

Für
unsere Tochter
Annika

Zoologie für Tiermediziner

Wolfgang Clauss
Cornelia Clauss

77 Abbildungen, 21 Tabellen

Enke Verlag · Stuttgart

Bibliografische Information
Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese
Publikation in der Deutschen
Nationalbibliographie; detaillierte
bibliografische Daten sind im Internet
über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Anschrift der Autoren:

Professor Dr. Wolfgang Clauss
Cornelia Clauss
Institut für Tierphysiologie
Justus-Liebig-Universität
Wartweg 95
35392 Gießen

© 2005 Enke Verlag in
MVS Medizinverlage Stuttgart GmbH & Co. KG
Oswald-Hesse-Str. 50, D-70469 Stuttgart

Unsere Homepage: www.enke.de

Printed in Germany

Umschlaggestaltung: Thieme Verlagsgruppe
Umschlaggrafik: Martina Berge, Erbach
Umschlagbilder: Hintergrundbild:
Dr. Hubertus Hipke, Institut für Tierphysio-
logie, Universität Gießen
Fotoeinklinker oben Mitte und unten links:
PhotoDisc u. Corel, Inc.
Andere Einklinkerbilder: Cornelia Clauss
Satz: Fotosatz Sauter, Donzdorf
Druck: aprinta, Wemding

ISBN 3-8304-1037-9

1 2 3 4 5 6

Wichtiger Hinweis:

Wie jede Wissenschaft ist die Veterinärmedi-
zin ständigen Entwicklungen unterworfen.
Forschung und klinische Erfahrung erweitern
unsere Kenntnisse, insbesondere was Behand-
lung und medikamentöse Therapie anbelan-
gen. Soweit in diesem Werk eine Dosierung
oder eine Applikation erwähnt wird, darf der
Leser zwar darauf vertrauen, dass Autoren,
Herausgeber und Verlag große Sorgfalt darauf
verwandt haben, dass diese Angabe dem **Wis-
sensstand bei Fertigstellung des Werkes
entspricht**.

Für Angaben über Dosierungsanweisungen
und Applikationsformen kann vom Verlag je-
doch keine Gewähr übernommen werden. **Je-
der Benutzer ist angehalten**, durch sorgfälti-
ge Prüfung der Beipackzettel der verwendeten
Präparate – gegebenenfalls nach Konsultation
eines Spezialisten – festzustellen, ob die dort
gegebene Empfehlung für Dosierungen oder
die Beachtung von Kontraindikationen gegen-
über der Angabe in diesem Buch abweicht. Ei-
ne solche Prüfung ist besonders wichtig bei
selten verwendeten Präparaten oder solchen,
die neu auf den Markt gebracht worden sind.
Vor der Anwendung bei Tieren, die der Le-
bensmittelgewinnung dienen, ist auf die in
den einzelnen deutschsprachigen Ländern un-
terschiedlichen Zulassungen und Anwen-
dungsbeschränkungen zu achten. **Jede Dosie-
rung oder Applikation erfolgt auf eigene
Gefahr des Benutzers**. Autoren und Verlag
appellieren an jeden Benutzer, ihm etwa auf-
fallende Ungenauigkeiten dem Verlag mitzu-
teilen.

Geschützte Warennamen (Warenzeichen ®)
werden **nicht immer** besonders kenntlich ge-
macht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinwei-
ses kann also nicht geschlossen werden, dass
es sich um einen freien Warennamen handelt.

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

Vorwort

Für die Studierenden der Tiermedizin stellt sich gleich zu Beginn des Studiums das zu absolvierende Prüfungsfach „Zoologie“ durch seine fachliche Breite oft als ein eher ungeliebtes und schwierig zu erfassendes Grundlagenfach dar. Die Zoologie umfasst neben Systematik und Entwicklung der tierischen Organismen auch deren Bau und Funktion. Dabei werden zunehmend auch Erkenntnisse der Zellbiologie und Molekulargenetik wichtig. Mit dem vorliegenden Buch geben wir deshalb den Studierenden eine kompakte und auf das Tiermedizin-Studium orientierte Einführung in dieses Gebiet. Sie orientiert sich an den Vorlesungs- und Prüfungsinhalten, die an den Tierärztlichen Fachbereichen im deutschsprachigen Raum angeboten werden. Das Buch erhebt deshalb keinen Anspruch auf eine vollständige und umfassende Darstellung der Zoologie, sondern ist didaktisch auf die Erfordernisse der Tiermedizinischen Ausbildung ausgerichtet.

Zum Erstellen dieses Buches haben sich die beiden Autoren die wissenschaftliche und graphische Arbeit geteilt. Alle Zeichnungen wurden neu

erstellt und didaktisch auf das Wichtigste in Darstellung und Beschriftung konzentriert. Die bisher in Lehrbüchern üblichen männlichen Hauptdarsteller der Parasitenzyklen (Kap. 5) wurden durch „Dolores“ ersetzt, die allerdings, wie ihr Name sagt, dafür jetzt auch all diese Erkrankungen in Kauf nehmen muss.

Dieses Buch wurde erst durch die Unterstützung des Enke Verlages ermöglicht. Wir danken deshalb besonders den Verlagsmitarbeiterinnen und Tierärztinnen Frau Dr. Ulrike Arnold und Sigrid Unterberg für die stetige Ermutigung und Unterstützung beim Abfassen des Werkes. Auch vielen Kollegen gilt unser Dank, die einzelne Kapitel kritisch begutachtet und durch vielfache Anregungen verbessert haben. Hier sind insbesondere Prof. Dr. G. Cleffmann, Prof. Dr. A. Dorresteijn, Prof. Dr. D. Eichelberg, Dr. H. Hipke, Frau Prof. Dr. T. Trenczek, Prof. Dr. V. Wolters und Prof. Dr. H. Zahner (alle Universität Gießen) zu nennen. Gießen, im Mai 2004

Wolfgang Claus
Cornelia Claus

Inhalt

Vorwort V

1 Grundlagen des Lebens 1

- 1.1 Entstehung der belebten Materie 1
- 1.2 Die wichtigsten Baustoffe der belebten Materie 2
 - 1.2.1 Lipide und Lipoide (Fette) 2
 - 1.2.2 Proteine (EiweiÙe) 4
 - 1.2.3 Kohlenhydrate (Zucker) .. 7
 - 1.2.4 Nucleinsäuren 9
- Wiederholungsfragen** 12

2 Evolution und Biodiversität 13

- 2.1 Hinweise für eine Evolution 13
 - 2.1.1 Rezente Organismen 13
 - 2.1.2 Biodiversität 13
 - 2.1.3 Evolutionsforschung und Selektionstheorie 13
 - 2.1.4 Biogeographie 15
 - 2.1.5 Paläontologie 16
 - 2.1.6 Ontogenese und Phylogene-
nese 17

- 2.1.7 Verhaltensweisen und Evolution 17
- 2.1.8 Biochemie und Molekulargenetik. 17
- 2.2 Zoologische Systematik .. 18
- 2.3 Mechanismen der Evolution 19
 - 2.3.1 Populationsentwicklung . 19
 - 2.3.2 Artenbildung und langfristiger Formenwandel .. 21
 - 2.3.3 Faktoren der Hominidenentwicklung 22
- Wiederholungsfragen** 23

3 Die Zelle – Struktur und Funktion 24

- 3.1 Polare und apolare Zellen 24
- 3.2 Aufbau der Zellmembran. 25
- 3.3 Das Cytoplasma 26
- 3.4 Lysosomen, Peroxisomen und Vesikel 27
- 3.5 Das Cytoskelett 27
- 3.6 Molekulare Motoren 31
- 3.7 Exo- und Endocytose 32
- 3.8 Zell-Zell-Verbindungen .. 34
- 3.9 Extrazelluläre Matrix 36
- 3.10 Der Zellkern 37

3.11	Ribosomen und Poly- somen	37
3.12	Endoplasmatisches Reticulum	38
3.13	Translation und Weg der Proteinsynthese	39
3.14	Golgi-Apparat	41
3.15	Mitochondrien	41
	Wiederholungsfragen	44

4 Genetik und Fortpflanzung 45

4.1	Allgemeine Genetik	45
4.1.1	Erbsubstanz	45
4.1.2	Chromosomen	46
4.1.3	Vererbung (Mendel- Gesetze)	47
4.1.4	Teilung der Eukaryoten- zelle	49
	■ Somazellen und Keimbahnzellen	49
	■ Mitose (Teilung der Somazellen)	50
	■ Meiose (Bildung der Keimzellen)	52
4.2	Molekulare Genetik	54
4.2.1	Struktur der DNA	54
4.2.2	Replikation der DNA	55
4.2.3	Der genetische Code	56
4.2.4	Transkription	57
4.2.5	Genregulation	58
4.2.6	Mutationen	59
4.2.7	Reverse Transkription und Retroviren	60
4.2.8	Gentechnologie	61
	■ Klonierung von Gen- sequenzen mit Expressionsvektoren ..	61

	■ Polymeraseketten- reaktion (PCR)	62
	■ Genomanalyse und Genbanken	62
	■ Genetische Modifika- tion von Organismen ..	63
4.3	Fortpflanzung	63
4.3.1	Ungeschlechtliche Fortpflanzung	64
4.3.2	Geschlechtliche Fortpflanzung	65
	■ Gametogamie	65
	■ Parthenogenese	65
	■ Generationswechsel ..	66
	■ Besamung und Befruchtung	66
	Wiederholungsfragen	67

5 Tierstämme und Parasitologie 68

5.1	Protozoa (Einzeller)	68
5.1.1	Flagellata (Geißel- tierchen)	69
	■ Trichomonadida	69
	■ Leishmania	70
	■ Trypanosoma	71
	■ Giardia	72
5.1.2	Rhizopoda (Wurzelfüßer)	73
	■ Amöben	74
5.1.3	Sporozoa (Sporen- tierchen)	75
	■ Haemosporidia	75
	■ Plasmodien	75
	■ Coccidia	77
	■ Toxoplasma	77
	■ Eimeria	78
	■ Cryptosporidium	80
	■ Sarcocystis	80
	■ Piroplasmida	80
	■ Theileria	80
	■ Babesia	81

5.1.4 Microspora..... 82
 5.1.5 Myxozoa..... 82
 5.1.6 Ciliata (Wimpertierchen). 82

Wiederholungsfragen

zu Kap. 5.1 85

5.2 Metazoa (Mehrzeller)... 86
 5.2.1 Porifera (Schwämme)... 92
 5.2.2 Coelenterata (Hohltiere) . 94
 ■ Cnidaria 94
 ■ Ctenophora 97

Wiederholungsfragen

zu Kap. 5.2–5.2.2 97

5.2.3 Plathelminthes (Plattwürmer)..... 98
 ■ Turbellaria (Strudelwürmer)..... 100
 ■ Trematoda (Saugwürmer)..... 100
 ■ Monogenea 100
 ■ Digenea..... 101
 ■ Cestoda (Bandwürmer)..... 104
 ■ Taeniidae 106
 ■ Dipylidae..... 106
 ■ Mesocostoididae..... 106
 ■ Echinococcus..... 107
 ■ Multiceps 108
 ■ Diphyllbothriidae..... 108

Wiederholungsfragen

zu Kap. 5.2.3 110

5.2.4 Nematelminthes (Schlauchwürmer). 111
 ■ Nematodes (Rund- oder Fadenwürmer)... 111
 ■ Filarien (Fadenwürmer)..... 115
 ■ Acanthocephala (Kratzer)..... 115
 5.2.5 Annelida (Ringelwürmer)..... 116

Wiederholungsfragen

zu Kap. 5.2.4 – 5.2.5 119

5.2.6 Arthropoda (Gliederfüßer) 119

■ Pararthropoda..... 120
 ■ Amandibulata (Mandibellose) 121
 ■ Chelicerata (Spinnenartige) 122
 ■ Mandibulata 126
 ■ Crustacea (Krebse)... 126
 ■ Myriapoda (Tausendfüßer). 130
 ■ Insecta (Hexapoda) 130
 ■ Arthropoden als Krankheitsüberträger . 137

Wiederholungsfragen

zu Kap. 5.2.6 138

5.2.7 Mollusca (Weichtiere) ... 139
 ■ Gastropoda (Schnecken)..... 140
 ■ Bivalvia (Muscheln)... 141
 ■ Cephalopoda (Kopffüßer) 142
 5.2.8 Tentaculata und Hemichordata..... 144
 5.2.9 Echinodermata (Stachelhäuter) 144

Wiederholungsfragen

zu Kap. 5.2.7–5.2.9 146

5.2.10 Chordata (Chordatiere)... 147
 ■ Tunicata (Manteltiere) 147
 ■ Acrania (Schädellose) . 147
 ■ Agnatha (Kieferlose) .. 149
 ■ Chondrichthyes (Knorpelfische)..... 150
 ■ Osteichthyes (Knochenfische)..... 152
 ■ Actinopterygii (Strahlenflosser)..... 155
 ■ Sarcopterygii (Fleischflosser)..... 155
 ■ Marine Tiere und ihre Gifte..... 155
 ■ Amphibia (Lurche)... 156
 ■ Die Entwicklung des amniotischen Eies 159
 ■ Reptilia (Kriechtiere).. 161

■ Aves (Vögel)..... 166
■ Mammalia
(Säugetiere)..... 170

**Wiederholungsfragen
zu Kap. 5.2.10** 177

6 Organe und Organsysteme ... 178

6.1 Integument und Verknöcherungen der Haut 178

6.2 Skelett und Bewegungsapparat 181

6.2.1 Bildung des Stützgewebes 181

6.2.2 Achsenskelett 182

6.2.3 Extremitätengürtel und Extremitäten 183

6.2.4 Schädel 185

6.3 Gehirn und Nervensystem 186

6.4 Herz- und Kreislaufsystem 191

6.5 Atmungsorgane und Gaswechsel 193

6.6 Exkretions- und Fortpflanzungsorgane... 194

6.6.1 Exkretionsorgane 194

6.6.2 Fortpflanzungsorgane... 195

Wiederholungsfragen 198

7 Ökologie und Umwelt 199

7.1 Einleitung 199

7.2 Ökophysiologie (Autökologie) 199

7.2.1 Umweltfaktoren 200

7.2.2 Chronobiologie 201

7.2.3 Bioindikatoren 202

7.3 Populationsökologie (Demökologie) 202

7.3.1 Mutualismus, Kommensalismus, Symbiose 203

7.3.2 Parasitismus 204

7.3.3 Zoonosen 204

7.3.4 Domestikation und Produktionsbiologie 205

7.4 Ökologie der Lebensgemeinschaften (Synökologie) 206

7.4.1 Lebensgemeinschaften... 206

7.4.2 Naturschutz und Artenschutz 206

7.4.3 Tierschutz 207

Wiederholungsfragen 208

Sachregister 209

1

Grundlagen des Lebens

1.1 Entstehung der belebten Materie

Die Entstehung der lebenden Materie aus anorganischen Stoffen ist eine wahrscheinliche, aber letztendlich nicht erwiesene Hypothese. Verschiedene experimentelle Befunde sprechen für eine „chemische Evolution“, d.h. für die Entstehung von organischen Molekülen aus anorganischen Baustoffen unter den besonderen Bedingungen der Uratmosphäre. Diese **abiotische Entwicklung** des Lebens wurde in verschiedenen Experimenten, unter anderem von Miller (1953), nachvollzogen. Ihm gelang es, aus einem Gasgemisch von Methan, Kohlendioxid, Ammoniak, Wasserstoff und Wasserdampf unter Einwirkung von elektrischen Entladungen eine Reihe von organischen Verbindungen wie Aminosäuren, verschiedene Zucker-Moleküle und vor allem auch Nucleotide, die Grundbausteine der Nucleinsäuren, herzustellen. Der entscheidende nächste Schritt, wie aus diesen einfachen organischen Molekülen in einer Art Selbstorganisation lebendige Materie entstand, ist allerdings bisher experimentell weniger überzeugend bewiesen und beruht vorwiegend auf verschiedenen Modellvorstellungen. Eines dieser Modelle besagt, dass sich einfache organische Moleküle, wie z.B. Aminosäu-

ren, zunächst zu Peptiden und Proteinen verbunden und entwickelt haben, die sich dann in einer Reaktionskette zusammenschlossen und gegenseitig katalytisch beeinflusst haben. Auf diese Weise käme ein konstanter Reaktionsprozess zustande, der zur Bildung immer neuer Proteine führen würde. Ähnliche Vorstellungen gibt es zur Entstehung und zur zyklischen Produktion von Nucleinsäuren, die sich durch Anlagerung zu Ketten und komplementären Doppelsträngen entwickelt haben könnten. Würden sich nun Nucleinsäure-Reaktionsketten mit den Protein-Reaktionsketten verknüpfen, so könnte eine gegenseitige katalytische und steuernde Beeinflussung entstanden sein, die letztlich zur **Selbstorganisation der biologischen Materie** geführt haben könnte. Voraussetzung für diese Reaktionsabläufe ist allerdings eine lokale **Kompartimentierung**, die diese Reaktionszyklen vom Außenmedium abschließt und so zu den ersten primitiven zellulären Lebensformen, den **Protobionten**, geführt haben könnte.

Diese Protobionten hatten bereits die charakteristischen Eigenschaften der lebenden Materie, d.h. einen **Stoffwechsel** zur Aufrechterhaltung ihrer Funktion und die **Vererbung** ihrer Eigenschaften durch Teilung und Vermehrung. Dabei haben vermutlich Mutationen zu einer Entstehung von

verschiedenen Protobionten-Typen geführt, aus denen sich durch eine evolutionäre Auslese die Varianten mit den überlegenen Eigenschaften durchgesetzt haben. Letztendlich führte diese Entwicklung dann vermutlich über verschiedene Übergangsformen (Eubionten) zur Bildung der einfachsten **Prokaryoten-Zelle**, aus der sich dann höher entwickelte Prokaryoten bildeten. Solche ganz einfachen Prokaryoten-Zellen sind noch heute erhalten. Man bezeichnet sie als **Mycoplasm**en. Sie besitzen bereits eine Zellmembran, Cytoplasma mit Ribosomen und DNA als Erbsubstanz, die allerdings bedeutend weniger Proteine codiert als bei den meisten Bakterien. Viele dieser einfachen Zwischenformen besaßen vermutlich nur RNA als Erbsubstanz und hatten einen **anaeroben Stoffwechsel**, der nicht auf Sauerstoff angewiesen war.

Die **eukaryotischen Zellen** entstanden vermutlich vor ca. 1,5 Milliarden Jahren. Sie zeichnen sich durch eine intrazelluläre **Kompartimentierung** aus, d. h. einzelne Bereiche der Zelle sind durch intrazelluläre Membranen abgeteilt und bilden spezielle **Funktionsräume**. Diese einzelnen Bereiche werden **Organellen** genannt. Wie sie im Einzelnen entstanden sind, ist letztendlich nicht klar, aber es gibt verschiedene Hypothesen. Für die Entstehung der Mitochondrien und der Peroxisomen geht man von der **Endosymbiontenhypothese** aus, die besagt, dass diese einst prokaryotische Organismen waren, die im Laufe der Phylogenese von den Eukaryoten phagocytotisch aufgenommen wurden. Sie wurden nicht verdaut, sondern gingen eine Symbiose zum bei-

derseitigen Nutzen ein. Für andere Zellorganellen, besonders für diejenigen mit einer einfachen Membran wie z. B. das Endoplasmatische Reticulum oder der Golgi-Apparat, geht man von der **Zellkompartimentierungshypothese** aus, wonach sich die einzelnen Kompartimente durch allmähliche intrazelluläre Differenzierung gebildet haben. Jedenfalls ist die Kompartimentierung der Erbsubstanz in einem durch eine Doppelmembran abgeschlossenen Zellkern das Hauptmerkmal der Eukaryoten-Zelle.

Die heutigen einzelligen Organismen lassen sich also in die einfacher aufgebauten **Prokaryoten** und die höher entwickelten **Eukaryoten** einteilen. Zu den Prokaryoten gehören die Blaualgen und die Bakterien, während zu den Eukaryoten alle **Protozoa** (Einzeller) und alle **Metazoa** (Mehrzeller) gehören. Demnach gehören alle pflanzlichen Organismen, die Pilze und alle tierischen Organismen zu den Eukaryoten. Näheres zur Abgrenzung der Prokaryoten und Eukaryoten findet sich in Kapitel 3.

1.2 Die wichtigsten Baustoffe der belebten Materie

1.2.1 Lipide und Lipide (Fette)

Lipide (Fette) und Lipide (fettähnliche Substanzen) sind Moleküle, die in Wasser unlöslich (**hydrophob**), in organischen Lösungsmitteln dagegen sehr gut löslich (**lipophil**) sind. Im Organismus sind sie als Energielieferan-

ten und Speicher sowie als Baustoffe in der Zellmembran von großer Bedeutung. Auch Signalmoleküle wie z. B. Steroidhormone gehören zu dieser Stoffklasse.

Lipide bestehen aus zwei **Bestandteilen: Alkohol (Glycerin)** und zum anderen **Fettsäuren**. Charakteristisch für Lipide ist die Esterbindung. Glycerin, ein dreiwertiger Alkohol, ist unter Abspaltung von jeweils einem Molekül H_2O mit Fettsäuren verestert (**Abb. 1.1**). In der Natur kommen meist **Triglyceride** vor, bei denen alle drei OH-Gruppen des Glycerins mit jeweils einer Fettsäure verestert sind. Fette können unter Einwirkung von Basen (Alkali) oder Säuren wieder hydrolytisch gespalten werden. In wässriger Lösung nennt man diese Esterspaltung durch Basen eine Verseifung, da sich die Alkalisalze der Fettsäuren bilden (**Seife**).

In der Natur kommen am häufigsten Fettsäuren mit 16 und 18 Kohlenstoffatomen vor, wie z. B. **Palmitinsäure** ($\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$) oder **Stearinsäure** ($\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$) in tierischen und pflanzlichen Fetten. Man unterscheidet zwischen gesättigten und ungesättigten

Fettsäuren. **Gesättigte Fettsäuren** enthalten zwischen den Kohlenstoffatomen nur einfache Bindungen und weisen deshalb eine lang gestreckte, gerade Form auf. **Ungesättigte Fettsäuren** enthalten mindestens eine Doppelbindung zwischen den Kohlenstoffatomen und sind aus diesem Grund an dieser Stelle etwas abgknickt. Dadurch nehmen sie als Struktur mehr Raum ein und können z. B. in der Zellmembran zusammen liegen. Dies führt zur Absenkung ihres Schmelzpunktes, und deshalb sind Lipide mit ungesättigten Fettsäuren bei Raumtemperatur von öligter Konsistenz. Ungesättigte Fettsäuren sind z. B. **Ölsäure** ($\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$) und **Linolsäure** ($\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$), die in pflanzlichen Ölen vorkommen. Während viele Fettsäuren vom Körper synthetisiert werden können, ist Linolsäure für Mensch und Säugetiere eine **essentielle Fettsäure**, d. h. sie muss mit der Nahrung aufgenommen werden. Aus Linolsäure kann im Körper **Arachidonsäure** ($\text{C}_{20}\text{H}_{32}\text{O}_2$) gebildet werden, ein wichtiges Ausgangsprodukt für die Synthese von einigen Signalstoffen und Hormonen (z. B. **Prostaglandine** und **Leukotriene**). Sie spielen unter anderem

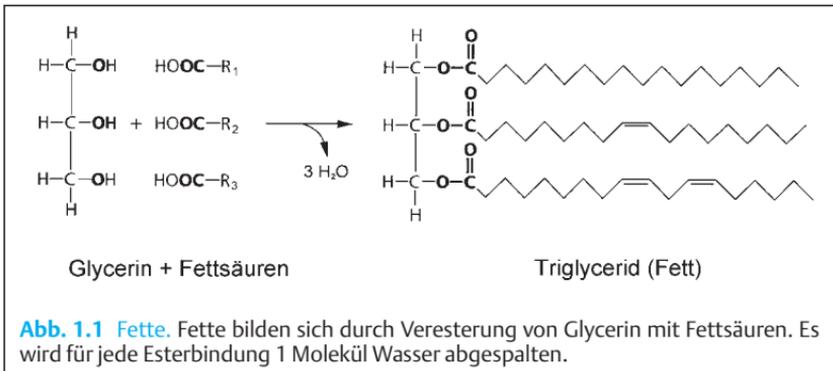


Abb. 1.1 Fette. Fette bilden sich durch Veresterung von Glycerin mit Fettsäuren. Es wird für jede Esterbindung 1 Molekül Wasser abgespalten.

bei entzündlichen Vorgängen in Geweben eine wichtige Rolle.

Fette sind hocheffektive Energielieferanten, da sie bei vollständiger Verbrennung pro Gramm Fettsäure 37 kJ liefern, etwa die doppelte Energie als bei der Verbrennung von Kohlenhydraten oder Proteinen anfällt. Da Fette hydrophob sind, können sie in den großen Vakuolen der Fettzellen (**Adipocyten**) ohne große Wechselwirkungen mit dem hydrophilen Cytosol als Neutralfette gespeichert werden.

Zu den Lipiden gehören auch die **Isooprenoide**, zu denen verschiedene **Vitamine** (Vitamin A, E, K) und die **Carotinoide** gehören. Carotinoide sind pflanzliche Farbstoffe, die aber auch im tierischen Organismus eine große Rolle spielen. Zu ihnen gehört der Sehfärbstoff (**Rhodopsin**) in den Sinneszellen der Netzhaut. Auch die **Steroide** gehören zu den Lipiden. Ihr strukturelles Grundgerüst ist das **Steran** (**Abb. 1.2**), das als Basis für **Cho-**

lesterin dient, einem wichtigen Bestandteil der tierischen Zellmembran. Dieses Steran-Grundgerüst ist auch die Basis der **Steroidhormone**, zu denen die in der Nebennierenrinde gebildeten Hormone Cortison, Cortisol, Aldosteron, aber auch die Sexualhormone Östrogen und Progesteron gehören. Auch die **Gallensäuren** gehören in diese Stoffgruppe. Sie spielen eine wichtige Rolle für die Fettverdauung.

Weitere fettähnliche Strukturen sind **Wachse** und **Talg**. Sie sind Ester langkettiger Alkohole mit Fettsäuren und dienen auf Grund ihrer wasserabweisenden Eigenschaften als äußerer Schutz der Haut-, Haar- und Federkleider, in die sie von Talgdrüsen, z. B. bei Vögeln die Bürzeldrüsen, ausgeschieden werden.

1.2.2 Proteine (Eiweiße)

Die am häufigsten in der Zelle vorkommenden Makromoleküle sind die Proteine, die als Baustoffe an der Ar-

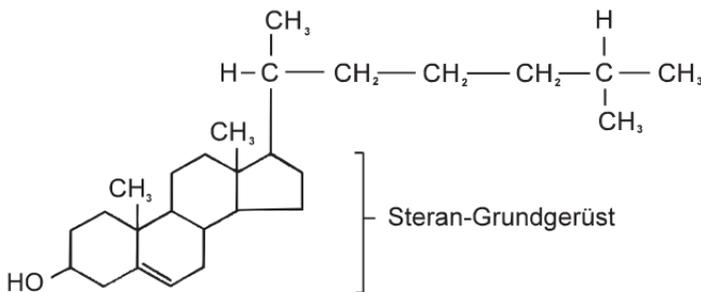


Abb. 1.2 Cholesterin. Cholesterin (auch Cholesterol genannt) ist ein zentrales Molekül im Fettstoffwechsel. Es ist auf dem hydrophoben Steran-Ringkomplex aufgebaut und hat ein hydrophiles Ende (OH-Gruppe). Es dient als Baustein in Zellmembranen. Von ihm abgeleitet sind zahlreiche Funktionsstoffe, z. B. Steroidhormone (Cortison) und Gallensäuren.

chitektur der Zelle beteiligt sind, wie z. B. die integralen Proteine der Zellmembran oder verschiedene Elemente des Cytoskeletts (Actin, Tubulin). Proteine dienen aber auch als Funktionsstoffe, z. B. als Enzyme, Hormone (Peptidhormone) oder Abwehrstoffe (tierische Gifte).

Proteine sind Ketten einzelner Bausteine (Aminosäuren), die über eine so genannte **Peptidbindung** verknüpft werden. In eukaryotischen Organismen gibt es **20 verschiedene Aminosäuren**, die beliebig miteinander kombiniert werden können. So ergibt sich eine ungeheuer große Variationsmöglichkeit der Sequenz. Eine weitere Aminosäure (Selenocystein) wird nur von wenigen Organismen verwendet. Proteine sind auch unterschiedlich groß. Sie können wenige bis zu vielen tausend Aminosäuren beinhalten und damit auch große und räumlich komplizierte Moleküle ausbilden. Entscheidend für die Funktion eines Proteins ist seine räumliche Struktur, die in einem komplizierten Faltungsprozess durch Hilfsproteine (**Chaperone**) erstellt wird. Dabei werden spezielle räumliche Strukturen bevorzugt, z. B. die **α -Helix** oder die **β -Faltblattstruktur**, die bei fast allen Proteinen vorkommen. Verändert sich diese räumliche Struktur z. B. durch Einwirkung von Hitze (hohem Fieber), so denaturieren die Proteine, d. h. werden funktionslos. In diesem Zustand können sie krankhafte Veränderungen des Organismus hervorrufen. So werden z. B. durch noch unbekannt Einflüsse bestimmte natürlich vorkommende Proteine (Prionen) in ihrer Faltungsstruktur so verändert, dass sie hochinfektiöse Moleküle darstel-

len, die für lebensbedrohliche Krankheiten wie BSE (Bovine Spongiforme Enzephalitis) oder auch die Creutzfeldt-Jakob-Erkrankung verantwortlich gemacht werden.

Die Baupläne für die einzelnen Proteine sind auf der DNA in Genen gespeichert. Sie werden durch den Vorgang der **Transkription** abgelesen und über eine Botensubstanz (Messenger RNA) ins Cytosol gebracht, wo an den Ribosomen die Proteinsynthese (**Translation**) statt findet (Kap. 3).

Aminosäuren bestehen aus einem Molekül mit einem zentralen Kohlenstoffatom, an dem eine **Carboxylgruppe** und eine **Aminogruppe** hängen (**Abb. 1.3**). Eine weitere Seitenkette wird als **variabler Rest** bezeichnet. Sie kann in ihrer Zusammensetzung variiert werden und bedingt die eigentliche Spezifität der Aminosäure. Im einfachsten Fall besteht der Rest aus einem H-Atom und bildet dann die Aminosäure Glycin. Der Rest kann aber durch weitere Kohlenstoffatome zu einer langen, auch verzweigten Kette werden. Die Aminogruppe ($-\text{NH}_2$) und die Carboxylgruppe ($-\text{COOH}$) verschiedener Aminosäuren können sich unter Wasserabspaltung miteinander verbinden und so ein **Peptid** bilden, dessen Länge von einem einfachen **Dipeptid** bis zu komplizierten **Polypeptiden** variieren kann. Diese Verbindung wird als **Peptidbindung** bezeichnet (**Abb. 1.4**). Diese zunächst lineare Peptidstruktur (**Primärstruktur**) wird durch Wasserstoff- und Schwefelbrücken in eine zweidimensionale Struktur (**Sekundärstruktur**) und später durch Knäuelung in ein kompliziertes dreidimensionales Gebilde (**Tertiärstruk-**