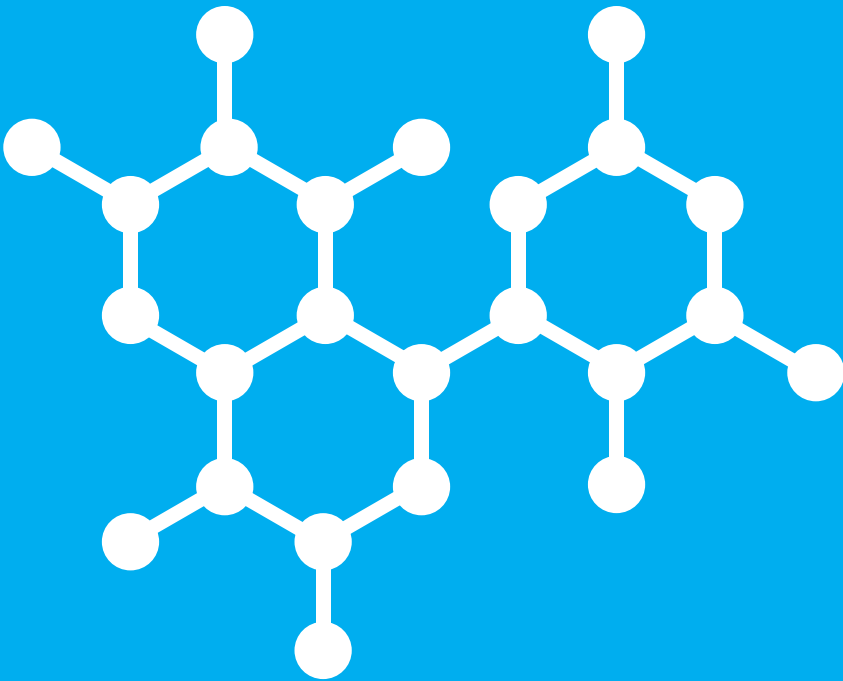


SABINE MEYER-ROGGE
KAI MEYER-ROGGE

Biochemie



f pocket
facts
ZAHNMEDIZIN



POCKET FACTS

Biochemie

DR. SABINE MEYER-ROGGE

DR. KAI MEYER-ROGGE





Die Deutsche Nationalbibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist bei der Deutschen Nationalbibliothek erhältlich.

Der Text dieses Buches entspricht den Regeln der neuen deutschen Rechtschreibung.

Die Verwertung der Texte und Bilder, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des Verlages urheberrechtswidrig und strafbar. Dies gilt auch für Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung und für die Verarbeitung mit elektronischen Systemen. Alle Angaben im Buch sind von den Autoren sorgfältig geprüft. Autor und Verlag können jedoch keine Gewähr für eventuelle, z. B. durch Druckfehler entstandene, Fehlinformation übernehmen.

Anschrift der Autoren:

Dr. Sabine Meyer-Rogge und Dr. Kai Meyer-Rogge

info@meyer-rogge.com

 QUINTESSENZ VERLAG

Quintessenz Verlags-GmbH

Postfach 42 04 52, D-12064 Berlin

Ifenpfad 2-4, D-12107 Berlin

Unveränderter Nachdruck der ursprünglich in der KVM – Der Medizinverlag Dr. Kolster

Verlags-GmbH, ein Unternehmen der Quintessenz-Verlagsgruppe, erschienenen 3.,

korrigierten und erweiterten Auflage (ISBN: 978-3-86867-274-9)

© Quintessenz-Verlagsgruppe 2015

Fachlektorat Medizin: Dr. Bettina Schlindwein, Gießen

Redaktion: Sylvia Krause, Marburg

Layout und Satz: Sylvia Krause, Marburg

Grafiken: Dr. Sabine Meyer-Rogge

Postergestaltung: Dr. Günter Körtner, Marburg

Covergestaltung: Nina Küchler, Berlin

Gesamtherstellung: Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin

Druck: Grafisches Institut Kroatien, Zagreb

ISBN: 978-3-86867-284-8

Printed in Croatia

Inhaltsverzeichnis



Chemische Grundlagen	6
Bausteine und Strukturelemente	
Kohlenhydrate	12
Aminosäuren	16
Lipide	20
Nukleotide	24
Glukose- und Glykogenstoffwechsel	28
Citratzyklus	52
Oxidative Phosphorylierung	66
Aminosäurestoffwechsel	80
Lipidstoffwechsel	98
Cholesterinstoffwechsel/Membranlipide	118
Purin- und Pyrimidinstoffwechsel	134
Hämstoffwechsel	146
Exkurse	156

Anhang

Abkürzungen	178
Quellen	180
Index	181

Zeichenerklärung:

→ Reaktionspfeil

→ Stelle, an der der Stoffwechselprozess reguliert wird

→ Transportpfeil

-//→ Stelle, an der die Reaktion unterbrochen ist

---→ Verknüpfung im Stoffwechsel

→ Summenreaktionspfeil

↑ Stoffmenge nimmt zu/verstärkte Reaktion

↓ Stoffmenge nimmt ab/verminderte Reaktion

+ATP ATP wird gebildet

-ATP ATP wird verbraucht

-P_a rote Reaktionsteilnehmer = Umsetzung von Phosphaten und Reduktionsäquivalenten

→ Verzweigung, die die Verbindung eines Stoffes zu verschiedenen Stoffwechselabschnitten darstellt. Dabei kann der Pfeil sowohl für eine Verbindung stehen, bei der der ein Stoff beide Stoffwechselwege beschreiten kann, als auch für eine Verbindung, in der Stoff nur von einem Stoffwechsel in den anderen übergeht (one-way).

Vorwort



Als Fortsetzung der Pocket Facts-Reihe greift »Pocket Facts Biochemie« das bewährte Landkartenkonzept auf und stellt die Stoffwechselwege in einem übersichtlichen Verzweigungssystem dar. Von Anfang an waren wir von der Idee begeistert die Biochemie in einem Landkartenprinzip darzustellen. Dennoch war es schwierig den kompletten Lehrstoff in einem Taschenbuch unterzubringen. Das hat uns die ein oder andere schlaflose Nacht gekostet, aber wir hoffen für unsere Leser, dass es uns gelungen ist.

Die Verdichtung der Biochemie auf den handlichen Umfang dieses Buches bedeutet, dass das eine oder andere Lehrbuch zur Unterstützung noch im Regal stehen sollte. »Pocket Facts Biochemie« entfaltet seinen eigentlichen Nutzen erst, nachdem die Grundlagen der Biochemie bereits durchgearbeitet wurden. Dann aber wird dieses Buch eine echte Hilfe sein, da seine Gliederung und die Vernetzungsstruktur das Einprägen des Stoffes unterstützen.

Die Hauptstoffwechselwege sind auf zwei deckungsgleichen Seiten mit unterschiedlichem Informationsgehalt dargestellt. Dieser kann durch einfaches Umschlagen der Seiten mal in die eine und mal in die andere Richtung gelernt werden. Am Seitenrand befinden sich Verknüpfungspfeile zu den einzelnen Stoffwechselwegen. Dabei haben wir uns auf das Wesentliche beschränkt, um nicht den Blick für den Gesamtzusammenhang zu verlieren.

An dieser Stelle sei dem KVM-Team gedankt, allen voran Dr. Bernard Kolster, von dem die Idee zu diesem Buch ausging. Im Laufe der letzten Monate ist uns wieder einmal klar geworden, wie komplex die Biochemie ist. Am Ende konnten wir aber feststellen, dass durch die gewählte Darstellungsform der Gesamtzusammenhang der Biochemie erkannt und somit das Interesse an diesem Fach geweckt wird. Wir wünschen unseren Lesern die gleiche Erfahrung.

Sabine und Kai Meyer-Rogge
Laubach, im März 2005

- 6



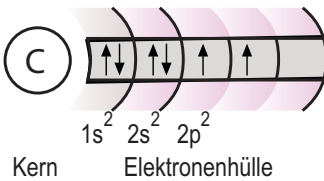
Periodensystem

	Hauptgruppen							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	H							He
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra						

P
e
r
i
o
d
e

Elektronegativität steigend →

Atomaufbau



Oxidationszahl

Elektronenanordnung

+ IV

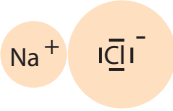
$1s^2$ = [He]

0

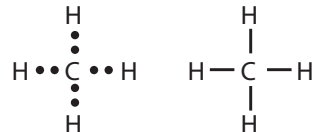
$1s^2 2s^2 2p^6$ = [Ne]

- IV

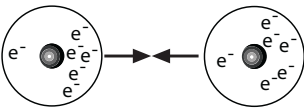
Chemische Bindungen



ionische Bindung



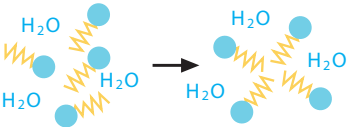
kovalente Bindung



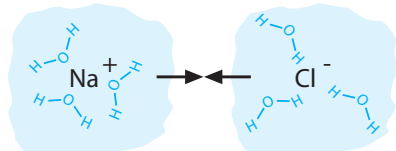
van-der-Waals-Wechselwirkung



Wasserstoffbrückenbindung



hydrophobe Wechselwirkung



ionische Wechselwirkung



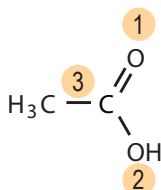
- Der Vorgang der **Oxidation** ist immer mit einer **Reduktion** verknüpft. Der oxidierte Stoff gibt Elektronen ab (Oxidationszahl steigt), welche von einem Reaktionspartner aufgenommen werden. Dieser wird reduziert (Oxidationszahl sinkt). Dies bezeichnet man als **Redoxreaktion**. Allgemein kann man Oxidation definieren als Abgabe von Elektronen, Aufnahme eines elektronegativen Elements (z.B. Sauerstoff) und Abgabe von Wasserstoff. Um in organischen Verbindungen eine **Oxidationszahl** zu bestimmen, wird ein Atom als Ausgangspunkt gewählt und die Oxidationszahlen aller damit verbundenen Elemente werden aufsummiert. Der umgekehrte Wert ist die Oxidationszahl des Ausgangsatoms in dieser Verbindung. Bei diesem Abzählen werden Bindungen zum gleichen Element nicht gewertet. Für diese Methode ist es hilfreich, die häufigsten Oxidationszahlen in der Biochemie zu kennen (→ Tabelle S. 9).
- Die Vielfalt der organischen Chemie beginnt mit ihrer einfachsten Substanzklasse, den reinen Kohlenwasserstoffen. Die **Alkane**, **Alkene** und **Alkine** enthalten ein-, zwei- und dreifach gebundenen Kohlenstoff. Der nächste Schritt ist die Einführung einer funktionellen Gruppe wie z. B. im Alkohol. Je nach Position der funktionellen Gruppe unterscheidet man primäre, sekundäre und tertiäre **Alkohole**. Primäre Alkohole ergeben bei einer Oxidation **Aldehyde** (Alkanale) und sekundäre Alkohole **Ketone** (Alkanone). Ein Aldehyd lässt sich noch weiter zur **Carbonsäure** oxidieren, die wiederum mehrere Variationen erlaubt. So reagiert eine Carbonsäure mit einem Alkohol zum **Carbonsäureester**, mit einem Amin zum **Säureamid** oder mit einer weiteren Säure unter Abspaltung von Wasser zum **Säureanhydrid**. Am Ende dieser Oxidationsreihe steht das **Kohlendioxid** (Oxidationszahl C = + IV).
- Bei gleicher Summenformel kann die Anordnung der Atome in einem Molekül unterschiedlich sein. Der Chemiker bezeichnet diese Situation als **Isomerie**. Man unterscheidet **Konstitutionsisomerie** und **Stereoisomerie**. Im ersten Fall sind Atome und Bindungen innerhalb eines Moleküls unterschiedlich angeordnet (z. B. Butan/Isobutan). Im zweiten Fall ändert sich das Grundgerüst des Moleküls nicht, aber die relative Anordnung der Atome zueinander.



Redoxreaktionen

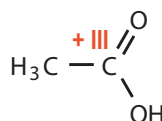


Ermittlung der formalen Oxidationszahl



- 1 Sauerstoff -II
- 2 Hydroxylgruppe -I
- 3 C-C-Bindung wird nicht gezählt

Ergebnis:

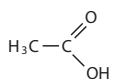
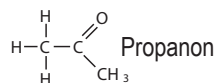
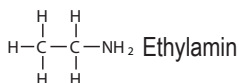
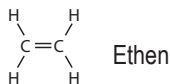
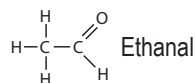
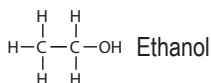
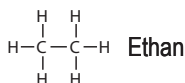


Häufige Oxidationszahlen

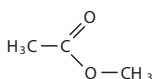
H	+ I	H ₂ O
C	- IV, + IV	CH ₄ CO ₂
N	- III	-NH ₂

P	+ V	-OPO ₃ ³⁻
O	- II	-OH
S	+ VI	H ₂ SO ₄

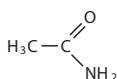
Einfache Kohlenstoffverbindungen



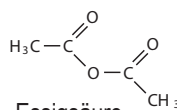
Essigsäure



Essigsäure-methylester



Essigsäure-amid



Essigsäure-anhydrid



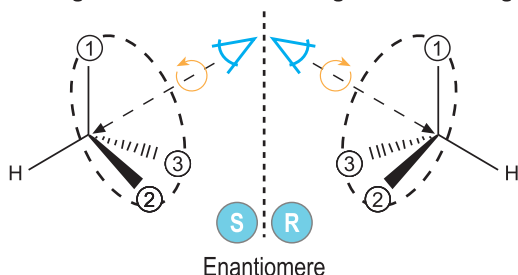
Kohlen-dioxid



- Unter Stereoisomerie fallen cis/trans-Isomerie, Enantiomerie (1 stereogenes Zentrum pro Molekül), Diastereomerie (2 stereogene Zentren pro Molekül) und Konformationsisomerie. Um für Stereoisomere einen Modus zur eindeutigen Beschreibung zu finden, wurde von Cahn, Ingold und Prelog die **R/S-Nomenklatur** entwickelt (→ Abbildung S. 11).
- Eine chemische Reaktion in wässriger Lösung besteht immer aus einer **Hinreaktion** und einer **Rückreaktion**. Sind beide Reaktionsgeschwindigkeiten gleich groß, befindet sich die Gesamtreaktion im **chemischen Gleichgewicht**. Dieser Zusammenhang wird durch das Massenwirkungsgesetz beschrieben. Aus dem Verhältnis der Konzentrationen von Produkten und Edukten errechnet sich die Gleichgewichtskonstante K .
- Der **pH-Wert** ist als der negative dekadische Logarithmus der H_3O^+ -Ionen-Konzentration definiert. Durch diese Umrechnung ergeben sich leichter handhabbare Zahlenwerte. Um von diesem Ansatz zu der üblichen pH-Skala von 0 (stark sauer) bis 14 (stark alkalisch) zu kommen, muss die Massenwirkungsgleichung auf die Dissoziation des Wassers angewendet werden. Da ein Liter Wasser 55,5 mol H_2O enthält und dieser Wert in verdünnten wässrigen Lösungen nahezu konstant ist, ergibt sich mit der Gleichgewichtskonstante des Wassers ($K = 1,8 \cdot 10^{-16}$) unter Anwendung des negativen, dekadischen Logarithmus die pH-Skala. Sie besagt außerdem, dass das Produkt aus Hydroxonium-Ionen (H_3O^+) und Hydroxylionen (OH^-) immer konstant 14 ist.
- So wie der pH-Wert die Dissoziation des Wassers beschreibt, ist es möglich, jede andere Säure oder Base in ähnlicher Weise zu beschreiben. Aus dem Ansatz der Gleichgewichtsreaktion ergeben sich hieraus der **pK_S-Wert** für Säuren bzw. der **pK_B-Wert** für Basen. Damit werden Säuren bzw. Basen in wässriger Lösung nach ihrer Stärke (pK-Wert) eingeteilt. So lässt sich ein Bereich der schwachen Säuren mit $\text{pK}_\text{S} > 5$ definieren, der insbesondere für die Betrachtung von Puffersystemen wichtig ist. Puffersysteme bestehen aus einer schwachen Säure und ihrer konjugierten Base (z. B. $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$, $\text{pK}_\text{S} = 7,2$). Sie sind in der Lage den pH-Wert einer wässrigen Lösung innerhalb gewisser Grenzen stabil zu halten. Diese Eigenschaft wird durch die **Henderson-Hasselbalch-Gleichung** beschrieben. Aus ihr folgt auch, dass die größte Pufferkapazität immer dann vorliegt, wenn der pH-Wert der Lösung dem pK_S -Wert der Säure entspricht.



Konfiguration nach Cahn, Ingold und Prelog (R/S-Nomenklatur)



- A) Priorität
1. Stellung im PSE
2. Oxidationsstufen
- B) niedrigster Substituent nach hinten (hier H)
- C) Uhrzeigersinn = R
Gegenuhrzeigersinn = S

Chemische Reaktion - Chemisches Gleichgewicht

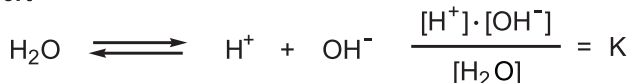


Massenwirkungsgesetz

$$\frac{\text{Konzentration der Produkte}}{\text{Konzentration der Edukte}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{Cl}^-]}{[\text{HCl}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]} = K$$

K = Gleichgewichtskonstante

pH-Wert



$$[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = K \cdot [\text{H}_2\text{O}] = K_w = 10^{-14}$$

$-\lg()$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

Puffersysteme - Berechnung



$$\text{pH} = \text{pK}_s + \lg \frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}$$

Henderson-Hasselbalch-Gleichung

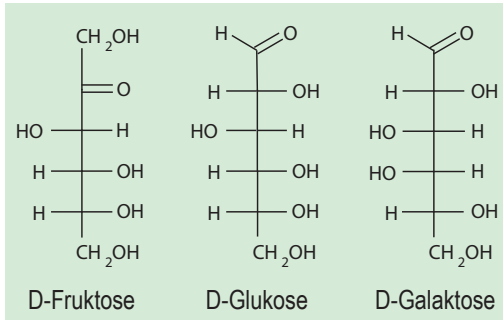
$$\text{pH} = \text{pK}_s + \lg \frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = 11$$

maximale Pufferkapazität

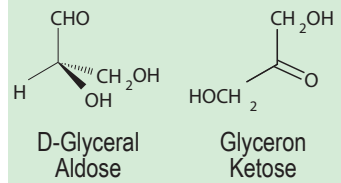
- Kohlenhydrate oder Zucker sind chemisch gesehen Polyalkohole mit der funktionellen Gruppe eines **Aldehyds** oder **Ketons**. Deswegen werden die Zucker in **Aldosen** und **Ketosen** eingeteilt. Ab einer Kettenlänge von drei Kohlenstoffatomen kann man von einem Zucker sprechen, der der allgemeinen Summenformel $C_n(H_2O)_n$ für Kohlenhydrate entspricht.
- Zucker sind **chiral**. Die Voraussetzung für diese Eigenschaft ist ein asymmetrisches Kohlenstoffatom (**Stereozentrum**). So wird ein Kohlenstoffatom mit vier verschiedenen Substituenten bezeichnet (\rightarrow S. 10). Ausnahmen sind das Glyceron und meso-Verbindungen. Sie haben eine Spiegelebene im Molekül und sind deswegen nicht chiral.
- Verhalten sich zwei Moleküle wie Bild und Spiegelbild zueinander (ein stereogenes Zentrum), dreht jedes dieser **Enantiomere** polarisiertes Licht um den gleichen Betrag, nur in die jeweils andere Richtung. Das Molekül wird als linksdrehend (-) bzw. rechtsdrehend (+) bezeichnet. Gibt es zwei oder mehr Stereozentren in einem Molekül entstehen **Diastereomere**. Sie haben die gleiche Summenformel, sind chiral aber nicht spiegelbildlich zueinander.
- Diastereomere besitzen unterschiedliche physikalische Eigenschaften (Schmelzpunkt, Siedepunkt). Bei einem Enantiomerenpaar ist das nicht der Fall. Hier sind die physikalischen Eigenschaften gleich, obwohl unterschiedliche biologische Wirkungen (Pharmaka) vorliegen können.
- Reagiert eine OH-Gruppe mit dem Carbonyl-Kohlenstoff des Zuckers zu einem Ring, gibt es ein Gleichgewicht zwischen den zwei möglichen Formen. Der Vorgang wird als **Mutarotation** bezeichnet. Die beiden **Anomere** werden in der Formel durch ein vorangestelltes α bzw. β unterschieden.
- Um die Vielzahl der Zuckerisomere zu ordnen, hat der deutsche Chemiker Emil Fischer die **DL-Nomenklatur** sowie eine besondere Schreibweise entwickelt – die **Fischer-Projektion**. Sie wird außer für Zucker auch für Aminosäuren verwendet. Grundsätzlich sind die D-Zucker und die L-Aminosäuren für die Biochemie von großer Bedeutung.



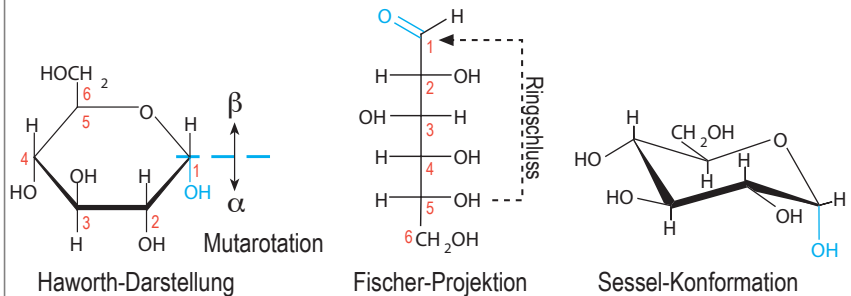
Die wichtigsten Zucker



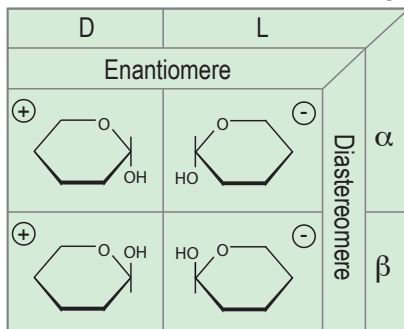
Die kleinsten Zucker



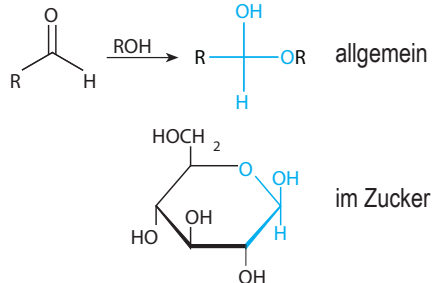
Darstellungsformen für Kohlenhydrate am Beispiel von α -(+)-D-Glukopyranose



Stereochemische Zusammenhänge



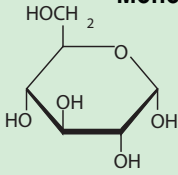
Halbacetalform



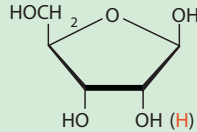
- Die wichtigsten Hexosen (6er-Zucker) sind **Glukose**, **Fruktose** und **Galaktose**. Sie sind Energielieferanten und Synthesebausteine. Die Pentosen (5er-Zucker) **Ribose** und **Desoxyribose** sind als Bausteine der genetischen Speicher RNA und DNA von Bedeutung. Unter physiologischen Bedingungen liegt die Glukose als Ring vor. Dies gilt für alle Zucker mit mindestens fünf Kohlenstoffatomen. Am stabilsten sind Fünfringe (Furanosen) und Sechsringe (Pyranosen). Glukose liegt fast ausschließlich als Pyranose vor, Fruktose hingegen als Furanose. Durch die Ringbildung entstehen bei Aldosen die Halbacetale.
- Werden Glukose und Fruktose reduziert, entsteht aus beiden der Zuckeralkohol **Sorbitol**. Eine Oxidation an C-2 führt zum Glukonolakton bzw. nach hydrolytischer Spaltung des Ringes zur **Glukonsäure**. Eine zweite Möglichkeit ist die Oxidation an C-6 zur **Glukuronsäure**.
- Die wichtigsten Disaccharide **Laktose**, **Maltose**, **Isomaltose** und **Saccharose** sind aus den Zuckern Glukose, Galaktose und Fruktose aufgebaut. Sie machen den Hauptanteil in unserer Nahrung aus und sind die Bausteine der Kohlenhydratspeicher. Die polymeren **Homoglykane Stärke** und **Glykogen** bestehen aus Maltose- und Isomaltose-Einheiten. Sie enthalten somit ausschließlich α -Glukose.
- **Heteroglykane** enthalten unterschiedliche Zucker und Zuckerderivate, die an Proteinen oder Lipiden gebunden sein können. Man unterscheidet je nach Zusammensetzung Proteoglykane (mehr Protein als Zucker), Glykoproteine (mehr Zucker als Protein) und Glykolipide (mehr Zucker als Lipid; → S. 128).
- **Proteoglykane** bestehen aus Glykosaminoglykanen wie z. B. Hyaluronsäure. Sie sind in der extrazellulären Matrix enthalten und besitzen ein hohes Wasserbindungsvermögen. **Glykoproteine** charakterisieren als Bestandteil biologischer Membrane die unterschiedlichen Blutgruppen auf der Oberfläche der Zelle.



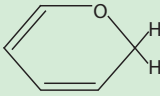
Monosaccharide



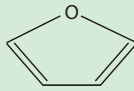
α -Glukose



(2-Desoxy)-Ribose

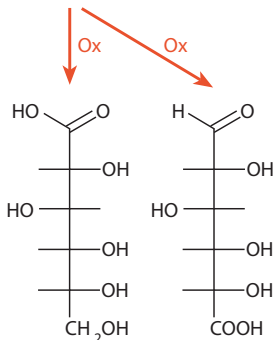
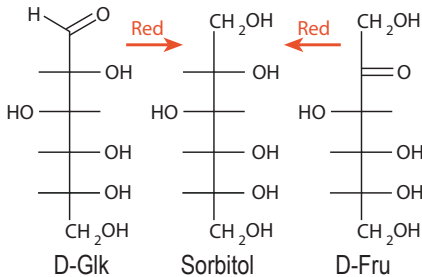


2H-Pyran



Furan

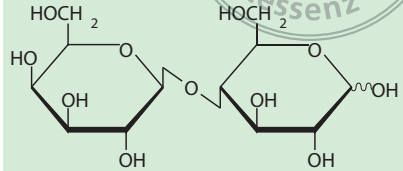
Redoxreaktionen



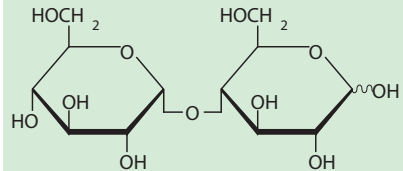
Glukonsäure Glukuronsäure

Glukose	Glk
Galaktose	Gal
Fructose	Fru

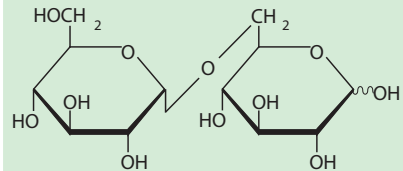
Disaccharide



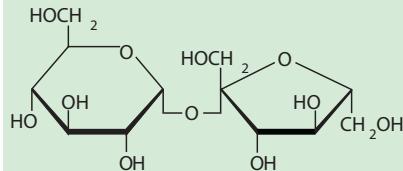
Laktose β -Gal(1-4)Glk



Maltose α -Glk(1-4)Glk



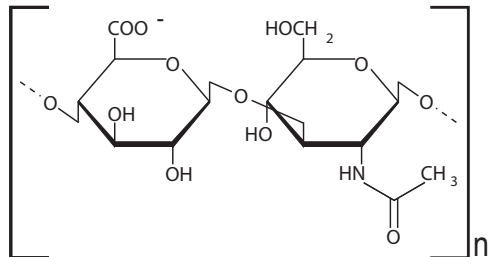
Isomaltose α -Glk(1-6)Glk



Saccharose α -Glk(1-2) β -Fru

Polysaccharid-Heteroglykan

Beispiel: Hyaluronsäure



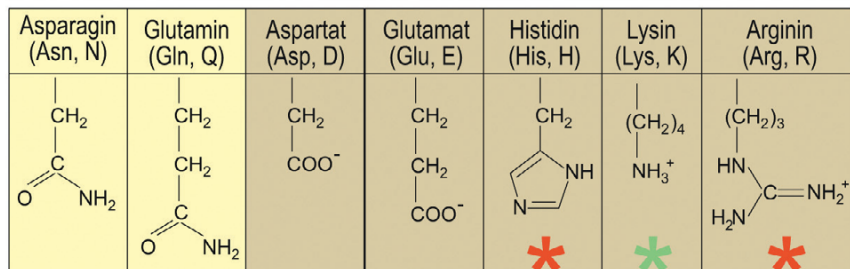
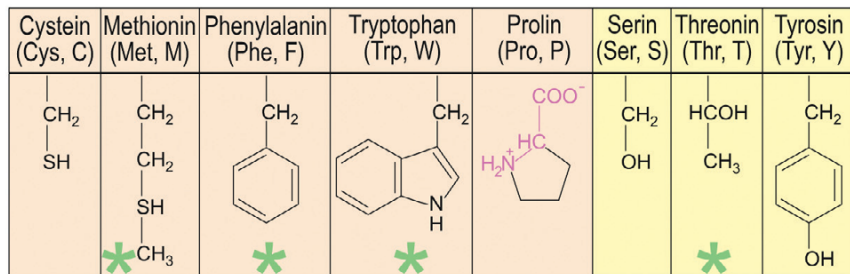
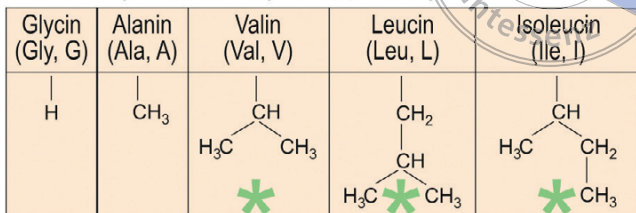


- Die genetische Information eines Organismus ist in der DNA gespeichert. Zur Umsetzung in physiologische Signale sind in den meisten Fällen Proteine notwendig (auch RNA kann katalytisch aktiv sein, Ribozyme). Das Alphabet der Proteine besteht aus 20 Aminosäuren, den **proteinogenen Aminosäuren**. Wie die Kohlenhydrate sind auch die Aminosäuren chiral (einzige Ausnahme: Glycin). Sie besitzen in der Fischerprojektion die **L-Konfiguration**.
- Eine Aminosäure besteht aus einer **Carboxylgruppe**, einer **Aminogruppe** und einer Seitenkette R, die über das α -Kohlenstoffatom verknüpft sind (Ausnahme: Prolin, = sek. Amin). Sie unterscheiden sich nur in der Struktur der Seitenkette R. Es gibt Aminosäuren mit unpolaren, polaren und geladenen Seitenketten.
- Jede Aminosäure hat einen spezifischen **isoelektrischen Punkt**. Er ist auch für die Analytik der Proteine eine wichtige Kenngröße. Beim Auftrennen eines Proteingemisches im Elektrophorese-Gel wandern die Proteine je nach eingestelltem Puffer-pH-Wert zur Anode oder zur Kathode.
- Es gibt auch Aminosäuren, die nicht Bestandteil des genetischen Codes sind. Diese **nichtproteinogenen Aminosäuren** werden vom Körper aus proteinogenen Aminosäuren hergestellt. Obwohl sie nicht in Proteine eingebaut werden, üben sie spezielle Funktionen im Organismus aus. Beispielsweise werden Ornithin und Citrullin aus Arginin hergestellt und sind an der Harnstoffsynthese beteiligt.
- Im Stoffwechsel können Aminosäuren ihre funktionellen Gruppen abspalten oder auf andere Verbindungen übertragen. Durch **Transaminierung**, **Desaminierung** und **Decarboxylierung** können Defizite in der Aminosäureversorgung ausgeglichen und wichtige Stoffwechsel-Intermediate gebildet werden.



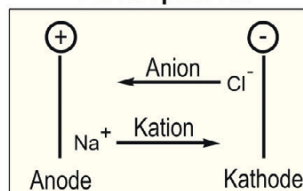
Aminosäuren sind Ampholyte. In wässriger Lösung können sie in verschiedenen Ladungszuständen vorkommen. Je nach pH-Wert kann sowohl die Aminogruppe als auch die Carboxylgruppe protoniert bzw. deprotoniert vorliegen. Die Aminosäuren besitzen dadurch eine Pufferfunktion, das heißt sie können den pH-Wert einer Lösung stabilisieren.

Die Reste (Ausnahme Pro) der 20 proteinogenen Aminosäuren

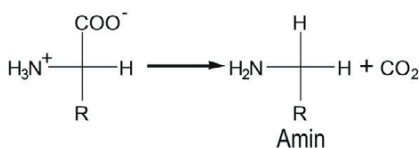


Elektrophorese

- | Ornithin | Citrullin |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\begin{array}{c} \\ (\text{CH}_2)_3 \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$ | $\begin{array}{c} \\ (\text{CH}_2)_3 \\ \\ \text{HN} \\ \diagdown \\ \text{H}_2\text{N} \quad \text{C}=\text{O} \end{array}$ |

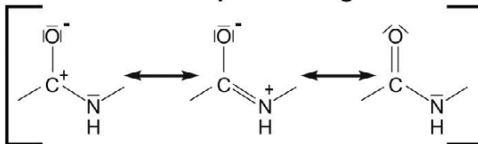


Decarboxylierung

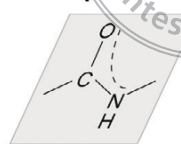


- Die wichtigste Reaktion der Aminosäuren ist die Kondensation zu Polymeren im Rahmen der Translation am Ribosom. Hierbei entstehen Proteine. Die Carboxylgruppe der ersten Aminosäure reagiert mit der Aminogruppe der zweiten unter Bildung einer Peptidbindung. Daraus wird klar, dass ein Protein immer ein NH_2 -Ende und ein COOH -Ende hat. Die **Peptidbindung** selbst ist planar, da die Elektronen über das Strukturelement CO-NH-R verteilt sind. Der Chemiker bezeichnet diesen Zustand als **Mesomerie**.
- Aus dieser sequenziellen Anordnung der Aminosäuren, der **Primärstruktur**, entstehen die dreidimensionalen Strukturelemente eines Proteins. Die Aminosäuren können sich entweder entlang eines Zylinders zu einer α -**Helix** winden oder in einer Ebene durch gegenseitige Anlagerung zu β -**Faltblättern** zusammenfinden. Diese beiden Sekundärstrukturelemente werden zum funktionsfähigen Protein kombiniert und bilden die **Tertiärstruktur**. Die höchste Organisationsebene der Proteine wird als **Quartärstruktur** bezeichnet. Hierunter fallen Anordnungen mit mehreren Untereinheiten und Multienzymkomplexe. Außer durch **Wasserstoffbrückenbindung** erfährt ein Protein zusätzliche Stabilisierung durch **Disulfidbrücken** und **hydrophobe Wechselwirkungen**.
- Im Körper üben Proteine unterschiedliche Funktionen aus. Die bekannteste ist die katalytische Funktion als **Enzym**. Sie sind aber auch **Baumaterial** des Gewebes in Form von länglichen Polymeren wie Kollagen. Als **Poren** in den Membranen können sie hydrophile Moleküle durch eine hydrophobe Umgebung schleusen. Proteine können auch nach ihrer Synthese noch modifiziert werden, zum Beispiel durch Anhängen einer Zuckerkette. Diese **Glykoproteine** präsentieren sich als Antennen auf der Außenseite der Zellmembran und bilden die Grundlage unseres Immunsystems.
- Peptide spielen als **Kommunikationssystem** eine große Rolle. Peptidhormone wie z. B. Insulin werden gezielt ausgeschüttet, um über die Bindung an Rezeptoren eine Stoffwechselreaktion auszulösen.

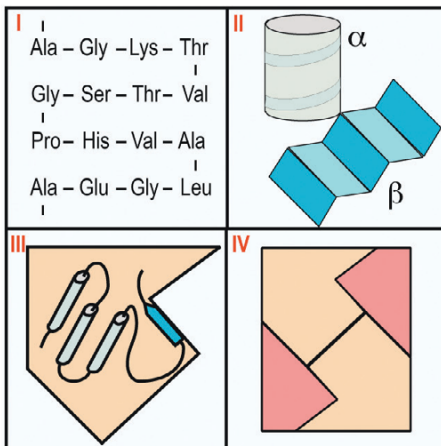
Mesomerie in der Peptidbindung



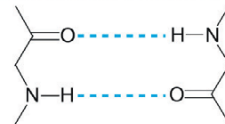
Peptidbindung



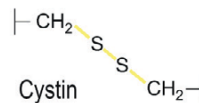
Proteinstruktur



Wasserstoffbrückenbindungen



Disulfidbrücken

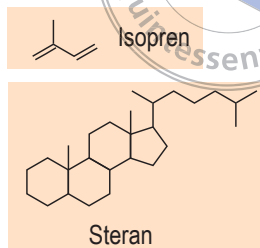
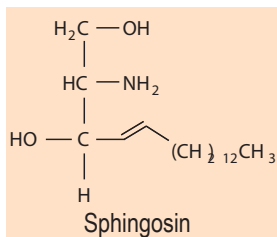
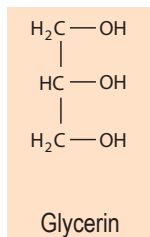


- I** Primärstruktur
- II** Sekundärstruktur
- III** Tertiärstruktur
- IV** Quartärstruktur

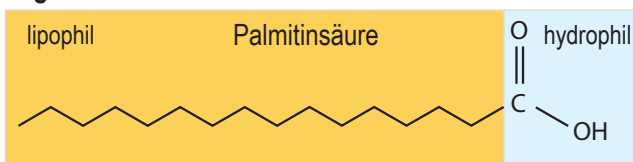
Proteinfunktion

<p>Struktur, z. B. Kollagen</p>	<p>Transport, Membranproteine</p>
<p>Erkennen, Glykoproteine</p>	<p>Signal, z. B. Insulin</p>

- Die **Lipide** werden als Energiespeicher, Baustoffe von Membranen und zur Wärmeisolation in Form von Fettgewebe eingesetzt. Daneben haben sie noch spezielle Funktionen als Hormone, Vitamine und Gallensäuren. Sie können in drei Substanzklassen mit den Grundgerüsten **Glycerin**, **Sphingosin** und **Isopren** unterteilt werden. Gemeinsam ist ihnen allen das Acetyl-CoA als Ausgangssubstanz ihrer Biosynthese.
- Die Strukturvielfalt der Lipide wird durch die Kombination mit **Fettsäuren**, **Phosphorsäure** und **Zuckern** erreicht. Hierbei nehmen die Fettsäuren eine besondere Stellung ein. Sie können als freie Carbonsäure oder verestert mit einem der Grundgerüste vorliegen. Je nach Länge des Kohlenwasserstoffanteils ist ihr lipophiler Charakter mehr oder weniger stark ausgeprägt. Sobald Doppelbindungen in einer Fettsäure enthalten sind, spricht man von einer **ungesättigten Fettsäure**. In allen natürlich vorkommenden, ungesättigten Fettsäuren liegen die Doppelbindungen nicht-konjugiert in cis-Anordnung vor. Für die Verwertung in unserem Organismus stehen zwei Wege zur Verfügung: **Geradzahlige** Fettsäuren werden zu Acetyl-CoA abgebaut, **ungeradzahlige** Fettsäuren werden über Propionyl-CoA zu Succinyl-CoA umgesetzt.
- Unter den Fettsäuren sind **Linolsäure** und **Linolensäure** essenziell und müssen regelmäßig mit der Nahrung zugeführt werden. Unser Organismus ist nicht in der Lage, diese zwei- und dreifach ungesättigten Fettsäuren selbst herzustellen. Sie sind in den Zellmembranen enthalten und Ausgangsverbindungen für die Synthese der **Arachidonsäure**, auf der wiederum die Eikosanoide basieren (Mediatoren).
- Die herausragendste Eigenschaft der Lipide ist ihr Löslichkeitsverhalten. Manche lösen sich nur in unpolaren Flüssigkeiten, sie sind **lipophil** (fettliebend). Andere besitzen auch einen polaren Bereich und lösen sich zusätzlich in wässriger Umgebung. Sie sind **amphiphil** (lieben beides, polar und unpolar). Daraus resultiert die Fähigkeit, in Lösung spezielle Strukturen auszubilden. An Grenzflächen zu polaren Flüssigkeiten bilden sich **Monolipidschichten** bzw. im polarem Mileu sogenannte **Mizellen**. **Lipid-Doppelschichten** findet man in den Zellmembranen und in Liposomen. Sie besitzen einen inneren, hydrophilen Bereich, der durch eine lipophile Hülle vom übrigen Bereich abgegrenzt ist.



Gesättigte Fettsäure



Ungesättigte Fettsäuren



Linolsäure



Linolensäure

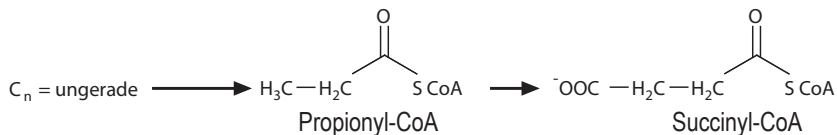
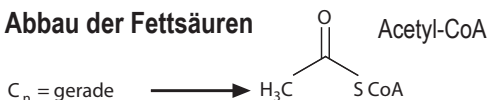


Arachidonsäure

Membran

Eikosanoide

Abbau der Fettsäuren



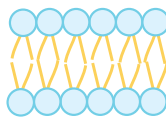
Anordnung von amphiphilen Lipiden an Grenzflächen



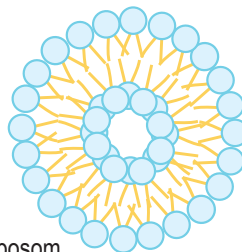
Monolipidschicht



Mizelle



Doppelschicht



Liposom

- Durch die Veresterung mit Fettsäuren werden aus der Grundstruktur Glycerin die **Glycerolipide** gebildet. Sie gliedern sich nochmals in die rein lipophilen **Triacylglycerine** und die amphiphilen **Glycerophosphatide**. Erstere sind ausschließlich mit Fettsäuren verestert und bilden das Depotfett, den wichtigsten Energiespeicher für unseren Organismus. Letztere besitzen anstelle einer Fettsäure einen hydrophilen Phosphatrest. Sie sind wichtige Bestandteile der Zellmembranen und können über das Phosphat weiter modifiziert werden, zum Beispiel mit Cholin zum Phosphatidyl-Cholin (Lecithin).
- Die zweite Grundstruktur bildet der Aminoalkohol **Sphingosin**. Er liegt immer derivatisiert als **Ceramid** vor. Durch Anhängen eines Phosphatrestes entstehen **Sphingosinphosphatide**. Das analog zum Lecithin aufgebaute Sphingomyelin ist in den Myelinscheiden enthalten. Treten an die Stelle des Phosphats Zuckermoleküle, entstehen die sogenannten **Glykolipide**. Sie werden in **Cerebroside** und **Ganglioside** unterteilt. Cerebroside haben ein Monosaccharid, meist Galaktose, als Zuckerkomponente. Man findet sie, wie der Name schon vermuten lässt, in den Zellmembranen des zentralen Nervensystems. Ganglioside enthalten Oligosaccharide aus drei bis sechs Zuckern und N-Acetyl-Neuraminsäure, kurz NANA. Sie dienen unter anderem zur Zellerkennung und zum Aufbau der Membranen von Nervenzellen.
- Die dritte Substanzklasse setzt sich aus Isopren-Einheiten zusammen. Man unterscheidet kettenförmige Verbindungen, sogenannte **Terpene**, wie die lipophilen Vitamine A, E und K, von den **Steranen**. Diese bestehen aus sechs Isopren-Einheiten, die ein polyzyklisches Ringsystem bilden. Das bekannteste Steroid ist das Cholesterin.

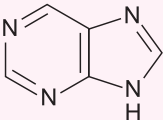
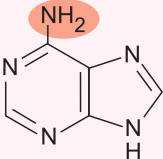
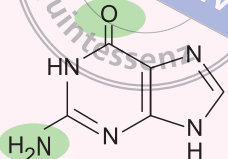
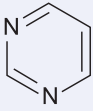
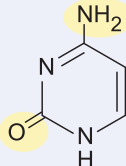
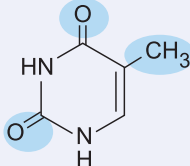
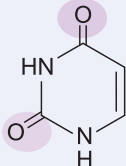
- Die Derivate des **Purins** und des **Pyrimidins** sind die Grundlage für die genetische Informationsspeicherung. Neben dieser Schlüsselrolle dienen sie auch als Energiespeicher, Cofaktoren und Signalüberträger. Adenin, Guanin, Thymin und Cytosin bilden die so genannten **Kernbasen**, die in den **Nukleosiden** N-glykosidisch an ein Zuckermolekül gebunden sind. Aus ihnen entstehen durch Anhängen eines oder mehrerer Phosphate die **Nukleotide**. Die Nukleinsäuren **DNA** und **RNA** setzen sich aus Nukleotidmonophosphaten zusammen. Als Zuckerkomponente kommt in DNA ausschließlich **Desoxyribose** und in RNA ausschließlich **Ribose** vor.
- In den Phosphatgruppen der Nukleotide wird die Stoffwechselenergie gespeichert und kann so kontrolliert weitergegeben werden. Prominenter Vertreter ist das Adenosin-5'-triphosphat, kurz **ATP**. Seine Phosphatgruppen sind am fünften Kohlenstoff der Ribose angehängt und über energiereiche Säureanhydridbindungen verknüpft. Die Hydrolyse des ersten Phosphats liefert $-30,5 \text{ kJ/mol}$ (ΔG^0), die Reaktion verläuft freiwillig.
- **Nukleoside** nehmen auch Funktionen als extrazelluläre Botenstoffe wahr. So wirkt zum Beispiel Adenosin auf viele Gewebe durchblutungsfördernd und relaxierend auf die Gefäßmuskulatur. **Nukleotide** sind außer im Energiestoffwechsel auch als „second messenger“ wichtig. Allen voran das zyklische Adenosinmonophosphat (cAMP), das sich aus ATP durch intramolekulare Veresterung bildet.

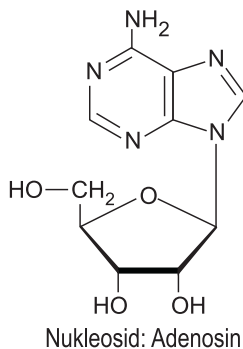
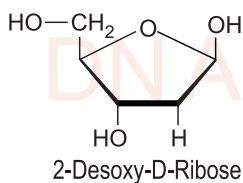
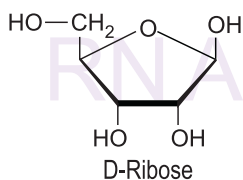


Die Energie aus der ATP-Hydrolyse fließt größtenteils in die Aufrechterhaltung der Ionengradienten an der Zellmembran. Hier schleusen, unter ATP-Verbrauch, spezielle Proteine Ionen durch die Membran hindurch.

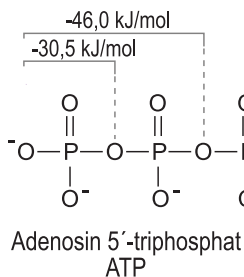


Copyright by Quintessenz
all rights reserved

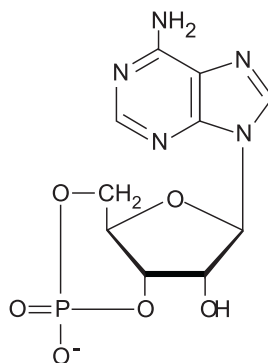
Purine				
				
Base	Purin	Adenin	Guanin	
Nukleosid		Adenosin	Guanosin	
Pyrimidine				
				
Base	Pyrimidin	Cytosin	Thymin	Uracil
Nukleosid		Cytidin	Thyminid	Uridin



Anhydrid



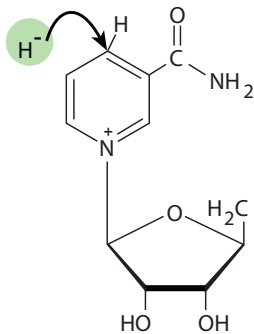
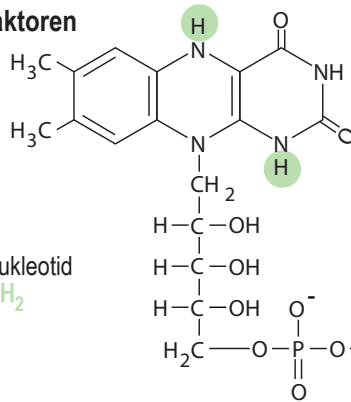
second messenger cAMP
cyclo 3',5'-Adenosinmonophosphat



- Nukleotide sind auch Bausteine für verschiedene **Coenzyme**. Beispielsweise bildet Adeninnukleotid gemeinsam mit Riboflavin (Vitamin B₂) FAD und gemeinsam mit Nicotinsäure NAD⁺ bzw. NADP⁺. Neben ATP sind noch GTP und UTP für unseren Organismus von Bedeutung. GTP ist an intrazellulären Transportvorgängen und als Cofaktor in der Signaltransduktion beteiligt. UTP dient vor allem der Herstellung aktivierter **UDP-Zucker** (UDP = Uridindiphosphat).
- Die **Doppelhelix**-Struktur der DNA entsteht durch Paarung der Basen Adenin mit Thymin und Guanin mit Cytosin. Entsprechende Wasserstoffbrückenbindungen begünstigen diese Kombinationen. Entlang der beiden Phosphodiesterstränge stapeln sich die Basenpaare zur Helix. Dies bewirkt eine zusätzliche Stabilisierung entlang der Helixachse durch hydrophobe Wechselwirkungen unter den gestapelten Basenpaaren. Die beiden Einzelstränge verlaufen **antiparallel**. Das heißt, bezogen auf die Positionen der OH-Gruppen in der Ribose, wächst ein Strang von 3' nach 5' und der andere von 5' nach 3'.
- In Eukaryotenzellen befindet sich der größte Teil der DNA im Zellkern. Dort wird sie als Chromatin in kondensierter Form mit Proteinen verpackt gelagert. Außerhalb des Zellkerns gibt es nur noch in den Mitochondrien etwas DNA.
- RNA kommt sowohl im Zellkern, als auch im Zytoplasma vor. In ihr ist die Kernbase Thymin generell durch Uracil ersetzt. In Form der **messenger-RNA** (mRNA) hilft die RNA bei der Umsetzung der genetischen Information in physiologische Signale. Auch die Ribonukleotide der RNA können sich mit ihren komplementären Basen zusammenlagern. Im Gegensatz zur DNA ist die Struktur eines RNA-Moleküls aber nicht so klar geordnet. Gepaarte Bereiche werden immer wieder durch ungepaarte Ribonukleotide unterbrochen. Dennoch bilden sich stabile Raumstrukturen aus, wie beispielsweise **transfer-RNAs** (tRNA) und **ribosomale RNAs** (rRNA).

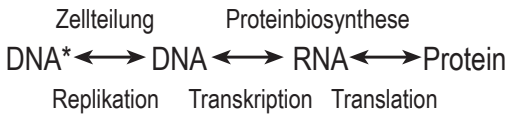
Nukleotide in Cofaktoren

Flavin-Adenindinukleotid
FAD / FADH₂

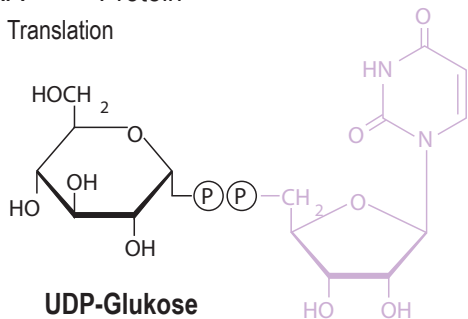


Nikotinamid-
Adenindinukleotid
NAD(P)⁺ / NAD(P)H

Dogma der Molekularbiologie



Basenpaarung



POCKET FACTS

Biochemie

- Prüfungsrelevantes Wissen auf den Punkt gebracht
- Stoffübergreifende Zusammenhänge einfach und verständlich dargestellt
- Farbleitsystem und Seitenverweise zur schnellen Orientierung
- Reaktionsfolgen auf einen Blick
- Fakten zur Pathobiochemie in jedem Kapitel



INKLUSIVE LERNPOSTER

STOFFWECHSELWEGE DER ZELLEN



 QUINTESSENZ VERLAG



978-3-86867-264-8