

A

Produkte und ihre Herstellung

Heike P. Schuchmann

Harald Schuchmann

1

Nahrungsbedarf und Lebensmittelbestandteile

1.1

Der Nahrungsbedarf des Menschen

1.1.1

Allgemeines, Energiegewinnung aus Nährstoffen

Der menschliche Körper ist bei allen Aspekten des Lebens, wie Bewegung, Stoffwechsel, Wachstum oder Fortpflanzung, auf das Zuführen und Umsetzen von Energie angewiesen. Zur Energiegewinnung werden aus der Umgebung energiereiche Nährstoffe (Proteine, Fette, Kohlenhydrate), Mineralien, Vitamine, Wasser und Sauerstoff aufgenommen. Die in den Nahrungs- oder Lebensmitteln enthaltenen Nährstoffe müssen erst im Magen-Darm-Kanal mittels Verdauungsenzymen verfügbar gemacht werden. Die gewonnene Energie (Abb. 1.1) in Form energiereicher Phosphate (Adenosintri-phosphat=ATP) steht z. B. zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur, für Aufbau, Unterhalt und Reparatur von Zellen, zum Aufbau von Enzymen und dem internen Transport zur Verfügung. Im Stoffwechsel kann der menschliche Körper Proteine in Kohlenhydrate und Kohlenhydrate in Fette umwandeln. Die Umwandlung von Kohlenhydraten in Proteine ist nicht möglich. Ein g Fett bzw. Öl haben einen Energiewert von ≈ 38 kJ, während 1 g Kohlenhydrate oder Proteine nur 17 kJ erbringen.

Eine optimale, bedarfsangepasste Ernährung besteht nicht nur in der Vermeidung einer Unter- oder Überversorgung an Energie, sondern in einer vielseitigen, abwechslungsreichen, alle Nährstoffe, Vitamine und Spurenelemente in ausreichenden Mengen enthaltenden Kost. Der Körper kann letztendlich als Bilanzraum aufgefasst werden, dessen Akkumulationsterm das Körpergewicht darstellt.

1.1.2

Einflüsse auf den Nahrungsbedarf

Der Nahrungsbedarf eines Menschen wird im Wesentlichen von der Körpergröße (Höhe und Gewicht), dem Geschlecht, der Umgebungstemperatur und der körperlichen Aktivität bestimmt [1].

4 | 1 Nahrungsbedarf und Lebensmittelbestandteile

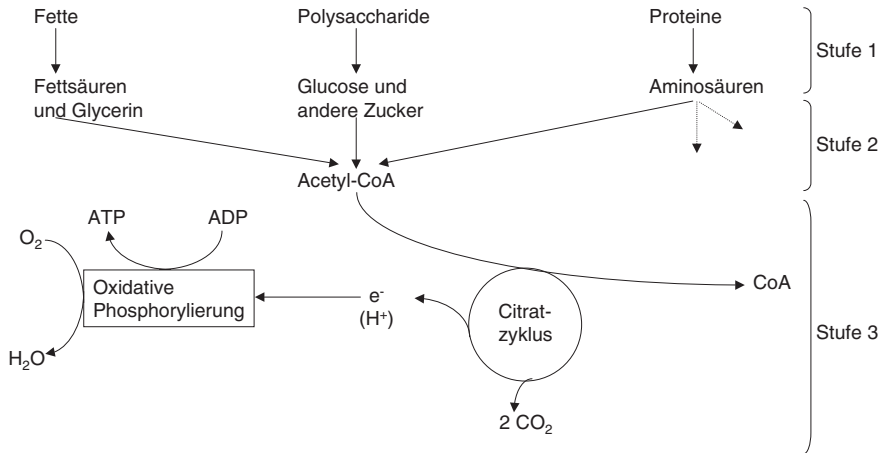


Abbildung 1.1 Energiegewinnung aus Nährstoffen (nach [1]).

Der Energiebedarf steigt bei abnehmender Temperatur (30°C nach -5°C um 15 %) nahezu linear an und ist von der spezifischen Oberfläche abhängig. Der Mehrverbrauch durch körperliche Aktivität steigt ab einem Mindestumsatz ebenfalls annähernd linear an (Beispiel Laufgeschwindigkeit: von $13\text{ kJ/kg}\cdot\text{h}$ bei 5 km/h auf $41\text{ kJ/kg}\cdot\text{h}$ bei 9 km/h [1]). Bei lang andauernden mäßig intensiven Bewegungsformen (aerobe Belastung, Dauer $>2\text{ min}$) wird die Energie vorwiegend aus der Fettverbrennung gewonnen, bei höheren Belastungen (gemischt aerobe/anaerobe und anaerobe Belastung, Dauer $>30\text{ s}$) wird sie zunehmend durch die Kohlenhydratverbrennung ersetzt (Abb. 1.2).

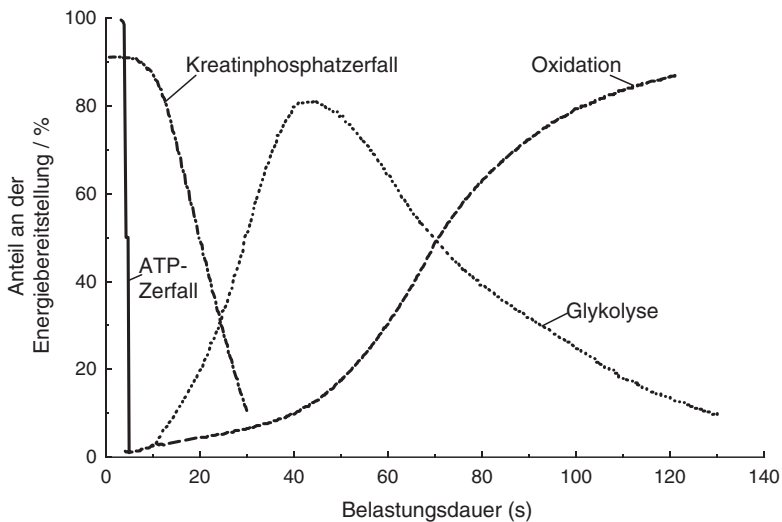


Abbildung 1.2 Energiebereitstellung im Muskel (nach [1]).

1.2

Grundlegende Lebensmittelbestandteile

1.2.1

Proteine

1.2.1.1 Vorkommen und ernährungsphysiologische Bedeutung

Proteine (Eiweißstoffe) bilden mengenmäßig den größten Anteil aller organischen Verbindungen im menschlichen Organismus (ca. 12 kg, von denen täglich ca. 400 g abgebaut und wieder neu aufgebaut werden müssen). Als Gerüstsubstanzen sind sie die Hauptbestandteile der Haut, Muskeln, Knochen, Knorpel und Organe. Hämoglobin und Myoglobin, Moleküle, die Sauerstoff transportieren und speichern, sowie alle Enzyme und Hormone sind Proteine. Im Gegensatz zum menschlichen und tierischen Organismus können die Pflanzen und einige Mikroorganismen anorganischen Stickstoff (aus z. B. Knöllchenbakterien des Bodens oder Stickstoffdünger) in organische Verbindungen umwandeln und so Proteine aufbauen.

Der menschliche Organismus kann nur einen Teil der benötigten Aminosäuren selbst synthetisieren, um daraus körpereigenes Eiweiß aufzubauen. Für den Rest ist er darauf angewiesen, diese unmittelbar über Pflanzen oder mittelbar über tierische Nahrungsmittel zu sich zu nehmen. Die Aminosäuren, die der menschliche Organismus nicht selbst synthetisieren kann, aber zum Aufbau eigener Proteine benötigt, werden als essentielle Aminosäuren bezeichnet.

1.2.1.2 Aufbau

Alle Proteine sind Makromoleküle, die aus kleineren Untereinheiten, den α -Aminosäuren, aufgebaut sind [2]. Die Aminosäuren sind in unterschiedlicher Reihenfolge und Kombination über Peptidbindungen verbunden. Makromoleküle aus wenigen Aminosäuren nennt man Peptide, bei 50 bis ca. 3000 Aminosäureresten spricht man von Proteinen. Zwei funktionelle Gruppen kennzeichnen Aminosäuren, die Amino- und die Carboxylgruppe (Abb. 1.3). In unserer Nahrung finden wir bis zu 20 unterschiedliche Aminosäuren, von denen acht essentiell sind.

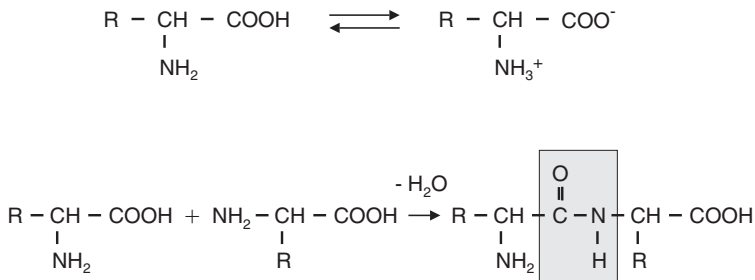


Abbildung 1.3 Aufbau der Aminosäuren und der Peptidbindung.

Je nach chemischer Struktur der Restgruppe R werden die Aminosäuren in verschiedene Gruppen unterteilt [2]:

- *Neutrale aliphatische Aminosäuren* besitzen eine reine Kohlenwasserstoffkette als organischen Rest. Beispiele sind Glycin oder Glykokoll, L-Alanin und L-Valin, L-Leucin und L-Isoleucin. Glycin ist die einfachste Aminosäure (R = H). Es wird im menschlichen Körper für Entgiftungsfunktionen und als Energiespeicher für Nerven und Muskeln benötigt und ist Bestandteil der Gallensäuren.
- *Hydroxy-Aminosäuren* enthalten eine Hydroxylgruppe in der Restgruppe. Hierzu zählen L-Threonin und L-Serin. Hydroxy-Aminosäuren erhöhen die Wasserlöslichkeit eines Proteins.
- *Thio-Aminosäuren* enthalten Schwefel in der Restgruppe (z. B. L-Cystein, L-Cystin und L-Methionin). Sie sind für den Stoffwechsel und die Leberfunktion wichtig und man findet sie in Proteinen mit Gerüstfunktion (Haare, Fingernägel). Disulfidbrücken zwischen zwei Thio-Aminosäuren sind für die Elastizität von Proteinen verantwortlich.
- *Basische Aminosäuren* haben eine zweite Aminogruppe im Rest. Beispiele sind L-Lysin, L-Arginin und L-Histidin. Histidin findet sich oft im aktiven Zentrum von Enzymen, Lysinmangel führt zu Verfettung und Menstruationsstörungen.
- *Saure Aminosäuren* enthalten eine zweite Carboxylgruppe im Rest. Hierzu zählen L-Asparaginsäure und L-Glutaminsäure. Beide werden im intermediären Stoffwechsel benötigt.
- *Aromatische Aminosäuren* enthalten einen aromatischen Ring in der Restgruppe. Hierzu gehören L-Phenylalanin, L-Tyrosin und L-Tryptophan. Tryptophanmangel führt beispielsweise zu Anämie. Viele aromatische Aminosäuren machen Proteine wasserunlöslich.

1.2.1.3 Struktur

Proteine haben eine spezifische dreidimensionale Struktur, die auf vier Strukturebenen beschrieben wird [2]. Die Sequenz der Aminosäuren im Protein bestimmt dessen *Primärstruktur*. Sie ist charakteristisch für jedes Protein und bestimmt dessen Eigenschaften. Die *Sekundär-* und *Tertiärstruktur* der Proteine wird durch die Anordnung der Aminosäurenkette im Raum bestimmt (Konformation). Die wichtigsten Sekundärstrukturen sind α -Helix- und Faltblattstrukturen. Von Tertiärstrukturen spricht man bei einer Kombination verschiedener Konformationen. Die *Quartärstruktur* eines Proteins wird durch die Anordnung mehrerer Polypeptidketten zueinander bestimmt.

Prinzipiell kann man zwischen globulären oder Sphäroproteinen (kugelige bzw. ellipsoide Makromoleküle) und fibrillären oder Skleroproteinen (fadenförmige Makromoleküle) unterscheiden. Globuläre Proteine finden sich in tierischen (Milch, Eier, Fleisch, Fisch) wie pflanzlichen Produkten (Getreide, Hülsenfrüchte, Kartoffeln, Obst und Gemüse) und bilden im menschlichen Körper Blutserum, Zellen und Enzyme. Fibrilläre Proteine findet man in Fleisch, Fisch, Knochen, Haaren, Nägeln und Federn. Sie werden zum Aufbau von Bindegewebe in Haut, Knochen,

Sehnen, Knorpeln, Gefäßen, Lunge etc. benötigt und auch Gerüsteiweißstoffe genannt. Die Struktur, insbesondere die Quartärstruktur, von Proteinen bestimmt auch ihre dynamischen grenzflächenaktiven Eigenschaften [3,4].

1.2.1.4 Eigenschaften

Eine Temperaturerhöhung über 60 °C (Kochen), starke pH-Wert-Änderungen (Säuern) sowie der Zusatz von konzentriertem Alkohol oder Schwermetallsalzen zerstört die Sekundär- bis Quartärstruktur eines Proteins, und man spricht von einer Denaturierung des Proteins [5]. Die Proteindenaturierung kann reversibel sein, ist meist aber irreversibel. Durch die Denaturierung gehen die biologischen Eigenschaften der Proteine verloren (z. B. Enzym- oder Hormonwirkung). Auch die chemischen und physikalischen Eigenschaften (wie Löslichkeit) werden verändert. Der durch die Aminosäuren bestimmte Nährwert bleibt aber erhalten, und Verdauungsenzyme können leichter angreifen, da jetzt die Peptidkette in den denaturierten Proteinen freiliegt. Gekochte Produkte sind daher leichter verdaulich. Im Verdauungstrakt wird die Primärstruktur hydrolytisch von Enzymen und Säuren aufgetrennt.

1.2.1.5 Biologische Wertigkeit

Essentielle Aminosäuren werden vom menschlichen Organismus nicht synthetisiert und müssen daher über die Nahrung zugeführt werden. Hierzu gehören Valin, Leucin, Isoleucin, Threonin, Methionin, Lysin, Phenylalanin und Tryptophan. Quellen sind Fleisch, Ei, Milch, Fisch, Getreide, Hülsenfrüchte, Gemüse und Hefe, wobei die verschiedenen Nahrungsproteine dem menschlichen Körper essentielle Aminosäuren in unterschiedlichen Mengenverhältnissen zuführen. Die Nahrungsmittel haben daher eine unterschiedliche biologische Wertigkeit für den Aufbau von Körperproteinen. Die biologische Wertigkeit eines Nahrungsproteins ist hoch, wenn es die essentiellen Aminosäuren in einem ähnlichen Mengenverhältnis enthält, wie sie in den Körperproteinen vorkommen. In Tabelle 1.1 sind die biologischen Wertigkeiten verschiedener Grundnahrungsmittel angegeben. Die Schwierigkeit einer vegetarischen Ernährung ist, dem Körper ausreichend biologisch hochwertiges Protein zuzuführen.

Tabelle 1.1 Biologische Wertigkeit ausgewählter Grundnahrungsmittel [6].

| Nahrungsmittel | Biologische Wertigkeit (%) |
|---------------------------|----------------------------|
| Vollei | 94 |
| Milch- und Milchprodukte | 86–100 |
| Fisch | 80–95 |
| Rind- und Schweinefleisch | 65–105 |
| Sojabohnen | 72 |
| frische Hefe | 69 |
| Kartoffeln, Reis | 70–80 |
| Erbsen, Linsen | 30–60 |
| Weizen, Mais | 25–55 |
| Gelatine | 0 |

1.2.1.6 Eiweißbedarf

Das physiologische Eiweißminimum liegt je nach biologischer Wertigkeit der aufgenommenen Proteine bei 30–40 g pro Tag. Damit kann der Mensch aber nicht lange auskommen. Die optimale Eiweißzufuhr für einen Erwachsenen liegt bei 60–70 g pro Tag oder 15 % der täglichen Gesamtenergiezufuhr [6]. Ein Drittel der Eiweißmenge sollte in Form von biologisch hochwertigen, tierischen Eiweißstoffen zugeführt werden. Einen höheren Eiweißbedarf haben Säuglinge, Kinder, Jugendliche, Schwangere und stillende Mütter, Sportler sowie diätaltende Menschen. In den Entwicklungsländern sind Getreideprodukte und Hülsenfrüchte der Haupteiweißlieferant. Eiweißmangel mit Folgeerscheinungen tritt dort insbesondere bei Kindern auf.

1.2.2

Fette und fettähnliche Stoffe – Lipide und Lipoide

1.2.2.1 Vorkommen und ernährungsphysiologische Bedeutung

Fette sind in allen Zellen als Nahrungsreserve und damit Energieträger zu finden. Pflanzen speichern Fette als Energiereserve in Samen, Früchten oder Keimen, um während des Auskeimens von anderen Energieträgern unabhängig zu sein. Im tierischen und menschlichen Organismus stellen Fette eine langfristige Energiereserve dar (Körper- und Unterhautfett). Daneben erfüllen sie eine Schutzfunktion gegen thermische (Wärmeverlust) und mechanische Belastung (Organschutz vor Stoß) sowie zur Hydrophobierung der Haut. Als kalorienreichste Nährstoffgruppe sind Fette der wichtigste Energielieferant und -speicher der Nahrung (1 g Fett kann 39 kJ erzeugen, 1 g Proteine oder Kohlenhydrate dagegen nur 17 kJ). Daneben sind Fette Trägersubstanzen für fettlösliche Vitamine und Aromen.

Neben den Nahrungsfetten findet man in Zellen auch fettähnliche Stoffe (Lipoide oder komplexe Lipide wie Glycerinphosphatide, Steroide oder Carotinoide). Sie machen zwar nur 1–2 % der Gesamtfette aus, sind aber lebensnotwendig.

1.2.2.2 Aufbau und Struktur

Einfache Lipide, auch Nahrungsfette oder Neutralfette genannt, sind fast immer Triglyceride, also Ester des Glycerins mit drei Fettsäuren [2] (Abb. 1.4). Fettsäuren sind Monocarbonsäuren (RCOOH). In der Natur findet man am häufigsten die gesättigten Fettsäuren Palmitinsäure ($\text{R} = \text{C}_{15}\text{H}_{31}$) und Stearinsäure ($\text{R} = \text{C}_{17}\text{H}_{35}$) sowie die einfach ungesättigte Ölsäure ($\text{R} = \text{C}_{17}\text{H}_{33}$), die zweifach ungesättigte Linolsäure ($\text{R} = \text{C}_{17}\text{H}_{31}$) und die dreifach ungesättigte Linolensäure ($\text{R} = \text{C}_{17}\text{H}_{29}$), daneben die vierfach ungesättigte Arachidonsäure ($\text{R} = \text{C}_{19}\text{H}_{31}$). Linol- und Arachidonsäure sind essentielle Fettsäuren. Bei der Bezeichnung von Fettsäuren wird die Anzahl an C-Atomen und an Doppelbindungen sowie deren Stellung im Molekül (üblicherweise von der COOH -Gruppe aus gerechnet) angegeben. Beispielsweise ist C18:3 (6, 9, 12) die in Lebensmitteln wichtige γ -Linolensäure mit 18 C-Atomen, 3 Doppelbindungen an den C-Atomen Nummer 6, 9 und 12. Alternativ wird in der Literatur häufig auch die ω -Bezeichnung für ungesättigte Fettsäuren eingesetzt: Hierbei wird die Stellung der ersten Doppelbindung vom CH_3 -Ende des Fettsäuremoleküls bestimmt. ω -3-Fettsäuren haben also die erste Doppelbindung am dritten C-Atom

vom CH₃-Ende. Hierzu zählen beispielsweise die ernährungsphysiologisch wichtigen Eicosapentaen- und Docosahexaensäuren, die hauptsächlich in Seefischen vorkommen und denen eine präventive Wirkung gegen Arteriosklerose und Darmkrebs zugeschrieben wird.

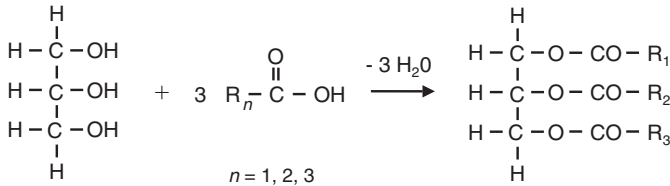


Abbildung 1.4 Aufbau der Nahrungsfette (Triglyceride).

Ist lediglich eine Fettsäureart am Aufbau des Triglycerids beteiligt, spricht man von einfachen oder einsäurigen Glyceriden. Gemischte oder mehrsaurige Glyceride haben verschiedene Fettsäurearten im Triglycerid. Nahrungsfette sind meist Gemische aus unterschiedlichen Glyceriden. Gesättigte Triglyceride bestehen nur aus gesättigten Fettsäuren. Enthalten Fettsäuren eine oder mehrere Doppelbindungen, so spricht man von ein- bzw. mehrfach ungesättigten Triglyceriden. Nahrungsfette zeichnen sich dadurch aus, dass die Anzahl an C-Atomen immer gerade ist und Doppelbindungen fast immer in der *cis*-Form vorliegen. Nach dem Hydrieren von Fetten findet man auch *trans*-Konfigurationen.

Beim Verdauungsvorgang werden Fette durch die Einwirkung von Lipasen (fettspaltende Enzyme), die Fettsäuren unter Wasseranlagerung abspalten, abgebaut. Es entstehen Di- und Monoglyceride und schließlich Glycerin und Fettsäuren. Vor allem Mono- aber auch Diglyceride werden als Zusatzstoffe, z. B. Emulgatoren, in Lebensmitteln eingesetzt.

1.2.2.3 Zusammensetzung der Nahrungsfette

Tierische Fette und Öle haben einen höheren Gehalt an gesättigten, pflanzliche Fette einen höheren Gehalt an ungesättigten, essentiellen Fettsäuren (Tab. 1.2).

1.2.2.4 Eigenschaften

Der Schmelzpunkt eines Fetts steigt mit der Anzahl an C-Atomen und sinkt mit zunehmender Zahl an Doppelbindungen. Liegt der Schmelzpunkt eines Nahrungsfetts unter 5 °C, spricht man von einem Öl. Halbfeste Fette haben Schmelzpunkte um die Körpertemperatur (wie Butter oder Schmalz, 30 bzw. 35–45 °C), während der Schmelzpunkt von festen Fetten wie Talg z. B. bei 45–50 °C liegt. Flüssige Körperfette haben Schmelzpunkte um 17–18 °C.

Zur Charakterisierung der Nahrungsfette ermittelt man unterschiedliche Kennzahlen: Mit Hilfe der Verseifungszahl kann man Aussagen über die durchschnittliche relative Molekülmasse aller am Aufbau beteiligten Fettsäuren machen. Die Jodzahl ermöglicht eine Angabe über den durchschnittlichen Gehalt eines Fetts an ungesättigten Fettsäuren. Die Säurezahl gibt an, wie viele freie Fettsäuren durchschnittlich in einem Fett sind.

Tabelle 1.2 Eigenschaften und Anteile der wichtigsten Fettsäuren in ausgewählten Nahrungsfetten (Anhaltswerte, Gehalte schwanken je nach Klima und Fütterung).

| Fettsäure | Eigenschaften | | | Gehalt in tierischen Produkten (%) | | | | Gehalt in pflanzlichen Produkten (%) | | | | |
|---------------|---------------|-----------------|-------------------|------------------------------------|------------|--------------|-----------|--------------------------------------|----------|--------|--------|----------------|
| | C-Atome | Doppelbindungen | Schmelzpunkt (°C) | Milch, Butter | Rindertalg | Schweinefett | Kokosfett | Palmkernfett | Olivenöl | Maisöl | Leinöl | Sonnenblumenöl |
| Buttersäure | 4 | 0 | < 8 | 2–5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Laurinsäure | 12 | 0 | 43 | 4–8 | 0 | 0 | 45–48 | 45–50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Palmitinsäure | 16 | 0 | 63 | 24 | 30 | 27 | 9 | 8 | 15 | 11 | 7 | 5 |
| Stearinsäure | 18 | 0 | 70 | 5–15 | 20 | 14 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 |
| Ölsäure | 18 | 1 | 13 | 30–40 | 40–45 | 43–49 | 6 | 15 | 73–75 | 32 | 18 | 23–27 |
| Linolsäure | 18 | 2 | < 5 | 2 | 3 | 8 | 2 | 2 | 8 | 50 | 14 | 63–65 |
| Linolensäure | 18 | 3 | –11 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 58 | 0 |

Werden Fette oder Öle stark erhitzt, findet eine thermische Zersetzung statt, wobei stechend riechende Dämpfe (Acrolein) entstehen. Die Zersetzungstemperaturen (auch Rauchpunkte genannt) von Pflanzenfetten liegen bei 230 °C, von Pflanzenölen bei ca. 190 °C und von Margarine/Butter bei ca. 150 °C. Beim Zubereiten von Speisen dürfen diese Temperaturen nicht überschritten werden.

Unter Einwirkung von Licht, Sauerstoff und Metallionen (v. a. Cu) oder mikrobiell gebildeter Enzyme wird das Fett ranzig und verliert seine sensorische wie ernährungsphysiologische Qualität. Dabei findet zunächst eine hydrolytische Spaltung und sekundär eine oxidative Zersetzung der freien Fettsäuren in Aldehyde und Ketone (Autoxidation) statt.

1.2.2.5 Fettbegleitstoffe – Lipide

Die wichtigsten Lipide sind Phosphatide, Lipochrome (Carotinoide und Chlorophylle), Steroide und fettlösliche Vitamine.

Glycerinphosphatide bestehen aus dem GlycerinGrundbaustein, verestert mit zwei höheren Fettsäuren und einer Phosphorsäure sowie über die Phosphorsäure mit einer organischen Base. Wichtige Vertreter sind die Lecithine (organische Base = Cholin) und Kephaline (organische Base = Colamin oder Serin). Die Phosphatide haben somit einen hydrophilen und einen lipophilen Molekülteil und sind daher grenzflächenaktiv. Aus diesem Grund werden sie gerne als natürliche Emulgatoren in Lebensmitteln eingesetzt und wirken auch im Verdauungstrakt emulgierend. Lecithine und Kephaline findet man aufgrund ihres Aufbaus in den Zellmembranen und in den Zellen der Gehirn- und Nervensubstanz (v. a. Kephaline). Da sie wichtig für den Zellstoffwechsel sind, kommen sie sowohl in tierischen als auch pflanzlichen Lebensmitteln vor.

Zu den Lipochromen (fettlösliche natürliche Farbstoffe) zählen die Carotinoide und Chlorophylle. Carotinoide sind natürlich vorkommende gelbe oder rote Pigmente, die nur von Pflanzen gebildet werden können. Vom Molekülaufbau sind Carotinoide Polyenkohlenwasserstoffe mit 40 C-Atomen (Tetraterpene). Studien zeigen, dass Carotinoide eine Schutzwirkung gegen verschiedene Krebsarten (z. B. von Prostata-, Lungen- und Magenkrebs bei Lycopin), Altersblindheit u. a. degenerative oder cardiovaskuläre Krankheiten aufzeigen [7], so dass diese Stoffgruppe auch aus ernährungsphysiologischer Sicht sehr wichtig ist (s. Kap. 8 *Obst und Gemüse*). Die Vorstufe des Vitamin A (β -Carotin) ist auch ein Carotinoid. Chlorophyll ist dagegen ein grüner Farbstoff, der die Assimilation von Kohlendioxid in Pflanzen ermöglicht.

Zu den Steroiden gehören die Sterine (Cholesterin und Ergosterin), die Gallensäuren, die Hormone der Nebennierenrinde und die Sexualhormone. Insbesondere Cholesterin ist in der letzten Zeit in Zusammenhang mit ernährungsbedingten Krankheiten diskutiert worden. Cholesterin ist in allen Zellen der tierischen und menschlichen Organismen vorhanden. Zusammen mit anderen Lipoiden ist es am Aufbau der Zellmembranen und der Markscheide des Nervengewebes beteiligt und damit lebenswichtig. Es wird dem Organismus nicht nur durch die Nahrung zugeführt (ca. 1–2 g pro Tag), sondern hauptsächlich in der Leber synthetisiert (6–8 g/d) und dort zum größten Teil weiter zu Gallensäuren, Vitamin D₃ und Sexualhormonen abgebaut. Cholesterin und Gallensäuren werden im Darm zur Fettverdauung und -resorption ausgeschüttet. Im Blutserum ist normalerweise ein konstanter Cholesterinspiegel (150–200 mg pro 100 ml Blutserum) vorhanden, nach einer fettreichen Mahlzeit kann er vorübergehend steigen. Cholesterin kann aber verstärkt in den Gefäßwänden der Arterien (Arteriosklerose) und evtl. auch in Gallensteinen auftreten. Dies ist jedoch keine ernährungsbedingte Krankheit, sondern wird durch eine krankhaft gesteigerte Cholesterinproduktion im Körper hervorgerufen. In einem solchen Krankheitsfall (Cholesterinspiegel >260 mg/100 ml Blutserum) kann man aber versuchen, den Blut-Cholesterinspiegel durch die Ernährung zu senken. Wirksam sind beispielsweise ungesättigte *cis*-Fettsäuren (v. a. Linolsäure) und pflanzliche Phytosterine/Phytosterole bzw. deren Ester. Diese kommen frei, mit Fettsäuren verestert oder glycosidisch gebunden in allen pflanzlichen Lebensmitteln vor, bis zu 5% in Samen und pflanzlichen Ölen. Mit der normalen Nahrungsaufnahme werden ca. 300 mg („western diet“) bis zu 2000 mg pro Tag (vegetarische Ernährung) aufgenommen. Zur Senkung des Blut-Cholesterinspiegels sowie zur Verbesserung des Verhältnisses von HDL- zu LDL-Cholesterin und damit ein signifikant verringertes Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen ist eine tägliche Aufnahme von ca. 5–20 g pro Tag kristallinem Phytosterolen [8,9] bzw. ca. 2 g pro Tag formulierten Polyesterolestern [10] empfohlen. Phytosterole zeigen weiterhin eine anticancerogene Wirkung (v. a. gegen Darmkrebs) und reduzieren die Bildung von Gallensteinen [11].

Neben β -Carotin/Vitamin A und den D-Vitaminen zählen die Vitamine E (Tocopherol) und K zu den Fettbegleitstoffen. Vitamin E hat als Radikalfänger eine ernährungsphysiologische Bedeutung und wird in Lebensmitteln gerne als Antioxidant zugesetzt.

1.2.2.6 Fettbedarf

In Deutschland stellen Fette zurzeit ca. 40 % der Nahrungsaufnahme, was über der Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung DGE von 30 % liegt. Die tägliche Aufnahme sollte bei 70–90 g Fett möglichst pflanzlicher Herkunft liegen [12]. Davon sollten je zu einem Drittel einfach ungesättigte, mehrfach ungesättigte und gesättigte Fettsäuren zugeführt werden. Eine ausreichende Zufuhr an lebensnotwendigen (essentiellen) Fettsäuren kann damit gewährleistet werden. Wird mehr Fett mit der Nahrung aufgenommen, als der Körper zu seinem Unterhalt braucht, so wird es in Körperfett umgewandelt.

1.2.3

Kohlenhydrate oder Saccharide

1.2.3.1 Ernährungsphysiologische Bedeutung

Die Kohlenhydrate sind mengenmäßig der wichtigste Nährstoff für den menschlichen Organismus. Sie werden in der Pflanze durch CO_2 -Assimilation mit Hilfe von Sonnenenergie gebildet (Photosynthese, Katalysator: Chlorophyll). Kohlenhydrate sind bevorzugte Energiespender, da sie sofort ins Blut gehen. Die Zellen des Zentralnervensystems und die Erythrozyten sind auf Kohlenhydrate als einzige Energiespender angewiesen. Als Energiespeicherstoff sind Kohlenhydrate nur bedingt geeignet. Der Körper kann Kohlenhydrate nur in der Form des Glykogens in der Leber (ca. 150 g) und in den Muskeln (ca. 150–200 g) speichern und bei Unterzuckerung mit Hilfe von Amylasen zu Glucose abbauen. In der organischen Grundsubstanz dienen Kohlenhydrate als innere Stützfunktion. Kohlenhydrate sind weiterhin Bestandteil der Schleimstoffe (Mucine). Das Polysaccharid Heparin hemmt die Blutgerinnung. Außerdem wirken Kohlenhydrate bei der Abwehrreaktion des Organismus mit. Unverdauliche Kohlenhydrate (wie Cellulosen) regulieren die Verdauungstätigkeit. Der Blutzuckerspiegel liegt normalerweise bei ca. 100 mg Glucose/ml. Die Bauchspeicheldrüse produziert bei Zuckeraufnahme Insulin, um den Blutzuckerspiegel konstant zu halten.

1.2.3.2 Aufbau und Vorkommen

Kohlenhydrate sind organische Verbindungen, die die Elemente Kohlenstoff C, Wasserstoff H und Sauerstoff O im Verhältnis $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_n$ enthalten. Sie sind aus einem oder mehreren Monosacchariden aufgebaut [2].

Monosaccharide sind die primären Oxidationsprodukte mehrwertiger Alkohole. Die größte Bedeutung für die menschliche Ernährung haben die aus sechs Kohlenstoffatomen zusammengesetzten Hexosen, die Aldohexosen D(+)-Glucose, D(+)-Galactose und D(+)-Mannose sowie die Ketohexose D(-)-Fructose. Monosaccharide liegen normalerweise in der Ringform vor (Halbacetalbildung). D(+)-Glucose (Dextrose, Traubenzucker) kommt v. a. in Obst und Honig vor. D(+)-Galactose ist Bestandteil von Disacchariden (Milchzucker, Lactose) oder Polysacchariden (Pektinen). D(+)-Mannose findet man ebenfalls nur gebunden in Polysacchariden (Hemicellulosen, Glycoproteide und -lipide), z. B. in Orangenschalen.

Oligosaccharide bestehen aus 2–6 Monosaccharideinheiten. Für die menschliche Ernährung von Interesse sind v. a. die Disaccharide Saccharose (Kristall-, Rüben- oder Rohrzucker), Lactose (Milchzucker) und Maltose (Malzzucker). Saccharose ist aus Glucose und Fructose zusammengesetzt und kommt in der Zuckerrübe und dem Zuckerrohr sowie in Früchten und Knollen vor. Als Invertzucker bezeichnet man das bei der sauren Spaltung von Saccharose entstehende Gemisch aus Glucose und Fructose. Lactose findet man v. a. in Kuhmilch und Milchprodukten, insbesondere Molke. Sie besteht aus Glucose und Galactose. Maltose ist aus zwei Molekülen Glucose aufgebaut und findet sich in keimenden Getreidekörnern (v. a. Gerste), in Malzextrakt und Bier.

Polysaccharide bestehen aus einer großen Anzahl an glycosidisch gebundenen Monosacchariden (mehrere 100 bis mehrere 1000 Glucoseeinheiten). Das wichtigste Polysaccharid der Nahrung ist Stärke. Stärke wiederum besteht aus zwei Molekülfractionen, der langkettigen Amylose und dem verzweigten Amylopektin. Amylose besteht aus 250–1000 α -1,4-glycosidisch gebundenen D(+)-Glucoseresten und bildet unverzweigte Ketten in Form einer α -Helix aus. Amylopektin dagegen ist aus 600–6000 α -1,4- und α -1,6-glycosidisch gebundenen D(+)-Glucoseresten aufgebaut und bildet verzweigte Ketten. Auf ungefähr 15–30 Glucosereste kommt eine Seitenkette. Daneben existieren in der Natur weitere Polysaccharide wie die Hemicellulosen, Heteroglycane, Pektine, Xanthan, Agar-Agar und Mucopolysaccharide.

1.2.3.3 Eigenschaften

Alle Monosaccharide sind alkoholisch oder milchsauer vergärbar. Die Süßkraft von Mono- und Disacchariden ist sehr unterschiedlich. Man misst sie an der von Saccharose (s. Kapitel 9 *Zucker*). Polysaccharide haben dagegen keine Süßkraft. Werden sie allerdings enzymatisch in Dextrine gespalten, können Mischungen entstehen, deren Süßkraft man in Dextroseäquivalenten angibt.

Weitere Eigenschaften und Information zur Zuckerherstellung, Produkten aus Zuckern und Süßstoffen finden sich in Kapitel 9 *Zucker*.

1.2.3.4 Kohlenhydratbedarf

Eine ausgewogene Ernährung sollte 50–55 % Kohlenhydrate, möglichst ballaststoffreich, enthalten [12]. Getreideprodukte sind damit ein wichtiger Bestandteil einer gesunden Ernährung. Bei ausreichender Kohlenhydratzufuhr durch die Nahrung kann die tägliche Eiweiß- und Fettzufuhr reduziert werden. Daher sollten dem Körper immer ausreichend Kohlenhydrate als Energielieferant zur Verfügung gestellt werden. Dem gegenüber steht die zurzeit v. a. in den USA diskutierte „Low-Carb“-Bewegung (keine Kohlenhydrate, viel Fett und Proteine). Diese wird aber aufgrund weniger, meist unzureichend dokumentierter, Studien in der Wissenschaft äußerst kontrovers diskutiert [13, 14].

1.3

Zusatzstoffe

1.3.1

Kennzeichnung und gesetzliche Regelungen

Im Februar 1998 ist die „Verordnung zur Neuordnung lebensmittelrechtlicher Vorschriften über Zusatzstoffe“ vom 29.1.1998 (BGBl. I. S. 230) in Kraft getreten. Seitdem dürfen in Deutschland nur noch die in dieser Verordnung zugelassenen Zusatzstoffe verwendet werden. Um einen Zusatzstoff zuzulassen, muss nachgewiesen werden, dass dieser gesundheitlich unbedenklich sowie technologisch notwendig ist und dass der Verbraucher durch seine Verwendung nicht getäuscht wird. Die Zusatzstoffverordnung der EU [15] regelt, welchem Lebensmittel welcher Zusatzstoff zugegeben werden darf (Positivliste) und vergibt eine, allen zugängliche, Kennzeichnung über E-Nummern. Eine Übersicht über alle Zusatzstoffe incl. einer Auflistung aller E-Nummern sind in [16, 17, 18] zu finden.

1.3.2

Konservierungsstoffe

Die wichtigsten Konservierungsstoffe, ihre E-Nummern, den jeweiligen ADI-Wert („acceptable daily intake“) sowie Hinweise zu Vorkommen, Besonderheiten bei der Wirkung und der Zulassung sind in Tabelle 1.3 zusammengefasst.

1.3.3

Süßstoffe

Die wichtigsten Süßstoffe sind Saccharin (Benzoessäuresulfimid), Cyclamat (Cyclohydroxysulfaminsäure), Aspartam, Acetosulfam, Thaumatin und Stereosid. Informationen zur Süßkraft sind in Abschnitt 9.1.2 zu finden. Für Süßstoffe werden keine E-Nummern vergeben. Grundsätzlich werden Süßstoffe gerne in Kombination eingesetzt, um die einzelnen Abbaupfade im Körper nicht zu stark zu belasten und um eine sensorische Nebenwirkung (Geschmack) zu minimieren.

1.3.4

Emulgatoren und Stabilisatoren

Die wichtigsten Emulgatoren und Stabilisatoren, ihre E-Nummern und ihre Herkunft sind in Tabelle 1.4 zusammengefasst.

Tabelle 1.3 Konservierungsstoffe.

| Konservierungsstoff | E-Nummer | Natürliches Vorkommen | ADI (mg/kg Körpergewicht) und maximal zugelassene Konzentration | Besonderheiten bei der Wirkung und Zulassung |
|------------------------------------|----------------|--|---|---|
| Sorbinsäure | E 200 | in Früchten der | 25 | in saurem Milieu gegen Schimmelpilze und Bakterien |
| Na-, K-, Ca-Salze | E 201–203 | Eberesche und des Vogelbeerbaums | | |
| Benzoessäure | E 210 | in Heidel-, Johannis- | 5 | in saurem Milieu gegen Mikroorganismen, insbesondere Hefen |
| Na-, K-, Ca-Salze | E 211–213 | u. a. Beeren (z. B. in Preiselbeeren bis 2,2 g/kg) | | |
| Parahydroxybenzoesäure (PHB-Ester) | E 214 | | 10 | auch in neutralem Bereich wirksam |
| Na-Salze | E 215, 217–219 | | | |
| Ameisensäure | E 236 | | 3 | nur in wenigen Produkten zugelassen, wie Sauerkonserven und Obstpulpen |
| Propionsäure | E 280 | in vielen LM, z. B. | kein ADI, aber erlaubt | gegen Schimmelpilze und vegetative Keime, nicht gegen Hefen; heute ersetzt durch andere Konservierungsmethoden |
| Na-Salz | E 281 | Emmentaler- und Edamer-Käse | max. 3 g/kg LM | |
| Essigsäure | E 260 | in vielen LM (v. a. | kein ADI | |
| Milchsäure | E 270 | biotechnologisch | | |
| Kohlensäure | E 290 | hergestellten) | | |
| Biphenyl | E 230 | | 5 | nur für die Oberflächenbehandlung von Zitrusfrüchten zugelassen |
| Orthophenylphenol | E 231 | | 0,2 | |
| Thiabendazol | E 233 | | max.: 3 mg/kg (Bananen), 6 mg/kg (andere Zitrusfrüchte) | |
| Sulfit | E 220 | | 0,7 mg SO ₂ | zum Ausschwefeln von Weinfässern |
| Na-Salze | E 221–223 | | zugelassen: 225 mg/l (Rotwein), 275 mg/l (Weißwein), 300 mg/l (Auslesen), 400 mg/l (Trockenbeerenauslese) 2 g/kg (Aprikosen) 20 mg/kg (Essiggurken) | gegen Hefen in Most, Bindung des bei der Gärung entstehenden Aldehyds (Geschmack) in Trockenobst und Kartoffelprodukten zur Unterdrückung der enzymatischen Bräunung in Essiggurken gegen Schimmelpilze und enzymatische Bräunung |

Tabelle 1.4 Emulgatoren und Stabilisatoren, E-Nummern und ihre Herkunft.

| Emulgator | E-Nummer | Zugelassene Konzentration | Herkunft |
|---|--------------------|-------------------------------------|--|
| Lecithin | E 322 | 20 g/kg LM 40 g/kg Knabbergebäck | vorwiegend aus Sojabohnen |
| Mono- und Diglyceride von Speisefettsäuren und ihre Ester | E 471 E 472 a–f | | Speisefette |
| Stabilisatoren | E-Nummer | ADI (mg/kg Körpergewicht) | Herkunft |
| Gelatine, Casein, Milchalbumine | keine | keine | tierische Produkte |
| Stärke, Dextrine | keine | keine | pflanzliche Produkte |
| Gummi Arabicum | E 414 | 20 | Akazienbäume |
| Pektine | E 440 | 30 | Apfeltrester, Zuckerrübenschaln, Zitrusfrüchte |
| Guarkernmehl (Guaran) | E 412 | 20 | Guarbohne |
| Cellulose | E 460 | – | Faserstoffe |
| Traganth | E 413 | 20 | Stamm und Wurzel der Astragalusbaumarten |
| Johannisbrotkernmehl (Karubin) | E 410 | 20 | Karobenbaum |
| Alginate | E 400–405 | 20 | Braunalgen |
| Carrageen | E 407 | 20 | Rotalgen |
| Agar-Agar | E 406 | 20 | Rotalge |
| Xanthan | E 415 | 20 | <i>Xantomonas campestris</i> u. a. |
| modifizierte Cellulosen: | | | halbsynthetisch |
| Methylcellulose | E 461 | 100 (Fruchtfüllungen) | |
| Carboxymethylcellulose CMC | E 466 | 350 (Gelee-Artikel) | |
| modifizierte Stärken: | E 1414 | | |
| acetyliertes Distärkephosphat | | | |
| Stärkeacetat | E 1420 | | |
| Distärkeadipat | E 1422 | | |

1.3.5

Antioxidantien und Synergisten

Antioxidantien werden v. a. Fetten zugesetzt. Für natürliche Antioxidantien (Vitamin C, Tocopherole, wie Vitamin E, sowie Extrakte vieler Gewürze, z. B. Rosmarin) gibt es keine Mengengrenzung. Weitere Antioxidantien sind Propyl- (E 310), Octyl- (E 311) und Dodecylgallat (E 312) sowie Butylhydroxyanisol BHA (E 320, für Kartoffelprodukte 100–1000 mg/kg) und Butylhydroxytoluol BHT (E 321, nur für Kaugummi

1 g/kg). Synergisten wirken selber zwar nicht antioxidativ, verstärken aber deren Wirkung (Chelatbindung katalysierender Metallionen). Hierzu zählen die Zitronensäure (E 330) und Zitate, die Weinsäure (E 334) und Tartrate, die Milchsäure (E 270) und Lactate sowie die Ortho-Phosphorsäure (E 338) und Phosphate (E 450 a–c).

Antioxidantien und Synergisten sind erlaubt für Suppen, Brühen, Bratensaucen in getrockneter Form, Kartoffeltrockenprodukte, Snacks auf Getreidebasis, Marzipan- und Nougatmasse, Kaugummi sowie Aromen (etherische Öle) meist in einer Konzentration von 100 mg/kg Fett (100 ng/kg Kartoffelerzeugnis).

1.3.6

Farbstoffe

Für einen Zusatz von Farbstoffen gibt es keine objektiven, aber psychologische Beweggründe. Nur wenige Farbstoffe sind daher erlaubt, wobei sowohl die erlaubten Farbstoffe als auch die Produkte, denen Farbstoffe zugesetzt werden dürfen, vorgeschrieben sind. Beispiele zugelassener Farbstoffe sind Riboflavin (E 101), Chlorophyll (E 140), Zuckerkulör (E 150), Carotinoide (E 160) und Xanthophylle (E 161). Farbstoffe dürfen beispielsweise Seelachs, Garnelen, Brausen, Kunstspeiseeis, Zuckerwaren, Marzipan, Likören, Margarine und Schnittkäse (jeweils nur E 160 b) zugesetzt werden.

1.3.7

Aromastoffe

Das Lebensmittelrecht unterscheidet zwischen natürlichen und synthetischen Aromastoffen. Natürliche Aromastoffe dürfen nur Rohstoffe enthalten, die aus natürlichem Ausgangsmaterial auf physikalischem Weg (Destillation, Extraktion) isoliert oder enzymatisch sowie mikrobiologisch gewonnen wurden. Hierzu zählen beispielsweise etherische Öle. Bei den synthetischen Aromastoffen unterscheidet man künstliche, naturidentische, d. h. chemisch den natürlichen gleiche, Aromastoffe und Zusätze „mit künstlichem Aromastoff“. Diese können auch ohne natürliches Vorbild erzeugt worden sein. Beispiele für Aromastoffe sind Vanillin, Zimtaldehyd, Benzaldehyd, Menthol, Citral oder Diacetyl. Aromastoffe haben keine E-Nummern. Manche natürlichen Aromastoffe sind wegen ihrer cancerogenen (Cumarin in Waldmeister, Safran) oder toxischen (Bittermandelöl u. a. Cyanidderivate) Wirkung verboten.

1.4

Rückstände in Lebensmitteln (Fremdstoffe, Xenobiotika)

Als Rückstände kann man in Lebensmitteln finden:

- Pflanzenschutzmittel (hauptsächlich Herbizide, Fungizide und Insektizide)
- Tierarzneimittel (Antibiotika, Östrogene oder Beruhigungsmittel)

- Schwermetalle (v. a. gefährlich sind Quecksilber aus Beizmitteln und Fluss-einleitungen, Blei aus Leitungen, Benzin oder Steingutlasur, Cadmium aus Abwässern von Zinkgruben)
- Radioaktivität (v. a. nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl 1986)

Die Höchstmengenverordnung von 1966 setzt für jeden Stoff die jeweilige Höchstmenge fest, die in Lebensmitteln vorkommen darf. Laut den letzten Ernährungsberichten der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e.V. (erscheint alle 4 Jahre) [19] nehmen die in Lebensmitteln nachweisbaren Rückstände stetig ab.

1.5 Lebensmittelbe- und -verarbeitung: Motivation

Die meisten Rohwaren für Lebensmittel sind biologischen Ursprungs (Pflanzen oder Tiere). Das Kennzeichen dieser Rohwaren ist, dass sie häufig nicht lagerstabil sind, saisonal anfallen (v. a. Pflanzen) und nicht immer roh genussfähig oder verträglich sind. Das Hauptziel der Be- und Verarbeitung von Lebensmittelrohstoffen war es daher schon seit Jahrtausenden, verderbliche Produkte haltbar zu machen und die Genussfähigkeit sowie Verträglichkeit der Produkte zu verbessern.

In den letzten Jahrzehnten hat sich v. a. in den Industrieländern die Gesellschaft entscheidend verändert. Mit dem gestiegenen Bruttosozialprodukt gehen auch höhere Ansprüche an die Lebensmittelqualität einher. Neue Lebensstile (wie eine geringere Personenzahl pro Haushalt, ein geringerer Zeitaufwand für die Haushaltsführung, ein steigender Anteil an Berufstätigkeit unter den Frauen, ein höherer Freizeitwert) lassen neue Forderungen v. a. nach dem Zubereitungsaufwand von Lebensmitteln aufkommen und haben damit den Markt des „Convenience Food“ geschaffen. Die Forderung nach einer höheren Lebensmittelsicherheit ist v. a. in den letzten 10 Jahren aufgrund der BSE-Krise und diverser Tierseuchen (wie Maul-und-Klauen-Seuche) gestiegen. Ein steigendes Bewusstsein für Allergien hat viele Zusatzstoffe in Diskussion gebracht. Auch an die Lebensmittelindustrie wird die Forderung nach nachhaltigem Wirtschaften mit Rohstoffen und Energie gestellt. Gleichbedeutend dem Problem der Unterernährung in den Drittweltländern ist heute die Problematik der Fehl- und Überernährung in den Industrieländern mit den daraus folgenden steigenden Gesundheitskosten. Der Anteil an den gesamten Gesundheitskosten, der durch falsche Ernährung und fehlende Bewegung verursacht wird, wird in Deutschland zurzeit auf $\approx 30\%$ geschätzt [20]. Dies ist mit ein Grund für Entwicklungen im Bereich „Functional Food“ (s. Kap. 13).

Die Lebensmittel verarbeitende Industrie wurde von diesen Entwicklungen beeinflusst. Ziele der Lebensmittelverarbeitung heute sind daher neben einer ausreichenden Grundversorgung der Bevölkerung mit sicheren Lebensmitteln die Verbesserung der Sicherheit und der präventiv-funktionellen Qualitätseigenschaften der Produkte sowie die Entwicklung möglichst umweltschonender Produktionsprozesse mit geringem Abfallaufkommen.