

# Biochemie light

Bearbeitet von  
Friederike Hammar, Hubert Rehm

1. Auflage 2013. Taschenbuch. 188 S. Paperback  
ISBN 978 3 8085 5443 2  
Gewicht: 302 g

[Weitere Fachgebiete > Chemie, Biowissenschaften, Agrarwissenschaften](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

  
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung [beck-shop.de](http://beck-shop.de) ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.







Edition  
Harri   
Deutsch 

# **BIOCHEMIE** *light*

Hubert Rehm/Friederike Hammar

**5., korrigierte und erweiterte Auflage 2013**

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

**Europa-Nr.: 54425**

**Hubert Rehm** hat in Tübingen Biochemie und Mathematik studiert und anschließend am Max-Planck-Institut für Psychiatrie über spannungsabhängige Ionenkanäle promoviert. Es folgte ein Jahrzehnt molekularbiologischer Forschung u. a. am ZMBH in Heidelberg, am Centre national de la recherche scientifique in Nizza, am VA Medical Center in Seattle und an der ETH Zürich. Heute arbeitet Hubert Rehm als freier Wissenschaftsjournalist und Buchautor in Rottweil.

**Friederike Hammar** studierte Chemie mit Schwerpunkt Biochemie an der Universität Mainz. Während ihrer Doktorarbeit in der Immunologie hatte sie Gelegenheit, hautnah zu erleben, mit welchen Schwierigkeiten besonders Medizinstudenten beim Verständnis biochemischer Zusammenhänge kämpfen. Danach arbeitete sie als freie Wissenschaftsjournalistin für die Themenfelder Biochemie, Biotechnologie, Gentechnik und molekulare Medizin. Sie war in mehreren Projekten der Universität Mainz und anderer Institutionen mit der Kommunikation biowissenschaftlicher Forschungsergebnisse beschäftigt und arbeitet heute in der Pressestelle eines Herstellers von Autoimmundiagnostika.

5., korrigierte und erweiterte Auflage 2013  
Druck 5 4 3 2 1

**ISBN 978-3-8085-5443-2**

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.  
Der Inhalt des Werkes wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

© 2013 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Birgit Cirksena | Satzfein, Berlin  
Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald  
Druck: Media-Print Informationstechnologie GmbH, 33100 Paderborn

## Vorwort

Es ist viel, was man heutzutage vom gemeinen Studenten verlangt: Anatomie, Histologie, Physiologie – und auch noch Biochemie. Die ähnelt verzweifelt dem Berliner Telefonbuch: Eine Unzahl von Nummern und Namen, die sich kein Mensch merken kann. Selbst der Professor kennt nur ein paar Seiten.

Biochemie-*light* gibt die wichtigen Nummern an. Es beschränkt sich auf das was zählt für Praktika, Klausur und Physikum. Zudem erläutert es Experimente, die in Biochemie-Praktika durchgeführt werden. Mit Biochemie-*light* wissen Sie, worauf es ankommt, haben den Überblick, verstehen die Zusammenhänge. Sie stehen nicht mehr mit flatternden Nerven vor den Wälzern mit ihren Hunderten von Seiten und Tausenden von Formeln und Strukturen. Sie vermeiden es, zweitrangige Stoffwechselketten mit sämtlichen Enzymen, Cofaktoren und Ionen auswendig zu lernen. Man kann nicht überall alles wissen. Das Büchlein ist ein Konzentrat der Biochemie, es enthält das Überlebensnotwendige, das, was Sie mindestens brauchen, um eine Prüfung zu bestehen.

In der fünften Auflage ist das Buch angeschwollen. Das liegt nicht an der Geschwätzigkeit der Autoren, sondern am Fleiß der Forscher. Die haben in den letzten Jahren Ergebnisse gesammelt wie zehntausend hungrige Hamster ihre Weizenkörner für den Wintervorrat. Gentherapie, Apoptose, MicroRNA, Epigenetik, Sequenzierung ... überall gab es neue Entwicklungen, Erkenntnisse, Sichtweisen. Das konnten wir nicht ignorieren, nur um bei der magischen Zahl von 100 Seiten zu bleiben. Jawohl: Die Biochemie und Molekularbiologie hat in den letzten Jahren alle Grenzen gesprengt, auch die von Biochemie-*light*. Dennoch: sein Prinzip – konzentrieren, illustrieren, simplifizieren – hält Biochemie-*light* auch in der fünften Auflage durch. Jetzt gerade. Das Buch ist also dicker geworden, jedoch nicht adipös.

**Wir bedanken uns** bei den Studenten der Medizin, Frederick Giesel, und Zahnmedizin, Martin Stannarius, für die Idee zu dem Buch. Cord Michael Becker hat wertvolle Vorschläge zu Inhalt und Aufbau gemacht, so geht die chemische Einleitung auf seine Anregung zurück.

Um die nachfolgenden Auflagen haben sich viele Kritiker verdient gemacht, so Hans Bisswanger aus Tübingen, der uns in der Kinetik beraten hat, Cornel Mülhardt aus Basel, Roland Hütterer aus Würzburg, Michaela Wendeler und Thomas Kolter aus Bonn. Mit André Schrattenholz aus Mainz haben wir hilfreiche Diskussionen geführt.

Auch aufmerksame Leser haben dafür gesorgt, dass wir Fehler ausmerzen und schwer Verständliches verdaulich machen konnten. So Hans Kunze aus Göttingen, Alexander Schulze aus Kassel und Eva-Maria Wingender aus Antwerpen.

Für diese Auflage haben uns Bettina Staiger aus Regensburg, Ella Klundt aus Freiburg und Michael Jelden die Augen geöffnet. Wir, längst text- und formelblind, hätten höchstens einen Bruchteil der Fehler gefunden, die diese Täubchen aus den Seiten lasen.

Frieder Wiech lieferte wie immer die Zeichnungen.

Last but not least: Anregungen, Kritik oder Verbesserungsvorschläge an [lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de) nehmen wir gerne entgegen. Lob dagegen verbreiten Sie besser unter Ihren Studienkollegen.

Herbst 2013

Autoren und Verlag

# Inhaltsverzeichnis

<b>Grundbegriffe</b> .....	I
<b>Lipide und Zucker</b> .....	1
Lipide .....	1
Monosaccharide .....	2
Disaccharide .....	4
Polysaccharide .....	4
Zuckerderivate .....	5
Glycoproteine .....	6
Glycolipide .....	6
<b>Proteine</b> .....	7
Aminosäuren .....	7
Proteinaufbau .....	8
Proteinkonformation .....	8
<b>Proteinfunktionen</b> .....	10
Strukturproteine .....	10
Enzyme .....	11
Transportproteine .....	12
<b>Proteinanalytik</b> .....	17
Chromatographie .....	17
Polyacrylamidgelelektrophorese .....	18
Aminosäuresequenz .....	19
Aminosäurezusammensetzung .....	20
<b>Enzyme, Cofaktoren und Kinetik</b> .....	21
Thermodynamische Grundlagen .....	21
Klassifizierung von Enzymen .....	22
Mechanismen und Regulation von Enzymen .....	23
ATP, NAD <sup>+</sup> , Coenzym A, S-Adenosylmethionin .....	24
Weitere Cofaktoren, Vitamine .....	26
Enzymkinetik .....	27
Allosterie .....	31
<b>Nucleinsäuren</b> .....	33
Grundlagen .....	33
<b>Desoxyribonucleinsäuren</b> .....	35
DNA-Replikation .....	36
DNA-Reparatur .....	39
DNA-Marker .....	41
<b>Ribonucleinsäuren</b> .....	42
tRNA, rRNA, snRNA, mRNA .....	42
Transkription .....	43
<b>Proteinbiosynthese</b> .....	46
Der genetische Code .....	46
Translation .....	47
Hemmer der Translation und Transkription .....	51
<b>Micro-RNA</b> .....	52
<b>Viren</b> .....	53
<b>Plasmide</b> .....	55
<b>Transposons</b> .....	56
Telomere .....	57
<b>Methoden der Molekularbiologie</b> .....	58
Restriktionsnucleasen .....	58
Nucleinsäuren isolieren .....	60
Nucleinsäuren trennen .....	60
DNA-Sequenzieren .....	61
Hybridisieren, Southern-blotting .....	62
Klonieren .....	64
Gentherapie .....	69

Polymerase-Kettenreaktion (PCR) .....	71
Epigenetik .....	72
<b>Stoffwechsel</b> .....	74
Glycolyse und Gluconeogenese .....	74
Citratzyklus .....	76
Oxidative Phosphorylierung .....	78
Glycogen (Abbau, Synthese, Regulation) .....	81
Pentosephosphatweg .....	82
<b>Lipidsynthese</b> .....	84
Fettsäuresynthese .....	84
Regulation der Fettsäuresynthese .....	86
Phospholipidsynthese .....	87
Cholesterolsynthese .....	87
<b>Lipidabbau</b> .....	88
$\beta$ -Oxidation .....	88
Cholesterolabbau .....	89
Lipoproteine .....	90
Stoffwechsel von Purin- und Pyrimidinbasen .....	91
Aminosäurebiosynthese .....	94
Aminosäureabbau .....	95
Porphyrinsynthese .....	96
Harnstoffzyklus .....	97
Kompartimentierung .....	97
Apoptose .....	99
Der optische Test .....	101
<b>Hormone</b> .....	102
Hormonrezeptoren und G-Proteine .....	102
Regulation des Blutglucosespiegels .....	104
Insulinsynthese .....	104
Diabetes mellitus .....	105
Hypothalamisch-hypophysäres System .....	106
ACTH .....	106
Vitamin D und Calcitriol .....	107
Hormone der Nebennierenrinde .....	107
Hormone des Nebennierenrindenmarks .....	108
Renin-Angiotensin-System .....	108
Schilddrüsenhormone .....	109
Endorphine .....	109
<b>Molekulare Physiologie</b> .....	110
<b>Immunsystem</b> .....	110
Antikörper (= Immunglobuline) .....	110
T-Zell vermittelte Immunität .....	113
Monoklonale Antikörper .....	117
ELISA und Western-Blot .....	118
<b>Reizleitung im Nervensystem</b> .....	118
Phys. Grundlagen und Ionenkanäle .....	118
Neurotransmitter-Rezeptoren .....	121
Biochemie des Sehens .....	122
<b>Muskel: Kontraktion und Regulation</b> .....	124
<b>Verdauung</b> (Magen, Pankreas, Darm) .....	126
<b>Leber</b> .....	130
<b>Niere</b> .....	132
<b>Blut</b> .....	135
O <sub>2</sub> -Bindung von Hämoglobin .....	135
Regulation der O <sub>2</sub> -Bindung von Hämoglobin .....	136
Puffersysteme des Blutes .....	137
Blutgerinnung .....	138
<b>Wie entsteht Krebs?</b> .....	138

# Verzeichnis der Kapitelüberschriften

## Chemische Grundbegriffe . . . . . I

### 1 Lipide und Zucker . . . . . 1

- 1.1 Lipide dienen als Energiequelle, zum Bau von Zellmembranen und als Hormone . . . . . 1
- 1.2 Monosaccharide sind Aldehyde oder Ketone mit mindestens zwei Hydroxylgruppen . . . . . 2
- 1.3 Asymmetrische C-Atome, optische Aktivität und Fischer-Projektion . . . . . 2
- 1.4 Disaccharide entstehen aus zwei Monosacchariden. . . . . 4
- 1.5 Polysaccharide dienen als Zuckerspeicher oder Strukturelement . . . . . 4
- 1.6 Zucker sind Bausteine von DNA, RNA und Cofaktoren . . . . . 5
- 1.7 Glycoproteine sind Proteine mit Oligosaccharidketten. . . . . 6
- 1.8 Glycolipide sind Derivate des Ceramids. . . . . 6

### 2 Proteine . . . . . 7

- 2.1 Proteine bestehen aus Aminosäuren . . . . . 7
- 2.2 In Proteinen sind Aminosäuren über Peptidbindungen verknüpft . . . . . 7
- 2.3 Wechselwirkungen zwischen Aminosäuren bestimmen die Raumstruktur des Proteins. . . . . 8
- 2.4 Proteine erfüllen Funktionen. . . . . 10
  - 2.4.1 Strukturproteine. . . . . 10
  - 2.4.2 Enzyme katalysieren biochemische Reaktionen . . . . . 11
  - 2.4.3 Transportproteine transportieren Stoffe. 12
    - 2.4.3.1 Lösliche Transportproteine . . . . . 12
    - 2.4.3.2 Transportproteine in Membranen . . . . . 12
    - 2.4.3.3 Die Glucosetransporter: eine Proteinfamilie, die nicht nur Glucose transportiert . . . . . 16
- 2.5 Proteinanalytik . . . . . 17
  - 2.5.1 Proteine trennt man chromatographisch 17
  - 2.5.2 Die SDS-Gelelektrophorese trennt Proteine nach Größe auf. . . . . 18
  - 2.5.3 Mit dem Edman-Abbau lassen sich Aminosäuresequenzen bestimmen . . . . . 19
  - 2.5.4 Die Aminosäurezusammensetzung gibt Art und Menge der Aminosäuren eines Proteins an . . . . . 20
  - 2.5.5 Proteinbestimmung . . . . . 20

### 3 Enzyme, Cofaktoren und Kinetik . . . . . 21

- 3.1 Enzyme lassen eine Reaktion schneller laufen, beeinflussen aber nicht das Reaktionsgleichgewicht. . . . . 21
- 3.2 Es gibt sechs Enzymklassen . . . . . 22
- 3.3 Mechanismen und Regulation von Enzymen. . . . . 23
- 3.4 Viele Enzyme brauchen Cofaktoren . . . . . 24
  - 3.4.1 ATP ist die Energieeinheit des Stoffwechsels . . . . . 24
  - 3.4.2 NAD<sup>+</sup>/NADH wird bei Redoxreaktionen gebraucht . . . . . 25
  - 3.4.3 Coenzym A aktiviert Carbonsäuren . . . . . 26
  - 3.4.4 S-Adenosylmethionin spendet bei vielen Methylierungen die Methylgruppen. . . . . 26

- 3.4.5 Tetrahydrofolat überträgt C<sub>1</sub>-Einheiten . . 26
- 3.4.6 Cofaktoren übertragen auch Amino-  
gruppen und CO<sub>2</sub> . . . . . 27
- 3.4.7 Vitamine sind oft Vorstufen von  
Cofaktoren oder Hormonen . . . . . 27
- 3.5 Enzymkinetik . . . . . 27
  - 3.5.1 Michaelis-Menten-Kinetik . . . . . 27
  - 3.5.2 Hemmung der Enzymaktivität . . . . . 30
  - 3.5.3 Allosterie reguliert effizient Stoff-  
wechselwege . . . . . 31

### 4 Nucleinsäuren . . . . . 33

- 4.1 Grundlagen. . . . . 33
- 4.2 Desoxyribonucleinsäure (DNA) . . . . . 35
  - 4.2.1 Das Erbgut verdoppelt sich durch  
DNA-Replikation . . . . . 36
    - 4.2.1.1 Replikation bei Prokaryoten . . . . . 37
    - 4.2.1.2 Replikation bei Eukaryoten . . . . . 39
  - 4.2.2 DNA-Reparatur verringert Mutations-  
schäden . . . . . 39
  - 4.2.3 DNA-Marker kennzeichnen Individualität  
und Abstammung . . . . . 41
    - 4.2.3.1 Haplogruppen . . . . . 41
- 4.3 Ribonucleinsäuren (RNA). . . . . 42
  - 4.3.1 Es gibt fünf RNAs: tRNA, rRNA, mRNA,  
snRNA, miRNA . . . . . 42
  - 4.3.2 Die DNA-abhängige RNA-Synthese  
heißt Transkription. . . . . 43
    - 4.3.2.1 Die Transkription wird bei Eukaryoten  
über regulative Sequenzen gesteuert. . . . . 43
    - 4.3.2.2 Bei Prokaryoten regulieren Promotor  
und benachbarte Sequenzen die Transkription 45
- 4.4 Proteinbiosynthese (Translation) . . . . . 46
  - 4.4.1 Der genetische Code ist degeneriert. . . . . 46
  - 4.4.2 Aminosäuren werden spezifisch mit  
ihren tRNAs verknüpft. . . . . 47
    - 4.4.3 Translation bei Prokaryoten . . . . . 47
      - 4.4.3.1 Die Initiation braucht Proteinfaktoren,  
fMet-tRNA, mRNA, GTP und das Ribosom . . . . . 48
      - 4.4.3.2 Die Elongation benötigt Elongations-  
faktoren, GTP und Aminoacyl-tRNA . . . . . 48
      - 4.4.3.3 Das Stopcodon löst die Termination aus 50
    - 4.4.4 Bei Eukaryoten verläuft die Translation  
ähnlich wie bei Prokaryoten . . . . . 50
    - 4.4.5 Viele Bakterien und Pilze synthetisieren  
Hemmer der Transkription und Translation . . . . . 51
    - 4.4.6 Die Spezifität der Antibiotika schützt  
nicht immer vor Nebenwirkungen . . . . . 51
- 4.5 MicroRNAs (miRNA) regulieren Gene . . . . . 52
- 4.6 Viren, Plasmide und Transposons . . . . . 53
  - 4.6.1 Viren sind unabhängige genetische  
Elemente. . . . . 53
    - 4.6.1.1 Retroviren sind RNA-Viren. . . . . 54
    - 4.6.1.2 Hepatitis B-Viren sind DNA-Viren. . . . . 55
    - 4.6.1.3 Nucleosidanaloga behindern die  
Virusvermehrung. . . . . 55
  - 4.6.2 Plasmide: extrachromosomale  
DNA-Ringe . . . . . 55

4.6.3	Transposons sind DNA-Abschnitte, die ihren Ort im Genom wechseln können	56
4.6.4	Telomere und Telomerasen schützen Chromosomenenden	57
4.7	Methoden der Molekularbiologie	58
4.7.1	Restriktionsnucleasen schneiden DNA an bestimmten Stellen	58
4.7.2	Wie man Nucleinsäuren aus Zellen isoliert	60
4.7.3	Die Elektrophorese trennt Nucleinsäuregemische auf	60
4.7.4	DNA-Sequenzieren: Produktion genetischer Information	61
4.7.4.1	DNA-Sequenzieren nach Maxam-Gilbert	61
4.7.4.2	DNA-Sequenzieren nach Sanger	62
4.7.4.3	Pyrosequenzieren bringt Licht in die Sequenz	62
4.7.5	Hybridisierung weist in Nucleinsäuren bestimmte Sequenzen nach	62
4.7.5.1	Der Southern-Blot überträgt DNA-Fragmente auf eine Membran	63
4.7.6	Durch Klonieren kann man Kopien eines Gens herstellen	64
4.7.6.1	Expressionsvektoren verwandeln Bakterien in Proteinfabrikle	67
4.7.6.2	Auch in Eukaryotenzellen lassen sich fremde Gene einführen und exprimieren	68
4.7.6.3	Gentherapie: Praktische Anwendung der Gentechnik, die praktisch noch nicht funktioniert	69
4.7.7	Polymerase-Kettenreaktion (PCR)	71
4.8	Epigenetik: der Einfluss der Umwelt auf das Genom	72
4.8.1	Epigenetik bringt verschiedene Organismen hervor	73
<b>5</b>	<b>Stoffwechsel</b>	<b>74</b>
5.1	Glycolyse und Gluconeogenese	74
5.2	Der Citratzyklus produziert Reduktionsäquivalente und Vorstufen für Biosynthesen	76
5.2.1	Die Pyruvat-Dehydrogenase verknüpft die Glycolyse mit dem Citratzyklus und wird reguliert	77
5.3	Die oxidative Phosphorylierung liefert ATP	78
5.3.1	Die Atmungskette überträgt Elektronen von Reduktionsäquivalenten auf O <sub>2</sub>	78
5.3.2	Die Oxidation der Reduktionsäquivalente ist mit der Phosphorylierung von ADP gekoppelt	79
5.3.3	Die ATP-Synthase ist ein Nano-Motor, der Protonenbewegung in Drehbewegung umsetzt und ATP erzeugt	80
5.4	Glycogen speichert Glucose	81
5.5	Der Pentosephosphatweg liefert NADPH und wandelt Monosaccharide ineinander um	82
5.6	Lipidsynthese	84
5.6.1	Typische Verbindungen des Lipidstoffwechsels sind Thioester und NADPH	84
5.6.2	Fettsäuren werden aus C <sub>2</sub> -Einheiten synthetisiert	84
5.6.3	Die Fettsäuresynthese wird über die Acetyl-CoA-Carboxylase reguliert	86
5.6.4	Phospholipide entstehen bei der Umsetzung von Diglyceriden mit CDP-Verbindungen	87
5.6.5	Cholesterol entsteht aus Acetyl-CoA und Acetoacetyl-CoA	87
5.7	Lipidabbau	88
5.7.1	Fettsäuren werden durch $\beta$ -Oxidation abgebaut	88
5.7.2	Aus Acetyl-CoA können Ketonkörper entstehen	88
5.7.3	Cholesterol wird zu Gallensäuren abgebaut	89
5.8	Lipide werden von Lipoproteinen transportiert	90
5.9	Purin- und Pyrimidinbasen	91
5.9.1	Biosynthese der Purin- und Pyrimidinbasen	91
5.9.2	Abbau der Purin- und Pyrimidinbasen	92
5.10	Biosynthese der Aminosäuren	94
5.11	Aminosäureabbau	95
5.12	Für das Häm müssen aus Succinyl-CoA und Glycin Porphyrine synthetisiert werden	96
5.13	Der Harnstoffzyklus entsorgt Ammoniak	97
5.14	Stoffwechselprozesse laufen in bestimmten Zellkompartimenten ab	97
5.15	Apoptose: Die Zelle begeht Selbstmord	99
5.16	Mit optischen Tests lässt sich die Konzentration von Metaboliten bestimmen	101
<b>6</b>	<b>Hormone</b>	<b>102</b>
6.1	Hormonrezeptoren und G-Proteine vermitteln das Hormonsignal ins Zellinnere	102
6.2	Der Blutglucosespiegel wird hormonell reguliert	104
6.2.1	Insulin entsteht aus Präproinsulin	104
6.2.2	Diabetes mellitus tritt in zwei Formen auf	105
6.3	Das hypothalamisch-hypophysäre System: eine Hormonhierarchie	106
6.3.1	ACTH ist eines der Produkte des POMC-Gens	106
6.3.2	Aus Vitamin D entsteht das Hormon Calcitriol	107
6.3.3	Die Nebennierenrinde produziert Steroidhormone	107
6.4	Die chromaffinen Zellen des Nebennierenmarks erzeugen Adrenalin	108
6.5	Das Renin-Angiotensinsystem reguliert Blutdruck sowie Wasser- und Na <sup>+</sup> -Retention	108
6.6	Schilddrüsenhormone entstehen aus Tyrosin	109
6.7	Endorphine aktivieren Opioidrezeptoren	109
<b>7</b>	<b>Molekulare Physiologie</b>	<b>110</b>
7.1	Das Immunsystem	110
7.2	Die spezifische Immunabwehr	110
7.2.1	Die humorale Immunität basiert auf antikörpersezernierenden Zellen	110
7.2.1.1	Antikörper bestehen aus vier Polypeptidketten	111

7.2.1.2 Ein Mensch besitzt Millionen verschiedener Antikörper . . . . .	112	7.8.4 Die O <sub>2</sub> -Affinität von Hämoglobin hängt von 2,3-Bisphosphoglycerat ab. . . . .	137
7.2.2 T-Zell-vermittelte Immunität (= zelluläre Immunität) . . . . .	113	7.8.5 Drei Puffersysteme halten den Blut-pH konstant. . . . .	137
7.2.2.1 Es gibt zwei Klassen von MHC-Proteinen . . . . .	114	7.8.6 Die Blutgerinnung wird durch eine Kas- kade enzymatischer Reaktionen ausgelöst	138
7.2.2.2 Wie für B-Zellen gilt auch für T-Zellen das Prinzip der klonalen Selektion . . . . .	116	7.9 Wie entsteht Krebs? . . . . .	138
7.2.3 Monoklonale Antikörper sind identische Moleküle . . . . .	117	7.9.1 Genetische Theorie der Krebsent- stehung . . . . .	138
7.2.4 Mit Antikörpern kann man Krankheits- erreger nachweisen . . . . .	118	7.9.2 Stoffwechselftheorie der Tumorgenese (Warburg-Hypothese) . . . . .	140
7.3 Reizleitung im Nervensystem . . . . .	118	<b>Tafeln</b>	
7.3.1 Physikalische Grundlagen . . . . .	118	Tafel A: Die Aminosäuren der Proteine . . . . .	141
7.3.2 Der Nervenimpuls entsteht durch sich öffnende und schließende Ionenkanäle . . . . .	120	Tafel S: Stoffwechsel-Übersicht . . . . .	142
7.3.3 Synapsen übertragen Nervenimpulse von Zelle zu Zelle . . . . .	121	Tafel I: Antikörperbildung durch B-Zellen. . . . .	143
7.3.4 Neurotransmitter-Rezeptoren sind oder steuern Ionenkanäle. . . . .	121	Tafel P: Proteinanalytik mit Massenspektro- metrie – Proteomics . . . . .	144
7.3.5 Die Acetylcholinesterase spaltet Acetylcholin in Acetat und Cholin . . . . .	122	Tafel D: DNA-Arrays. . . . .	145
7.3.6 Sehen basiert auf der durch Licht ausgelösten Konformationsänderung von Rhodopsin. . . . .	122	Tafel R: RNA-Interferenz und Antisense- Oligonucleotide . . . . .	146
7.4 Muskel . . . . .	124	Tafel Z: Übersicht über die Zelle, ihre Orga- nellen und deren wichtigste Funktionen am Beispiel einer Leberzelle . . . . .	147
7.4.1 Die Muskelkontraktion kommt durch Wechselwirkung zwischen Actin und Myosin zustande . . . . .	124	<b>Glossar . . . . .</b>	<b>148</b>
7.4.2 Die Muskelkontraktion wird über die Ca <sup>2+</sup> -Konzentration im Sarkoplasma reguliert	125	<b>Stichwortverzeichnis. . . . .</b>	<b>160</b>
7.4.3 Muskeln brauchen ATP . . . . .	126		
7.5 Verdauung . . . . .	126		
7.5.1 Im Magen wird die Nahrung angesäuert und von Proteasen verdaut. . . . .	127		
7.5.2 Das Pankreas gibt Vorstufen von Ver- dauungsenzymen in den Dünndarm ab . . . . .	127		
7.5.3 Der Dünndarm resorbiert die Spaltprodukte . . . . .	128		
7.5.4 Der Dünndarm nimmt Ca <sup>2+</sup> , Phosphat, Eisen und Kupfer auf. . . . .	129		
7.6 Leber . . . . .	130		
7.6.1 Die Leber baut Plasmaproteine ab . . . . .	130		
7.6.2 Die Leber bildet Galle . . . . .	130		
7.6.3 Die Leber verarbeitet den vom Alanin- zyklus angelieferten Stickstoff der Muskel- aminosäuren . . . . .	131		
7.6.4 Die Leber entgiftet lipophile Fremdstoffe	131		
7.6.5 Die Leber führt Fructose der Glycolyse zu. Macht das dick? . . . . .	132		
7.7 Niere. . . . .	132		
7.7.1 Die Niere reguliert Wasser und Elektrolythaushalt . . . . .	132		
7.7.2 Die Resorption von Ca <sup>2+</sup> , Phosphat, Na <sup>+</sup> und Wasser aus dem Primärharn wird von Hormonen reguliert . . . . .	134		
7.8 Blut . . . . .	135		
7.8.1 Zusammensetzung von Plasma . . . . .	135		
7.8.2 Hämoglobin bindet O <sub>2</sub> . . . . .	135		
7.8.3 Die O <sub>2</sub> -Bindung wird durch pH und Gewebs-CO <sub>2</sub> reguliert . . . . .	136		

## Der Aufbau von Biochemie-light

Biochemie-light bringt neben möglichst kurzen Texten möglichst einfache Illustrationen.

Das Glossar erläutert die von den Praktikumsleitern gern gefragten Begriffe und wappnet Sie gegen die beliebten Fragen der Art: „Erklären Sie mir doch mal, was Sie unter xy verstehen.“ Im Glossar – oder im Stichwortverzeichnis – können Sie auch nachschlagen, wenn Ihnen beim Lesen ein unbekannter Begriff aufstößt.

Die Kapitelüberschriften fassen meistens den Inhalt eines Kapitels als Lehr- und Merksatz zusammen. Das Kapitelverzeichnis ist also die Essenz der Essenz der Biochemie und sein Studium soll es Ihnen ermöglichen, zu einem Thema wenigstens irgendetwas sagen zu können. Nichts wirkt so vernichtend in einer Prüfung wie „das Schweigen der Lämmer“.

Texte in Kleinschrift halten wir für nicht absolut essentiell, aber nützlich.

Bei der vielleicht zu ausführlich behandelten Kinetik müssen Sie sich nicht grämen, wenn Sie nicht alles verstehen – auch manch ein Praktikumsleiter kann die Michaelis-Menten-Gleichung nicht herleiten.

Überhaupt: Nicht gleich verzweifeln, wenn mal etwas unklar bleibt. Einfach weiterlesen und überschlafen. Das Verständnis kommt oft am nächsten Morgen – oder am übernächsten.

### Bei den Farben gilt:

**Rot** steht meistens für DNA, aber auch für Blut, Häm etc.

**Blau** steht meistens für Protein oder Aminosäuren, oft auch für wässrige Lösungen.

**Grün** steht meistens für RNA, gelegentlich auch für Monosaccharide.

**Magenta** steht meistens für die Fettsäurereste der Phospholipide und damit für Zellmembranen.

**Gelb** steht für Urin, Disulfidbrücken, Lipide.

### Für die Zeichen gilt:

 Schmalpfeil steht für einen Reaktionsschritt

 Breitpfeil steht für mehrere Reaktionsschritte

**+** bei einem Pfeil steht für Aktivierung

**-** bei einem Pfeil steht für Hemmung

 steht für Phosphatgruppe

 oder  steht für Polypeptidkette und die Kreise für einzelne Aminosäurereste

## Abkürzungen

ACE	<i>angiotensin converting enzyme</i>
ACP	Acyl-Carrier-Proteinabschnitt
ACTH	Adrenocorticotropes Hormon
ADP	Adenosindiphosphat
AMP	Adenosinmonophosphat
ATP	Adenosintriphosphat
bp	Basenpaare
BPG	2,3-Bisphosphoglycerat
BSE	Bovine spongiforme Enzephalopathie
cAMP	3,5-cyclo-Adenosinmonophosphat
CDP	Cytidindiphosphat
cGMP	3,5-cyclo-Guanosinmonophosphat
CoA	Coenzym A
CTP	Cytidintriphosphat
DNA	Desoxyribonucleinsäure
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
ELISA	<i>enzyme-linked immunosorbent assay</i>
ER	endoplasmatisches Reticulum
FAD	Flavin-Adenin-Dinucleotid
G	freie Enthalpie
$\Delta G$	Änderung der freien Enthalpie
GABA	$\gamma$ -Amino-Buttersäure
GLUT	Glucose-Transporter
GTP	Guanosintriphosphat
Hb	Hämoglobin
HDL	<i>high density lipoprotein</i>
HRE	<i>hormone response element</i>
IRE	<i>iron response element</i>
ITAM	<i>immunoreceptor tyrosine-based activation motif</i>
$K_M$	Michaelis-Konstante
LDH	Lactatdehydrogenase
LDL	<i>low density lipoprotein</i>
M	molar (Konzentrationseinheit Mol/l)
mRNA	<i>messenger RNA</i>
miRNA	MicroRNA
mM	millimolar (Konzentrationseinheit mMol/l)
MHC	<i>major histocompatibility complex</i>
mtDNA	mitochondriale DNA
MW	Molekulargewicht

NAD <sup>+</sup>	Nicotinamid-Adenin-Dinucleotid (oxidiert)
NADH	Nicotinamid-Adenin-Dinucleotid (reduziert)
PAGE	<i>polyacrylamide gel electrophoreses</i>
PCR	<i>polymerase chain reaction</i>
PDH	Pyruvat-Dehydrogenase
PTC	Phenylisothiocyanat
R	Gaskonstante
RNA	Ribonucleinsäure
ROS	<i>reactive oxygen species</i>
SDS	Sodium-Dodecylsulfat
SNP	<i>single nucleotide polymorphism</i>
SR	sarkoplasmatisches Reticulum
STR	<i>short tandem repeat</i>
T	absolute Temperatur
THF	Tetrahydrofolat
UDP	Uridindiphosphat
UMP	Uridinmonophosphat
UTP	Uridintriphosphat
V	Maximalgeschwindigkeit
VLDL	<i>very low density lipoprotein</i>
ZNS	Zentralnervensystem

# Chemische Grundbegriffe

Die Seiten I und II wiederholen die wichtigsten Begriffe der Chemie. Führen Sie sich die zu Gemüte! Andernfalls werden Ihnen die Seiten von Biochemie-light vorkommen wie Scheunentore und Sie sich wie der Ochse, der davorsteht und nicht hinein kann. Zudem: In der mündlichen Prüfung nicht zu wissen, was ein Ester ist, bringt das Blut auch des gutmütigsten Prüfers zum Kochen.

**Alkohole** besitzen eine Hydroxylgruppe (-OH) an einem Alkylrest. Alkylrest? Das ist ein Kohlenwasserstoffrest der Formel  $C_nH_{2n+1}$ .

**Säuren** können Protonen ( $H^+$ -Ionen) abgeben. Sie dissoziieren (zerfallen) in wässriger Lösung in Proton und Säureanion; starke Säuren vollständig, schwache nur teilweise. Biochemisch wichtig sind Kohlensäure ( $H_2CO_3$ ), Phosphorsäure ( $H_3PO_4$ ) und Carbonsäuren, die eine Carboxylgruppe (-COOH) an einem Alkylrest tragen.

**Ester** entstehen, wenn eine Säure und ein Alkohol unter Wasserabspaltung eine chemische Verbindung eingehen.

**Säureanhydride** entstehen aus zwei Säuremolekülen unter Wasserabspaltung. Dabei müssen die Säuren nicht gleich sein. Eine Carbonsäure kann auch mit Phosphorsäure ein gemischtes Säureanhydrid bilden.

**Ketone und Aldehyde** enthalten eine Carbonylgruppe (-CO). Ketone besitzen ein sekundäres C-Atom, Aldehyde ein primäres. Primär bedeutet mit einem weiteren C-Atom verknüpft, sekundär mit zwei weiteren C-Atomen verknüpft. Es gibt Verbindungen, die eine Carbonyl- und eine Carboxylgruppe enthalten, zum Beispiel die für die Biochemie wichtigen  $\alpha$ -Ketonsäuren.

**Primäre Amine** enthalten eine Aminogruppe (-NH<sub>2</sub>) an einem Alkylrest. Amine sind basische Verbindungen, d.h. sie können Protonen binden. Die Aminogruppe ist – wie die Hydroxyl- oder Carbonylgruppe – eine funktionelle, d.h. eine reaktionsfähige Gruppe.

Bei der **Oxidation** werden einem Atom/Molekül Elektronen entzogen. Dies geschieht entweder durch Umsetzung mit Sauerstoff oder durch Entzug von Wasserstoff (Dehydrierung). Im Gegensatz dazu werden bei der **Reduktion** Elektronen bzw. Wasserstoffatome zugeführt (Hydrierung). Im Beispiel rechts wird jeweils das rote C-Atom oxidiert bzw. reduziert.

**Beispiel: Ethanol**  $HO-CH_2-CH_3$   
 Hydroxylgruppe Alkylrest mit n = 2

**Beispiel: Essigsäure**  $HOOC-CH_3$   
 Carboxylgruppe Alkylrest  
 andere Darstellung  
 Dissoziation:  $HOOC-CH_3 \rightleftharpoons H^+ + ^-OOC-CH_3$

Säure  $H_3C-C(=O)-OH$  + Alkohol  $HO-CH_2-CH_3$   
 $H_3C-C(=O)-O-CH_2-CH_3$  +  $H_2O$  Ester

Säure  $H_3C-C(=O)-OH$  + Säure  $HO-C(=O)-CH_3$   
 $H_3C-C(=O)-O-C(=O)-CH_3$  +  $H_2O$  Säureanhydrid

**Formel:** Alkylrest  $1$   $C=O$  Alkylrest  $2$  Keton  
 Aldehyd  $H-C=O$   
 Alkylrest  $-C(=O)-COOH$   $\alpha$ -Ketonsäure

**Beispiel:**  $H_3C-C(=O)-CH_3$  Aceton  
 $H_3C-C(=O)-H$  Acetaldehyd  
 $H_3C-C(=O)-COOH$  Brenztraubensäure Anion: Pyruvat

**Beispiel: Ethylamin**  $H_2N-CH_2-CH_3$   
 Aminogruppe Alkylrest  
 Protonierung:  
 $H_2N-CH_2-CH_3 + H^+ \rightleftharpoons H_3N^+-CH_2-CH_3$

**Oxidation**  $-H_2$   $-H_2 + H_2O$

$HO-CH_2-CH_3$  Alkohol  $\downarrow$   
 $O=CH-CH_3$  Aldehyd  $\downarrow$   
 $HO-C(=O)-CH_3$  Säure

**Reduktion**  $+H_2$   $+H_2 - H_2O$

Ein **Mol** ist eine Mengenangabe: Ein Mol entspricht dem Molekulargewicht (MW) einer Substanz in Gramm. Ein Mol enthält immer die gleiche Anzahl von Teilchen (Molekülen oder Atomen), nämlich  $6,02 \times 10^{23}$  (Loschmidt'sche Zahl).

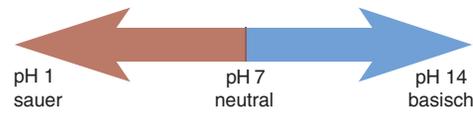
<b>1 Mol Glucose</b> = 180 Gramm Glucose = $6,02 \times 10^{23}$ Moleküle	<b>1 Mol Ethanol</b> = 46 Gramm Ethanol = $6,02 \times 10^{23}$ Moleküle
---	--

Die **Molarität** ist eine Konzentrationsangabe, bezeichnet also eine Stoffmenge pro Volumen. Eine 1 molare Lösung enthält ein Mol einer Substanz pro Liter (1 Mol = 1 M). Eine millimolare Lösung enthält ein tausendstel Mol pro Liter (1 mMol/l = 1 mM).

**Eine 1 molare Glucoselösung enthält 180 Gramm Glucose pro Liter oder 0,18 Gramm Glucose pro Milliliter**

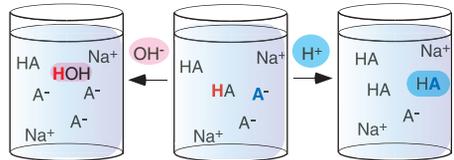
Die Protonenkonzentration einer Lösung bestimmt ihren Säuregrad. Bei hoher Protonenkonzentration ist die Lösung sauer, bei niedriger alkalisch. Das Maß für die Säurestärke ist der **pH-Wert**. Der pH-Wert ist der negative dekadische Logarithmus der  $H^+$ -Ionen-Konzentration. Eine Lösung mit einer  $H^+$ -Ionen-Konzentration von  $10^{-2}$  Mol/l hat also einen pH-Wert von 2 und ist sauer. Reines Wasser hat einen pH-Wert von 7 und ist neutral. Säuren erniedrigen den pH-Wert, Basen erhöhen ihn.

$$pH = -\log[H^+]$$



**Puffer** halten den pH-Wert einer Lösung konstant. Ein Puffer ist eine Lösung einer schwachen Säure und ihres Salzes (z. B.  $H_2CO_3$  und  $NaHCO_3$ , allgemein HA und MeA). Die schwache Säure ist kaum dissoziiert, ihr Salz zerfällt jedoch vollständig in Metallion und Anion. Gibt man Protonen zu der Lösung, werden sie von den Anionen abgefangen. Es bildet sich die schwache Säure. Gibt man  $OH^-$ -Ionen zu, dann reagieren diese mit der Säure zu Wasser und dem Anion. Der pH-Wert der Lösung ändert sich in beiden Fällen kaum, sie puffert.

Pufferlösung der schwachen Säure HA und ihres  $Na^+$ -Salzes in  $H_2O$ :



Für eine chemische Reaktion im Gleichgewicht gilt das **Massenwirkungsgesetz**. Es gibt das Verhältnis zwischen den molaren Konzentrationen der Reaktionspartner an (hier: [A], [B], [C]). Die **Gleichgewichtskonstante K** hängt von der Triebkraft der Reaktion ab, der freien Energie. Jede Reaktion hat also ihr eigenes K.

Reaktion	Massenwirkungsgesetz
$A \rightleftharpoons B + C$	$K = \frac{[B] \cdot [C]}{[A]}$
$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$	$K = \frac{[H^+] \cdot [OH^-]}{[H_2O]}$
	$K \cdot [H_2O] = 10^{-14} = [H^+] \cdot [OH^-]$

(eckige Klammern bedeuten Konzentration in Mol/l)

Das Massenwirkungsgesetz gilt auch für die Dissoziation von Wasser in  $H^+$  und  $OH^-$ . In einer wässrigen Lösung ist die Konzentration von Wasser  $[H_2O]$  in etwa konstant, nämlich 55,5 Mol/l (1 Mol  $H_2O \triangleq 18$  g). Daher ist auch das Produkt von  $[H^+]$  und  $[OH^-]$  konstant, es beträgt  $10^{-14}$ . In reinem Wasser ist die Konzentration der Protonen gleich der Konzentration der Hydroxylionen, nämlich  $10^{-7}$ . Damit hat die Lösung einen pH-Wert von 7.

Aus dem Massenwirkungsgesetz ergibt sich die **Henderson-Hasselbalch-Gleichung**:

$$K_S = \frac{[H^+] \cdot [A^-]}{[HA]} \quad \rightarrow \quad pH = pK_S + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

Massenwirkungsgesetz      Henderson-Hasselbalch-Gleichung

Gibt man nun eine Säure dazu, so erhöht sich  $[H^+]$ , denn die Säure gibt Protonen ab. Nach dem Massenwirkungsgesetz muss das Produkt aus  $[H^+]$  und  $[OH^-]$  konstant bleiben, deshalb nimmt  $[OH^-]$  in entsprechendem Verhältnis ab.

Mit der Henderson-Hasselbalch-Gleichung lässt sich der pH-Wert berechnen, wenn das Verhältnis von  $[A^-]/[HA]$  und der  $pK_S$  bekannt sind. Beispiel: Wie hoch ist der pH-Wert einer Lösung von 0,1 M Essigsäure und 1 M Na-Acetat? In einem Tabellenwerk finden Sie für Essigsäure und Acetat, dass  $pK_S = 4,8$ . Für den pH gilt dann:  $pH = 4,8 + \log(1M/0,1M) = 4,8 + \log 10 = 5,8$

# 1 Lipide und Zucker

## 1.1 Lipide dienen als Energiequelle, zum Bau von Zellmembranen und als Hormone

Lipide bestehen zum großen Teil aus hydrophoben (wasserscheuen) Resten. Daher sind die meisten Lipide wasserunlöslich und membrangängig.

Die wichtigsten Lipide sind die Triacylglyceride (Triglyceride), Phospholipide und Cholesterolderivate.

### Triglyceride sind Ester des Glycerins mit Fettsäuren

Vorkommen: Depotfette im Unterhautgewebe.

Zweck: Die Fettsäuren des Depotfettes bilden die Energiereserve des Körpers.

Fettgewebe ist das größte Speicherorgan des Organismus: Triglyceride sind wasserunlöslich, deshalb osmotisch ungefährlich und können in größeren Mengen als Monomere gelagert werden.

Die wasserlösliche Glucose dagegen, die ebenfalls der Energieerzeugung dient, kann nicht als Monomer gelagert werden. In Zellen, die viel Glucose enthalten, würde Wasser durch die Zellmembran einströmen, um den Konzentrationsunterschied auszugleichen. Die Zellen würden platzen.

### Phospholipide sind Ester des Glycerins mit zwei Fettsäuren und einem Phosphorsäureester

Vorkommen: Sie bilden die Membranen von Zellen und Zellorganellen.

Aufbau: Meist handelt es sich um Ester der Phosphorsäure mit Aminoalkoholen wie Cholin, Ethanolamin oder – siehe rechts – der Aminosäure Serin. Der Phosphorsäureester und damit auch das Phospholipid tragen Ladungen.

Zweck: In wässriger Lösung bilden die Phospholipide Doppelschichten. Der hydrophile (wasserliebende) Teil des Phospholipids, der Phosphorsäureester, zeigt dabei zur wässrigen Umgebung. Die hydrophoben Fettsäuren sind ins Membraninnere gerichtet. Sie bilden eine Barriere für Ionen und hydrophile Moleküle wie Glucose.

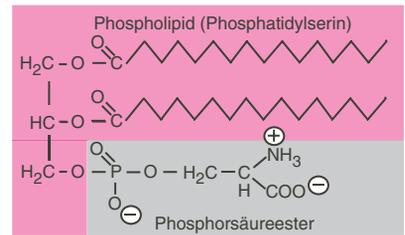
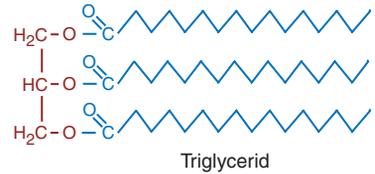
Die Doppelschicht kann Proteine an- und einlagern. Proteine, die die Doppelschicht durchspannen, heißen integrale Membranproteine.

### Sphingophospholipide

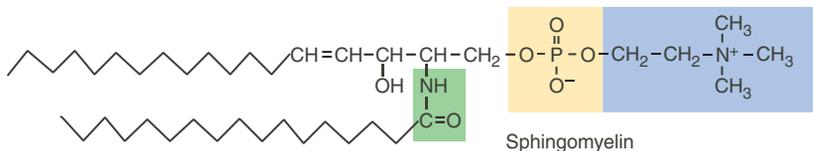
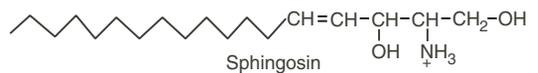
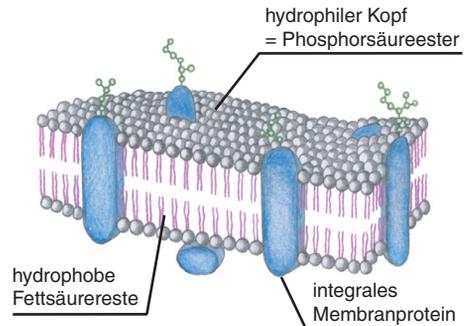
Vorkommen: Gehirn und Nervengewebe.

Aufbau: Sphingophospholipide bestehen aus dem Aminoalkohol Sphingosin, einer Fettsäure, einem Phosphatrest (gelb) und (meistens) dem Aminoalkohol Cholin (blau).

Die Fettsäure ist nicht als Ester, sondern über eine Amidbindung (grün) mit dem Sphingomyelin verknüpft.

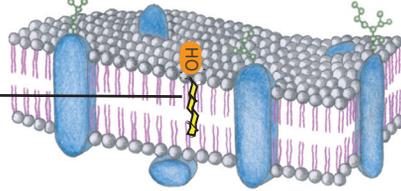
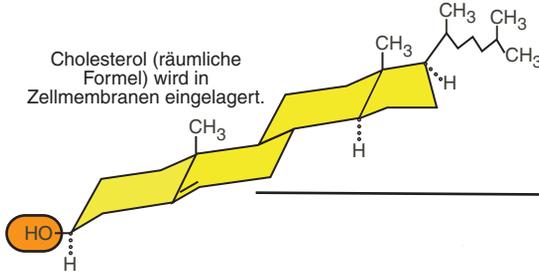
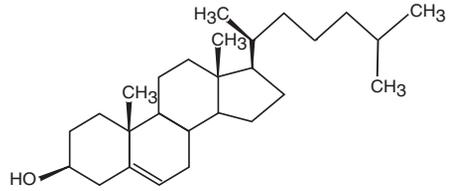


### Ausschnitt aus der Zellmembran

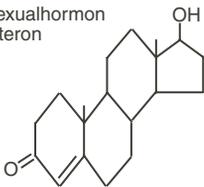


## Cholesterolderivate

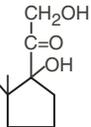
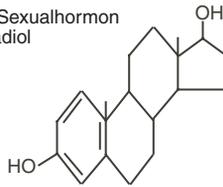
Vorkommen: Zellmembran, Nebennierenrinde, Leber.  
 Zweck: Cholesterol stabilisiert Zellmembranen.  
 Cholesterol ist zudem Ausgangsmaterial vieler Synthesen: Aus Cholesterol werden Steroidhormone (Sexualhormone, Glucocorticoide, Mineralocorticoide) und Gallensalze gebildet. Letztere dienen der Fettemulgierung im Darm. Auch Vitamin D entsteht aus Cholesterol.



Das Sexualhormon Testosteron



Das Sexualhormon Estradiol



Das Glucocorticoid Cortisol wirkt auf den Glucosestoffwechsel

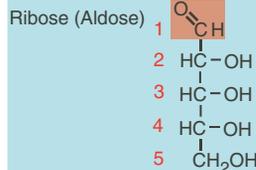
## 1.2 Monosaccharide sind Aldehyde oder Ketone mit mindestens zwei Hydroxylgruppen

Bei Monosacchariden (Einfachzuckern) trägt in der Regel jedes C-Atom eine Hydroxylgruppe, bis auf eines, das die Aldehyd- oder Ketogruppe (rot) trägt. Zucker mit Aldehydgruppe heißen Aldosen, mit Ketogruppe Ketosen. Hexosen besitzen sechs, Pentosen fünf C-Atome. Pentosen und Hexosen können in einer offenkettigen und in einer ringförmigen Form existieren.

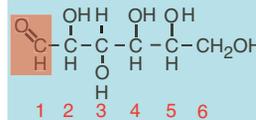
Weil eine Aldehydgruppe leicht andere Verbindungen reduziert – und dabei selber zur Säure oxidiert wird –, nennt man die Aldehydgruppe das reduzierende Ende eines Zuckers.

Die wichtigsten Monosaccharide sind die Pentose Ribose und die Hexosen Glucose, Fructose, Mannose und Galactose.

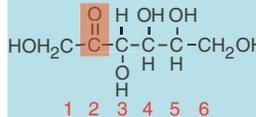
### offenkettige Form



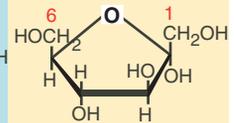
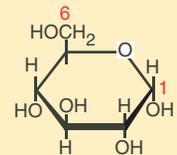
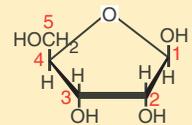
### Glucose (Aldose)



### Fructose (Ketose)

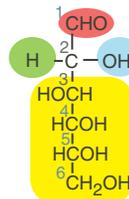


### Ringform (Haworth-Darstellung)



## 1.3 Asymmetrische C-Atome, optische Aktivität und Fischer-Projektion

Ein C-Atom hat vier Valenzen, kann also bis zu vier Substituenten binden. Die vier Substituenten sind räumlich um das C-Atom verteilt. Sie liegen nicht in der Papierebene, sondern in den Ecken einer Dreieckspyramide (Tetraeder). Die Substituenten können gleich sein oder verschieden. Ein C-Atom mit vier verschiedenen Substituenten ist asymmetrisch.



Das zweite C-Atom von Glucose ist asymmetrisch: es besitzt vier verschiedene Substituenten.

Alle Monosaccharide – mit Ausnahme von Dihydroxy-aceton – besitzen ein oder mehrere asymmetrische C-Atome, die Aldohexosen z. B. vier.

Asymmetrische C-Atome können ihre Substituenten in zwei spiegelbildlichen Anordnungen (Konformationen) tragen. Diese Konformationen lassen sich – wie linke und rechte Hand – nicht durch Drehen zur Deckung bringen. Dies nennt man Chiralität (= Händigkeit). Die spiegelbildlichen Molekülpaare heißen Enantiomere. Sie sind Stereoisomere.

Zucker mit einem Chiralitätszentrum, d.h. einem asymmetrischen C-Atom, treten also in zwei verschiedenen räumlichen Konfigurationen als Stereoisomere auf. Zucker mit n asymmetrischen C-Atomen kommen in  $2^n$  Stereoisomeren vor.

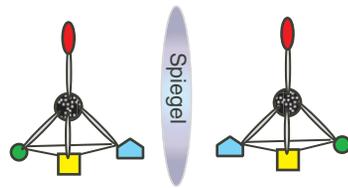
Stereoisomere sind **optisch aktiv**: sie drehen die Schwingungsebene von polarisiertem Licht entweder im Uhrzeigersinn (rechtsdrehend) oder dagegen (linksdrehend). Das Ausmaß der Drehung hängt von der Konzentration des optisch aktiven Stoffes ab. Der Effekt wird in der Medizintechnik zur Bestimmung von Zuckern in Körperflüssigkeiten benutzt.

Der einfachste Zucker mit asymmetrischem C-Atom ist Glycerinaldehyd. Er bildet zwei stereoisomere Formen: D- und L-Konfiguration. Glycerinaldehyd wurde als Bezugssubstanz für die Konfiguration optisch aktiver Verbindungen gewählt. Dreht man den Tetraeder so, dass die Aldehydgruppe nach oben und die  $\text{CH}_2\text{OH}$ -Gruppe nach hinten zeigt, dann liegen  $\text{-H}$  und  $\text{-OH}$  jeweils auf den Enden der vorderen Kante. Ist die rechte Ecke mit  $\text{OH-}$  besetzt, so hat man die D-Form, sitzt  $\text{OH-}$  links, die L-Form.

Die räumliche Darstellung als Tetraedermodell ist umständlich, sie wird deshalb vereinfacht zur Fischer-Projektion. Dafür wird die Kohlenwasserstoffkette beginnend mit dem C-Atom mit der höchsten Oxidationsstufe untereinander geschrieben, die Substituenten jeweils nach links bzw. rechts. Vereinbarungsgemäß liegen horizontale Substituenten vor der Papierebene, vertikale dahinter.

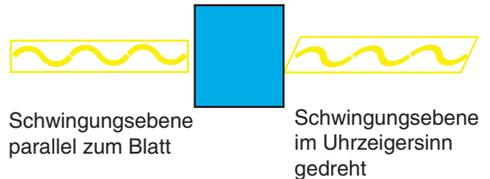
Vom D- bzw. L-Glycerinaldehyd leiten sich die D- und L-Zucker ab. Bei ihnen zeigt das von der Carbonylgruppe am weitesten entfernte asymmetrische C-Atom die gleiche Konfiguration wie D- bzw. L-Glycerinaldehyd.

Damit man bei Verbindungen mit mehreren Chiralitätszentren die absolute Konfiguration an jedem einzelnen asymmetrischen C-Atom festlegen kann, wurde nach den Herren Cahn, Ingold, Prelog das **CIP-System** entwickelt. Je höher die Ordnungszahl des Atoms, mit dem der Substituent an das C-Atom gebunden ist, desto höher seine Priorität, also  $\text{O} > \text{N} > \text{C} > \text{H}$ . Doppelbindungen zählen doppelt. Sind die Erstatome gleich, so wird auch noch das Zweitatom zur Bewertung mit herangezogen, also  $\text{-CHO} > \text{-CH}_2\text{OH} > \text{-CH}_3$ . In der Tetraederdarstellung wird der Substituent mit der niedrigsten Priorität nach hinten gestellt. Die restlichen Substituenten können nun



Asymmetrisches C-Atom (schwarz): spiegelbildliche Anordnung der Substituenten. Sie sitzen in den vier Ecken eines Tetraeders und lassen sich durch Drehen nicht zur Deckung bringen.

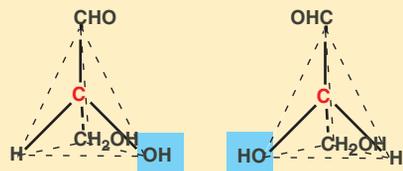
### Zuckerlösung



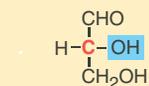
Schwingungsebene parallel zum Blatt

Schwingungsebene im Uhrzeigersinn gedreht

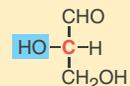
### Räumliche Darstellung:



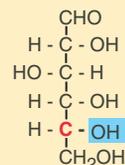
### Fischer-Projektion:



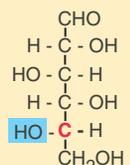
D-Glycerinaldehyd  
(OH-Gruppe rechts)



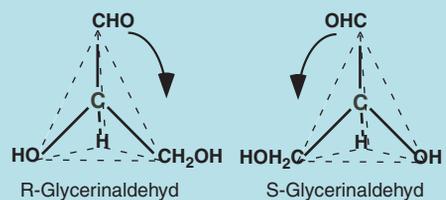
L-Glycerinaldehyd  
(OH-Gruppe links)



D-Glucose



L-Glucose



entweder mit fallender Priorität im Uhrzeigersinn (R-Form) oder dagegen (S-Form) angeordnet sein.

Die meisten biochemisch wichtigen Verbindungen sind chiral, so die Aminosäuren und viele Zucker. Der Organismus verwendet jedoch nur ein Enantiomer, z.B. D-Glucose oder L-Aminosäuren.

Als Epimere bezeichnet man Zucker, die sich nur in der Konfiguration an einem asymmetrischen C-Atom unterscheiden. Epimere sind z.B. D-Glucose und D-Mannose. Sie unterscheiden sich am asymmetrischen C<sub>2</sub> (rot).

Wie erwähnt, können Pentosen und Hexosen in offenkettiger und ringförmiger Form existieren. Dabei reagiert die Aldehyd- bzw. Ketogruppe der offenkettigen Form mit einer Hydroxylgruppe zum Halbacetal bzw. Halbketal. Durch Ringbildung entsteht ein neues asymmetrisches Zentrum am ehemaligen Carbonyl-Kohlenstoff (C<sub>1</sub>). In Folge treten zwei neue Isomere des Zuckers auf, z.B. α-D-Glucose und β-D-Glucose. Diese Isomere heißen **Anomere**, ihre Umwandlung ineinander Mutarotation.

#### 1.4 Disaccharide entstehen aus zwei Monosacchariden

Der ehemalige Carbonyl-Kohlenstoff der ringförmigen Monosaccharide ist besonders reaktiv. Er kann mit alkoholischen Gruppen anderer Monosaccharide unter Wasserabspaltung reagieren. Es entstehen O-glycosidische Bindungen und Di-, Tri-, Oligo- und Polysaccharide. Disaccharide sind Maltose (zweimal Glucose), Saccharose (= Rohrzucker; Fructose und Glucose) und Lactose (= Milchzucker; Galactose und Fructose).

Frauenmilch enthält ca. 7,5% Lactose. Sie wird im Darm in ihre Bausteine gespalten und die Galactose in Glucose umgewandelt. Bei der Galactosämie, einer erblichen Stoffwechselerkrankung, wird Galactose nur teilweise oder gar nicht umgesetzt. Also häuft sie sich im Körper an. Die Folgen sind Ikterus (Gelbsucht) und Trübung der Augenlinse.

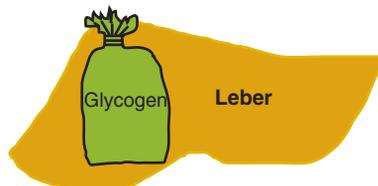
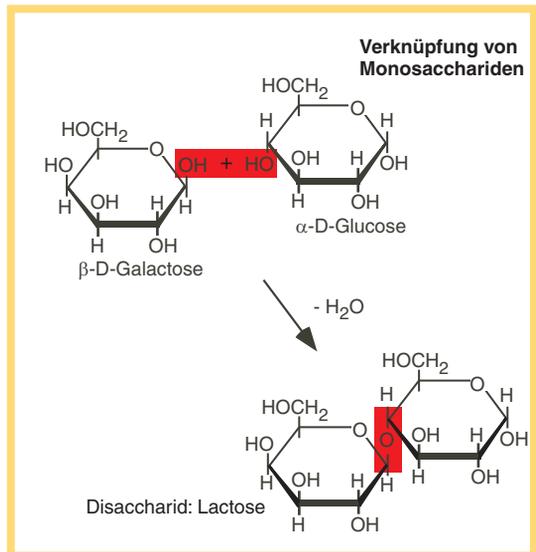
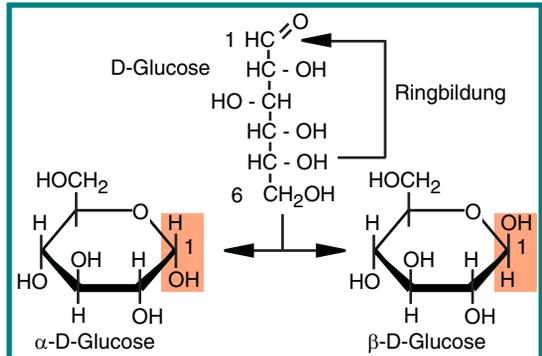
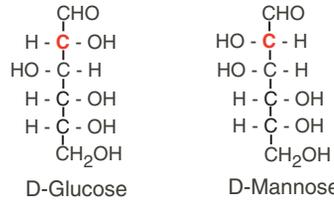
**Oligosaccharide** bestehen aus drei oder mehr Monosacchariden, sie gehen nahtlos in die Polysaccharide über.

#### 1.5 Polysaccharide dienen als Zuckerspeicher oder Strukturelement

Das Polysaccharid **Glycogen** ist die Speicherform der Glucose. Die Leber ist der Hauptspeicher. Sie enthält zwischen 1% (Hunger) und 10% ihres Gewichtes an Glycogen. In geringerem Ausmaß wird Glycogen auch im Muskel gespeichert.

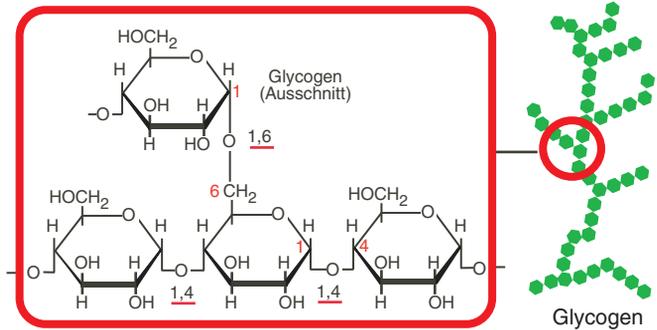
D oder L bzw. R oder S sagt nichts über die Drehrichtung aus!

Es gibt D-Enantiomere, die polarisiertes Licht nach rechts drehen, und solche, die es nach links drehen! Das Gleiche gilt für Verbindungen mit L- bzw. R- oder S-Konfiguration.



Glycogen besteht aus Ketten von  $\alpha$ -1,4-glycosidisch verknüpften Glucoseeinheiten;  $\alpha$ -1,6-Bindungen führen Verzweigungen ein. Das Glycogen-Molekül ähnelt einem Strauch mit einem reduzierenden Anfang (die Carbonylgruppe) und vielen nicht reduzierenden Enden.

Auch pflanzliche **Stärke** ist ein Glucosepolymer. Sie besteht aus einem linearen  $\alpha$ -1,4-Polymer, der Amylose, und dem verzweigten Amylopektin. Auf 20–25 Glucosereste kommt eine ( $\alpha$ -1,6) Verzweigung. Amylopektin ähnelt damit dem Glycogen. Die beiden Polymere unterscheiden sich aber im Verzweigungsgrad. Beim Glycogen kommt auf alle 12 Reste eine Verzweigung. Die für den Menschen unverdauliche **Cellulose** ist ein Polysaccharid aus  $\beta$ -1,4-glycosidisch verbundenen Glucoseresten. **Saure Mucopolysaccharide** dienen als Füll- oder Schmiermittel. Diese gallertartigen linearen Polysaccharide bestehen meist aus zwei alternierenden Monosaccharideinheiten. Mindestens eine davon trägt eine saure Gruppe (z.B. Carboxyl- oder Sulfonylest).

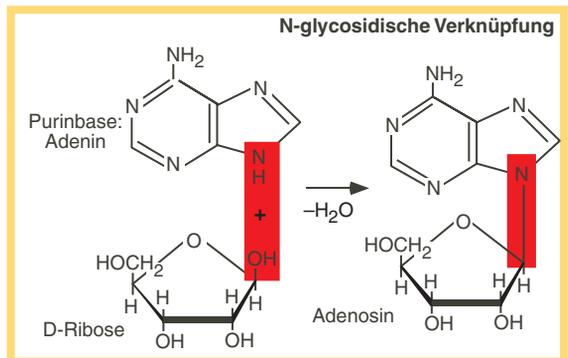


Mucopolysaccharid	Bestandteile	Vorkommen
Hyaluronsäure	Glucuronsäure, N-Acetylglucosamin	Synovialflüssigkeit (Gelenke)
Chondroitin	Glucuronsäure, N-Acetylgalactosamin	Cornea
Chondroitin-4-sulfat	Glucuronsäure, N-Acetylgalactosamin-4-sulfat	Knorpel
Dermatansulfat	Iduronsäure, N-Acetylgalactosamin-4-sulfat	Haut
Heparin	Glucosamin-6-sulfat, Iduronsäure, Glucuronsäure-2-sulfat	Lunge
Keratansulfat	Galactose, Galactose-6-sulfat	Cornea

## 1.6 Zucker sind Bausteine von DNA, RNA und Cofaktoren

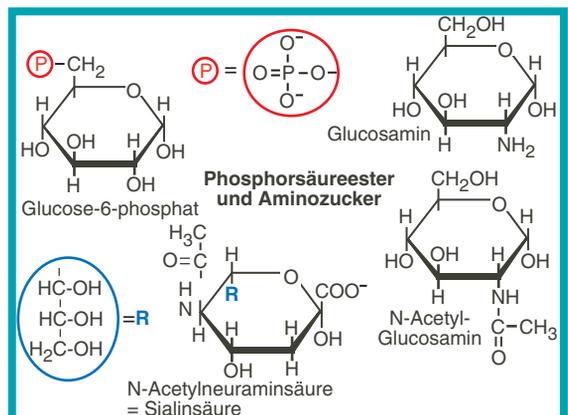
Aminogruppen ( $\text{H}_2\text{N}-$ ) kann man mit Zuckern N-glycosidisch verknüpfen (rot unterlegt). Auch hier reagiert das reaktive  $\text{C}_1$  des Monosaccharids.

Purin- oder Pyrimidinbasen (s. 4.1) verbinden sich so mit Ribose oder Desoxyribose zu Nucleosiden. Nucleoside sind Bestandteil der DNA, RNA und enzymatischer Cofaktoren wie NADH, ATP, Coenzym A (s. 3.4).



Mit Phosphorsäure bilden die Hydroxylgruppen der Zucker unter Wasserabspaltung Phosphorsäureester. Diese dienen im Stoffwechsel als energiereiche Zwischenstufen.

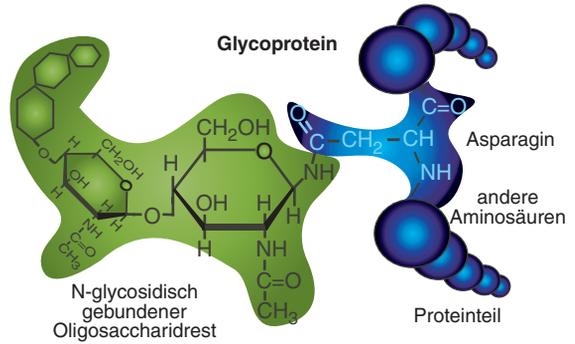
Bei **Aminozuckern** ist eine Hydroxylgruppe durch eine Aminogruppe ersetzt worden. Aminozucker sind Glucosamin und Galactosamin bzw. ihre acetylierten Derivate N-Acetylglucosamin und N-Acetylgalactosamin.



## 1.7 Glycoproteine sind Proteine mit Oligosaccharidketten

Die meist extrazellulären Proteine enthalten Oligosaccharide, so Fibrinogen, Immunglobuline, thyroxinbindendes Protein. Die Oligosaccharide sind entweder O-glycosidisch an Serin- oder N-glycosidisch an Asparaginreste gekoppelt. Serin und Asparagin sind Aminosäuren (Tafel A).

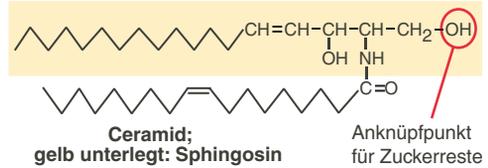
Die Oligosaccharide der Glycoproteine bestehen aus selteneren Monosacchariden (z.B.  $\beta$ -L-Fucose), Aminoazuckern oder Zuckersäuren, die Carboxyl- oder Sulfonylreste tragen. Endständiger Baustein ist oft die negativ geladene Sialinsäure (= N-Acetyl-Neuraminsäure).



## 1.8 Glycolipide sind Derivate des Ceramids

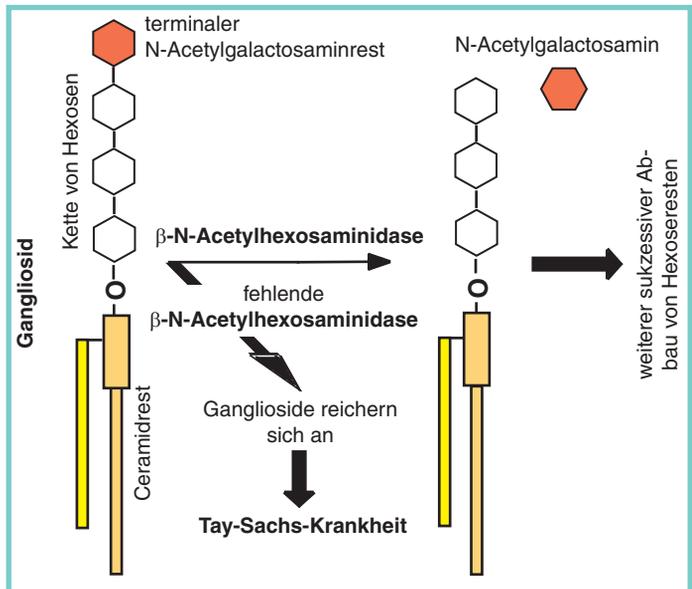
**Ceramid** besteht aus einer Fettsäure und Sphingosin (gelb). Letzteres trägt zwei Hydroxylgruppen, eine davon kann Zucker binden.

Bei den **Cerebrosiden** ist das Ceramid am Sphingosin mit Glucose oder Galactose verknüpft.



Bei **Gangliosiden** hängen längere Zuckerketten mit Sialinsäureresten am Sphingosin des Ceramids. In der grauen Substanz des Gehirns machen Ganglioside 6% der Lipide aus.

Bei der Erbkrankheit **Tay-Sachs** fehlt das Enzym  $\beta$ -N-Acetylhexosaminidase. Daher können terminale, d.h. am Ende der Zuckerkette des Gangliosids sitzende N-Acetylgalactosaminreste nicht entfernt werden. Dies verhindert den sukzessiven Abbau der Zuckerkette und damit der Ganglioside. Die Folge: Ganglioside reichern sich in den Lysosomen der Nervenzellen an. Die Zellen blähen sich auf und sterben ab (Nekrose s. 5.15).



Glycolipide sitzen in der Außenseite der Plasmamembran; Plasmamembranen sind also bezüglich ihrer Lipide unsymmetrisch aufgebaut.

Wie die Glycoproteine, so spielen auch die Glycolipide eine Rolle bei der Gewebs-, Organ- und Blutgruppenspezifität. Auch an der Zell-Zellerkennung sind Glycolipide beteiligt. Krebszellen präsentieren auf ihrer Oberfläche charakteristische, von normalen Zellen abweichende Glycolipide.

