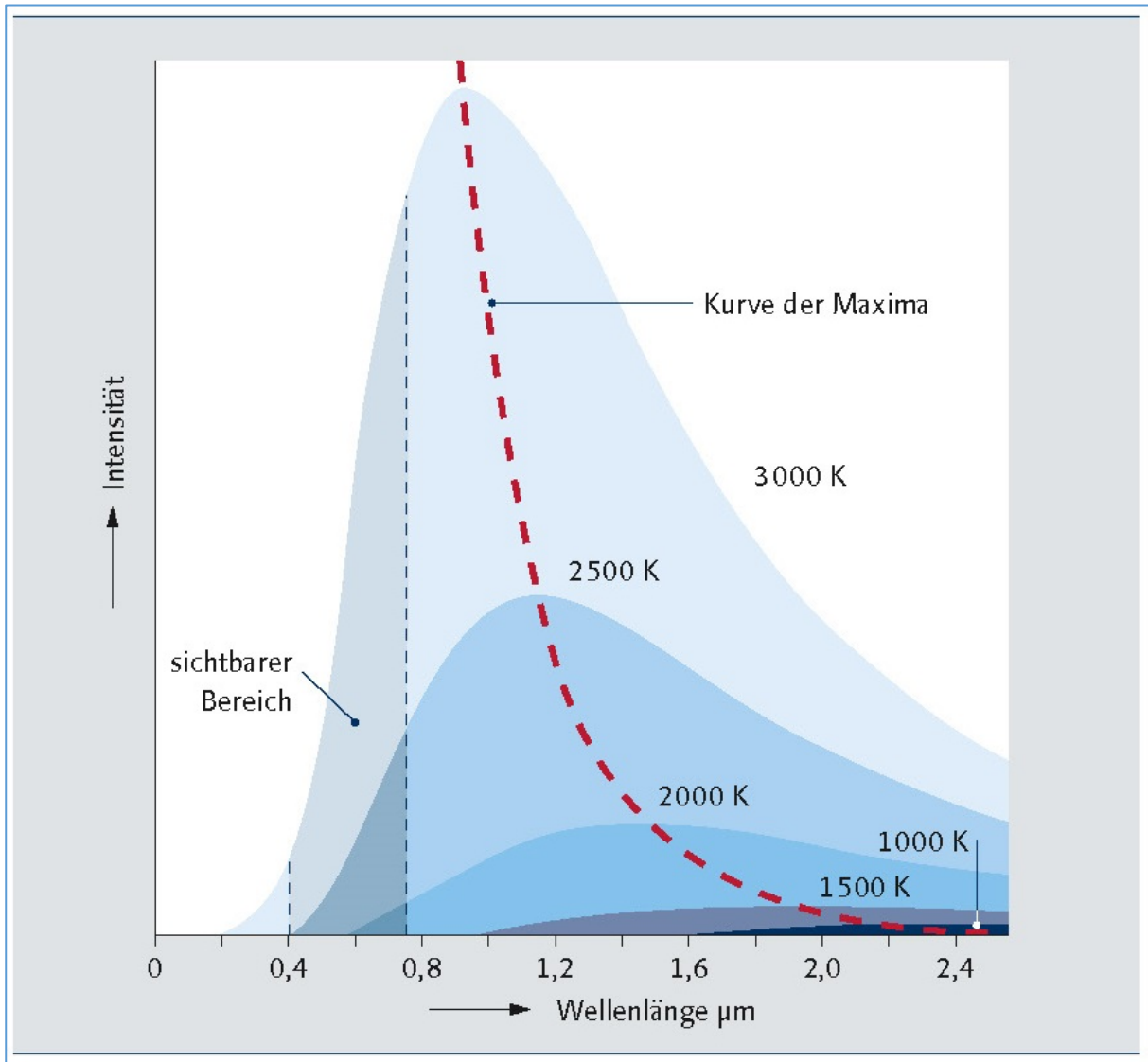


Abb. 10.7: Strahlungsspektren für verschiedene Oberflächentemperaturen

Weil in diese Formel die vierte Potenz der absoluten Temperatur eingeht, gewinnen die Strahlungseffekte bei hohen Temperaturen zunehmend an Gewicht. Abb. 10.7 zeigt das emittierte Spektrum, d. h. die Intensität in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Mit der Oberflächentemperatur  $T$  des Strahlers ändert sich auch die spektrale Verteilung: Je heißer die Fläche, desto größer ist der Anteil kurzwelliger und damit auch der Anteil sichtbarer Strahlung (Wiensches Verschiebungsgesetz).

Die Erwärmung von Stoffen durch Mikrowellen wird im Allgemeinen nicht als Wärmetransport betrachtet: Die Energieübertragung erfolgt dabei durch Hochfrequenzstrahlung und erst deren Wechselwirkung mit dem Lebensmittel führt zur Freisetzung von Wärme (siehe Teil II, Kap. 3.5).

<sup>19</sup>  $\sigma$  – sigma (griechischer Buchstabe).

## 10.3 PHASENÜBERGÄNGE, LUFTFEUCHTIGKEIT

JÖRG ANDREÄ

Stoffe können einen der drei Aggregatzustände fest, flüssig oder gasförmig annehmen. Diese sind durch unterschiedliche Beweglichkeit der Atome oder Moleküle gekennzeichnet. Welcher Zustand jeweils vorliegt, hängt von Temperatur und Druck ab. Durch Zu- oder Abführen von Energie kann der Aggregatzustand wechseln. Es kommt zum Phasenübergang. Der Wechsel zwischen fester und flüssiger Phase heißt Schmelzen bzw. Erstarren oder Kristallisieren, zwischen flüssiger und gasförmiger Phase Verdampfen bzw. Kondensieren. Der unmittelbare Wechsel zwischen fester und gasförmiger Phase wird als Sublimation bzw. Resublimation bezeichnet (siehe Abb. 10.8).

Die beim Phasenübergang umgesetzte Energie wird in der Thermodynamik als Enthalpie<sup>20</sup> bezeichnet, da die Zustandsänderung im offenen System isotherm<sup>21</sup> und isobar<sup>22</sup>, aber nicht isochor<sup>23</sup> ist. Am Beispiel Wasser ergibt sich bei konstanter Energiezufuhr der folgende Verlauf (siehe Abb. 10.9): Wird eine bestimmte Masse Eis erwärmt, so nimmt seine Temperatur zunächst so lange zu, bis die Schmelztemperatur erreicht ist (0 °C bei Wasser unter Umgebungsdruck 1.013 hPa). Eine weitere Energiezufuhr erhöht die Temperatur zunächst nicht mehr, sondern wird für den Phasenübergang „fest – flüssig“ als Arbeit gegen die Bindungskräfte der Materie (= Volumenänderung) benötigt. Erst wenn das Eis vollständig geschmolzen ist, steigt die Temperatur wieder an, bis die Verdampfungstemperatur bei Umgebungsdruck von 100 °C erreicht ist. Bei weiterer Energiezufuhr bleibt die Temperatur konstant, bis da Wasser vollständig in Dampf umgewandelt ist. Die Unterschiede in der Steigung der Temperaturkurve zwischen den Phasenübergängen sind durch die unterschiedliche spezifische Wärmekapazität von Eis, Wasser und Wasserdampf bedingt.

Allgemein wird zum Schmelzen der Masse  $m$  eines festen Stoffes bei der Schmelztemperatur  $T$  die Schmelzenthalpie  $\Delta H_s$  benötigt:

$$\Delta H_s = m \cdot \Delta h_s \quad \text{Gl. 6}$$

Dabei stellt der Term  $\Delta h_s$  in Gl. 6 die spezifische Schmelzenthalpie in kJ/kg dar. Dieselbe Energie muss der Flüssigkeit beim Erstarren wieder entzogen werden, etwa beim Einfrieren eines Lebensmittels. Erstarren und Schmelzen erfolgen bei derselben Temperatur (siehe Abb. 10.9).

<sup>20</sup> Die Enthalpie  $H$  (Einheit: kJ) ist die Summe aus thermischer Energie  $U$  und Volumenänderungsarbeit ( $p \cdot V$ ). Je nach Phasenübergang handelt es sich um die Sublimations-, Schmelz-, Verdampfungs-, Kondensations- oder Kristallisationsenthalpie.

<sup>21</sup> Isotherm: Zustandsänderung bei konstanter Temperatur.

<sup>22</sup> Isobar: Zustandsänderung bei konstantem Druck.

<sup>23</sup> Isochor: Zustandsänderung bei konstantem Volumen.

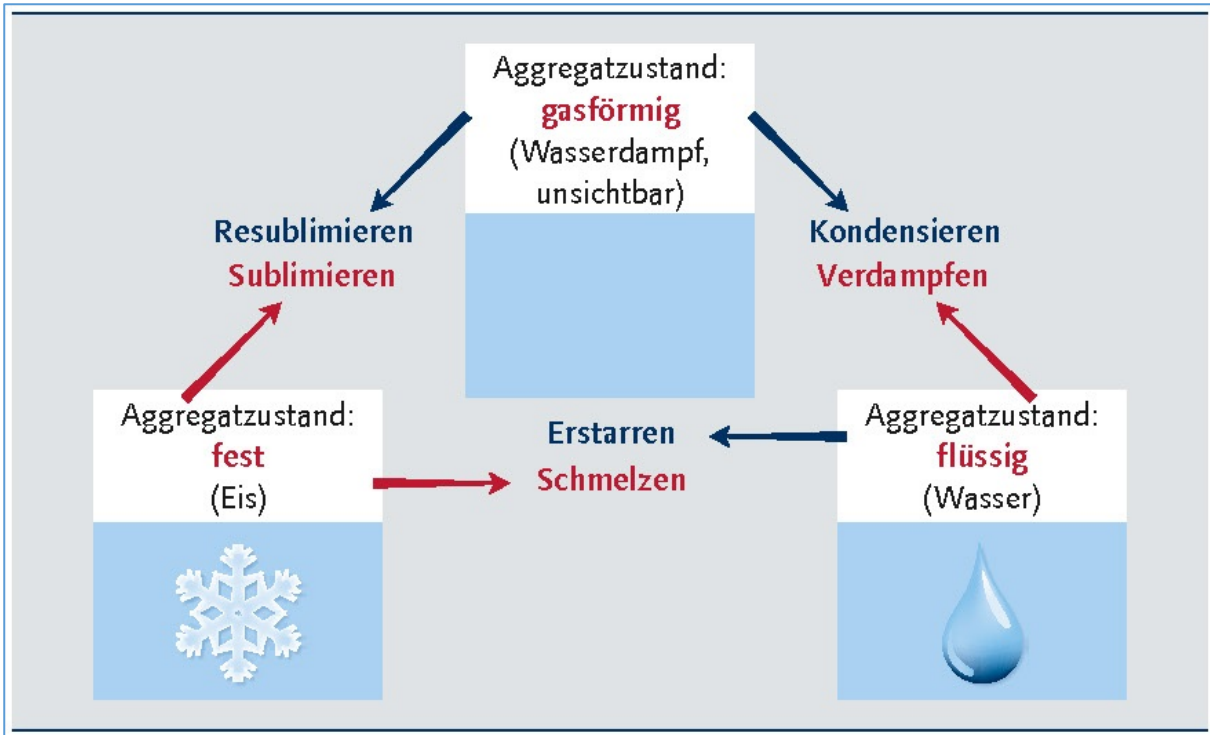


Abb. 10.8: Aggregatzustände und Phasenübergänge bei Wasser

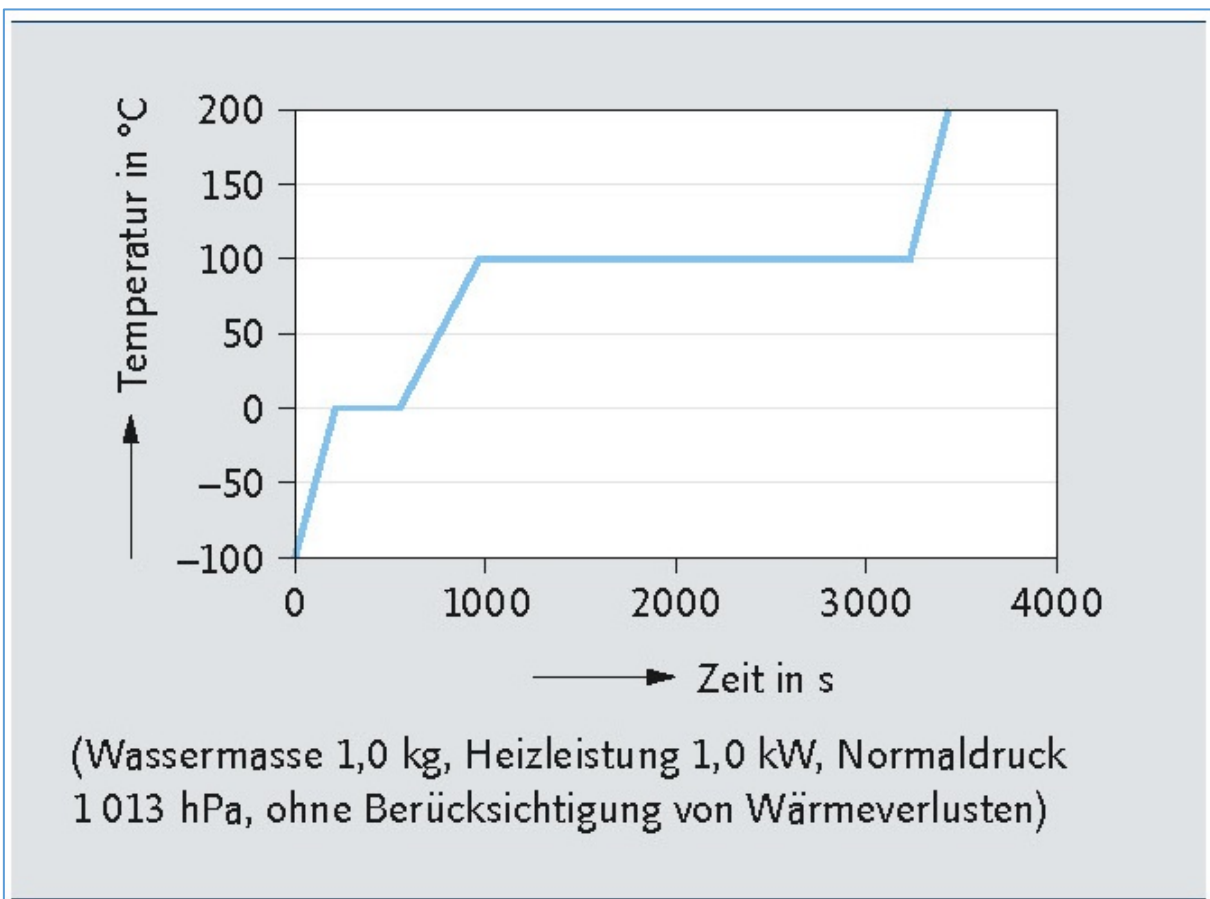


Abb. 10.9: Temperaturverlauf des Wassers bei Energiezufuhr (bei Energieabfuhr vice versa)

Zum Verdampfen der Masse  $m$  einer Flüssigkeit ist bei der Verdampfungstemperatur  $T$  die Verdampfungsenthalpie  $\Delta H_v$  erforderlich (Gl. 7).



$$\Delta H_v = m \cdot \Delta h_v \quad \text{Gl. 7}$$

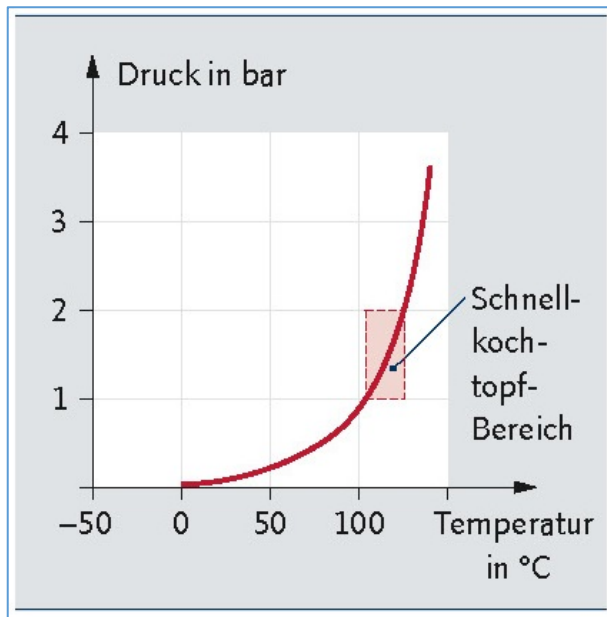
Dabei stellt der Term  $\Delta h_v$  in Gl. 7 die spezifische Verdampfungsenthalpie in kJ/kg dar. Beim Kondensieren eines dampfförmigen Stoffes wird dieselbe Energie als Kondensationsenthalpie freigesetzt. Dieser Vorgang wird z. B. beim Erwärmen von Lebensmitteln im Dampfgarer genutzt. Kondensieren und Verdampfen erfolgen im offenen System bei derselben Temperatur (Zahlenwerte zu den Phasenübergängen für eine Auswahl von Materialien siehe Tab. 10.1).

Tab. 10.1: Schmelzen/Erstarren und Verdampfen/Kondensieren bei Atmosphärendruck

Kenngroße	Schmelztemperatur (°C)	spez. Schmelzenthalpie (kJ/kg)	Verdampfungstemperatur (°C)	Spez. Verdampfungsenthalpie (kJ/kg)
Aluminium	660	356	2.270	10.900
Ethanol	-114	108	78	904
Kochsalz	802	496	1.440	2.900
Kohlenstoffdioxid	-78	197	-57	368
Quecksilber	-39	11	357	285
Stahl	1460	205	2.600	6.340
Stickstoff	-210	255	-196	201
Wasser	0	333	100	2.256

Die Temperaturen des Phasenübergangs sind druckabhängig und steigen mit zunehmendem Druck. Die Erhöhung der Siedetemperatur von Wasser bei steigendem Druck wird beim Druckgaren ausgenutzt. Im Haushalt eingesetzte Schnellkochtöpfe arbeiten bei einem Überdruck von etwa 0,1 MPa (= 1 bar), d. h. der absolute Druck im Topf beträgt ca. 0,2 MPa (= 2 bar). Die dadurch erhöhte Siedetemperatur des Wassers von ca. 120 °C beschleunigt das Garverfahren (siehe Abb. 10.10 und Kap. 10.6).

Während Wasser bei Normaldruck stets nacheinander die Zustände fest – flüssig – gasförmig durchläuft, geht festes Kohlenstoffdioxid (Trockeneis) unter Atmosphärendruck durch Sublimation unmittelbar in den gasförmigen Zustand über. Am sogenannten Tripelpunkt können Stoffe unter bestimmten Temperatur- und Druckwerten alle drei Aggregatzustände annehmen.



Eis besitzt gegenüber anderen Stoffen mit 333 kJ/kg eine sehr hohe spezifische Schmelzenthalpie, flüssiges Wasser mit 2.256 kJ/kg eine extrem große spezifische Verdampfungsenthalpie (Tab. 10.1). Dies spielt in der Natur eine wichtige Rolle. Die Ursache liegt in der ausgeprägten Polarität der Wassermoleküle. Außerdem zeigt Wasser eine Volumenzunahme beim Erstarren (Erstarrungsanomalie), während beim Erstarren der meisten Materialien deren Volumen abnimmt (Schwinden).

Abb. 10.10: Druckabhängigkeit der Siedetemperatur von Wasser

Ferner nimmt die Dichte von Wasser im Temperaturintervall von 0 bis 4 °C mit steigender Temperatur nicht ab, sondern zu (Dichteanomalie) – das kältere Wasser „schwimmt“ sozusagen auf dem wärmeren, weshalb Gewässer von oben her zufrieren. Beim Gefrieren vergrößert sich das Volumen um etwa 10 %. Dies ist auch bei der Wahl von Behältern zum Einfrieren von Lebensmitteln zu beachten.

Unterhalb der Verdampfungstemperatur entweichen einzelne Moleküle aus der Oberfläche einer Flüssigkeit durch Verdunstung. Über einem Wasserspiegel stellt sich in einem abgeschlossenen Volumen ein bestimmter Sättigungsdampfdruck  $p_s$  ein (als sogenannter Partialdruck des Wasserdampfes, falls weitere Gase vorhanden sind). Der Wasserdampf bleibt in Luft bis zu einer bestimmten Konzentration unsichtbar, oberhalb der es zur Kondensation und damit zur Nebelbildung kommt. Die Sättigungsdampfdichte  $\rho_s$  gibt die maximale Wasserdampfdichte an. Sie steigt mit der Temperatur exponentiell an: dies ermöglicht das Trocknen mit warmer Luft. Die Werte von Dampfdruck und Dampfdichte bei Sättigung (Wasserdampf in Luft) in Abhängigkeit von der Temperatur sind in Kap. 10.6 zusammengestellt.

Das Verhältnis der jeweiligen Wasserdampfdichte  $\rho_w$  zum Sättigungswert  $\rho_s$  wird als relative Luftfeuchtigkeit  $f_{\text{rel}}$  bezeichnet und in Prozent angegeben (Gl. 8):

$$f_{\text{rel}} = \rho_w / \rho_s \cdot 100 \% \quad (\text{Gl. 8})$$

Die relative Luftfeuchtigkeit hat großen Einfluss auf Verdunstungs- und Kondensationsprozesse. Je nach anfänglicher relativer Luftfeuchte wird bei absinkender Temperatur früher oder später die Sättigungsdampfdichte überschritten und an der kältesten Stelle setzt dann Kondensation ein. Die zugehörige Temperatur wird als Taupunkt bezeichnet – je trockener die Luft ist, desto tiefer liegt ihr Taupunkt.

Eine wichtige Größe speziell für die Haltbarkeit von Lebensmitteln ist die Wasseraktivität ( $a_w$ -Wert, Gl. 9) – ein Maß für den Gehalt an ungebundenem und locker gebundenem Wasser. Je größer der  $a_w$ -Wert ist, desto leichter kann das Lebensmittel verderben, denn frei verfügbares Wasser ist vor allem für das Wachstum und den Stoffwechsel von Mikroorganismen unerlässlich, zudem für die Wirksamkeit qualitätsmindernder Enzyme (Hydrolasen).

$$a_w = p_w/p_s \cdot 100 \% \quad (\text{Gl. 9})$$

Der  $a_w$ -Wert berechnet sich als Quotient des Wasserdampfpartialdrucks  $p_w$  im Lebensmittel und dem Sättigungsdampfdruck  $p_s$  reinen Wassers bei einer bestimmten Temperatur – es ergibt sich eine dimensionslose Zahl zwischen 0 (wasserfreie Stoffe) und 1 (reines Wasser). Dieser Quotient wird in der Regel mit 100 multipliziert und als Prozentwert angegeben (Gl. 9).

## 10.4 DRUCK, VISKOSITÄT

JÖRG ANDREÄ

Der Druck  $p$  ist das Verhältnis der senkrecht auf eine Fläche wirkenden Kraft  $F$  zur Größe  $A$  dieser Fläche (siehe Abb. 10.11 links) bzw. der Differenzenquotient, wenn im Fall einer gekrümmten Fläche ein kleines Flächenelement  $\Delta A$  und der jeweils dazu senkrechte Kraftbeitrag  $\Delta F$  betrachtet werden (Gl. 10):

$$p = F/A \quad \text{bzw.} \quad p = \Delta F/\Delta A \quad (\text{Gl. 10})$$

Der Druck pflanzt sich in Flüssigkeiten und Gasen allseitig fort. Aus der Definitionsgleichung folgt als SI-Einheit für den Druck:  $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pascal} = 1 \text{ Pa}$ . Häufig benutzt werden auch die Einheiten Hektopascal ( $1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$ ), Megapascal ( $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$ ) sowie Bar (bar) und Millibar (mbar). Für die Umrechnung gilt (Gl. 11):

$$1 \text{ mbar} = 10^2 \text{ Pa} = 1 \text{ hPa} \quad \text{und} \quad 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0,1 \text{ MPa} \quad (\text{Gl. 11})$$

Der mittlere Luftdruck  $p_0$  auf Meereshöhe beträgt  $1.013 \text{ hPa}$ . Mit zunehmender Höhe  $h$  nimmt der Luftdruck nach der barometrischen Höhenformel exponentiell ab (Gl. 12):

$$p = p_0 \cdot e^{-h/7.990 \text{ m}} \quad (\text{Gl. 12})$$

Wenn Wasser siedet, ist der Dampfdruck ebenso hoch wie der lokale Luftdruck. Mit zunehmender Höhe sinkt daher der Siedepunkt (siehe Abb. 10.12). Als Richtwert ist je  $300 \text{ m}$  Höhenzunahme mit einer Abnahme der Siedetemperatur um  $1 \text{ K}$  zu rechnen – die Siedetemperatur des Wassers beträgt demnach auf dem Mont Blanc ( $4.811 \text{ m}$  hoch) nur noch etwa  $84 \text{ }^\circ\text{C}$ .

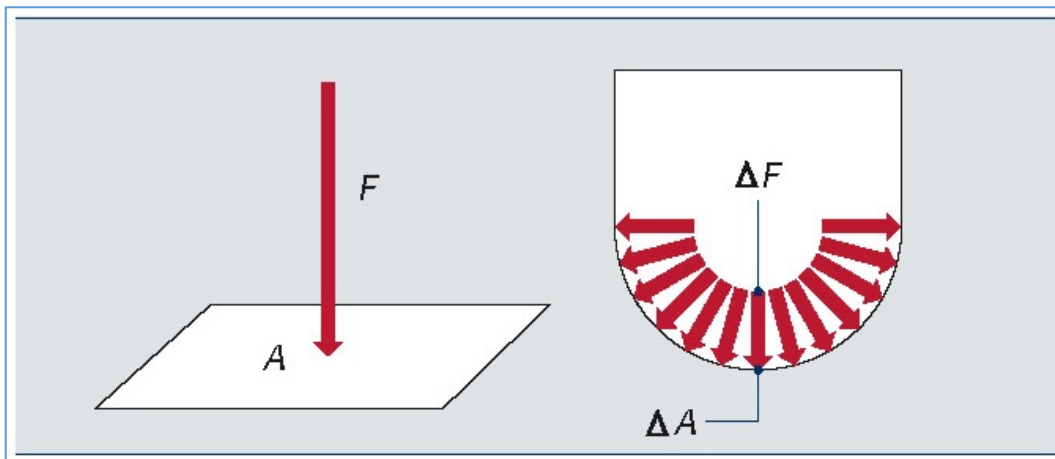


Abb. 10.11: Definition des Drucks bei einer ebenen und einer gekrümmten Fläche

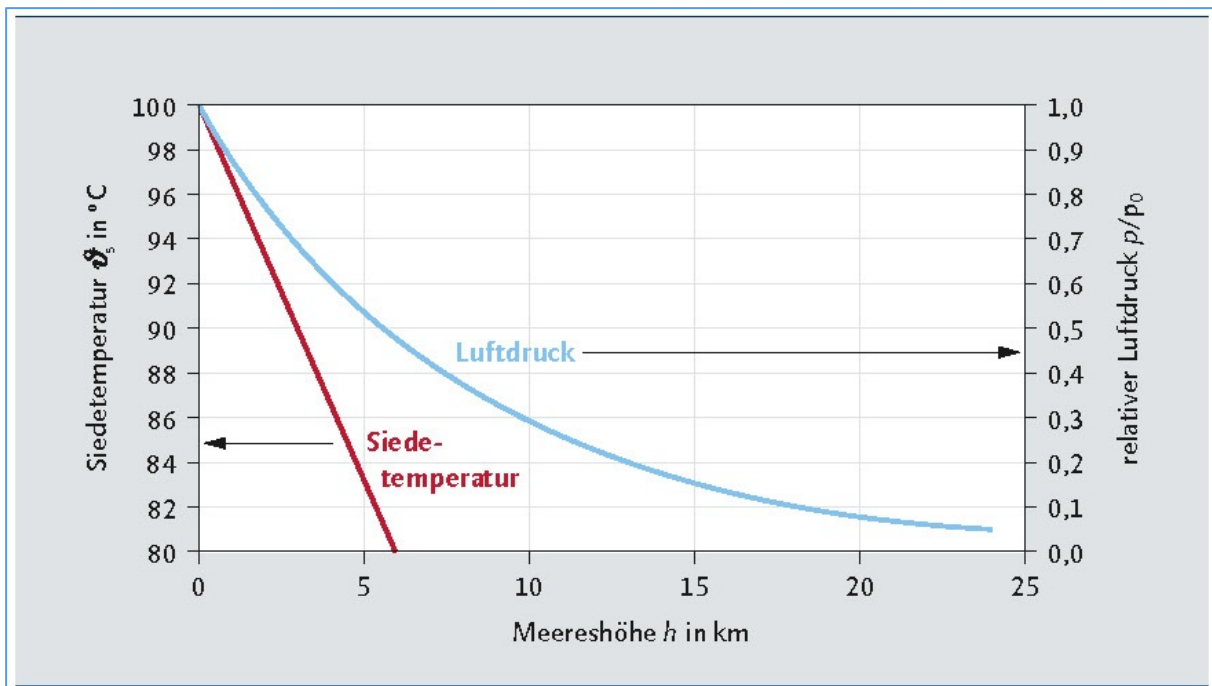


Abb. 10.12: Relativer Luftdruck und Siedetemperatur als Funktion der Meereshöhe

Der absolute Druck ist auf das Vakuum bezogen. Es ist vielfach zweckmäßiger, stattdessen den Überdruck oder Unterdruck  $\Delta p$  gegenüber dem mittleren Luftdruck  $p_0$  zu nennen. So wird z. B. der Druck in einem Schnellkochtopf in MPa-Überdruck angegeben, im Saugrohr eines Staubsaugers dagegen in hPa-Unterdruck.

Die dynamische Viskosität (Zähigkeit)  $\eta^{24}$  eines Mediums ist eine Kenngröße für die zwischenmolekularen Reibungskräfte, die bei der Strömung von Flüssigkeiten und Gasen auftreten. Die Viskosität tritt im Newtonschen Reibungsgesetz als Faktor auf: Um in einem Medium eine Fläche 1 mit der Geschwindigkeit  $v$  im Abstand  $d$  an einer ruhenden Fläche 2 vorbeizubewegen (siehe Abb. 10.13), muss die Reibkraft  $F_R$  überwunden werden (Gl. 13):

$$F_R = \eta \cdot A \cdot v/d \quad (\text{Gl. 13})$$

<sup>24</sup> Griechischer Buchstabe – sprich: eta.

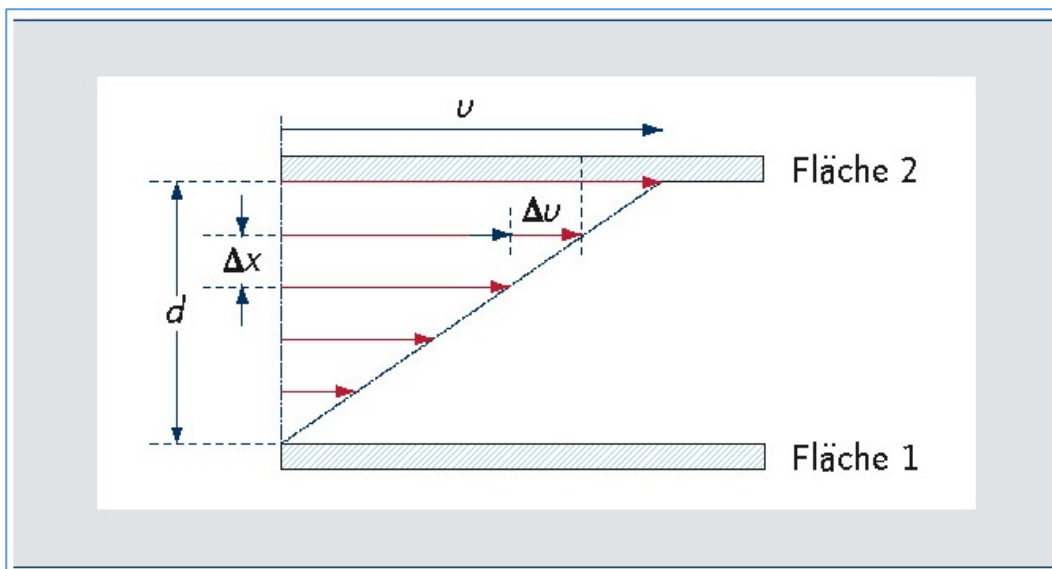


Abb. 10.13: Zur Definition der Viskosität

Dabei stellt sich ein lineares Geschwindigkeitsprofil zwischen den beiden Flächen ein, bei dem die einzelnen Flüssigkeitsschichten mit einem Geschwindigkeitsgradienten  $\Delta v/\Delta x$  aufeinander abgleiten (siehe Abb. 10.13). Durch Messung der Reibungskraft  $F_R$  kann die dynamische Viskosität bestimmt werden. Das Newtonsche Gesetz ergibt dafür als Einheit  $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s}) = \text{Pa} \cdot \text{s}$ . Zur Bestimmung der Viskosität einer Flüssigkeit wird im laborüblichen Rotations-Viskosimeter das Mitnahmemoment eines Drehkörpers ausgewertet.

Die Viskosität spielt in der Physiologie und in der Lebensmitteltechnologie eine wichtige Rolle. Von großer Bedeutung ist das Gesetz von Hagen-Poiseuille, das den Durchfluss durch Röhren beschreibt. Die Viskosität für alle Stoffe ist stark temperaturabhängig. Beispiele für die Viskosität verschiedener Lebensmittel bei Zimmertemperatur (20 °C) sind in Tab. 10.2 wiedergegeben.

Tab. 10.2: Viskosität verschiedener Lebensmittel bei 20 °C (zum Vergleich: Viskosität von Luft)

Lebensmittel		Ketchup	Sirup	Honig	Glycerin
Viskosität	$\eta$ in Pa · s	≈ 50	≈ 10	≈ 3	1,48
Lebensmittel		Olivenöl	Kaffeesahne	Wasser	Luft
Viskosität	$\eta$ in Pa · s	≈ 0,1	≈ 0,01	0,001	0,000 018

Die Verhältnisse werden schwieriger, wenn der Charakter der Strömung mit zunehmender Geschwindigkeit vom wirbelfreien (laminaren) Zustand in Turbulenz (mit Wirbelentstehung) umschlägt. Bei komplexen Substanzen (z. B. Teigen) ist der Zusammenhang zwischen Reibungskraft und Geschwindigkeit nicht mehr linear (sie zeigen ein nicht-Newtonsches Verhalten), und die Viskositätskurve liefert wichtige Informationen über stoffliche Details.

## 10.5 STOFFMENGE, KONZENTRATION, WASSERHÄRTE

JÖRG ANDREÄ

### STOFFMENGE UND TEILCHENZAHL

Die Basiseinheit für die Angabe von Stoffmengen ist das Mol (Kurzzeichen mol). Ein Mol einer Substanz enthält definitionsgemäß ebenso viele Teilchen wie 12 g des Kohlenstoff-Isotops  $^{12}\text{C}$ . Die universelle Avogadro-Konstante  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  nennt die Anzahl der Teilchen pro Mol.

Die molare Masse  $M$  einer Substanz gibt an, wie viel Gramm Masse ein Mol der betreffenden Substanz entspricht. Der Zahlenwert ist identisch mit dem der Atom- bzw. Molekülmasse (im Periodensystem), die Einheit lautet g/mol. Die Stoffmenge  $n$  in mol (Anzahl der Mole), die in der Masse  $m$  einer Substanz mit der molaren Masse  $M$  enthalten ist, errechnet sich als  $n = m/M$ .

Das molare Volumen eines idealen Gases beträgt 22,4 l/mol unter Normbedingungen (0 °C, 1.013 hPa) und gilt annähernd auch für reale Gase („molares Normvolumen“).

Besondere Bedeutung hat die Stoffmenge bei chemischen Lösungen, z. B. bei einer wässrigen Kochsalzlösung. Da der gelöste Stoff gleichmäßig im Lösungsmittel verteilt ist, muss eine Lösung nicht unbedingt als solche erkennbar sein. Grundsätzlich kann jeder der drei Aggregatzustände vorliegen – Lösungen können auch fest oder gasförmig sein.

### KONZENTRATION

Unter der Konzentration  $c$  einer Lösung ist der Quotient aus der Anzahl der gelösten Mole  $n$  und dem Volumen  $V$  der Lösung zu verstehen:  $c = n/V$ . Die Konzentration  $c$  wird in mol/l oder mmol/l angegeben. Sind z. B. 58,5 g Kochsalz (1 Mol) in 1 l Wasser gelöst, liegt im Sprachgebrauch der Chemie eine 1-molare Lösung vor, und in 3 l einer 0,5-molaren Lösung müssen enthalten sein:

$$n = c \cdot V = 0,5 \text{ mol/l} \cdot 3 \text{ l} = 1,5 \text{ Mol} = 87,8 \text{ g Kochsalz}$$

Diese Stoffmenge entspricht  $1,5 N_A = 9,033 \cdot 10^{23}$  Salzmolekülen.

Die Eigenschaften einer Lösung sind sowohl durch das Lösungsmittel als auch durch den gelösten Stoff bestimmt. Viele Messgrößen zeigen eine eindeutige Abhängigkeit von der Konzentration der Lösung, z. B. die Farbintensität, die elektrische Leitfähigkeit von Ionenlösungen oder der Brechungsindex, und können daher zur analytischen Bestimmung der Konzentration benutzt werden.



## WASSERHÄRTE

Als Wasserhärte wird die Konzentration aller im Trinkwasser gelösten Erdalkali-Ionen bezeichnet (Gesamthärte). Die wesentlichen Härtebildner sind dabei Calcium- und Magnesium-Ionen, die in unlöslichen Verbindungen als Kalk und Kalkseifen ausfallen. Hartes Wasser im Haushalt bedingt einen höheren Verbrauch an Reinigungsmitteln und kann Geräte verkalken lassen.

Die Härte wird als Stoffmengen-Konzentration (üblicherweise in mmol / l) angegeben. Andere Einheiten haben vorwiegend lokale Bedeutung. Der deutsche Härtegrad (Einheit °D oder °DH) ist auf die Massenkonzentration von Calciumoxid (CaO) bezogen:

$$1 \text{ °D} = 10 \text{ mg CaO}/1 \text{ l wässrige Lösung} = 10 \text{ mg}/(1 \text{ l} \cdot 56 \text{ g/mol}) = 0,18 \text{ mmol/l.}$$

Die Wasserhärte liegt in Deutschland zwischen 2 °D und 70 °D, typisch sind Werte von 10 bis 25 °D. Die örtliche Härte kann beim zuständigen Wasserversorger erfragt werden. Europaweit einheitlich wird die Wasserhärte in drei Härtebereiche eingeteilt (siehe Tab. 10.3):

Tab. 10.3: Definition der Härtebereiche

Wasch-und Reinigungsmittelgesetz 2007	Wasserhärte in mmol/l	Vergleichsangabe in °D
weich	unter 1,5	unter 8,4
mittel	1,5 bis 2,5	8,4 bis 14
hart	über 2,5	über 14

Beim maschinellen Spülen ist nur dann keine Enthärtung erforderlich, wenn die Wasserhärte 5 °D nicht übersteigt. In Haushaltsgeschirrspülern ist dazu ein Ionentauscher integriert (siehe auch Kap. 9.2), dessen Funktionsprinzip in Abb. 10.14 dargestellt ist. Kügelchen aus Kunstharz werden zunächst durch eine Kochsalzlösung mit Natrium-Ionen beladen. Beim Vorbeifließen des Leitungswassers lagern sich stattdessen die darin enthaltenen Calcium-Ionen an (Ionenaustausch, Abb. 10.14a). Ist der Vorrat an Natrium-Ionen erschöpft, wird der Ionentauscher durch erneutes Spülen des Behälters mit konzentrierter Kochsalzlösung (Regeneriersalz, nicht Speisesalz) wieder regeneriert (siehe Abb. 10.14b).

Ein derartiger Ionentauscher entfernt keinesfalls sämtliche Salzbildner aus dem Wasser. Dazu wäre eine Entionisierung (Vollentsalzung) durch die Kombination von Kationen- und Anionen-Austauschern oder durch Umkehrosmose erforderlich. Von dieser Technik wird u. a. in Wäschereien, Großküchen und Analytiklabors Gebrauch gemacht.

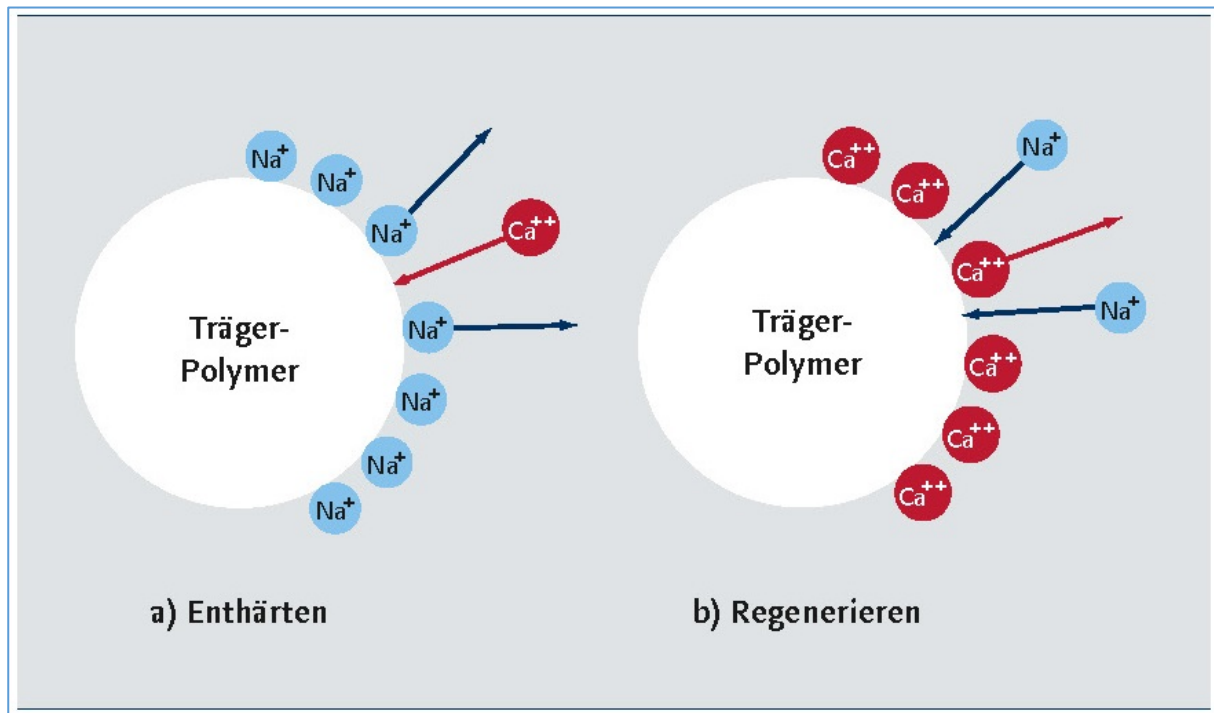


Abb. 10.14: Funktionsprinzip eines Ionentauschers

## 10.6 STOFFKENNWERTE

### WOLFHART LICHTENBERG

Zur fachlichen Fundierung der in diesem Buch erläuterten Prozesse wird eine Vielzahl von lebensmittel- und haushaltstechnischen Stoffkennwerten benötigt. Das Aufsuchen dieser Werte ist mühsam und erfordert meist viel Zeit. Im Folgenden sind daher die wichtigsten Daten für Lebensmittel und für relevante technische Materialien zusammengestellt. Hinsichtlich weitergehender Fragestellungen ist die Fachliteratur heranzuziehen – diese Datensammlung kann keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben.

### ERLÄUTERUNG DER TABELLENGRÖßEN

#### GENAUIGKEITEN, TOLERANZEN

Die aufgelisteten Werte weisen keine einheitliche Genauigkeit auf. Im Bereich der Lebensmittel stellen alle angegebenen Daten lediglich Richtwerte dar. Dabei ist die Unsicherheit nicht durch das Messverfahren, sondern durch die Streuung der Proben bedingt: Die Beschaffenheit von Lebensmitteln schwankt erheblich, da sie von zahlreichen Einflüssen wie Düngung, Wachstumsbedingungen, Ernte und Lagerung abhängt, bei der Tierproduktion auch von der Fütterung.

Bei den technischen Materialien wären im Sinne der Werkstoffkunde jeweils sehr umfangreiche Spezifikationen (bei Metallen z. B. Reinheit, thermische Vorbehandlung usw.) erforderlich, um präzise Angaben machen zu können. Auch hier können die nachfolgenden Tabellen im Allgemeinen nur Richtwerte liefern. Insbesondere wären bei den Nichtmetallen als Gebrauchsstoffen eingehende Produktdetails unerlässlich. So ergibt sich z. B. bei Kunststoffen aus der Bezeichnung und der Klassifizierung noch keine genaue Aussage über ihre Eigenschaften, die u. a. vom Polymerisationsgrad und von den ggf. verwendeten Weichmachern abhängen. Ebenso können bei Glas und Keramik ohne genaue Kenntnis von Zusammensetzung und Herstellungsprozess nur Anhaltswerte gegeben werden, ohne den Rahmen dieses Werkes zu sprengen.

#### MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN

- **Dichte  $\rho$** : Quotient „Masse durch Volumen“, übliche Einheit kg/l oder kg/m<sup>3</sup>. Die Dichte ist im Allgemeinen für die Raumtemperatur (20 °C) angegeben. Bei körnigen Lebensmitteln ist zu unterscheiden zwischen der Kompaktdichte (Materialdichte der einzelnen Körner) und der Schüttdichte (unter Einschluss der Lufträume zwischen den Körnern, wichtig für die Verpackung).
- **Elastizitätsmodul  $E$** : Der Elastizitätsmodul beschreibt die Materialspannung (Quotient  $F/A$  aus wirkender Kraft  $F$  und Materialquerschnitt  $A$ ), die ein Material (theoretisch) auf das Doppelte der Ausgangslänge dehnen würde (Einheit N/mm<sup>2</sup>). Für die Umrechnung gilt: 10<sup>6</sup> N/m<sup>2</sup> = 1 N/mm<sup>2</sup> = 1 Megapascal (MPa); 10<sup>9</sup> N/m<sup>2</sup> = 1 kN/mm<sup>2</sup> = 1 Gigapascal (GPa).
- **Zugfestigkeit oder Bruchspannung  $\sigma_B$** : Die Zugfestigkeit ist die Spannung (auf den Anfangsquerschnitt bezogen), bei der das Materialgefüge zerreißt; sie wird in MPa angegeben.
- **Streckgrenze  $\sigma_S$** : Diejenige Spannung, oberhalb der es zu einer dauernden Verformung kommt. Da dieser Übergang messtechnisch schwierig zu definieren ist, wird meist die Spannung angegeben, die zu einer Materialdehnung von 0,2 % führt (Angabe in MPa).

#### THERMISCHE EIGENSCHAFTEN

- **Spezifische Wärmekapazität  $c$** : Die spezifische Wärmekapazität (kJ/(kg · K)) gibt die Wärmemenge an, deren Zuführung 1 kg des Stoffes um 1 K erwärmt. Sie ist für den flüssigen und den festen Zustand unterschiedlich.  $c_{\text{FEST}}$  bezeichnet die Wärmekapazität eines festen Stoffes,  $c_{\text{GEFR}}$  in gefrorenem Zustand.

- **Spezifische Erstarrungsenthalpie<sup>25</sup>  $h_s$** : Der Energiebetrag  $h_s$  wird beim Übergang eines Stoffes vom flüssigen in den festen Zustand frei (oder umgekehrt als Schmelzenthalpie<sup>26</sup> benötigt). Die Erstarrungsenthalpie wird in J/g oder kJ/kg angegeben.
- **Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$** : Sie ist ein Maß für den Wärmestrom durch ein Material infolge des vorhandenen Temperaturgefälles; übliche Einheit: W/(m K). Die Wärmeleitfähigkeit ist temperaturabhängig und wird deshalb für eine bestimmte Temperatur – hier 20 °C – angegeben.
- **Längenausdehnungskoeffizient  $\alpha$** : Der Temperatúrausdehnungskoeffizient gibt die relative Längenänderung (bei festen Stoffen) oder Volumenänderung (bei Flüssigkeiten und Gasen) für eine Temperaturänderung um 1 K an (Einheit K<sup>-1</sup>).
- **Schmelzpunkt**: Die Schmelz- oder Erstarrungstemperatur ist bei Fetten nicht scharf definiert.
- **Rauchpunkt**: Der Rauchpunkt eines Fettes oder Öles ist definiert als die niedrigste Temperatur, bei der über einer erwärmten Probe eine Rauchentwicklung sichtbar wird.
- **Flammpunkt**: Bei Fett diejenige Temperatur, bei der es unter vorgegebenen Bedingungen durch Fremdzündung entflammt.

#### ELEKTRISCHE EIGENSCHAFTEN

- **Spezifischer (elektrischer) Widerstand  $\rho_{el}$** : Der spezifische Widerstand wird in  $\Omega \cdot m$  angegeben.
- **Temperaturkoeffizient  $R$  des elektrischen Widerstands**: Bei vielen Materialien ist die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes über einen weiten Bereich linear. In diesen Fällen ist die Angabe seines Temperaturkoeffizienten sinnvoll. Er ist definiert als Quotient „relative Widerstandsänderung durch Temperaturänderung“ (Einheit K<sup>-1</sup>, Bezugswert ist der Widerstand bei 20 °C, oft auch 0 °C, z. B. bei Temperaturfühlern).

#### MIKROWELLENEIGENSCHAFTEN

- **Relative Permittivität** (auch Permittivitätszahl, früher rel. Dielektrizitätszahl)  $r$ : Ein (dimensionsloses) Maß für die Dipolstärke des Materials – entscheidend für die Eindringtiefe von Mikrowellen und die Materialerwärmung.
- **Phasenverschiebungsfaktor  $d = \tan \delta$** : Bestimmt gemeinsam mit  $r$  den Erwärmungsfaktor eines Stoffes, als Winkelfunktion ebenfalls dimensionslos.

<sup>25</sup> Erstarrungs- oder Kristallisationsenthalpie, früher auch Erstarrungswärme genannt.

<sup>26</sup> Schmelzenthalpie, früher auch Schmelzwärme genannt.

- **Erwärmungsfaktor  $\epsilon_r \cdot \tan \delta$** : Ein Maß für die im Mikrowellenfeld erfolgende Energieabsorption und damit für die Erwärmung eines Stoffs.

#### STOFFGRÖßEN VON LEBENSMITTELN

Die Lebensmittel sind gruppenweise tabelliert, unter Verwendung der Systematik des Nachschlagewerks von Souci-Fachmann-Kraut<sup>27</sup>. Die Auflistung innerhalb der jeweiligen Gruppe erfolgt in alphabetischer Reihenfolge. Der physiologische Brennwert von Lebensmitteln wird hier nicht aufgeführt; Werte sind bei Bedarf z. B. in den Souci-Fachmann-Kraut-Tabellen nachzuschlagen. Die Angaben für Lebensmittel sind lückenhaft, da in der Literatur wenige Stoffdaten zu finden sind. Die Lebensmittel sind trotzdem weitgehend vollständig aufgeführt – z. B. können Hersteller firmeninterne Daten liefern, die aber häufig nicht allgemein zugänglich gemacht werden.

Auf den nachfolgenden Seiten sind die detaillierten Tab. 10.4 bis 10.18 zu finden.

---

<sup>27</sup> Souci-Fachmann-Kraut: Die Zusammensetzung der Lebensmittel, Nährwert-Tabellen. WVG Stuttgart, 8. Aufl. (2016). Siehe auch Online-Datenbank unter <https://info.sfk.online/> (zuletzt abgerufen am 06.08.2021)

Tab. 10.4: Milch, Milchprodukte und Hühnerei (Teil 1)

Lebensmittel	Wassergehalt %	Dichte bei 20 °C $\rho$ kg/l	spez. Wärme- kapazi- tät $c$ kJ/(kg K)	spez. Wärme- kapazi- tät, gefr. $c_{\text{gefr}}$ kJ/(kg K)	spez. Erstar- rungs- enthalpie <sup>1)</sup> $h_s$ kJ/kg	Wärme- leitfähig- keit $\lambda$ W/(m K)
Milch						
Trinkmilch, 3,5 % Fett	87,5	1,03	3,89	2,05		0,59
Trinkmilch, 1,5 % Fett	89,6		3,79			0,58
Milchprodukte						
Joghurt aus Trinkmilch 3,5 %	87					
Joghurt aus Trinkmilch 1,5 %	88,9					
Schlagsahne, 30 % Fett	62	1,01	2,82	1,51	197	0,31
Saure Sahne	75,5					
Milchpulver aus Vollmilch	3,5	0,61 <sup>2)</sup>				
Käse						
Camembert, 50 % F. i. Tr.	52,0			1,50	174	
Emmentaler, 45 % F. i. Tr.	35,7					
Edamer, 40 % F. i. Tr.	44,8					
Gouda, 45 % F. i. Tr.	36,4					

<sup>1)</sup> mit umgekehrtem Vorzeichen: Schmelzenthalpie



Tab. 10.5: Milch, Milchprodukte und Hühnerei (Teil 2)

Lebensmittel	Wassergehalt %	Dichte bei 20°C $\rho$ kg/l	spez. Wärmekapazität $c$ kJ/(kg K)	spez. Wärmekapazität, gefr. $c_{\text{gefr}}$ kJ/(kg K)	spez. Erstarrensenthalpie <sup>1)</sup> $h_s$ kJ/kg	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ W/(m K)
Doppelrahmkäse, 60 % F. i. Tr.	52,8					
Speisequark, 20 % F. i. Tr.	78					
Schweizer Käse	39			1,33	131	
Schmelzkäse, 45 % F. i. Tr.	51,3					
Ei (Hühnerei)						
Vollei	74,1		3,19	1,68		
Eigelb	50		3,11		0,339	
Eiklar	87,3	1,05	3,91		0,557	
Vollei, getrocknet		0,34 <sup>2)</sup>				

1) und Schmelzenthalpie  
2) Schüttdichte

Tab. 10.6: Fette und Öle

Lebensmittel	Wassergehalt %	Dichte bei 15°C $\rho$ kg/l	spez. Wärmekapazität $c$ kJ/(kg K)	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ W/(m K)	Schmelzpunkt °C	Rauchpunkt °C	Flammpunkt °C
Pflanzliche Fette							
Baumwollsamensöl		0,92			19	223	322
Erdnussöl		0,91		0,17	23	207	315
Kokosfett		0,92				194	288
Leinöl		0,93					
Maiskeimöl		0,92	1,73				
Margarine	19,2		2,77				
Diätmargarine	19,1						
Halbfettmargarine	57,9						
Olivenöl		0,91		0,17			
Palmöl		0,92			18	223	314
Sesamöl		0,92		0,18			
Sojaöl		0,92			24	213	317
Sonnenblumenöl		0,92	1,93	0,13		209	316
Walnussöl		0,92					
Tierische Fette							
Butter	15,3	0,94			28–38		
Talg		0,94			33		

Tab. 10.7: Fisch (mittlere Dichte 0,967 kg/l) und Meeresfrüchte

Lebensmittel	Wassergehalt %	spez. Wärmekapazität $c$ kJ/(kg K)	Gefrierpunkt °C	spez. Wärmekapazität, gefr. $c_{\text{gefr}}$ kJ/(kg K)	spez. Erstarrungsenthalpie $h_s$ kJ/kg	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ W/(m K)
Frischfisch						0,59 (Mittel)
Dorsch	78	3,44	-2,0	1,81	260	
Heilbutt	75	3,36	-2,2	1,81	252	
Hering	70	3,19	-2,2	1,72	231	0,80 (gefr.)
Thunfisch	70	3,19	-2,2	1,72	231	
Lachs	64	2,98	-2,2	1,64	214	0,5
Dorschfilet	80	3,53	-2,2	1,85	269	
Makrelenfilet	57	2,77	-2,2	1,55	193	
Austern	87	3,78	-2,2	1,93	294	
Garnelen	83	3,61	-2,2	1,89	277	
Muscheln	80	3,53	-2,2	1,85	269	
Hummer	79	3,49	-2,2	1,85	269	

Tab. 10.8: Fleisch (mittlere Dichte 1,07 g/cm<sup>3</sup>) und Geflügel

Lebensmittel	Wassergehalt %	spez. Wärmekapazität $c$ kJ/(kg K)	spez. Wärmekapazität, gefr. $c_{\text{gefr}}$ kJ/(kg K)	spez. Erstarungsenthalpie $h_s$ kJ/kg	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ W/(m K)
Huhn, Brathuhn	72,7	3,57	1,76	248	0,41
Hühnerbrust	75,0				
Hühnerkeule	74,7				
Suppenhuhn	60,0				0,44
Puter, Brust	73,7				0,50
Puter, Keule	74,7	3,53	1,76	248	0,50
Hammelfleisch, Brust	48,0	2,80	1,25	194	
Kalbfleisch, Kotelett	74,5	3,11	1,68	223	
Rind, Muskelfleisch	74,8	3,23	1,72	231	0,48
Rind, Filet	75,1				0,50
Schwein, Muskelfleisch	74,7	3,49	1,72	239	0,48
Schwein, Filet	67,6				0,48
Schwein, Kotelett	66,9				

Tab. 10.9: Getreide und Getreideprodukte

Lebensmittel	Wassergehalt %	Dichte bei 20°C $\rho$ kg/l	Schüttdichte bei 20°C $\rho_s$ kg/l	spez. Wärme- kapazität $c$ kJ/(kg K)	Wärmeleit- fähigkeit $\lambda$ W/(m K)
Hafer, Korn	13,0	1,36	0,44		0,13
Hafer, Flocken	10,0				
Hirse, Korn	12,1				
Mais, Korn	12,5			3,32	0,09
Naturreis, Korn	13,1	1,37	0,58		
Reis poliert, roh	12,9				
Roggen, Korn	13,7				
Roggenmehl 815	14,3				
Roggenmehl (Vollkorn)	14,3				
Weizen, Korn	13,2	1,42	0,81	1,63	0,17
Weizengrieß	13,1				
Weizenmehl 405	13,9		0,45		
Weizenmehl (Vollkorn)	13,1		0,79		

Tab. 10.10: Gemüse

Lebensmittel	Wassergehalt %	Dichte bei 20 °C $\rho$ kg/l	spez. Wärmekapazität $c$ kJ/(kg K)	spez. Wärmekapazität, gefr. $c_{\text{gefr}}$ kJ/(kg K)	spez. Erstarrungsenthalpie $h_s$ kJ/kg	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ W/(m K)
Blumenkohl	91,6		3,91	1,97	307	
Bohnen, grün	90,3	0,95	3,82	1,97	297	0,796 (gefr.)
Brokkoli	89,7		3,86	1,97	302	0,381 (gefr.)
Erbsen, grün	77,3	1,02	3,57			0,311
Fenchelkraut	86,0					
Grünkohl	86,3					
Gurken	96,8		4,07	2,06	319	
Kartoffeln	77,8		3,43	1,80	258	0,415 (gefr.)
Knollensellerie	88,6					
Kohlrabi	91,6					
Kopfsalat	95,0				316	
Kürbis	91,3					0,502
Karotten	88,2		3,78	1,93	294	0,675 (gefr.)
Paprika	91,0		3,95	1,97	307	
Porree	89,0					
Rosenkohl	85,0		3,70	1,93	286	
Rote Beete	88,8					
Spargel	93,6		3,95	2,02	311	
Spinat	91,6		3,95	2,02	307	
Tomaten	94,2	1,00	3,99	2,02	311	
Weißkohl	92,4		3,95	1,97	307	
Zucchini	92,2					
Zuckermais	74,7		3,32	1,76	248	
Zwiebel	87,6					



Tab. 10.11: Obst

Lebensmittel	Wassergehalt %	Dichte bei 20 °C $\rho$ kg/l	spez. Wärme- kapazität $c$ kJ/(kg K)	spez. Wärme- kapazität, gefr. $c_{\text{gefr}}$ kJ/(kg K)	spez. Erstar- rungs- enthalpie $h_s$ kJ/kg	Wärmeleit- fähigkeit $\lambda$ W/(m K)
Ananas	85,3		3,70	1,89	286	
Apfel	85,3		3,59	1,88		0,42
Apfelsine	85,7		3,78	1,93	286	0,42
Aprikose	85,3	1,00	3,70	1,93	284	
Avocado	68,0					
Banane	73,9		3,36	1,76	252	
Birne	84,3		3,61	1,89	273	
Brombeere	84,7		3,70	1,93	286	
Erdbeere	89,5	0,90	3,86	1,76	289	0,68
Feige, roh	80,2		3,44	1,81	260	
Grapefruit	89,0					0,40
Heidelbeere	76,6		3,78		286	
Himbeere	84,5		3,65	1,89	281	
Schwarze Johannis- beere	81,3	1,00	3,70	1,89	281	0,31 (gefr.)
Süßkirsche	82,8	1,04	3,65	1,89	365	
Kiwi	83,8					
Mango	82,0					
Pfirsich	87,5	1,01	3,78		286	1,13
Pflaume	83,7	1,03	3,65		169	0,29 (gefr.)
Preiselbeere	87,4					
Stachel- beere	87,3					0,28 (gefr.)
Weintraube	81,1		3,61	1,85	273	
Zitrone	90,2		3,86	1,93	294	

Tab. 10.12: Getränke

Lebensmittel	Wassergehalt %	Dichte bei 20 °C $\rho$ kg/l	spez. Wärme- kapazität $c$ kJ/(kg K)	spez. Wärme- kapazität, gefr. $c_{\text{gefz}}$ kJ/(kg K)	spez. Erstar- rungs- enthalpie $h_s$ kJ/kg	Wärme- leitfähig- keit $\lambda$ W/(m K)
Getränke, alkoholfrei						
Wasser	100	0,998	4,18	2,04	234	0,59
Apfelsaft	88,1	1,06	3,86		294	0,51
Birnsaft						0,40
Orangen- saft	87,7	1,04	3,91		298	
Schw. Johannis- beersaft		1,06				
Trauben- saft						0,40
Zitronen- saft		1,04				
Getränke, alkoholisch						
Pilsener Bier	90,6					
Hefe- bier (5 % Alkohol)	87,8	1,09				
Rotwein (11,5 % Alkohol)	89,8	0,995				
Weißwein (9,5 % Alkohol)	89,0	1,005				

Tab. 10.13: Mikrowelleneigenschaften ausgewählter Lebensmittel

Lebensmittel	Temperatur °C	Wasser- gehalt %	Relative Permittivität $\epsilon_r$	Phasenver- schiebungs- faktor $d = \tan \delta$	Erwär- mungs- faktor $d_e$
Fleisch					
Rindfleisch	-15		5,0	0,15	0,75
Rindfleisch	25		61		
Rindfleisch	50		55		
Schweine- fleisch	-15		6,8	0,20	1,36
Schweine- fleisch	25		58		
Gemüse					
Erbsen, gekocht	-15		2,5	0,20	0,50
Karotten	25		72		
Kartoffeln, roh	getaut	80	52-54	0,32-0,37	16,64-19,98
Kartoffeln, gekocht	-15		4,5	0,20	0,90
Spinat, gekocht	-15		13	0,50	6,50
Obst					
Apfel	getaut	86	43	0,21	9,03
Honig- melone	getaut	90-92	49-55	0,25-0,37	12,25-20,35
Pfirsich	getaut	89-91	51-62	0,31	15,81-19,22
Wasser- melone	getaut	91	59	0,26	15,34

Tab. 10.14: Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf

Temperatur °C	Wasserdichte kg/l	Dampfdichte g/m <sup>3</sup>	Dampfdruck bar
-20	Dichte von	0,9	0,001
-10	Eis $\approx$ 0,91	2,1	0,003
0	1,000	4,8	0,006
10	1,000	9,4	0,012
15	0,999	12,8	0,017
20	0,998	17,3	0,023
25	0,997	23,0	0,032
30	0,996	30,3	0,042
35	0,994	39,6	0,056
40	0,992	51,1	0,074
50	0,988	83,0	0,123
60	0,983	130	0,199
70	0,978	198	0,316
80	0,972	293	0,474
100	0,958	598	1,013
120		1 128	1,985
150		2 550	4,761

MATERIALIEN FÜR GESCHIRR UND BEDARFSGEGENSTÄNDE

Material	Dichte $\rho$ g/cm <sup>3</sup>	Elastizitätsmodul $E$ GPa	Zugfestigkeit $\sigma_B$ MPa	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ W/(m K)	Längen- ausdehnungs- koeffizient $\alpha$ 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	spez. Wärme- kapazität, fest $c_{FEST}$ kJ/(kg · K)	Schmelzpunkt $\vartheta_S$ °C	spez. elektr. Widerstand $\rho_{EL}$ 10 <sup>-6</sup> W · m	Temperaturko- effizient des el. Widerstandes $\Omega_m$ 10 <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
Eisen	7,87	206	323	81	12,1	0,47	1530	≈ 0,13	4,5
Unlegierter Stahl <sup>1)</sup>	7,90	78	330	53	11,5	0,49	1460	≈ 0,15	≈ 5,6
Aluminium	2,70	69	39-49	230	23,9	0,89	660	0,027	4,3
Kupfer	8,93	123	147-196	372	16,4	0,39	1080	0,017	≈ 4,1
Zinn	7,29	54	27	67	21,4	0,24	230	0,115	4,6
Edestahl CrNi 18/10	7,90	200	500	15	16,0	0,51	1450	≈ 1,1	≈ 14

<sup>1)</sup> 0,15% Kohlenstoff

Tab. 10.15: Eigenschaften von Metallen

Material	Kurzbezeichnung	Dichte $\rho$ g/cm <sup>3</sup>	Elastizitätsmodul $E$ GPa	Festigkeit als		Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ W/(m K)	Längenausdehnungskoeffizient $\alpha$ 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	maximale Dauertemperatur $\vartheta_D$ °C
				$\sigma_S$ MPa	$\sigma_B$ MPa			
Thermoplaste								
Acrylnitril-Butadien-Styrol	ABS	1,04–1,12	1,9–2,7	32–56		0,18	6–11	85–100
Polyamid	PA-6	1,12–1,14	1,5–3,2	60–90		0,27–0,30	7–11	80–100
Polyester, lin.	PET	1,31–1,37	2,5–3,2	50–75		0,24–0,29	7	100
Polycarbonat	PC	1,20–1,23	2,0–2,5	55–70		0,21–0,23	6–7	130
Polymethylmethacrylat <sup>1)</sup>	PMMA	1,19	2,4–4,5	60–90		0,18–0,19	7–9	68–94
Polystyrol	PS	1,05	3,0–3,6	45–65		0,15–0,17	7–8	65–75
Cellulose-Acetat	CA	1,22–1,35	2,0–3,6	30–65		0,20–0,22	9–12	180–200

Tab. 10.16: Eigenschaften von Kunststoffen



Material	Kurzbezeichnung	Dichte $\rho$ g/cm <sup>3</sup>	Elastizitätsmodul $E$ GPa	Festigkeit als $\sigma_s$ MPa	Festigkeit als $\sigma_B$ MPa	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ W/(m K)	Längenausdehnungskoeffizient $\alpha$ 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	maximale Dauertemperatur $\vartheta_D$ °C
HD-Polyethen	PE-HD	0,94–0,96	0,4–1,5	21–35	~0,41	13–20	85–100	
LD-Polyethen	PE-LD	0,92–0,94	0,015–0,6	8–20	0,29–0,40	18–24	60–75	
Polypropylen (rein)	PP	0,90–1,32	0,65–1,4	19–38	0,20–0,22	10–18	100	
Polyvinylchlorid hart	PVC-U	1,32–1,45	2,9–3,6	51–80	0,14–0,17	7–8	65	
Teflon	PTFE	2,1–2,2	0,45–0,75	9–12	0,25	12–16	250	
Duromere								
Phenoplaste	PF	1,4–1,9	6,0–10,0	15–40	0,30–0,70	1–5	110	
Melaminharz	UF/MF	1,5–2,0	5,0–9,0	15–30	0,35–0,70	2–6	80	
Epoxidharze	EP	1,5–1,9	5,0–20,0	60–200	0,40–0,80	2–6	130	

1) Plexiglas

Tab. 10.17: Eigenschaften von Kunststoffen

Material	Dichte $\rho$ g/cm <sup>3</sup>	Elastizitätsmodul $E$ GPa	Druckfestigkeit $\sigma_B$ MPa	spez. Wärmekapazität, fest $c_{\text{FEST}}$ kJ/(kg K)	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ W/(m K)	Längenausdehnungskoeffizient $\alpha$ 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	spez. elektr. Widerstand $\rho_{\text{EL}}$ Ωm
Kalknatronglas	2,5	64	30-90	0,80	0,96-1,09	9	10 <sup>8</sup> -10 <sup>14</sup>
Quarzglas	2,2	60	800	0,79	1,34	0,5	≈ 10 <sup>14</sup>
Borosilikatglas	2,4-2,5	65	140-250	0,78	0,88-0,94	3,2	10 <sup>8</sup> -10 <sup>14</sup>
L-A-S-Glaskeramik	2,6	92	> 110	0,83	2,2-2,7	0,2	≈ 10 <sup>7</sup>
Porzellan (glasiert)	2,2-2,5	55-80	30-100	0,84	≈ 1,6	4-5	10 <sup>8</sup> -10 <sup>13</sup>

Tab. 10.18: Eigenschaften von Glas und Keramik