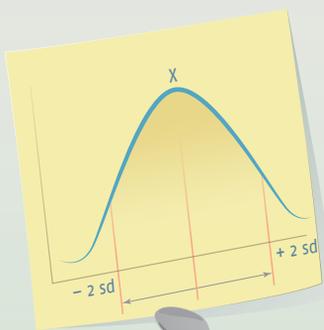


Ibrahim Elmadfa

# Ernährungslehre

5. Auflage



**Nährstoff-  
bedarf**

Deckung durch  
ausreichende Zufuhr

**Ernährungs-  
muster**

vielseitig, vollwertig  
pflanzenbetont



**gesunder  
Lebensstil**

in allen Lebensabschnitten





## **Eine Arbeitsgemeinschaft der Verlage**

Brill | Schöningh – Fink · Paderborn

Brill | Vandenhoeck & Ruprecht · Göttingen – Böhlau · Wien · Köln

Verlag Barbara Budrich · Opladen · Toronto

facultas · Wien

Haupt Verlag · Bern

Verlag Julius Klinkhardt · Bad Heilbrunn

Mohr Siebeck · Tübingen

Narr Francke Attempto Verlag – expert verlag · Tübingen

Psychiatrie Verlag · Köln

Ernst Reinhardt Verlag · München

transcript Verlag · Bielefeld

Verlag Eugen Ulmer · Stuttgart

UVK Verlag · München

Waxmann · Münster · New York

wbv Publikation · Bielefeld

Wochenschau Verlag · Frankfurt am Main



Ibrahim Elmadfa

# Ernährungslehre

Unter Mitarbeit von Dr. Alexa Meyer

5., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

88 Abbildungen

109 Tabellen

Verlag Eugen Ulmer • Stuttgart

**Prof. Dr. Ibrahim Elmadfa**, Studium der Lebensmittelwissenschaften (BSc. 1966 Univ. Assiut), anschließend Studium der Ernährungswissenschaften Univ. Gießen (Dipl. Oec.troph. 1968), Promotion 1970 und Habilitation 1975 bei Beschäftigung als Assistent/Dozent an der Universität Gießen; 1980–1990 Universitätsprofessur für Ernährung des Menschen in Gießen. Von 1990–2011 Professor und Vorstand des Instituts für Ernährungswissenschaften der Universität Wien, dort seit Ende 2011 als emeritierter Professor tätig. Gastprofessor an mehreren Universitäten. 1999–2014 Präsident, seit 2017 Honorarpräsident der Österreichischen Gesellschaft für Ernährung (ÖGE). 2001–2013 in mehreren Funktionen (zuletzt als Präsident) bei der International Union of Nutritional Sciences (IUNS). Ehemaliger Präsident der European Academy of Nutritional Sciences (EANS) und Vize-Präsident der World Public Health Association (WPHNA). Initiator und Herausgeber des Österreichischen Ernährungsberichts 1998, 2003, 2008 und 2012 sowie des European Nutrition and Health Report 2004 und 2009. Wissenschaftliche Beratung für Ernährung und Gesundheit im nationalen und internationalen Bereich (Österreich, EU-Kommission, WHO/FAO, UNICEF). Forschungsschwerpunkte: Stoffwechsel und Bedarf an Nährstoffen des gesunden und des kranken Menschen, Antioxidanzien, Zusatzstoffe, Lebensmittelsicherheit und -qualität, Ernährungsaspekte der Gesundheitsförderung, Ernährungs-Monitoring und -dokumentation. Autor bzw. Co-Autor von über 440 Originalartikeln, der Lehrbücher „Ernährung des Menschen“, „Lebensmittelchemie und Ernährung“ sowie weiterer Fachbücher, Ratgeber und Nährwerttabellen.

#### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2004/2024 Eugen Ulmer KG  
E-Mail: [info@ulmer.de](mailto:info@ulmer.de) Internet: [www.ulmer.de](http://www.ulmer.de)  
Lektorat: Sabine Mann, Sabine Bartsch  
Herstellung: Birgit Heyny  
Umschlagbild: Ibrahim Elmadfa  
Umschlaggestaltung: Helmut Flubacher / [flubacher.de](http://flubacher.de),  
siegel konzeption | [gestaltung, Stuttgart](http://gestaltung.stuttgart.de)  
Satz und Repro: Bernd Burkart, [www.form-und-produktion.de](http://www.form-und-produktion.de)  
Druck und Bindung: Pustet, Regensburg  
Printed in Germany

UTB Band-Nr. 2509

utb-ISBN 978-3-8252-6150-4

utb-E-ISBN 978-3-8385-6150-9 <https://doi.org/10.36198/9783838561509>

# Inhalt

Vorwort . . . . .	7
Vorwort zur 4. Auflage . . . . .	8
Vorwort zur 1. Auflage . . . . .	9
<b>Einleitung und Begriffserklärungen . . . . .</b>	<b>10</b>
<b>1 Physiologische Grundlagen . . . . .</b>	<b>13</b>
1.1 Körperzusammensetzung und Ernährungsanthropometrie . . . . .	13
1.2 Verdauung und Absorption. . . . .	23
1.3 Hunger und Sättigung . . . . .	31
1.4 Wasserhaushalt und Durst . . . . .	34
1.5 Säure-Basen-Haushalt . . . . .	37
1.6 Einige Aspekte der Ernährung des Menschen „von Anfang an“ . . . . .	42
1.7 Nährstoffbedarf und Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr . . . . .	44
1.8 Methoden der Ernährungserhebungen . . . . .	55
1.9 Ernährungsstatus . . . . .	59
<b>2 Makronährstoffe – energieliefernde Nahrungsbestandteile . . . . .</b>	<b>63</b>
2.1 Nahrungsenergie . . . . .	63
2.2 Kohlenhydrate . . . . .	71
2.3 Ballaststoffe . . . . .	83
2.4 Proteine . . . . .	86
2.5 Lipide und Fettbegleitstoffe . . . . .	98
2.6 Alkohol . . . . .	109
<b>3 Mikronährstoffe – nicht energieliefernde Nahrungsbestandteile . . . . .</b>	<b>115</b>
3.1 Vitamine . . . . .	115
3.2 Fettlösliche Vitamine . . . . .	122
3.3 Wasserlösliche Vitamine . . . . .	133
3.4 Mineralstoffe . . . . .	154
3.5 Mengen- und Spurenelemente: eine Auswahl . . . . .	162
<b>4 Sonstige Nahrungsinhaltsstoffe, Lebensmittelzusätze und Aspekte der Lebensmittelqualität . . . . .</b>	<b>176</b>
4.1 Sekundäre Pflanzenstoffe . . . . .	176
4.2 Ergogene (leistungssteigernde) Substanzen . . . . .	181
4.3 Weitere Substanzen mit ernährungsphysiologischen Wirkungen . . . . .	186

4.4	Zusatzstoffe . . . . .	188
4.5	Lebensmittelanreicherung mit Nährstoffen, Functional Food und Nahrungsergänzungsmittel . . . . .	191
4.6	Gentechnisch veränderte Lebensmittel – Novel Food . . . . .	200
4.7	Lebensmittelbestrahlung . . . . .	207
4.8	Lebensmittelkennzeichnung (food labelling) in der Europäischen Union (EU) . . . . .	211
4.9	Fremd- und Schadstoffe in Lebensmitteln . . . . .	212
<b>5</b>	<b>Ernährungssituation . . . . .</b>	<b>228</b>
5.1	Nahrungssicherung/Ernährungssicherheit . . . . .	228
5.2	Ernährungssituation in Deutschland, Österreich und der Schweiz . . . . .	230
5.3	Ernährungssituation in Ländern der Europäischen Union . . . . .	234
5.4	Welternährung – einige Fakten . . . . .	235
5.5	Risiken in der Ernährung . . . . .	240
<b>6</b>	<b>Ernährung und Gesundheit . . . . .</b>	<b>245</b>
6.1	Ernährung und Immunsystem . . . . .	245
6.2	Ernährung und Genetik . . . . .	251
6.3	Mikrobiom, Mikrobiota und Gesundheit . . . . .	258
6.4	Public Health Nutrition (PHN): Ernährungsmaßnahmen in der Krankheitsprävention und Gesundheitsförderung . . . . .	260
6.5	Prävention ernährungsassoziierter Erkrankungen . . . . .	261
<b>7</b>	<b>Arten, Hintergründe und Auswirkungen verschiedener Ernährungsformen . . . . .</b>	<b>276</b>
7.1	Nährstoff- und lebensmittelbasierte Ernährungsempfehlungen . . . . .	276
7.2	Gut essen und trinken – nach den Empfehlungen der DGE. . . . .	278
7.3	Vegetarismus . . . . .	280
7.4	Vollwert-Ernährung . . . . .	282
7.5	Nicht naturwissenschaftlich begründete Ernährungsformen . . . . .	283
7.6	Reduktionsdiäten . . . . .	287
	<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>293</b>
	<b>Anhang: Prüfungsfragen</b>	
Kap. 1	Physiologische Grundlagen . . . . .	301
Kap. 2	Makronährstoffe – energieliefernde Nahrungsbestandteile . . . . .	304
Kap. 3	Mikronährstoffe – nicht energie-liefernde Nahrungsbestandteile . . . . .	307
Kap. 4	Sonstige Nahrungsinhaltsstoffe und Lebensmittelzusätze . . . . .	309
Kap. 5	Ernährungssituation . . . . .	311
Kap. 6	Ernährung und Gesundheit . . . . .	313
Kap. 7	Verschiedene Ernährungsformen . . . . .	316

# Vorwort

Nach wie vor ist der Hauptzweck dieses Buches die Bereitstellung einer umfassenden, wenngleich vereinfacht dargestellten Einführung in die Ernährungslehre. Sie kann als Grundlage für die weiteren Stadien der Ausbildung und der möglichen Vertiefung bzw. Spezialisierung in den Ernährungswissenschaften dienen.

Eine neue Auflage ist eine gute Gelegenheit, sowohl Anregungen aufmerksamer Leserinnen und Leser als auch neue Ideen und Forschungsergebnisse zu berücksichtigen. In der fünften Auflage wurden einige Kapitel umgestaltet und entsprechend durch neue Abschnitte ergänzt bzw. erweitert. Hierzu zählen Nahrungssicherung, Ernährungsmuster, Besonderheiten der „Ernährung von Anfang an“, Darmmikrobiom, Ernährung und Gesundheit, gesundheitliche Aspekte der Lebensmittelverarbeitung und -kennzeichnung, „Hidden Hunger“ und Ernährungspolitik. Die Nährstoffzufuhrempfehlungen sowie die verwendete und zur Vertiefung empfohlene Literatur wurden aktualisiert.

Auch in dieser Auflage wird das bewährte Frage-Antwort-Konzept beibehalten. Als Lernhilfe und zur Prüfungsvorbereitung sind am Ende Prüfungsfragen mit Antworten zu allen wichtigen Inhalten aufgeführt.

Ich danke Frau Dr. Alexa Meyer für die wertvolle Unterstützung bei der Vorbereitung der neuen Auflage. Bedanken möchte ich mich auch bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Verlags Eugen Ulmer für die stets gute Zusammenarbeit.

Wien, Mai 2024

**Emer. o. Univ.-Prof. Dr. I. Elmadfa**

## Vorwort zur 4. Auflage

Auch die vierte Auflage der „Ernährungslehre“ behält die Form einer kompakten Einführung in das große Gebiet der Ernährung des Menschen. Das seit der ersten Auflage bewährte Frage-Antwort-Konzept soll auch weiterhin das Interesse wecken und die Informationen über diese komplexe Thematik leichter zugänglich machen.

Neue Forschungsergebnisse zu den physiologischen Grundlagen, den Funktionen von Makro- und Mikronährstoffen und dem Bedarf an ihnen, den sekundären Pflanzenstoffen und den diversen, für die Ernährung des Menschen relevanten Aspekten der Lebensmittel sind in die Überarbeitung der vorliegenden Auflage eingeflossen. Die Kapitel „Ernährungssituation“, „Ernährungsformen“ und „Ernährung und Gesundheit“ sowie die verwendete und empfohlene Literatur wurden auf den aktuellsten Stand gebracht.

Als Lernhilfe und zur Prüfungsvorbereitung sind am Ende Prüfungsfragen mit Antworten zu allen wichtigen Inhalten aufgeführt.

Dank gebührt Frau Dr. Alexa Meyer für die kompetente fachliche Hilfe bei der Vorbereitung der vierten Auflage. Für die gute Zusammenarbeit möchte ich mich bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Verlags Eugen Ulmer bedanken.

Wien, Februar 2019

**Emer. o. Univ.-Prof. Dr. I. Elmadfa**

# Vorwort zur 1. Auflage

Die Ernährungswissenschaft spannt sich über viele Fachbereiche. Kenntnisse über biochemische und physiologische Abläufe sind ebenso von Belang wie fundiertes Wissen über die Lebensmittel. Soziale, psychologische und rechtliche Aspekte kommen zum Tragen, wenn man Essgewohnheiten untersuchen oder beeinflussen und Standpunkte zur Lebensmittelsicherheit diskutieren möchte. Eine wichtige Rolle spielt die Ernährung in der Prävention und Therapie von Erkrankungen. Global betrachtet stellen sich für die Ernährungswissenschaft so konträre Herausforderungen wie Überernährung mit qualitativer Fehlernährung auf der einen bis zu extremer Unterernährung mit Mangelkrankungen auf der anderen Seite. Bei der Lösung dieser Probleme wiederum wird die Verschränkung von Ernährungsbelangen mit Ökologie, Ökonomie und Politik deutlich.

Die transdisziplinäre Stellung macht die Ernährungswissenschaft so überaus interessant, aber auch schwer zugänglich in den ersten Phasen des Studiums. Ziel des Studiums der Ernährungswissenschaften ist es, Spezialisten für alle Fragen der menschlichen Ernährung auszubilden. Zur Erlangung dieses Zieles müssen sich die Studierenden mit den Grundlagen vieler Bereiche vertraut machen, um fachübergreifend den Bezug zur Ernährung des Menschen herzustellen. Zum Verständnis sind grundlegende Kenntnisse der Anatomie, Physiologie und Chemie hilfreich, wie sie zu Beginn des Studiums vermittelt werden. Im zweiten Studienabschnitt erfolgt die spezifische Ausbildung in den einzelnen ernährungs- und lebensmittelwissenschaftlichen Fächern.

Das vorliegende Buch stellt eine Einführung in das weite Fachgebiet der Ernährungswissenschaften dar. Die Frage-Antwort-Technik soll das Interesse wecken und die komplexe Thematik strukturieren. Der Text wurde bewusst knappgehalten und mit zahlreichen Abbildungen, Tabellen sowie Auflistungen versehen, um das direkte Lernen mit dem Buch zu erleichtern. Entscheidenden Anteil an der Erstellung des Manuskripts hatte Frau Mag. Gerda Lichtenberger; ihr und Frau Mag. Judith Blachfelner für die Formatierungsarbeiten meinen herzlichen Dank. Vielen Dank auch den Mitarbeitern des Verlags für die gute Zusammenarbeit.

Hoffentlich erreicht das Buch sein Ziel, allen Lesenden einen verständlichen und spannenden Einstieg in die faszinierende Thematik der menschlichen Ernährung zu ermöglichen.

# Einleitung und Begriffserklärungen

Die „**Ernährung des Menschen**“ ist ein Prozess, in dem der Körper die aufgenommene Nahrung über viele Schritte verwertet, um den Bedarf für seine vielfältigen biologischen Funktionen zu decken. Sie dienen der Aufrechterhaltung seiner Gesundheit und Leistungsfähigkeit sowie seines Wohlbefindens. Die aus der Nahrung freigesetzten Nährstoffe werden in den Zellen in vielen biochemischen Reaktionen abgebaut (Katabolismus) bzw. zusammen mit vom Körper gebildeten Stoffen zu typischen Einheiten neu zusammengesetzt (Anabolismus). Der gesamte Stoffwechsel (Metabolismus) wird durch vom Körper produzierte Enzyme und Hormone angetrieben und genau reguliert; er wird durch die Zusammensetzung der aufgenommenen Nahrung sowie das Niveau der körperlichen Aktivität beeinflusst.

Der Begriff „**Nahrung**“ stammt vom mittelhochdeutschen Wort „narunge“ ab; es ist eng mit dem späteren Verb „genesen“ verwandt und bezeichnet das „am Leben Erhaltende“, „Rettende“. Im heutigen Sinn ist Nahrung die Quelle des Wachstums, der Fortpflanzung und der Gesunderhaltung sowie der lebensnotwendigen Nahrungsinhaltsstoffe.

„**Nährstoffe**“ sind chemisch definierte Elemente und Verbindungen in der Nahrung, die in unveränderter Form oder umgewandelt zu typischen körpereigenen Substanzen für den Ablauf sämtlicher Körperfunktionen – einschließlich Fortpflanzung und Wachstum – benötigt werden.

Die Nahrungsinhaltsstoffe werden wie folgt eingeteilt:

## Makronährstoffe → liefern Energie

- Protein
- Fett (und Fettbegleitstoffe)
- Kohlenhydrate (verwertbare und teilweise verwertbare)
- Alkohol
- Ballaststoffe → sind größtenteils Kohlenhydrate, heterogene Gruppen unverdaulicher Zellwandbestandteile; bisher für die Energieversorgung praktisch ohne Bedeutung, nach neueren Erkenntnissen werden sie mit 1,5–2 kcal/g berücksichtigt

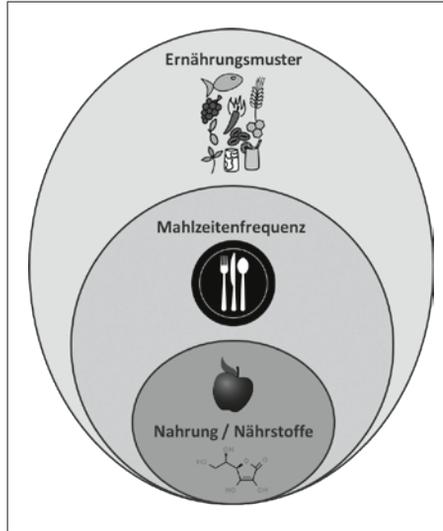
## Mikronährstoffe → liefern keine Energie

- Vitamine
- Mineralstoffe (Mengen- und Spurenelemente)

## Biologisch aktive und sekundäre Pflanzen-Zellkomponenten

## Wasser

Das „**Ernährungsmuster**“ = Ernährungsweise (Dietary pattern) beschreibt die konsumierte Menge, Proportion, Vielfalt oder Kombination von verschiedenen Lebensmitteln und Getränken. Wobei zu betonen ist, dass neben der Zusammensetzung der Nahrung auch ihre Form, Textur und der Matrixeffekt die Energieaufnahme und den Metabolismus beeinflussen.



**Abb. 0.1** Ernährungsmuster

In jüngster Zeit durchgeführte Studien zum Ernährungsmuster stellen die Assoziation der ganzen Ernährungsweise, nicht einzelner Lebensmittel oder gar Nährstoffe, mit verschiedenen Aspekten der Gesundheit in den Vordergrund. Im Fokus steht vor allem die Prävention nicht übertragbarer Erkrankungen wie Adipositas, Diabetes, Krebs sowie Herz- und Gefäßkrankheiten.

Die „**Empfehlung zur Nährstoffzufuhr**“ entspricht der Bevölkerungsreferenzzufuhr eines Nährstoffs, die den Bedarf praktisch aller gesunden Personen (etwa 98%) der Population deckt. Die Empfehlungen werden unter Berücksichtigung aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse neu herausgegeben.

Als Beispiel werden hier die D-A-CH-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr (erstmalig erschienen 2000) genannt. Seit 2022 werden sie nunmehr für Deutschland und Österreich als **DGE/ÖGE-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr** herausgegeben.



**Abb. 0.2** D-A-CH-Referenzwerte

In allen Kapiteln dieses Buches beziehen sich Nährstoffzufuhrempfehlungen – wenn nicht anderes erwähnt – auf die Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr der Deutschen Gesellschaft für Ernährung und der Österreichischen Gesellschaft für Ernährung **DGE/ÖGE-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr**, letzter Zugriff April 2024. Wo dies angebracht ist, wird auch auf die Empfehlungen der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO) hingewiesen.

Die „**Ernährungswissenschaft**“ ist ein breit angelegtes, angewandtes Fachgebiet. Sie stützt sich auf Disziplinen der Lebensmittelwissenschaften (Produktion, Verarbeitung einschließlich Biotechnologie, Mikrobiologie/Hygiene, Toxikologie) sowie der Bio- und Humanwissenschaften (Biochemie, Physiologie, Ökologie, Verhaltenswissenschaften und Teilbereiche der Gesundheitswissenschaften). Eine zentrale Stellung nehmen dabei die Erforschung und Vermittlung der Grundlagen des Stoffwechsels und des Nährstoffbedarfs entlang des Lebenszyklus und unter allen Lebensbedingungen ein. Sie zielen damit auf die Gesundheitsförderung sowie die primäre und sekundäre Prävention ernährungsabhängiger Erkrankungen ab.

Im breit gefächerten multidisziplinären Studium der Ernährungswissenschaften sind Schwerpunktbildungen und Spezialisierungen möglich, zudem werden an verschiedenen Universitäten in Deutschland, Österreich, der Schweiz und mehreren europäischen Ländern zahlreiche Master-Studienprogramme angeboten.

## Literatur

- Bauman C, Cannon G, Elmadfa I, Glasaur P, et al. (2005): The principals, definition and dimensions of the new nutrition science. *Public Health Nutrition*, 8:695–698. DOI: <https://doi.org/10.1079/PHN2005820>.
- D-A-CH/Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE), Österreichische Gesellschaft für Ernährung (ÖGE), Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung (SGE), Schweizerische Vereinigung für Ernährung (SVE): (2000): Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. 1. Aufl., Umschau/Braus, Frankfurt 2000.
- Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung (Hrsg.) (2024): DGE/ÖGE-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Bonn, 2. Auflage, 8. aktualisierte Ausgabe.
- Elmadfa I, Leitzmann C (2023): Ernährung des Menschen, 7. Aufl., Stuttgart, Ulmer.
- Forde CG, Bolhuis D (2022): Interrelations between food form, texture and matrix influence energy intake and metabolic responses. *Current Nutrition Reports*, 11(2), 124–132. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13668-022-022-00413-4>.
- Kreuter PA (1980): Nutrition in Perspective. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Margetts BM, Campbell NA, Armstrong BK (1981): Summerizing dietary patterns using multivariate analysis. *J. Human Nutr.* 35 (4): 281–286.
- McNaughton SA (2020): Dietary patterns. In *Present Knowledge in Nutrition*, Vol 2, pp 235–248. Eds: Marriott BP, et al., Elsevier.
- Schulze MB, Martinez-Gonzalez MA, et al. (2018): Food based dietary guidelines and chronic disease prevention. *BMJ*, 361: k2396.

# 1 Physiologische Grundlagen

## 1.1 Körperzusammensetzung und Ernährungsanthropometrie

Gewicht und Zusammensetzung des Körpers ändern sich abhängig von Alter und Gesundheitszustand. Aus diesem Grund sind Kenntnisse über Körperzusammensetzung und anthropometrische Größen unerlässlich für die Beurteilung des Ernährungs- und Gesundheitsstatus.

**Ein-Kompartiment-Modell:** Das Körpergewicht dient als indirekte Beurteilungsgrundlage der Körperzusammensetzung und seiner Energiereserven.

Welche Modelle zur Körperzusammensetzung wurden erstellt?

**Zwei-Kompartiment-Modell:** Körpergewicht = Gesamtkörperfett + fettarme (~ freie) Masse

- Gesamtkörperfett (Total Body Fat, TBF): Durch Extraktion des Fettes mit Ether aus den homogenisierten Geweben wird das gesamte Fett inklusive der Strukturlipide in den Zellmembranen erfasst.
- Fettfreie Masse (Fat Free Mass, FFM) enthält keinerlei Fett. Die LBM (Lean Body Mass) hingegen enthält Strukturfett. Sie bezeichnet die Differenz zwischen Körpergewicht und Fettgewebe. Sie ist genau genommen nicht identisch mit der FFM. Da der Unterschied zwischen beiden aber gering ist, werden FFM und LBM in der Praxis oft synonym verwendet.

**Drei-Kompartiment-Modell:** Körpergewicht = Fett + Zellmasse + Extrazellulärmasse

- Fett
- Zellmasse (Body Cell Mass, BCM) bzw. Muskulatur
- Extrazellulärmasse (Extracellular Mass, ECM) bzw. Nichtmuskel-Magermasse

**Vier-Kompartiment-Modell 1:** Körpergewicht = Fett + Wasser + Protein + Knochenminerale

- Fett
- Wasser
- Protein
- Knochenminerale bzw. Aschegehalt

**Vier-Kompartiment-Modell 2:** Körpergewicht = Fett + Nichtmuskel-Masse + Muskulatur + Skelett

- Fett
- Nichtmuskel-Masse
- Muskulatur: 37–51 % der LBM
- Skelett: 17–23 % der LBM

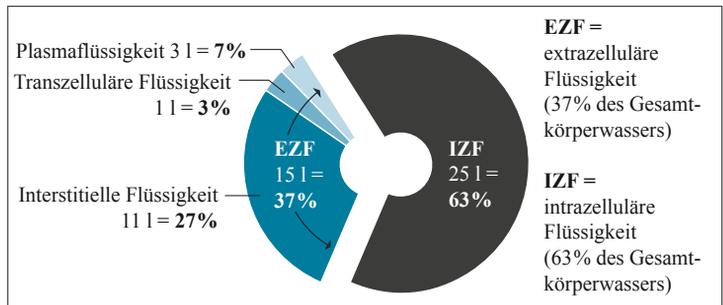
Wie ist der Körper eines Erwachsenen zusammengesetzt?

**Tab. 1.1** Zusammensetzung eines 70 kg schweren männlichen Erwachsenen nach dem Vier-Kompartiment-Modell 1

Komponente	Absolut (kg)	% des KG	Davon essenziell (%)
Proteine	12	17	80
Fett	11–12	ca. 16	10 = Strukturfett
Wasser	42	60	90
Kohlenhydrate (Glykogen)	0,5	< 1	20
Rest (Mineralstoffe)	4	6	65

Wie verteilt sich das Gesamtkörperwasser?

Der menschliche erwachsene Körper besteht im Durchschnitt zu 60 % aus Wasser. Über 60 % dieses Körperwassers befinden sich als sogenannte intrazelluläre Flüssigkeit (IZF) in den Zellen, der Rest – die extrazelluläre Flüssigkeit (EZF) – außerhalb. Während im Inneren der Zellen Kaliumionen dominieren, sind in den Extrazellulärräumen hohe Na<sup>+</sup>- und Cl<sup>-</sup>-Ionenkonzentrationen kennzeichnend.



**Abb. 1.1** Verteilung der Gesamtflüssigkeit im Körper eines erwachsenen 65 kg schweren Mannes

**Extrazelluläre Flüssigkeit (EZF):**

- interstitielle Flüssigkeit um die Zellen herum im Bindegewebe (73 % der EZF)
- Plasmaflüssigkeit in den Blut- und Lymphgefäßen (19% der EZF)
- transzelluläre Flüssigkeit in Hohlräumen wie Harnblase, Gallenblase, Darmlumen sowie an Schleimhäuten und Haut (8% der EZF)

Veränderungen von der **Geburt zum Erwachsenenalter**: Der relative Wasseranteil sinkt stark im Laufe der Entwicklung vom Säugling zum Erwachsenen und zwar von über 70 % auf 60 % des Körpergewichts. Der relative Proteinanteil (Muskelmasse) steigt bis zum Erwachsenenalter. Der relative Fettanteil ist im Kleinkindalter höher als im Erwachsenenalter. Der relative Mineralstoffgehalt (Skelettbildung) steigt im Laufe der Zeit stark an, von 3 % auf 6 % des Körpergewichts (dies betrifft vor allem den Calcium-, Phosphor- und Kaliumgehalt).

Unterschied **zwischen den Geschlechtern**: Der prozentuelle Fettgehalt ist bei jungen Frauen fast doppelt so hoch wie bei Männern gleichen Alters, der Wasseranteil entsprechend niedriger.

Veränderungen im **Alter**: Bis zum 85. Lebensjahr sinkt das Gesamtkörperwasser auf 45–50 % des Körpergewichts, verbunden mit der Abnahme der fettfreien Körpermasse (LBM). Durch die gleichzeitige Erhöhung des Körperfettgehalts bleibt das Körpergewicht insgesamt gleich. Im Alter weisen Frauen eine geringere Zunahme an Fettmasse und einen geringeren Verlust an Zellmasse auf als Männer.

Veränderungen während der **Schwangerschaft**: Die durchschnittliche Gewichtszunahme während der Schwangerschaft beträgt 12,5 kg. 1,5–3,5 kg Depotfett werden angelegt. Das Gesamtkörperwasser steigt um etwa 8 Liter, vor allem die extrazelluläre Flüssigkeit.

Veränderungen bei **Unter- bzw. Überernährung**: Bei anhaltendem Hungern wird das Depotfett fast gänzlich aufgebraucht, die intrazelluläre Flüssigkeit sinkt stark ab. Da die Extrazellulärflüssigkeit unverändert bleibt, verschiebt sich das Verhältnis zwischen dem außerhalb der Zellen dominierenden Natrium und dem in den Zellen vorherrschenden Kalium zu Lasten des Kaliums.

Bei **Überernährung** ist das Fettgewebe stark vermehrt und kann etwa bis zu 70 % der Körpermasse ausmachen (statt wie durchschnittlich um 15 % beim Mann bzw. um 25 % bei der Frau).

Bestimmung der **Gesamtkörperflüssigkeit** (Total Body Water, TBW): Direkte Bestimmungsmethoden gelten als schwierig, weil sie aufwendig, zeitraubend und kostspielig sind. Praktikabler ist die indirekte Bestimmung des TBW mit Markersubstanzen nach dem Verdünnungsprinzip. Die Formel zur Berechnung lautet:

$$V = Q/C$$

V = Volumen der Körperflüssigkeit

Q = Quantität einer Markersubstanz, die sich homogen mit dem TBW vermischt

C = Konzentration der Messsubstanz in der Körperflüssigkeit

TBW = 50–65 % des KG  
(Beispiel: ca. 40 l bei einem 65 kg schweren Mann)

Nach oraler oder intravenöser Verabreichung verteilt sich die Markersubstanz in der Körperflüssigkeit (verschiedene Wartezeiten, je nach

Wie verändert sich die Körperzusammensetzung unter verschiedenen Bedingungen?

Wie wird die Körperzusammensetzung ermittelt?

Markersubstanz). Die Konzentration der Messsubstanz wird im Blutplasma bestimmt. Früher wurden Harnstoff, Aminopyrin und Ethanol als Markersubstanzen verwendet, heute Deuterium  $^2\text{H}$ , Tritium  $^3\text{H}$  und ein stabiles Sauerstoffisotop  $^{18}\text{O}$ .

Ein Marker zur Bestimmung des TBW muss beide Flüssigkeitskompartimente erreichen, sowohl die extrazelluläre Flüssigkeit (EZF) als auch die intrazelluläre Flüssigkeit (IZF).

Bestimmung der **extrazellulären Flüssigkeit (EZF)**: Ein Marker (z. B. Na-Thiocyanat, Bromid), der extrazellulär bleibt, ermöglicht die Messung der EZF. Bei Patienten mit Ödemen kann die EZF bis zu 50 % des Körpergewichts erreichen. Bei Austrocknung (Dehydrierung) sinkt sie jedoch nicht unter 18 %.

$$\text{EZF} = 18\text{--}24\% \text{ des KG}$$

(Beispiel: ca. 15 l bei einem 65 kg schweren Mann)

Bestimmung der **intrazellulären Flüssigkeit (IZF)**: Bei bekannter EZF ist die indirekte Bestimmung der IZF durch Subtraktion des EZF-Betrags von der Gesamtkörperflüssigkeit (TBW) möglich.

$$40 \text{ l TBW} - 15 \text{ l EZF} = 25 \text{ l IZF}$$

(Beispiel: bei der 65 kg schweren Referenzperson)

Bestimmung der **mageren Körpermasse (LBM)**:

- Direkte Messung von  $^{40}\text{K}$  durch Ganzkörperzähler: natürliches radioaktives Kalium ( $^{40}\text{K}$ ), das der Körper abstrahlt, wird gemessen; kennt man den Kaliumgehalt des Körpers, kann die LBM errechnet werden.
- Indirekte Messung über den Wassergehalt der Zellen: der durchschnittliche Wassergehalt der mageren Körperzellen beträgt 73 % des TBW; daraus lässt sich die LBM durch folgende Formel berechnen:  

$$\text{LBM} = \text{TBW} / 0,73$$

$$\text{LBM} = \text{TBW} : 0,73 = 40 \text{ kg} / 0,73 = 55 \text{ kg}$$

(Beispiel: bei einem 65 kg schweren Mann)

Bestimmung des **Fettgehaltes**:

$$\text{Fettgehalt (FG)} = \text{Körpergewicht (KG)} - \text{LBM}$$

$$\text{FG} = \text{KG} - \text{LBM} = 10 \text{ kg}$$

(Beispiel: bei der 65 kg schweren Referenzperson)

### Definition und Zweck der Anthropometrie

Unter **Anthropometrie** versteht man Messungen des menschlichen Körpers und seiner Kompartimente sowie das Ermitteln von Maßverhältnissen.

Die Bestimmungen dienen der Beurteilung des Ernährungszustands und damit der Ermittlung zum Beispiel von Über- und Untergewicht, Kachexie (Auszehrung), Exsikkose (Dehydrierung), Knochendichte.

## Body Mass Index (BMI)

Das Verhältnis von Körpergewicht zu Körpergröße lässt sich über den Body Mass Index (BMI) wie folgt bestimmen:

Abschätzung der Körpergewichtskategorie durch das Verhältnis Körpergewicht/Körpergröße

$$\text{BMI} = \frac{\text{Körpergewicht (kg)}}{\text{Körpergröße in Metern zum Quadrat (m}^2\text{)}}$$

Für die Körpergewichtskategorien auf BMI-Basis nach der WHO siehe Tab. 1.2.

**Tab. 1.2** Klassifikation des Körpergewichts für verschiedene Altersgruppen

Klassifikation	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Erwachsene (WHO, 2000)*</b>	
Untergewicht	< 18,50
• leichtes Untergewicht	17,00–18,49
• moderates Untergewicht	16,00–16,99
• massives Untergewicht	< 16,00
Normalgewicht	18,50–24,99
Übergewicht	≥ 25,00
Präadipositas	25,00–29,99
Adipositas	≥ 30,00
Klasse I	30–34,99
Klasse II	35–39,99
Klasse III	≥ 40,00
<b>Senioren (≥ 65 Jahre) (NRC 1989)</b>	
Untergewicht	≤ 24,00
Normalgewicht	24,00–29,99
Übergewicht	≥ 30,00
<b>Kinder und Jugendliche (5–19 Jahre) (WHO 2007)</b>	
starkes Untergewicht	Median – 3 SD** bzw. < 3. Perzentile
Untergewicht	Median – 2 SD bzw. < 15. Perzentile
Normalgewicht	Median + 1 SD/– 2 SD bzw. 15.–85. Perzentilen
Übergewicht	Median + > 1 SD bzw. > 85. Perzentile
Adipositas	Median + > 2 SD bzw. > 97. Perzentile

\* die Werte gelten unabhängig von Geschlecht und Alter; \*\* SD = Standardabweichung

In Ergänzung zu den weltweit geltenden Cut-off-Werten für Erwachsene wird von der WHO die Erstellung von spezifischen Einteilungen für verschiedene Ethnien diskutiert. Dies ist vor allem für asiatische Bevölkerungen der Fall, welche bei gleichem BMI im Durchschnitt einen höheren Körperfettanteil und mehr übergewichtsassoziierte Risikofaktoren, wie Diabetes mellitus Typ 2, Bluthochdruck und Dyslipidämie, aufweisen als Kaukasier. Auch zu anderen Ethnien wurden Unterschiede beschrieben. Eine endgültige Klassifikation steht bislang aber noch aus.

Bei älteren Menschen ab 65 Jahren wird die Empfehlung eines höheren BMI-Bereichs mit der in Studien damit assoziierten niedrigeren Mortalität begründet.

Vorteil der Anwendung des BMI: Korreliert eng mit dem Körperfettgehalt und ist deshalb ein gutes Maß für die Klassifikation des Übergewichts.

Für Kinder und Jugendliche erfolgt die Bewertung des Körpergewichts anhand alters- und geschlechtsspezifischer Perzentilkurven.

## Broca-Index

Auch beim Broca-Index werden Körpergewicht und Körpergröße zueinander in Beziehung gesetzt. Er lässt sich wie folgt bestimmen:

$$\text{Normalgewicht (kg)} = \text{Körpergröße (cm)} - 100$$

Sollgewicht: bei Frauen Normalgewicht – 15 %, bei Männern Normalgewicht – 10 %

Übergewicht: Normalgewicht + 10 %

Vorteil: einfache Handhabung

Nachteil: kleine Personen werden zu oft als übergewichtig eingestuft, große Menschen zu selten; für Kinder und Jugendliche wenig geeignet

## Waist-to-hip ratio (WHR)

Mit welcher Methode kann die Fettverteilung im Körper ermittelt werden?

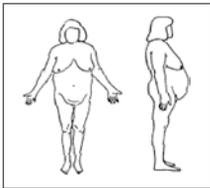


Abb. 1.2 Androide Fettverteilung

Vergleicht man den Taillenumfang mit dem Hüftumfang, kann zwischen zentraler Fettsucht (Abb. 1.2 androide, stammbetonte Fettverteilung mit Fettansammlung im Bauchbereich, „Apfeltyp“) und peripherer Fettsucht (Abb. 1.3 gynoide Fettverteilung mit Fettansammlung an Gesäß, Hüften und Oberschenkeln, „Birnentyp“) unterschieden werden. Menschen mit androider Fettverteilung weisen eine Erhöhung des viszeralen Fettanteils (um die Organe herum) auf, der eine größere Stoffwechselaktivität hat; damit besteht ein erhöhtes Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen und das metabolische Syndrom. Im Gegensatz dazu weisen Personen mit einer gynoiden Fettsucht, bei der der subkutane Fettanteil erhöht ist, im Vergleich zu Normalgewichtigen kein höheres Risiko für Begleiterkrankungen auf. Das Risiko ist erhöht, wenn:

$$\text{WHR} > 0,85 \text{ bei Frauen und } \text{WHR} > 1,00 \text{ bei Männern}$$



Abb. 1.3 Gynoide Fettverteilung

## Waist-to-height ratio (WHtR)

Eine weitere Möglichkeit, zentrale Fettsucht zu erkennen, bietet die Berechnung des Verhältnisses von Taillenumfang zu Körperhöhe. Aus einer Reihe von epidemiologischen Studien konnte für WHtR-Werte über 0,5 ein erhöhtes Risiko für kardiovaskuläre und andere Stoffwechselerkrankungen abgeleitet werden. Als ideal gilt:

$$\text{WHtR zwischen } 0,4 \text{ und } 0,5 \text{ bei beiden Geschlechtern}$$

## Hautfaldendicke-Messung

Die Hautfaldendicke (HF)-Messung wird zur Abschätzung des Körperfettgehalts angewendet. Mithilfe eines Kalipers (zangenähnliches Messinstrument) werden Hautfalten an unterschiedlichen Körperstellen gemessen. Da das subkutane Fett etwa 50 % des Depotfettes ausmacht, kann auf den Körperfettgehalt rückgeschlossen werden.

Die Hautfaldendicke in mm oder cm wird an definierten Körperstellen gemessen, die Werte werden addiert und mit Tabellenwerten verglichen, in denen der prozentuale Körperfettgehalt aufgelistet ist.

Mit welchen Methoden können verschiedene Körperkompartimente ermittelt werden?

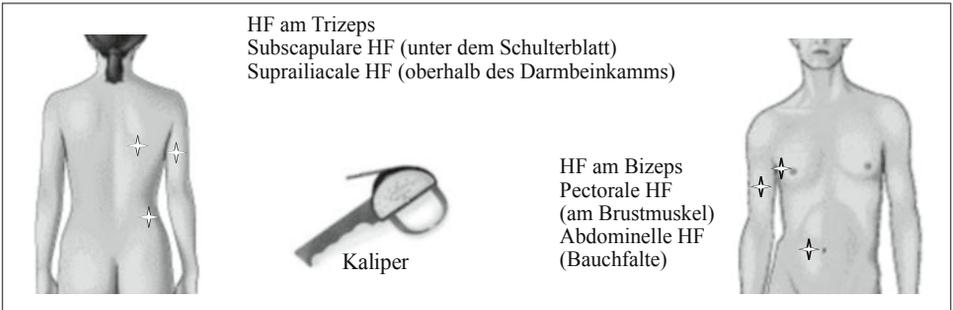


Abb. 1.4 Häufig gemessene Hautfalten (HF)

## Armmuskelumfang und Trizeps-HF

Zur Abschätzung der Körperfett- bzw. Muskelmasse werden Armmuskelumfang und Trizeps-Hautfalte gemessen.

Zwischen Schulterhöhe und Ellbogen wird in der Mitte des Oberarms der Umfang gemessen (Oberarmumfang). Mithilfe folgender Formel kann der Armmuskelumfang berechnet werden:

$$\text{Armmuskelumfang (cm)} = \text{Oberarmumfang (cm)} - 4,18 \times \text{Trizeps-Hautfalte (cm)}$$

Diese Kombination aus Trizeps-Hautfalte und Armmuskelumfang ermöglicht durch Vergleiche mit Normtabellen eine grobe Abschätzung der Fett- bzw. Muskelmasse.

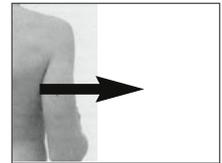


Abb. 1.5 Messung des Oberarmumfangs

## Körperdichte

Die Ermittlung des Körperfettes kann auch indirekt anhand der Körperdichte (spezifisches Gewicht) erfolgen. Sie lässt sich wie folgt berechnen:

$$\text{Körperdichte (D)} = \text{Körpergewicht (W)} / \text{Körpervolumen (V)}$$

Das Körpervolumen ist die Differenz zwischen dem Gewicht an der Luft und dem Gewicht unter Wasser. Das Gewicht unter Wasser wird nach dem Archimedes-Prinzip der Wasserverdrängung mithilfe einer Unterwasserwaage gemessen. Das Lungenvolumen und ein Schätzwert für intestinale Gase (ca. 100 ml) müssen abgezogen werden. Anhand einer Formel kann aus der Körperdichte der Fettgehalt errechnet werden:

$$\text{Körperfett (TBF, \%)} = (4,95 / D - 4,5) \times 100$$

### Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)

Die bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) ermittelt verschiedene Körperkompartimente.

Der elektrische Widerstand, dem der Körper einem schwachen, nicht spürbaren Wechselstrom entgegensetzt, wird gemessen. Dazu werden je zwei Elektroden an eine Hand und einen Fuß des liegenden Probanden angebracht. Da verschiedene Körpergewebe eine unterschiedliche Leitfähigkeit aufweisen, können aus dem gemessenen Spannungsabfall Gesamtkörperwasser, Fettmasse, Magermasse und Körperzellmasse abgeleitet werden. Wobei zu beachten ist, dass diese Werte nicht direkt bestimmt werden, sondern auf statistischen Korrelationen beruhen. Das Gerät berechnet nach verschiedenen Gleichungen, die spezifisch für einzelne Bevölkerungsgruppen erstellt wurden, die Körperzusammensetzung. Berücksichtigung von Körpergewicht, Alter und Geschlecht erhöhen die Interpretationsgenauigkeit, während Körperlage, Hydratationszustand, Zeitabstand zur letzten Nahrungsaufnahme, Luft- und Hauttemperatur, kurz zuvor erfolgte körperliche Aktivität, Platzierung der Elektroden sowie falsche Angaben von Körpergröße und Körpergewicht die Ergebnisse verfälschen können.

Als Vorteile der BIA gelten ihre einfache, sichere und relativ kostengünstige Durchführbarkeit. Moderne BIA-Geräte messen den Widerstand bei mehreren Frequenzen und sind deshalb genauer.

Für weitere anthropometrische Methoden siehe Tab. 1.3.

**Tab. 1.3** Überblick über weitere anthropometrische Methoden

Methode	Gemessener Parameter	Ermitteltes Kompartiment	Durchführung
simultane Mehrfach-Isotopen-Verdünnungsmethode	gesamtes austauschbares Zellkalium ( $K_a$ )	Körperzellmasse (BCM) $BCM = K_a \times 8,33$	Das Gesamtkalium wird über die Applikation von $^{42}K$ bestimmt und die Körperzellmasse berechnet.
	mit „Evans-Blau“ oder mit $^{131}I$ -markiertes Albumin	Plasmavolumen	
	mit $^{51}Cr$ , $^{55}Fe$ oder $^{59}Fe$ markierte Erythrozyten	gesamte Erythrozytenmasse	

**Tab. 1.3** Überblick über weitere anthropometrische Methoden (Fortsetzung)

Methode	Gemessener Parameter	Ermitteltes Kompartiment	Durchführung
TOBEC (Total Body Electrical Conductivity)	elektrische Leitfähigkeit des Körpers	Wassergehalt bzw. magere Körpermasse	Der Proband liegt in einer stromerzeugenden elektromagnetischen Spule. Die Stärke des Magnetfeldes wird vom Körper verändert und verhält sich proportional zum Wassergehalt und somit zum Gehalt der mageren Körpermasse. Ein Computer analysiert die Daten und schätzt die fettfreie Masse und daraus den Fettgehalt ab. Rasche, aber teure Methode.
IVNAA (In-vivo-Neutronenaktivierungsanalyse)	radioaktive Isotope von Calcium, Stickstoff, Phosphor, Kohlenstoff und Chlor	alle Kompartimente	Ein bekannter Neutronenfluss wird in den Körper gesandt. Durch Wechselwirkungen mit den Elementen im Körper entstehen radioaktive Isotope, die gemessen werden. Teure und aufwendige Methode.
Magnetresonanztomografie (MRT) bzw. Nuclear-Magnetic-Resonance-Technic (NMR)	Emission elektromagnetischer Wellen durch körpereigene Wasserstoffatome, die zuvor angeregt wurden	Organgröße, Organstruktur, Körperfettverteilung, TBW, Muskelmasse	In starken Magnetfeldern wird ein Teil der körpereigenen Wasserstoffatome bedingt durch ihre asymmetrische Ladung in eine Richtung ausgelenkt. Beim Zurückfallen in ihren ursprünglichen Zustand nach Abschalten des Hochfrequenzfeldes emittieren die Wasserstoffkerne messbare Energie. Die Methode ist äußerst genau, die Strahlenbelastung gering, die Geräte sind jedoch sehr teuer.
Dual-Photonenabsorptionsmetrie (DPA) bzw. DEXA (dual energy X-ray absorptiometry)	Röntgenstrahlen unterschiedlicher Energie, die durch Körpergewebe abgeschwächt wurden	Fett, fettfreie Körpermasse und Knochensubstanz (auch in einzelnen Körperabschnitten) Knochendichte	Der Körper wird mit Röntgenstrahlung unterschiedlicher Energie „abgetastet“. Mit einem Szintillationszähler wird die Abschwächung der Strahlung analysiert.
Air Displacement Plethysmography (Volumensmessung) BODPOD	Körpervolumen und aus der Körpermasse abgeleitet die Dichte	Fett und fettfreie Körpermasse	Gemessen wird die vom Körper in einer geschlossenen Kammer verdrängte Luft. Durch Teilung der Körpermasse (wird im Gerät gewogen) durch das Volumen wird die Dichte bestimmt und daraus mittels Formeln die Zusammensetzung berechnet. Das einzige erhältliche Gerät ist der BODPOD (Life Measurement, Inc., Concord, CA).
biochemische Parameter	renale Kreatinin-ausscheidung	Muskelmasse und daraus die LBM (die Muskelmasse macht durchschnittlich 49% der LBM aus)	Kreatinin entsteht aus Kreatin, das fast nur im Muskel vorkommt. Die täglich mit dem Harn ausgeschiedene Menge ist eine individuelle Größe und direkt proportional zur Muskelmasse. Die Kreatininausscheidung wird nach einigen Tagen fleischloser Ernährung gemessen. 1 g Kreatinin/d entspricht etwa 18–20 kg Muskelgewebe.
	renale 3-Methylhistidinausscheidung	Muskelmasse	Methylhistidin stammt ausschließlich aus dem Aktinabbau und ist deshalb ein Parameter für die Muskelmasse.

Wie lauten die Normwerte wichtiger Körpermaße?

BMI und Fettanteil sind von Faktoren wie Alter, Trainingszustand und dergleichen abhängig und sollen Größenordnungen normaler Werte vermitteln.

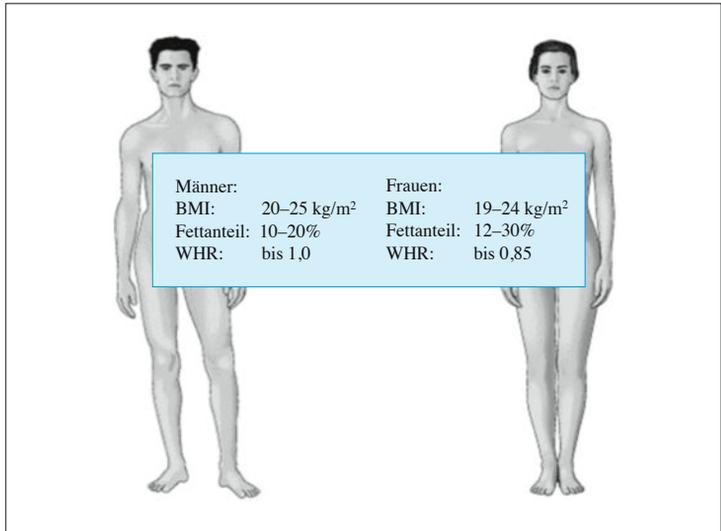


Abb. 1.6 Normalbereiche wichtiger Körpermaße

## 1.2 Verdauung und Absorption

Verdauung ist die Zerkleinerung der Nahrung im Magen-Darmtrakt durch physikalische, chemische und enzymatische Prozesse. Unter Absorption wird die Aufnahme resorbierbarer Nahrungskomponenten (Nährstoffe, Begleitstoffe) bzw. deren Spaltprodukte durch die Darmschleimhaut in das Blut bzw. die Lymphe verstanden.

**Endoenzyme** werden vorwiegend im Magen und oberen Dünndarm sezerniert. Sie spalten Verbindungen innerhalb eines Moleküls. Es entstehen große Teilstücke. Zu den Endoenzymen gehören  $\alpha$ -Amylase, Pepsin, Trypsin, Chymotrypsin, Elastase. **Exoenzyme** befinden sich im unteren Dünndarm und bauen Moleküle von den Enden her ab. Zu ihnen zählen die im Pankreas gebildeten Carboxypeptidasen (die Spaltung beginnt am COOH-Ende) und die in den Dünndarmzellen gebildeten und auch dort wirkenden Amino-peptidasen (die Spaltung beginnt am NH<sub>2</sub>-Ende).

Was versteht man unter Verdauung, was unter Absorption?

Einteilung der Verdauungsenzyme

**Tab. 1.4** Absorptionsfähige Verdauungsprodukte wichtiger Nahrungskomponenten

Nahrungs-komponenten	Enzyme	Nahrungskomponenten bzw. deren Spaltprodukte in absorptionsfähiger Form
Proteine	Proteinasen, Peptidasen	Peptide (Di-, Tri-), Aminosäuren
Fette	Lipasen	Fettsäuren, Glycerin (bei komplexen Lipiden auch Phosphat, Alkohole und N-Basen)
Kohlenhydrate	Amylasen, Glycosidasen	Monosaccharide
Zuckeralkohole	keine Spaltung	unverändert
Nukleinsäuren	Nukleasen, Nukleosidasen	Kernbasen, Pentosen, Phosphat
Vitamine	Spaltung der gebundenen Formen durch verschiedene Enzyme, z. B. Glutamatkonjugase bei Folsäure	in freier Form
Mineralstoffe und Spurenelemente	keine Spaltung	in ionisierter Form (Kationen, Anionen)
Wasser	keine Spaltung	unverändert
Ethanol (Alkohol)	keine Spaltung	unverändert

Im **Mund** wird die Nahrung zu einem Brei zermahlen, durch Antikörper und Lysozyme desinfiziert und mittels Mucinen (Schleimstoffe) schluckfähig gemacht. Der Hydrogencarbonat-Puffer bildet ein optimales Milieu für die  $\alpha$ -Amylase und verhindert, dass saure Substanzen dem Zahnschmelz schaden. Die Kohlenhydrat-spaltung durch die  $\alpha$ -Amylase Ptyalin dient eher der Mundhygiene als der Verdauung, denn schon im sauren Milieu des Magens wird sie inaktiviert. Genau umgekehrt wird die Zungengrundlipase im Mund abgesondert und erst im Magen aktiv.

Im **Magen** wird der Speisebrei durch Muskeltätigkeit weiter zerkleinert und gespeichert, bis er portionsweise durch den Pylorus in das

Was passiert im Verdauungstrakt mit der Nahrung?

Duodenum gelangt. Salzsäure wandelt Pepsinogen in Pepsin um, wirkt reduzierend ( $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ ), antibakteriell und denaturiert Proteine. Mucine schützen die Magenschleimhaut. Im Magen beginnt die Proteinverdauung durch Pepsin, das Proteine und Polypeptide zu Peptiden unterschiedlicher Größe spaltet. Die Fettverdauung wird durch die Zungengrundlipase vom Mund und eine gastrische Lipase initiiert. Der Intrinsic Faktor – ein Glykoprotein – bindet an Vitamin B<sub>12</sub>, damit dieses im unteren Dünndarm absorbiert werden kann.

Der Dünndarm besteht aus drei Abschnitten: **Duodenum** (Zwölffingerdarm), **Jejunum** (Leerdarm) und **Ileum** (Krummdarm).

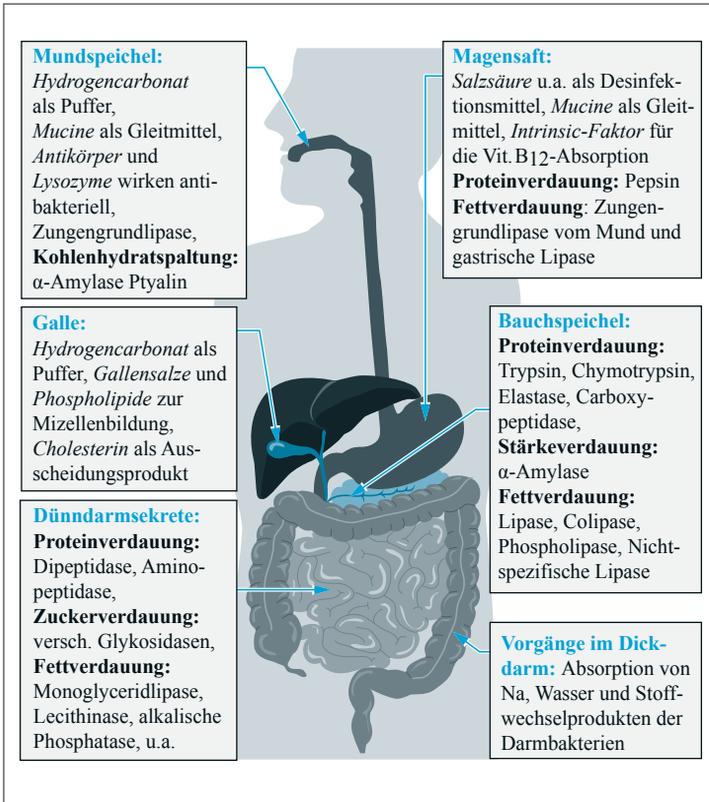
Im Duodenum befinden sich die Ausführungsgänge der Gallenblase und der Bauchspeicheldrüse. Die **Galle** wird in der Leber gebildet und in der Gallenblase gespeichert. Sie enthält Hydrogencarbonat, das die Salzsäure des Magens neutralisiert und dem Chymus (Nahrungsbrei) den für die Bauchspeicheldrüsenenzyme optimalen, leicht basischen pH-Wert gibt. Gallensalze und Phospholipide mit ihrer Fähigkeit, sowohl Wasser- als auch Fettphasen zu binden, bilden aus dem Nahrungsfett im Duodenum kleinste fetthaltige Tröpfchen (Mizellen). Gallenfarbstoffe, Cholesterin und andere fettlösliche Verbindungen in der Gallenflüssigkeit sind Ausscheidungsprodukte. Der **Bauchspeichel** aus der Bauchspeicheldrüse (Pankreas) ist durch Hydrogencarbonat leicht basisch und puffert – wie die Galle – den sauren Mageninhalt ab. Die Endoenzyme Trypsin, Chymotrypsin und Elastase werden als Vorstufen sezerniert und erst im Duodenum aktiviert. Sie hydrolysieren Proteine und Polypeptide zu kleineren Peptiden. Die Elastase spaltet fibröse (fasrige) Proteine. Carboxypeptidasen spalten Aminosäuren ab. Die Kohlenhydratverdauung setzt durch die  $\alpha$ -Amylase richtig ein, die Stärke und Glykogen zu Maltose und zu Dextrin zerteilt. Für die Fettverdauung sorgen Pankreaslipase, Phospholipase A<sub>2</sub> und Cholesterinesterase (auch „Nichtspezifische Lipase“ genannt). Die Pankreaslipase braucht Calciumionen und Colipase. Sie spaltet Lipide zu freien Fettsäuren und Monoglyceriden. Durch den Einfluss der Gallensalze bilden sich, wie erwähnt, aus Monoglyceriden, Fettsäuren, Cholesterin, Phospholipiden, fettlöslichen Vitaminen und anderen lipophilen Substanzen spontan Mizellen. Phospholipase A<sub>2</sub>, die ebenfalls Calciumionen braucht, verdaut Phospholipide wie Lecithin (Phosphatidylcholin). Die Cholesterinesterase schließlich spaltet Cholesterinester, die zweite Esterbindung der Triglyceride, Vitaminester und andere.

Die Dünndarmsekrete der **Mikrovilli** vollenden die Verdauung und produzieren absorbierbare Moleküle mithilfe zahlreicher Enzyme.

Im **Dickdarm** erfolgt die Eindickung des Darminhaltes zu Fäzes (Kot). Wasser und Elektrolyte werden absorbiert. Am Anus (After) steuern innerer und äußerer Schließmuskel die Defäkation (Stuhlentleerung).

Der enterohepatische Kreislauf wird von bestimmten Substanzen zwischen Leber und Darm durchlaufen. Etwa 98 % der in der Leber aus Cholesterin synthetisierten Gallensalze unterliegen diesem Kreislauf; außerdem 15 % des Bilirubin (Gallenfarbstoff aus Hämoglobin), ferner Magnesium, Vitamin D, Folsäure, Pyridoxin, Östrogene, Herzglykoside

Was ist der enterohepatische Kreislauf und welche Stoffe durchlaufen ihn?

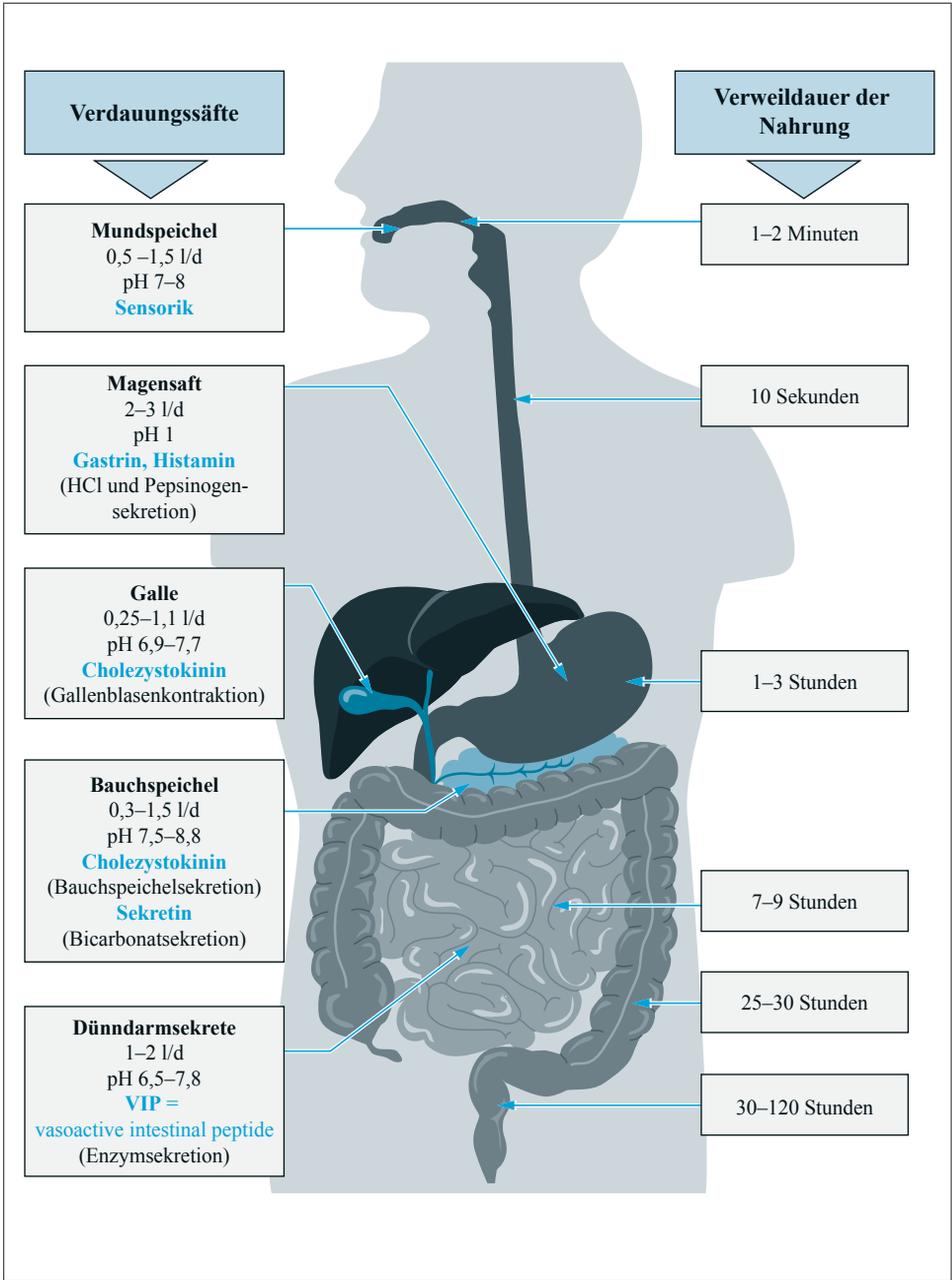


**Abb. 1.7** Überblick: Verdauungssäfte und ihre Funktionen

und andere Medikamente sowie sonstige Fremd- und Giftstoffe in unterschiedlichen Anteilen. Sie gelangen aus der Leber in den Darm, werden nicht mit dem Stuhl ausgeschieden, sondern wieder reabsorbiert, um über Darmvenen und Pfortader erneut in die Leber zu gelangen. Durch die Rückführung von Gallensäuren in den Kreislauf müssen diese weniger aus Cholesterin neu synthetisiert werden. Bei Unterbrechung des enterohepatischen Kreislaufs durch vermehrte Ausscheidung von Gallensäuren (Zufuhr von Ballaststoffen oder Phytosterinen) erfolgt verstärkt die Neusynthese und der Cholesterinspiegel sinkt.

Die Gesamtdauer der Nahrung im Magen-Darmtrakt (MDT, vom Magenmund bis zum After) wird als „Transit time“ bezeichnet. Die Verweildauer des Speisebreis in den verschiedenen Abschnitten des MDT ist unterschiedlich lang (Abb. 1.8) und hängt unter anderem auch von der Nahrungszusammensetzung ab.

Wie lange dauern Verdauungsvorgänge?



**Abb. 1.8** Menge, pH-Wert und wichtige sekretionsstimulierende Faktoren der Verdauungssäfte sowie die Verweildauer der Nahrung im Magen-Darmtrakt

## 1. Passiver Transport

Für den passiven Transport von Nährstoffen durch Zellmembranen wird keine Energie benötigt. Er braucht ein Konzentrations- oder Ladungsgefälle (elektrochemischer Gradient) als treibende Kraft. Es gibt zwei Möglichkeiten für den passiven Transport:

- Freie Diffusion: Kleine, ungeladene, polare Stoffe (z. B. Wasser, Glycerin) diffundieren frei durch die Membranen und folgen dem Konzentrationsgefälle.
- Erleichterte Diffusion: Der Nährstoff benötigt einen Carrier (Träger) oder einen Kanal, weil er zu groß ist oder eine Ladung aufweist und deshalb nicht frei durch die Membran diffundieren kann (z. B. Fruktose).

Wie funktionieren wichtige zelluläre Absorptionsmechanismen der Nährstoffe?

## 2. Aktiver Transport

Es wird Energie in Form von ATP (Adenosintriphosphat) benötigt. Der Transport findet auch gegen ein Gefälle statt, also zum Ort höherer Konzentration oder gleicher Ladung hin.

Wird vorerst in der Zelle aktiv ein Ionengradient aufgebaut, der in der Folge zum Transport von Nährstoffen gegen ein Gefälle genutzt wird, so nennt man diesen Vorgang einen **sekundär aktiven Transport**. Beispielsweise transportiert die Natrium-Kalium-Pumpe (Na-K-ATPase) über einen aktiven Mechanismus Natrium aus der Zelle und Kalium in die Zelle. Dadurch geht Natrium dem Ionengradienten folgend freiwillig in die Zelle und kann dabei Nährstoffe, wie Glukose und Aminosäuren, in die Zelle mitnehmen. Werden einzelne Teilchen transportiert, nennt man das **Uniport**. Werden mehrere Teilchen in die gleiche Richtung transportiert, spricht man von **Symport**, bei entgegengesetzter Richtung von **Antiport**.

## 3. Endozytose

Nährstoffe binden an einen spezifischen Rezeptor der Membran, woraufhin sich diese einstülpt und ein Bläschen bildet, das innerhalb der Zelle als Endosom frei wird. Beispiele für diesen aktiven Transportweg sind die Eisen- und LDL-Aufnahme in die Körperzellen und die Endozytose des Cobalamin (Vitamin B<sub>12</sub>)-Intrinsic-Faktor-Komplexes im Ileum.

## 4. Persorption

Der Durchtritt fester, ungelöster Nahrungspartikel (Durchmesser 5–150 Mikrometer) durch die intakte Epithelzellschicht des Darms wird Persorption genannt.

## 5. Parazellulärer Transport

Teilchen gelangen einem Gradienten folgend passiv zwischen den Zellen vom Darmlumen ins Blut. Kontrolliert wird der parazelluläre Transport über die sogenannten „Tight junctions“, eine Abdichtung der Zellen auf der Darmlumenseite. Als Beispiel für den parazellulären Transport sei die Möglichkeit des dosisproportionalen parazellulären Transports von Calciumionen im Darm genannt (daneben gibt es auch einen aktiven Calciumtransport).

In welchem Darmabschnitt werden die Nährstoffe absorbiert?

Abhängig davon, wann die Nährstoffe verdaut sind und wo die Carrier für aktiven und passiven Transport in der Darmschleimhaut lokalisiert sind, werden die Nährstoffe an unterschiedlichen Orten absorbiert (Tab. 1.5). Bei manchen Vitaminen und Mineralstoffen kommen sowohl aktive als auch passive Absorptionsmechanismen in Abhängigkeit von der zugeführten Menge zum Tragen. Bei niedriger Dosierung dominieren aktive, Carrier-vermittelte Transportvorgänge, bei hoher Dosierung erfolgt der Transport auch durch Diffusion.

**Tab. 1.5** Orte der Nährstoffabsorption, Absorptionsraten und -mechanismen (nach Absorptionsort geordnet, beginnend im Mund)

Hauptort der Absorption	Hauptnährstoffe bzw. deren Spaltprodukte	Absorptionsraten, Absorptionsmechanismen
Duodenum und Jejunum	<b>Kohlenhydrate:</b> Monosaccharide, Galaktose, Glukose, Fruktose, (Laktose auch in tieferen Darmabschnitten)	niedermolekulare Kohlenhydrate 93–99% (nicht absorbierte Zucker sind osmotisch wirksam und können Durchfälle verursachen), hochmolekulare Kohlenhydrate 30–90%; sekundär aktiver Transport, Fruktose passiver Transport
gesamter Dünndarm	<b>Proteine:</b> Aminosäuren, Di- und Tripeptide	tierische Proteine 97%, pflanzliche Proteine 86%; überwiegend sekundär aktiver Transport, diverse Systeme
oberes Ileum	<b>Lipide:</b> Fettsäuren, Monoglyceride, Cholesterin, Phospholipide	86–95%; passive Absorption, Fette mit Schmelzpunkten über der Körpertemperatur werden in geringerem Ausmaß absorbiert als Fette mit niedrigem Schmelzpunkt
	<b>Mikronährstoffe: Vitamine, Mineralstoffe</b>	
Magen und Duodenum	Niacin	bei niedrigen Dosen fast 100%; aktiver Transport (Antiport) und Diffusion
Duodenum	Calcium	15–75% dosis-, alters- und bioverfügbarkeitsabhängig; aktiver transzellulärer Transport, im gesamten Dünndarm bei hoher Dosierung außerdem passiver parazellulärer Transport
Duodenum und Jejunum	Vitamin C (Ascorbinsäure)	normal 80–90%, bei pharmakologischen Dosen fällt die Rate auf bis zu 16%; aktiver, Na <sup>+</sup> -abhängiger Transport über Carrier
	freie Folsäure = Pteroylmonoglutamat	freie Folsäure fast 100%, Pteroylpolylglutamate 50–70%; aktiver Transport (Antiport)
	Vitamin A (Retinol)	80%; Absorption mit Fett über gemischte Mizellen