

# Einführung in die Biophysik

## Vorlesung 6

### Chemie der Zelle

**Profs. Julia Herzen, Andreas Bausch, Ulrich Gerland**  
School of Natural Sciences  
[julia.herzen@tum.de](mailto:julia.herzen@tum.de), [abausch@tum.de](mailto:abausch@tum.de), [gerland@tum.de](mailto:gerland@tum.de)

- 1. Was sind die Vorteile der Neutronen-Strahlentherapie?**
  
- 2. Wie genau wurde die Abbe-Grenze beim Super-Resolution Mikroskop (STED) überwunden?**

- Teletherapie von malignen Tumoren mit hochwirksamen schnellen Neutronen
- Neutronen dringen wegen des hohen Wasserstoffgehaltes nicht tief in den menschlichen Körper ein
  - oberflächennahe Tumore, also etwa im Kopf- und Halsbereich, Brustkrebs und Melanom-Metastasen
- Spaltneutronen (Energie 0,1 bis 10 MeV) weisen aufgrund ihres Energiespektrums die höchste relative biologische Wirksamkeit auf



Der Bestrahlungsraum im FRM II.

<https://www.frm2.tum.de/frm2/medizin/tumorbestrahlungen/>

# Strahlentherapie mit Neutronen

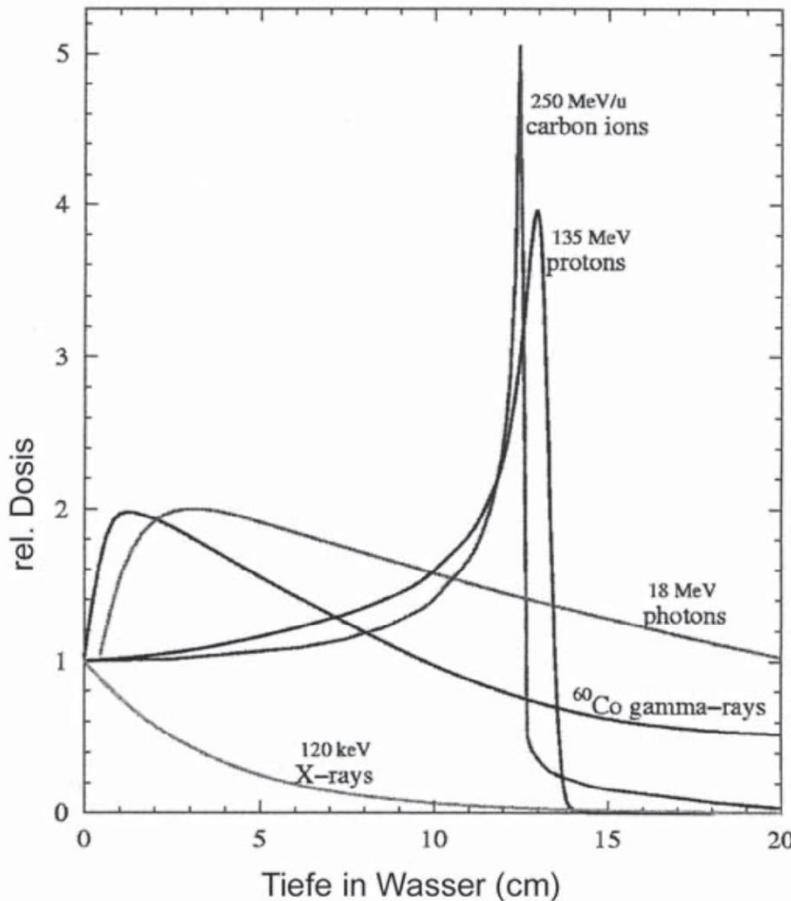


Abb. 2: Tiefendosisprofile von verschiedenen in der Strahlentherapie verwendeten Strahlenarten.

Quelle: Forum MedizinTechnik und Pharma in Bayern e.V., Diskussionsforum in München am 3.12.02, Krebstherapie auf den Punkt – Protonen als Zukunft? – U.Weber, Rhön-Klinikum-AG, G.Kraft, GSI Darmstadt, Comparison of Carbon Ions versus Protons /9/

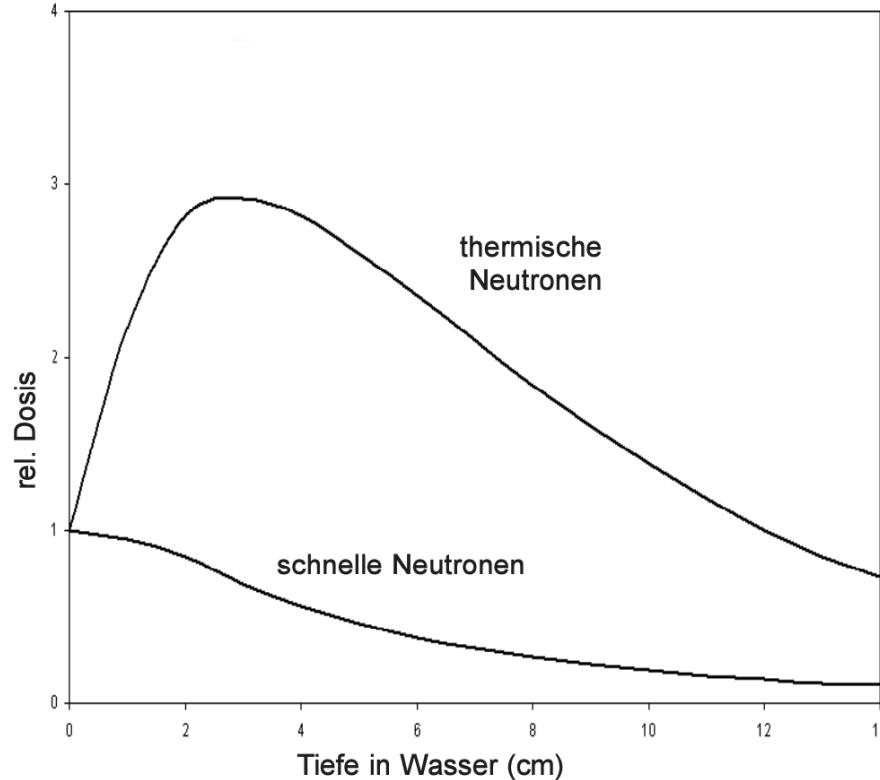
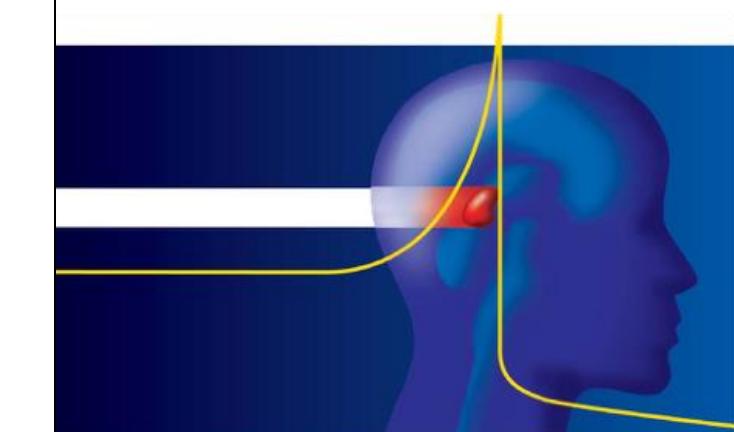


Abb. 4: Tiefen-Dosis-Profil von thermischen und schnellen Neutronen.

Datenquelle: TU München, Broschüre zur EXPO 2000, FRM II - Forschung mit Neutronen - Nutzen für Medizin und Forschung

Forschungsreaktor FRM II:  
**Krebsbehandlung mit Neutronen fragwürdig**  
Andere Strahlenarten wirken effektiver und schonender



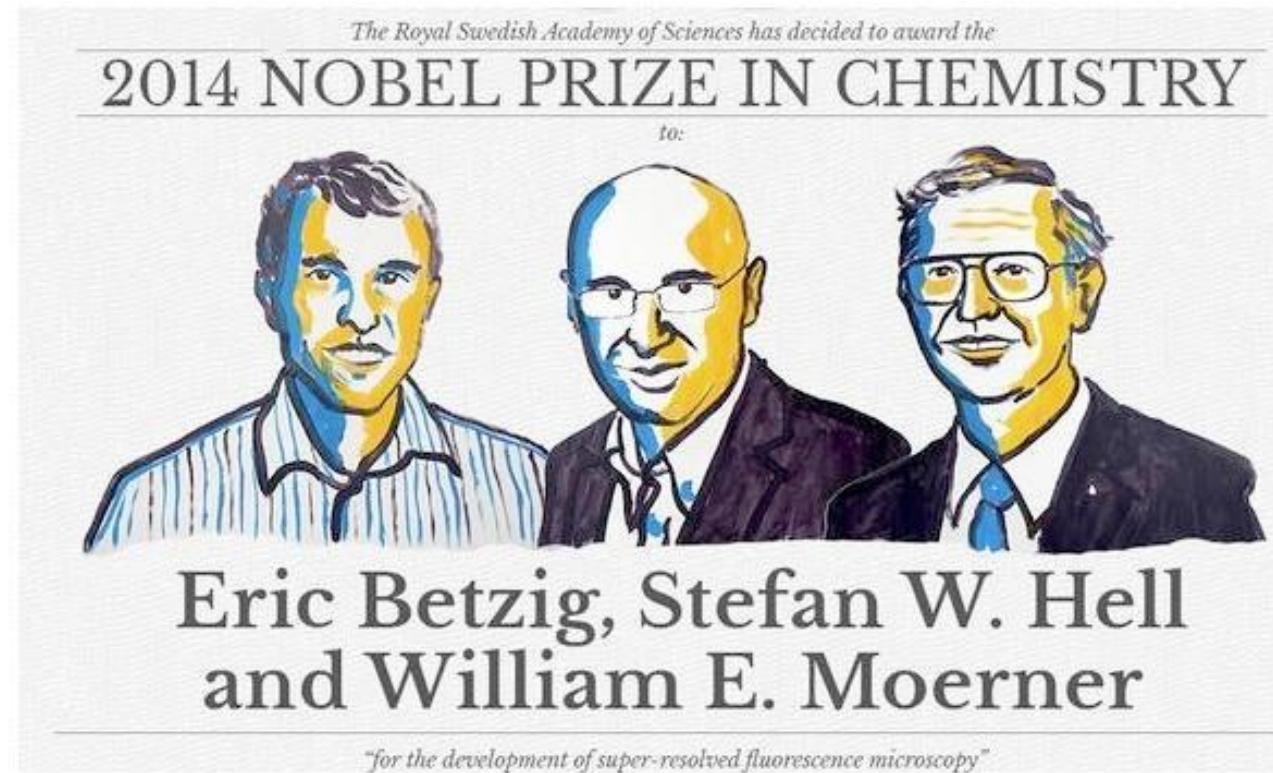
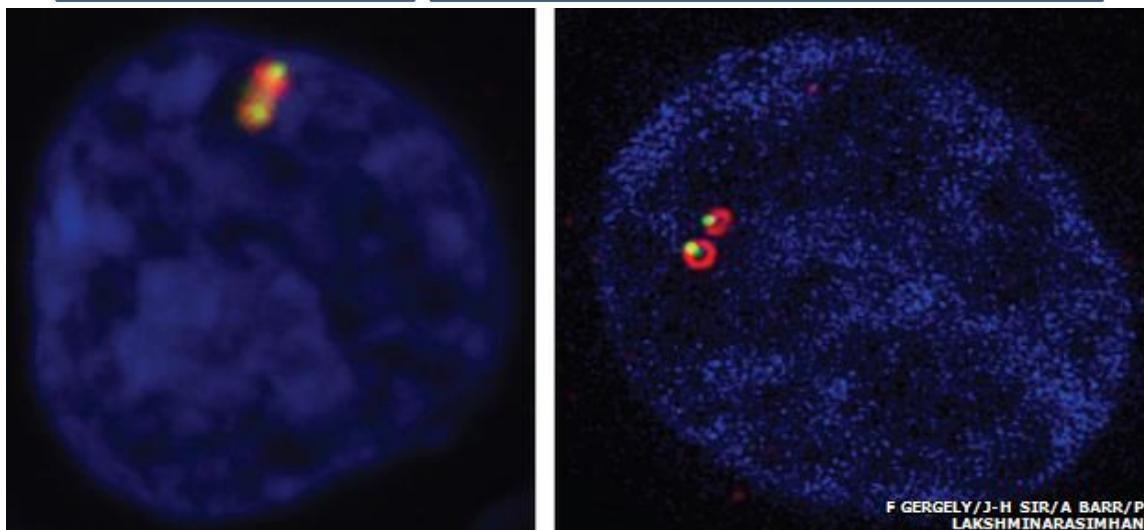
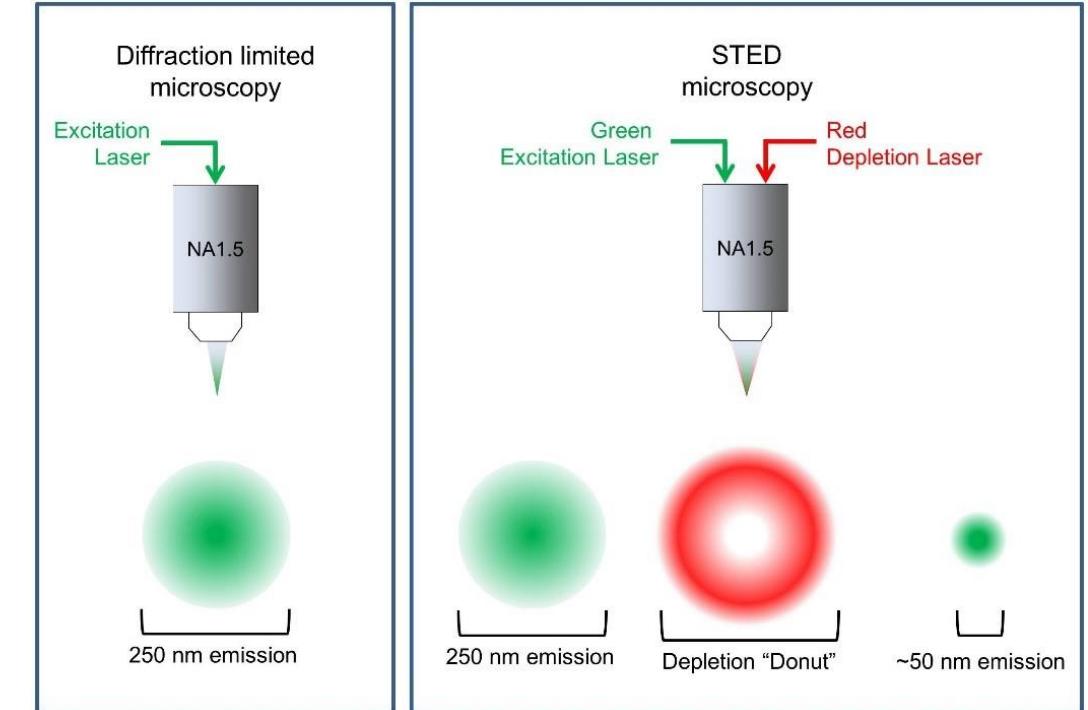
Karin Wurzbacher  
Umweltinstitut München e.V.



<https://www.umweltinstitut.org>

- 1. Was sind die Vorteile der Neutronen-Strahlentherapie?**
  
- 2. Wie genau wurde die Abbe-Grenze beim Super-Resolution Mikroskop (STED) überwunden?**

# Super Resolution Fluorescence Microscopy - STED

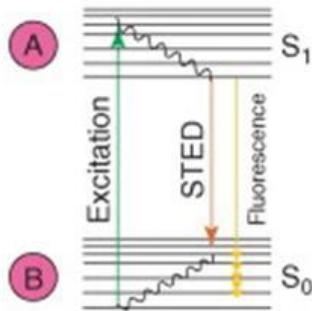


STED – STimulated Emission Depletion

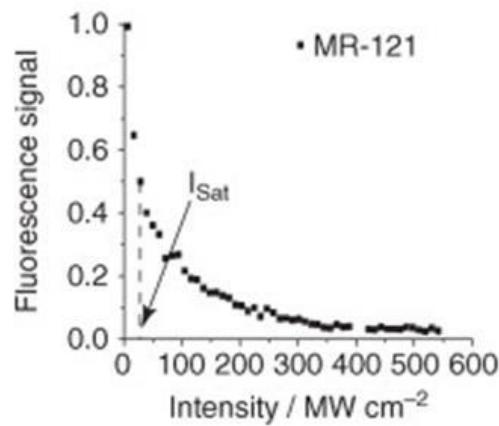
<https://youtu.be/uyMZPFTcXG4?feature=shared>

# Super Resolution Fluorescence Microscopy - STED

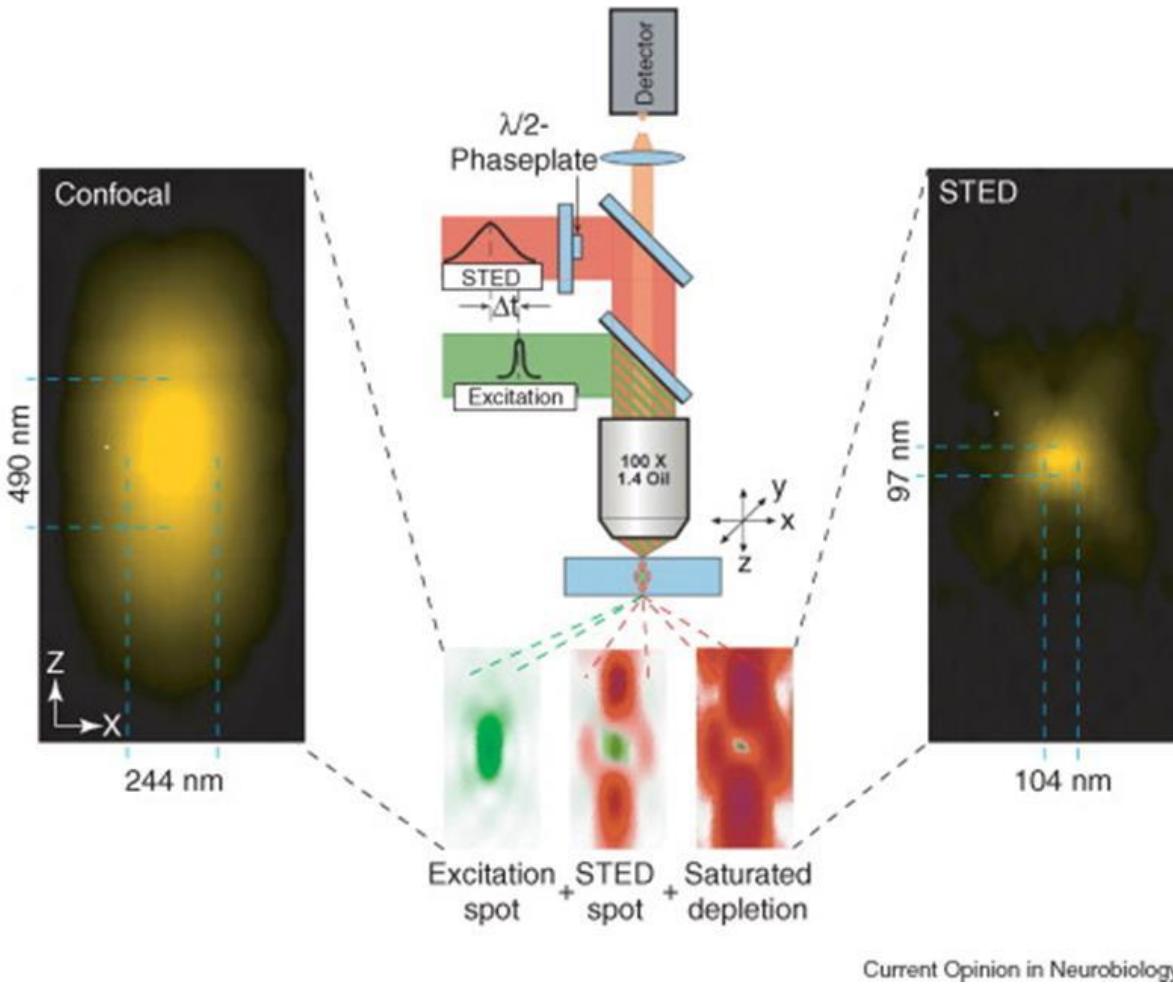
(a) STED principle



(b) Saturated depletion of state A

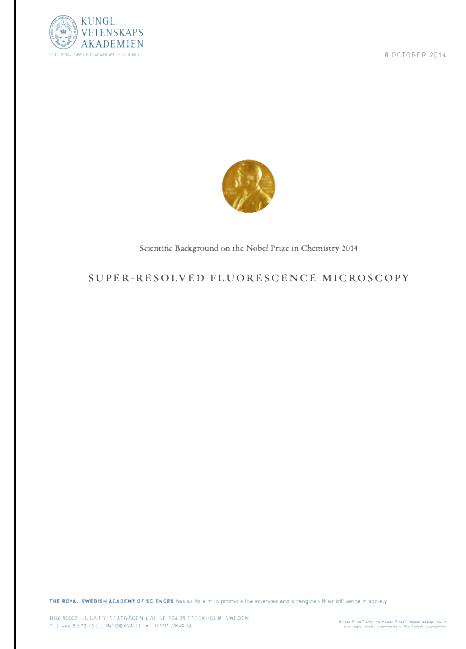


(c) STED microscope



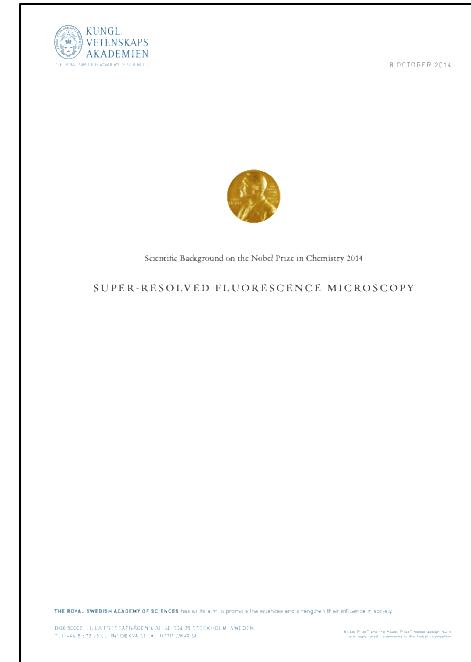
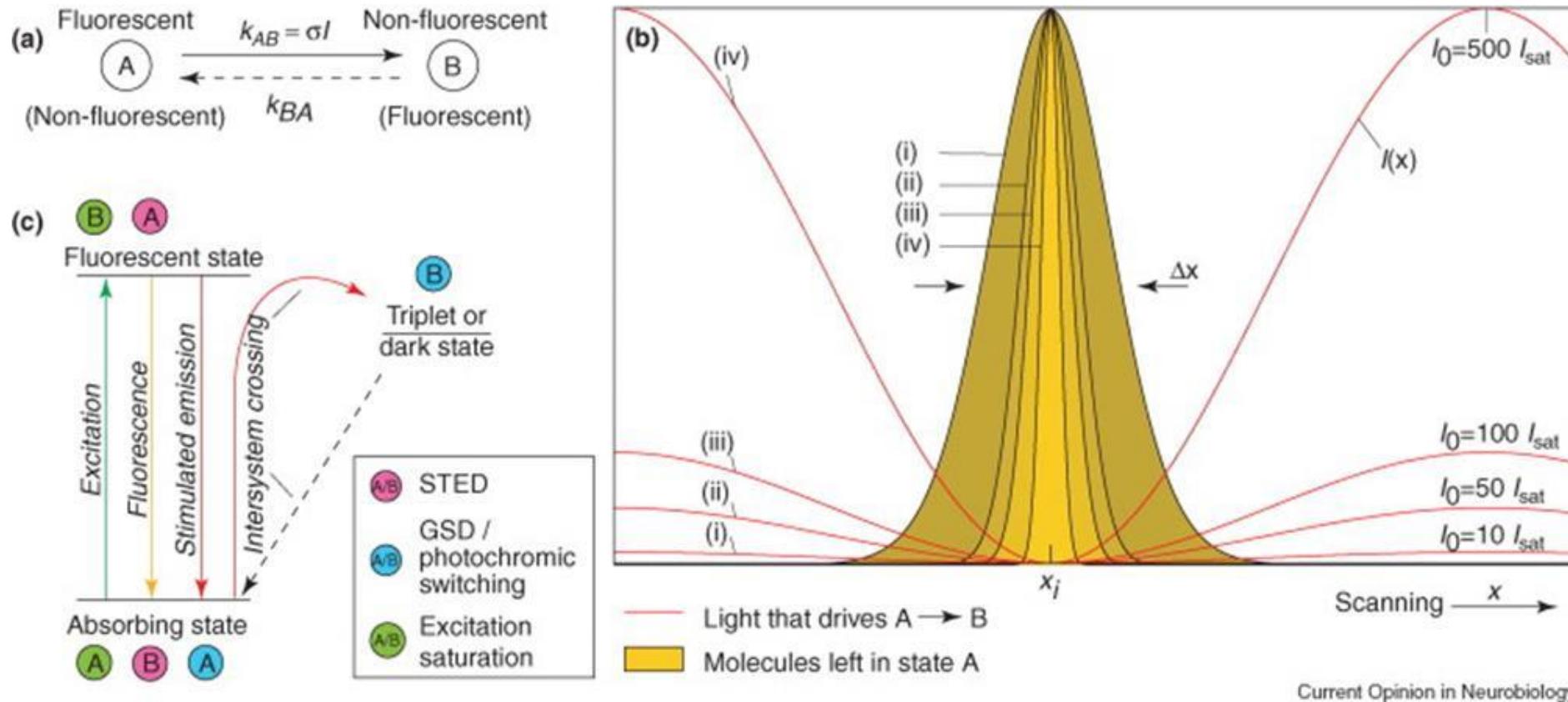
Current Opinion in Neurobiology

Figure 3: (Hell et al., Current Opinion in Neurobiology 2004, 14:599–609). (a) Excitation from the electronic ground state  $S_0$  to  $S_1$  with green light and return to  $S_0$  with the emission of yellow light or by STED with yellow light. (b) Depletion of  $S_1$  with STED. (c) Left: yellow fluorescence density in z- and x-directions in focal plane without STED. Middle: description of STED microscope (top) and (bottom) green excitation without STED, red low-intensity STED and green excitation spot and red high-intensity STED and green excitation spot. Right: yellow fluorescence spot with high intensity STED.



<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2014/advanced-information/>

# Super Resolution Fluorescence Microscopy - STED



<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2014/advanced-information/>

Figure 4: (Hell et al., Current Opinion in Neurobiology 2004, 14:599–609). (a) Illustration of the fluorescence depletion principle. (b) Fluorescence density (yellow) as a function of the x-coordinate in the focal plane at STED intensities ( $I(x)$ , red) with different maximal strengths ( $I_0$ ). The fluorescence density (yellow) becomes sharper with increasing  $I_0$ .

# Inhalt – Zellchemie und Bioenergetik

**Die chemischen Bestandteile einer Zelle**

**Katalyse und Energienutzung durch Zellen**

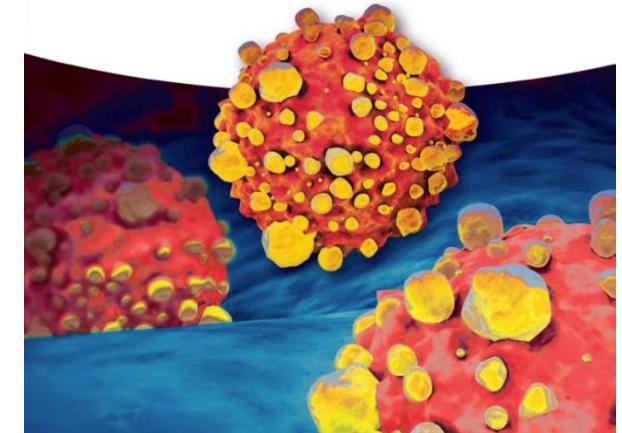
**Wie Zellen Energie aus Nahrung gewinnen**



Bruce Alberts, Alexander Johnson,  
Julian Lewis, David Morgan, Martin Raff,  
Keith Roberts und Peter Walter

**Molekularbiologie  
der Zelle**

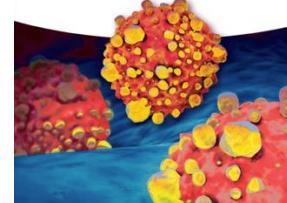
Übersetzung herausgegeben von Ulrich Schäfer  
6. Auflage



Online lesen unter:  
[https://ebookcentral.proquest.com  
/lib/Munchentech/detail.action?do  
cID=4856334](https://ebookcentral.proquest.com/lib/Munchentech/detail.action?doi=4856334)

**Kapitel 2**

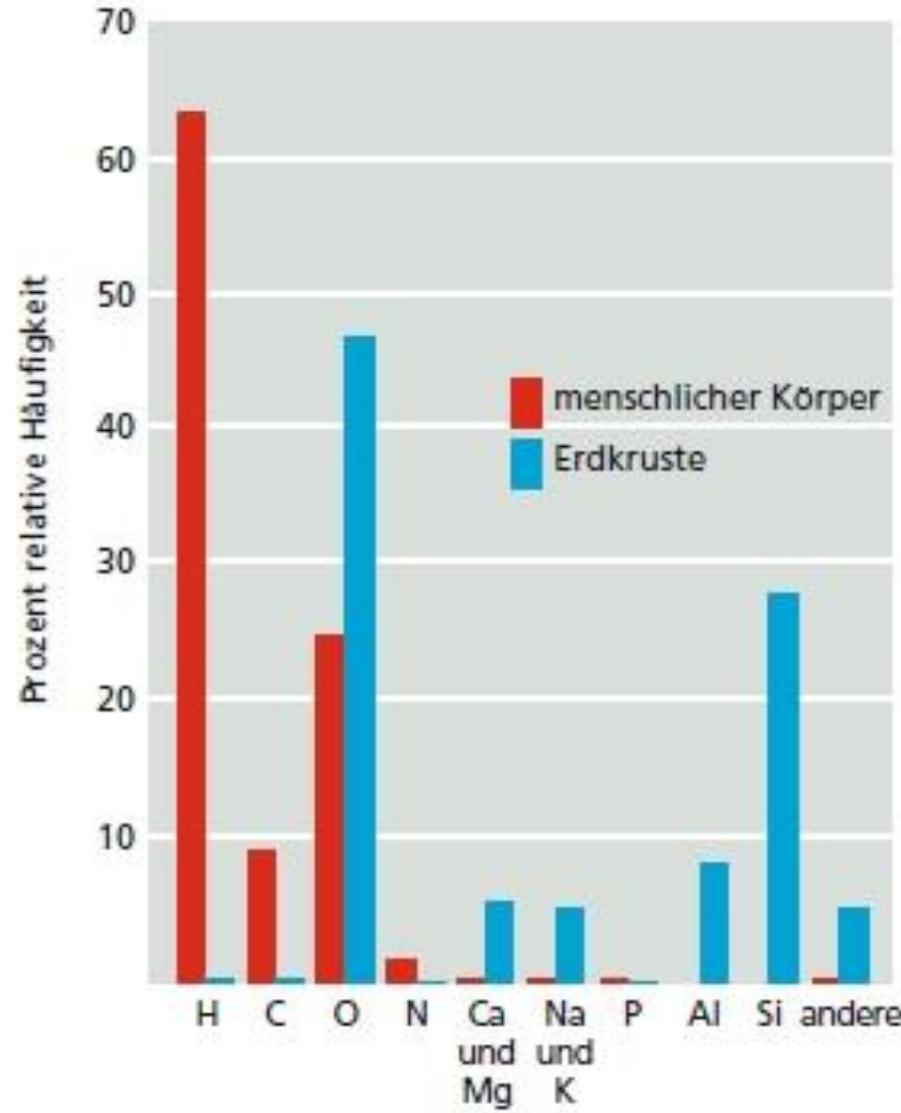
# Was ist ein Mol?



- Ein Mol entspricht X Gramm einer Substanz, wobei X ihre relative Molekularmasse ist.
- Ein Mol enthält  $6 \times 10^{23}$  Moleküle der Substanz.
- 1 Mol Kohlenstoff wiegt 12 g.
- 1 Mol Glucose wiegt 180 g.
- 1 Mol Natriumchlorid wiegt 58 g.
- Eine **einmolare Lösung** hat eine Konzentration von 1 Mol der Substanz in 1 Liter der Lösung.

Beispielsweise enthält eine einmolare Lösung (1 M) von Glucose  $180 \text{ g l}^{-1}$ , während eine einmillimolare Lösung (1mM)  $180 \text{ mg l}^{-1}$  enthält.

# Elemente in der Erdkruste vs. menschlicher Körper

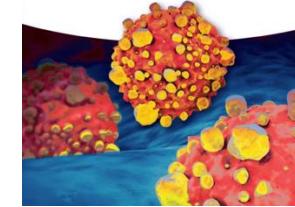


**Abb. 2-4 Die Verteilung der in der Erdkruste vorhandenen Elemente unterscheidet sich völlig von derjenigen im menschlichen Körper.** Die Häufigkeit jedes Elements ist hier als Prozent der Gesamtzahl der Atome in einer biologischen oder geologischen Probe angegeben, einschließlich Wasser. Demnach sind mehr als 60 % der Atome im menschlichen Körper Wasserstoffatome und fast 30 % der Atome in der Erdkruste Siliciumatome (Si). Die relative Häufigkeit der Elemente ist in allen Lebewesen ähnlich.

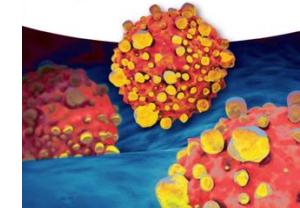
Bruce Alberts, Alexander Johnson,  
Julian Lewis, David Morgan, Martin Raff,  
Keith Roberts und Peter Walter

Molekularbiologie  
der Zelle

Übersetzung herausgegeben von Ulrich Schäfer  
6. Auflage



# Chemische Reaktivität eines Elements



Ordnungszahl		Elektronenschale			
		I	II	III	IV
1	Wasserstoff (H)	●			
2	Helium (He)	●●			
6	Kohlenstoff (C)	●●	●●●●		
7	Stickstoff (N)	●●	●●●●●		
8	Sauerstoff (O)	●●	●●●●●●		
10	Neon (Ne)	●●	●●●●●●●●		
11	Natrium (Na)	●●	●●●●●●●●●	●	
12	Magnesium (Mg)	●●	●●●●●●●●●	●●	
15	Phosphor (P)	●●	●●●●●●●●●	●●●●●●	
16	Schwefel (S)	●●	●●●●●●●●●	●●●●●●●	
17	Chlor (Cl)	●●	●●●●●●●●●	●●●●●●●●	
18	Argon (Ar)	●●	●●●●●●●●●	●●●●●●●●●	
19	Kalium (K)	●●	●●●●●●●●●	●●●●●●●●●	●
20	Calcium (Ca)	●●	●●●●●●●●●	●●●●●●●●●	●●

**Abb. 2-5** Die chemische Reaktivität eines Elements hängt vom Ausmaß der Auffüllung seiner äußersten Elektronenschale ab. Alle Elemente, die man üblicherweise in Lebewesen findet, besitzen unvollständig gefüllte äußere Elektronenschalen. Die Elektronen dieser unvollständig gefüllten Schalen (hier in *Rot* dargestellt) können an chemischen Reaktionen mit anderen Atomen teilnehmen. Inerte Gase (*gelb*) haben im Gegensatz dazu vollständig gefüllte Schalen (*grau*) und sind deshalb chemisch reaktionsträge.

# Fragen: Ein Kohlenstoffatom enthält sechs Protonen und sechs Neutronen.

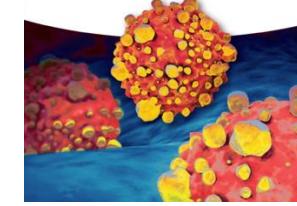


WILEY-VCH

Bruce Alberts, Alexander Johnson,  
Julian Lewis, David Morgan, Martin Raff,  
Keith Roberts und Peter Walter

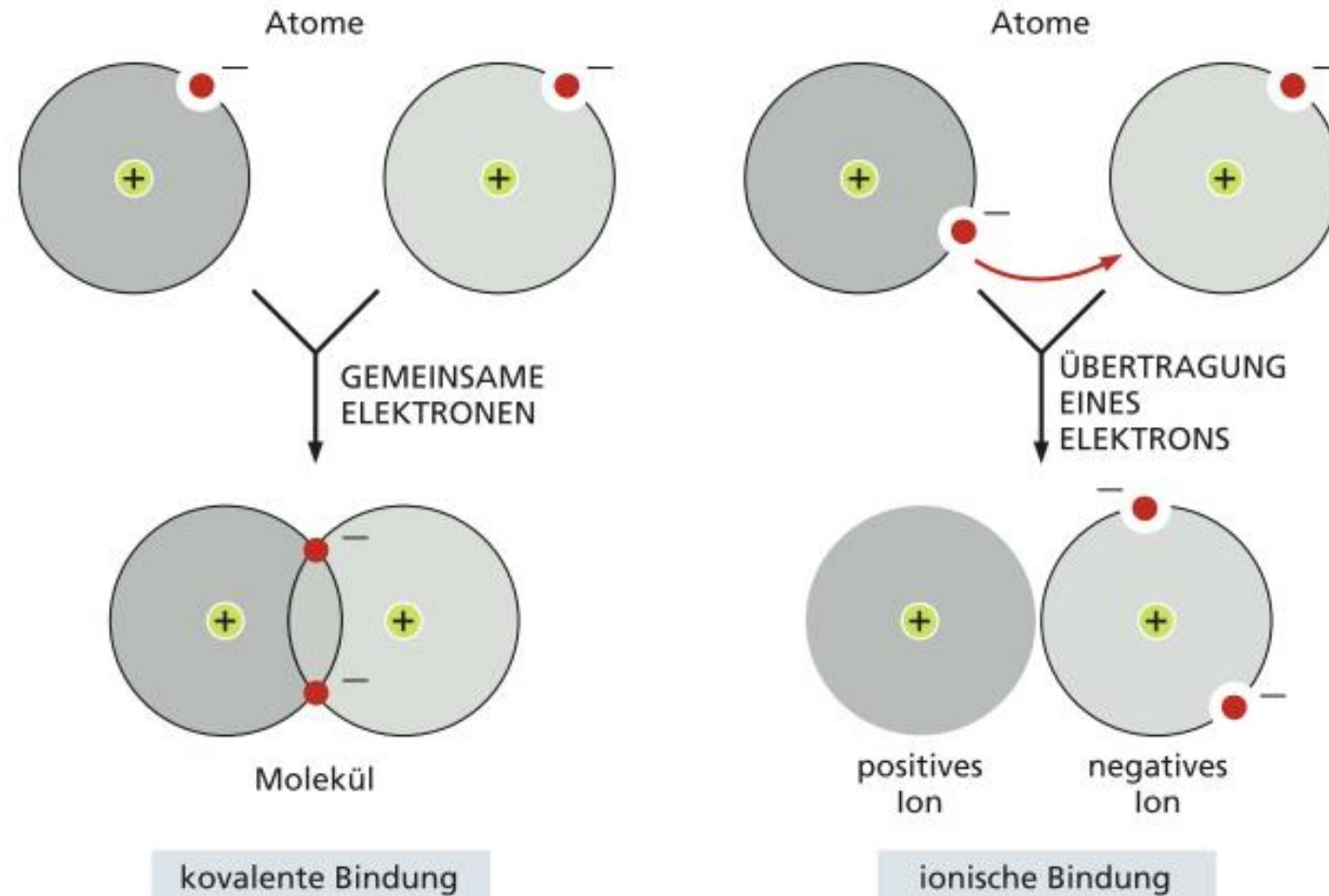
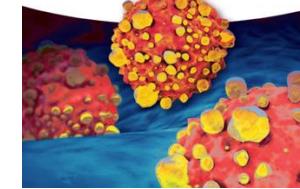
Molekularbiologie  
der Zelle

Übersetzung herausgegeben von Ulrich Schäfer  
6. Auflage



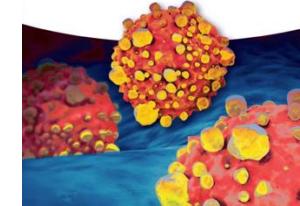
- a) Nennen Sie Ordnungszahl und Atomgewicht.
- b) Wie viele Elektronen besitzt es?
- c) Wie viele zusätzliche Elektronen muss es aufnehmen, um seine äußerste Schale aufzufüllen? Wie beeinflusst dies das chemische Verhalten des Kohlenstoffs?
- d) Kohlenstoff mit einem Atomgewicht von 14 ist radioaktiv. Wie unterscheidet er sich in seiner Struktur vom nicht radioaktiven Kohlenstoff? Wie beeinflusst dieser Unterschied sein chemisches Verhalten?

# Kovalente vs. Ionische Bindung



**Abb. 2-6 Atome können durch die Wechselwirkung mit anderen Atomen eine stabilere Elektronenanordnung in ihrer äußeren Elektronenschale erreichen.** Eine kovalente Bindung entsteht, wenn sich Atome Elektronen teilen. Eine Ionenbindung wird gebildet, indem Elektronen von einem Atom auf ein anderes Atom übertragen werden. Die hier dargestellten Fälle repräsentieren zwei Extreme; häufig bilden sich kovalente Bindungen durch eine teilweise Übertragung (ungleiches Teilen von Elektronen), was zu einer polaren kovalenten Bindung führt, was demnächst besprochen wird.

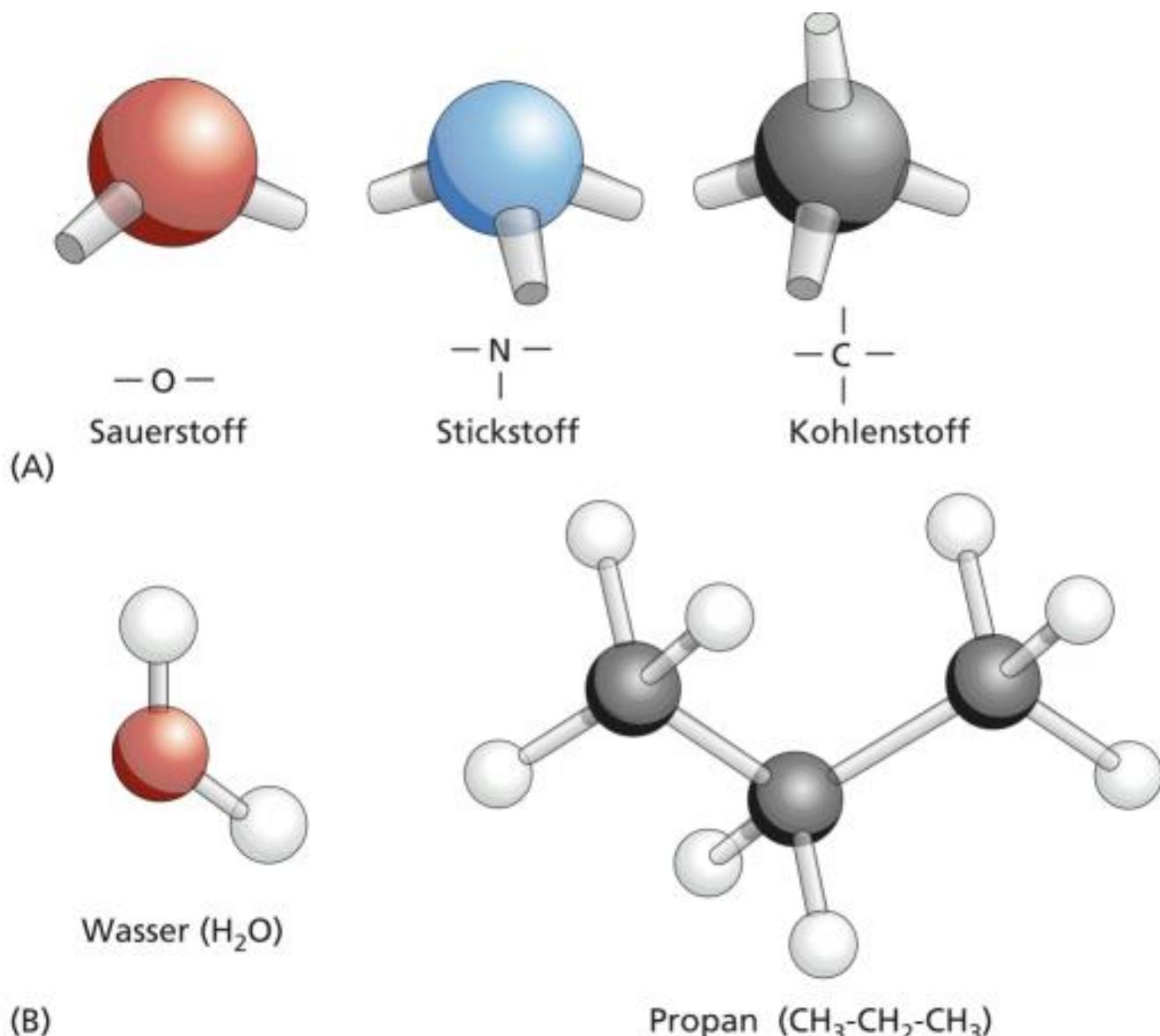
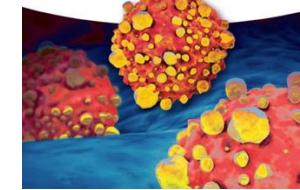
# Elemente im menschlichen Körper



Ordnungszahl																				
Atomgewicht																	He			
1	H	1	Li	Be													Ne			
11	Na	23	12	Mg	24												Ar			
19	K	39	20	Ca	40	Sc	Ti	23	V	51	24	Cr	52	25	Mn	55	26	Fe	56	
																	27	Co	59	
																	28	Ni	59	
																	29	Cu	64	
																	30	Zn	65	
																	Ga	Ge	As	
																	34	Se	79	
																	Br	Kr		
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	42	Mo	96	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	127
																			Xe	
	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
	Fr	Ra	Ac	Rf	Db															

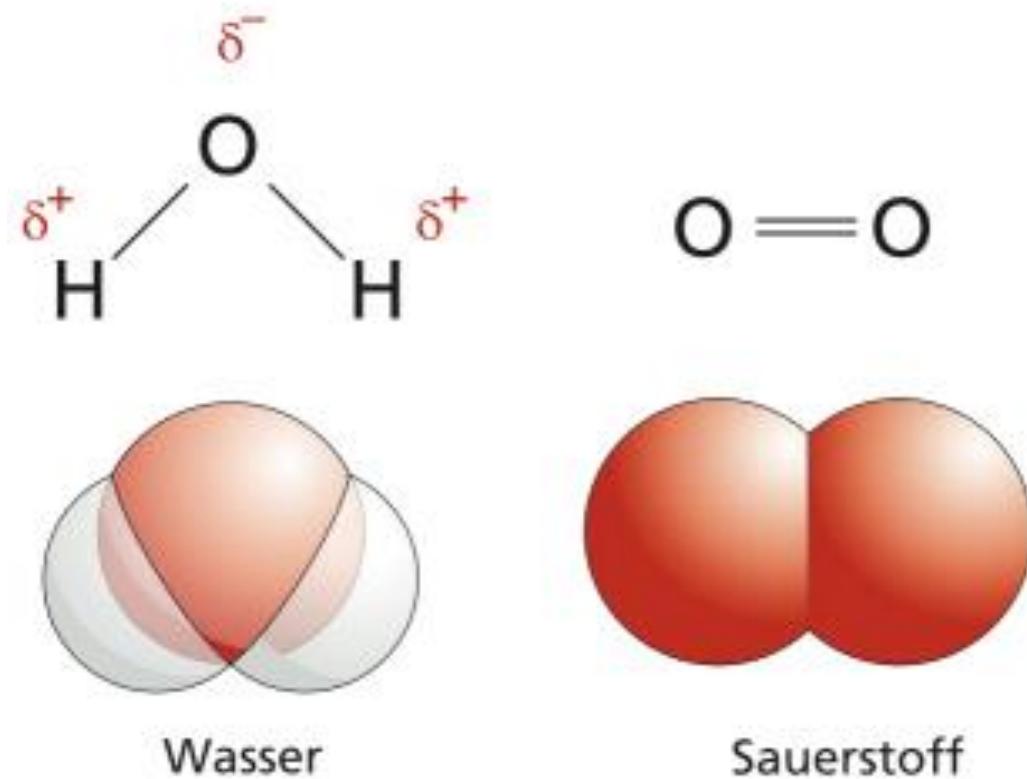
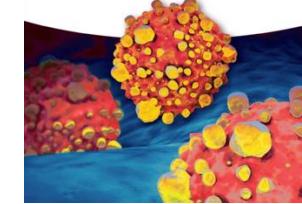
**Abb. 2-7** Die Chemie des Lebens wird von den leichten Elementen beherrscht. Die vier *rot* markierten Elemente machen 99 % der Gesamtzahl an Atomen im menschlichen Körper aus und ungefähr 96 % unseres Gesamtgewichts. Weitere sieben Elemente, *blau* markiert, stellen zusammen 0,9 % der Gesamtzahl unserer Atome. Andere, *grün* markierte, Elemente werden von Menschen in Spuren benötigt. Es ist noch unklar, ob die *gelb* markierten Elemente essenziell für den Menschen sind oder nicht.

# Geometrien von kovalenten Bindungen



**Abb. 2-9 Kovalente Bindungen sind durch bestimmte Geometrien gekennzeichnet.** (A) Die räumliche Anordnung der kovalenten Bindungen, die von Sauerstoff, Stickstoff und Kohlenstoff gebildet werden können. (B) Moleküle, die aus diesen Atomen aufgebaut sind, haben deshalb eine präzise dreidimensionale Struktur, die durch die Bindungswinkel und Bindungslängen für jede kovalente Bindung definiert ist. Ein Wassermolekül ist z. B. „v-förmig“ mit einem Winkel von ca.  $109^\circ$ .

# Polare kovalenten Bindungen



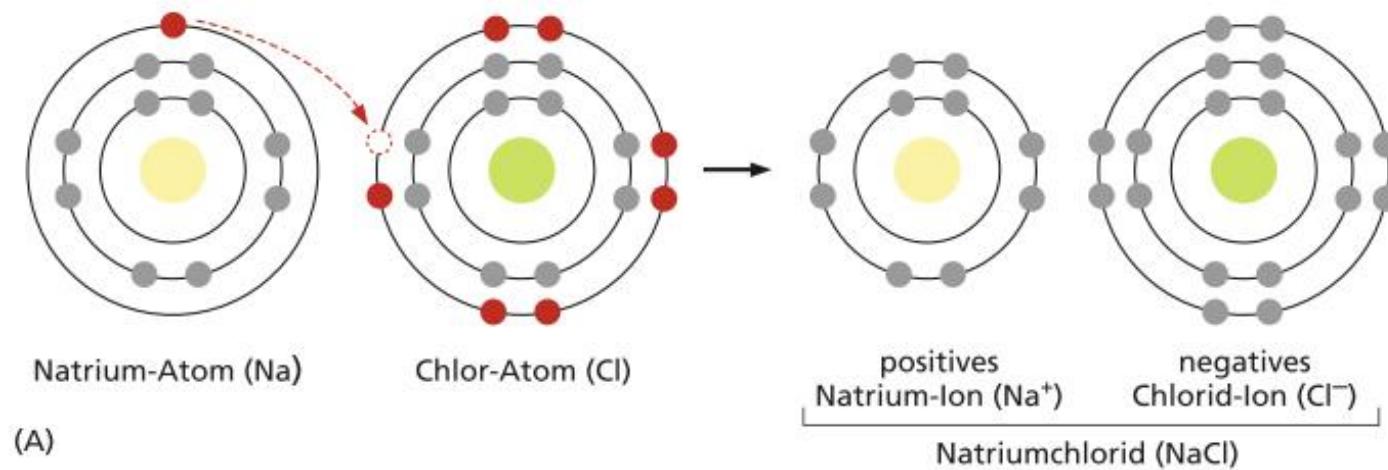
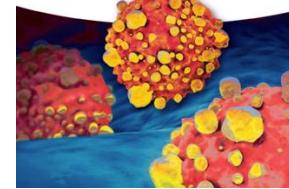
**Abb. 2-11** In polaren kovalenten Bindungen werden die Elektronen ungleich geteilt. Vergleich der Elektronenverteilung in polaren kovalenten Bindungen in einem Wassermolekül ( $\text{H}_2\text{O}$ ) und unpolare kovalente Bindungen in einem Sauerstoffmolekül ( $\text{O}_2$ ). Im Wasser sind die Elektronen viel stärker zum Sauerstoffkern als zum Wasserstoffkern hingezogen, was durch die Verteilung der positiven Partialladungen ( $\delta^+$ ) und negativen Partialladung ( $\delta^-$ ) angezeigt wird.

# Ionenbindung

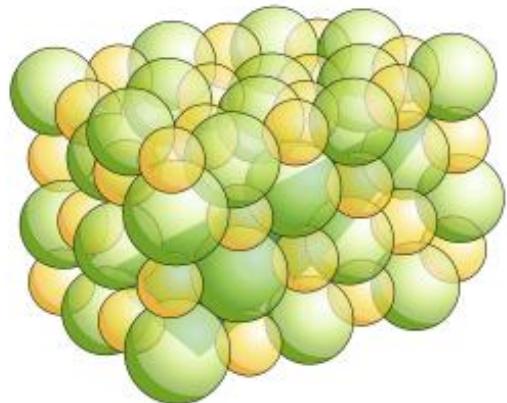
Bruce Alberts, Alexander Johnson,  
Julian Lewis, David Morgan, Martin Raff,  
Keith Roberts und Peter Walter

Molekularbiologie  
der Zelle

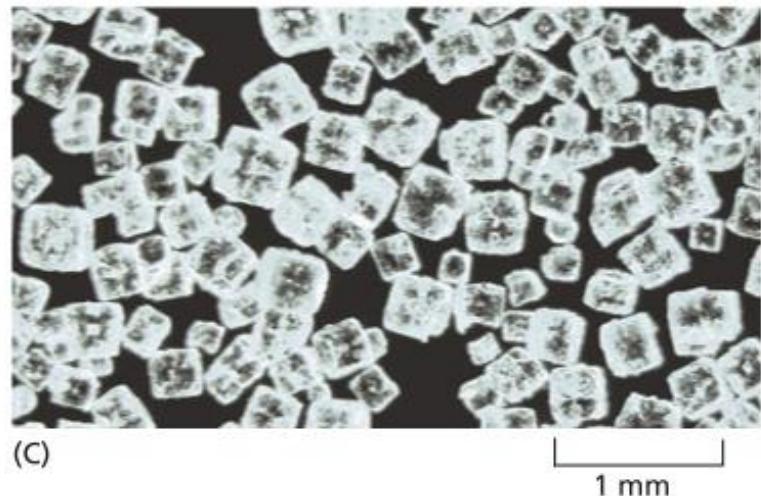
Übersetzung herausgegeben von Ulrich Schäfer  
6. Auflage



(A)



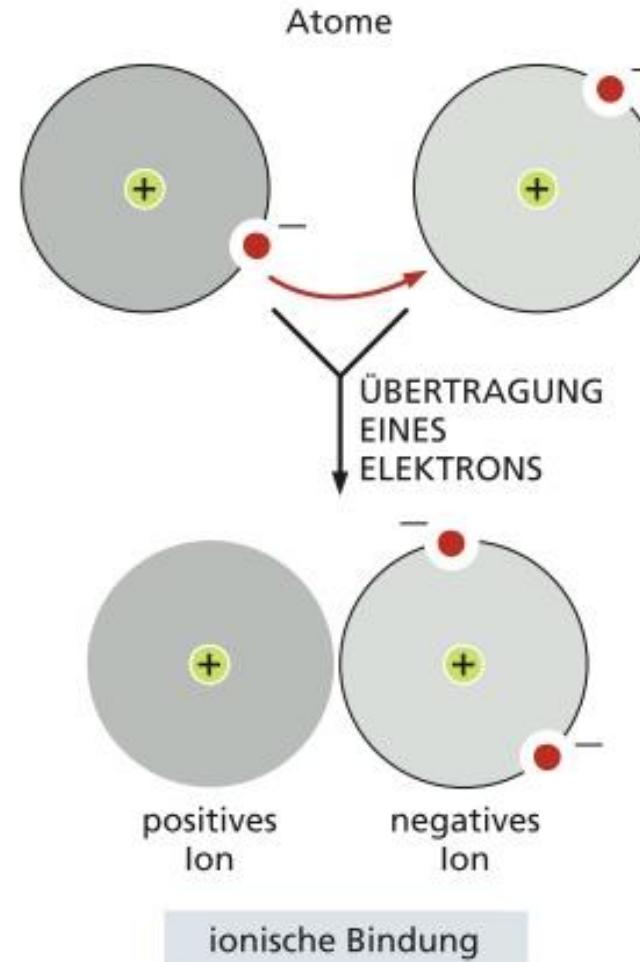
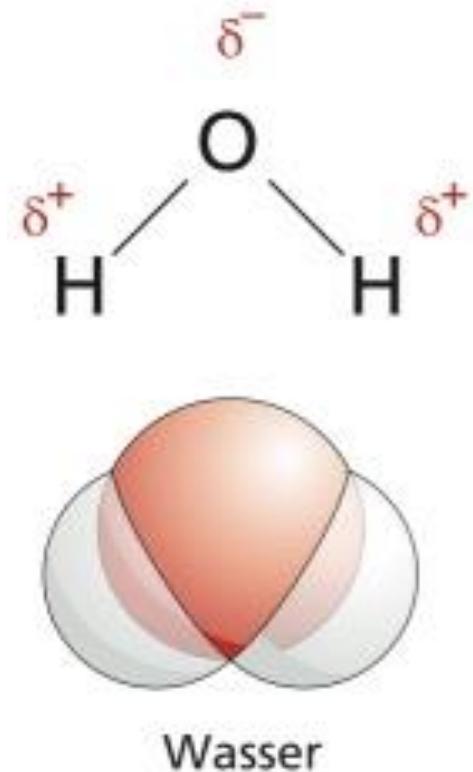
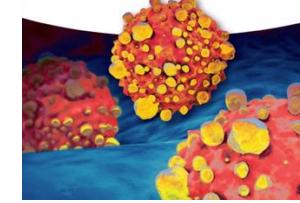
(B)



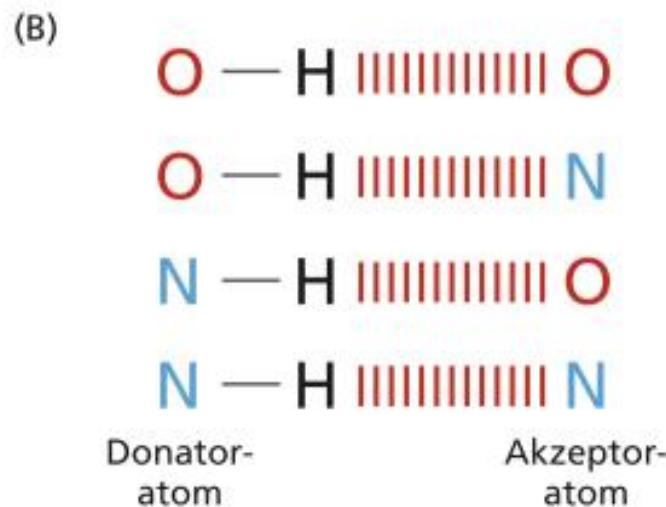
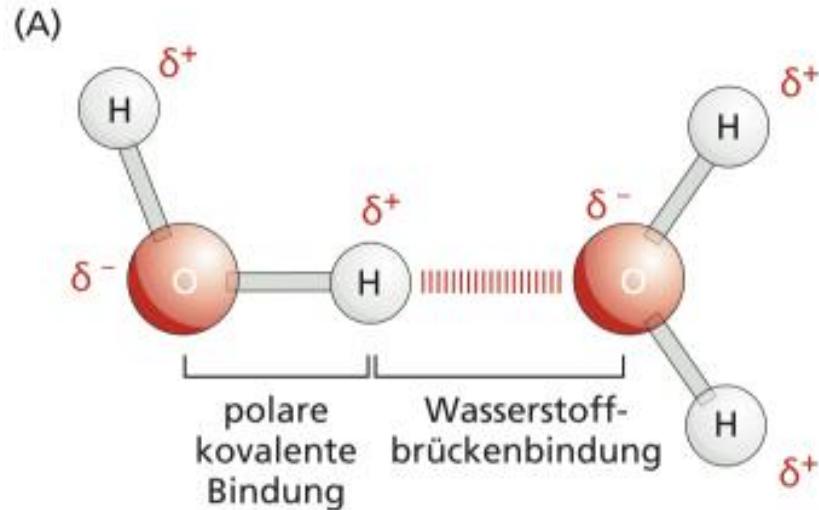
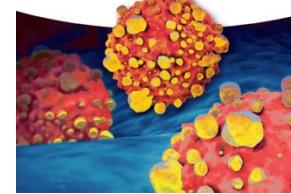
(C)

**Abb. 2-12 Natriumchlorid wird durch Ionenbindungen zusammengehalten.** (A) Ein Natriumatom (Na) reagiert mit einem Chloratom (Cl). Die Elektronen jedes Atoms sind in ihren verschiedenen Energieniveaus dargestellt. Die Elektronen in den chemisch reaktiven (unvollständig gefüllten) äußeren Schalen sind rot gezeichnet. (B) Das Produkt der Reaktion zwischen Natrium und Chlor ist das kristalline Natriumchlorid. Es besteht aus Natrium- und Chloridionen, die in einer regelmäßigen Anordnung dicht gepackt sind; dabei gleichen sich die Ladungen genau aus. (C) Fotografie von Natriumchloridkristallen.

# Frage: Was ist der Unterschied zwischen polarer kovalenter Bindung und einer Ionenbindung?

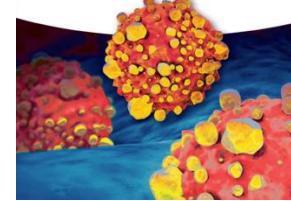


# Wasserstoffbrückenbindungen - wichtige nichtkovalente Bindungen in biologischen Molekülen



**Abb. 2-13 Nichtkovalente Wasserstoffbrückenbindungen bilden sich zwischen Wassermolekülen und zwischen vielen anderen polaren Molekülen.** (A) Eine Wasserstoffbrückenbindung bildet sich zwischen zwei Wassermolekülen. Die leicht positive Ladung, die am Wasserstoffatom vorhanden ist, wird von der leicht negativen Ladung am Sauerstoffatom elektrisch angezogen. (B) In Zellen bilden sich üblicherweise Wasserstoffbrückenbindungen zwischen Molekülen, die Sauerstoff oder Stickstoff enthalten. Das Atom, das den Wasserstoff trägt, wird dann als Wasserstoffbrückenbindungsdonor und das Atom, das mit dem Wasserstoff in Wechselwirkung tritt, als Wasserstoffbrückenbindungsakzeptor bezeichnet.

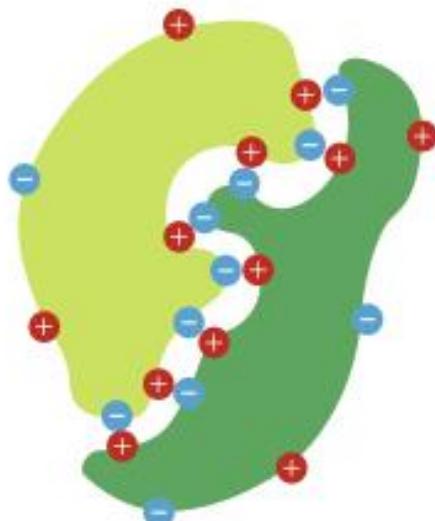
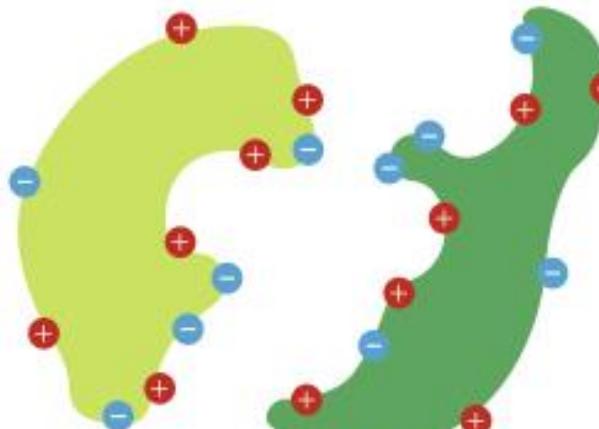
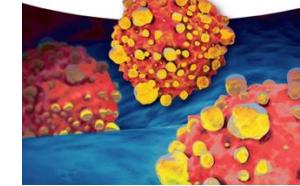
# Frage: Richtig oder falsch



„Wenn NaCl in Wasser gelöst wird, tendieren die Wassermoleküle, die sich am nächsten an den Ionen befinden, bevorzugt dazu, sich so auszurichten, dass ihre Sauerstoffatome den Natriumionen gegenüberstehen und sich von den Chloridionen abwenden.“

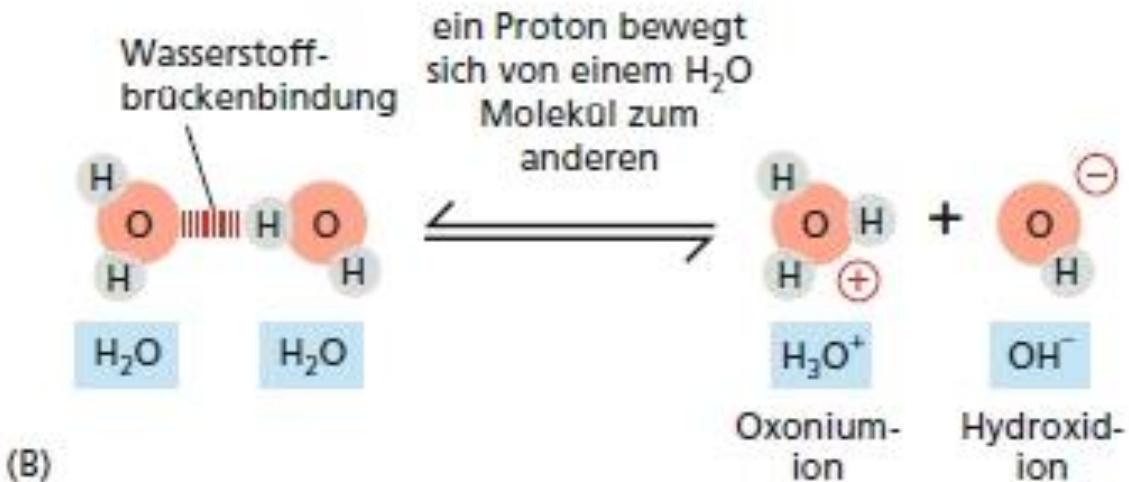
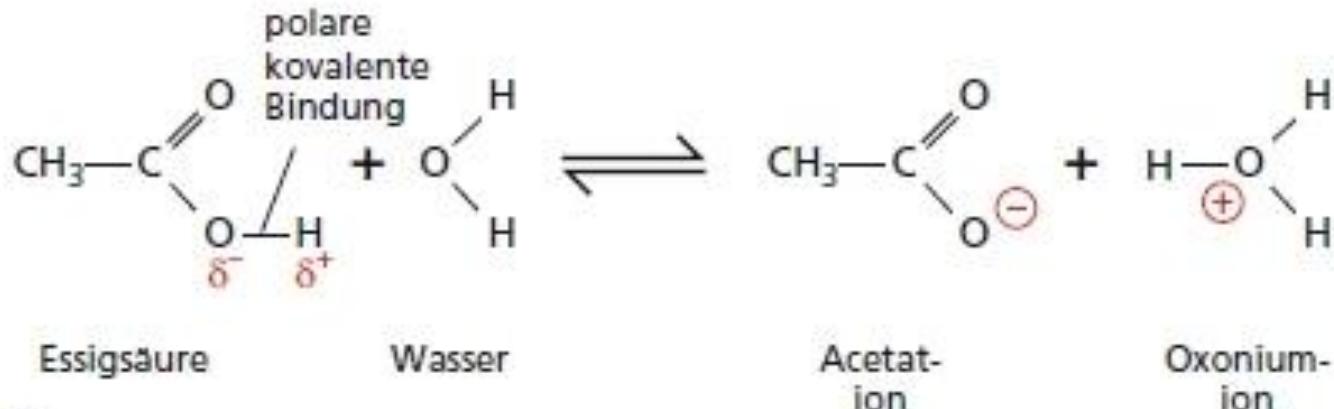
Stimmt das? Und wenn ja, warum?

# Schwachen Wechselwirkungen bringen Moleküle in Zellen zusammen



**Abb. 2-14** Große Moleküle wie Proteine können durch nichtkovalente Wechselwirkungen auf ihren Oberflächen aneinander binden. In der wässrigen Umgebung einer Zelle können viele einzelne schwache Wechselwirkungen zwei Proteine dazu bringen, sich gegenseitig spezifisch zu erkennen und einen kompakten Komplex zu bilden. Hier ist eine Reihe von elektrostatischen Anziehungen zwischen komplementären positiven und negativen Ladungen gezeigt.

Einige polare Moleküle bilden in Wasser Säuren und Basen



**Abb. 2-15** Protonen bewegen sich in wässrigen Lösungen ständig von einem Molekül zum anderen. (A) Diese Reaktion findet statt, wenn sich ein Molekül Essigsäure in Wasser löst. Bei pH 7 liegen fast alle Essigsäuremoleküle als Acetationen vor. (B) Wassermoleküle tauschen ständig Protonen miteinander aus. Dabei bilden sich Oxonium- und Hydroxidionen. Diese Ionen vereinigen sich wiederum schnell zu Wassermolekülen.

# Säuren und Basen in wässriger Lösung

SAUER

NEUTRAL

BASISCH

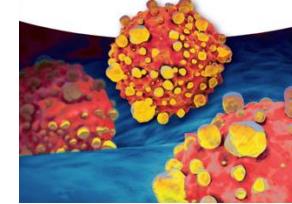
[H <sup>+</sup> ] mol/Liter	pH	[OH <sup>-</sup> ] mol/Liter	einige Lösungen und ihre pH-Werte
1	0	10 <sup>-14</sup>	Batteriesäure (0,5)
10 <sup>-1</sup>	1	10 <sup>-13</sup>	Magensäure (1,5)
10 <sup>-2</sup>	2	10 <sup>-12</sup>	Zitronensaft (2,3), Cola (2,5)
10 <sup>-3</sup>	3	10 <sup>-11</sup>	Orangensaft (3,5)
10 <sup>-4</sup>	4	10 <sup>-10</sup>	Bier (4,5)
10 <sup>-5</sup>	5	10 <sup>-9</sup>	schwarzer Kaffee (5,0), saurer Regen (5,6)
10 <sup>-6</sup>	6	10 <sup>-8</sup>	Urin (6,0), Milch (6,5)
10 <sup>-7</sup>	7	10 <sup>-7</sup>	reines Wasser (7,0)
10 <sup>-8</sup>	8	10 <sup>-6</sup>	Meerwasser (8,0)
10 <sup>-9</sup>	9	10 <sup>-5</sup>	Handseife (9,5)
10 <sup>-10</sup>	10	10 <sup>-4</sup>	Magnesiumhydroxid (10,5)
10 <sup>-11</sup>	11	10 <sup>-3</sup>	Haushaltsammoniak (11,9)
10 <sup>-12</sup>	12	10 <sup>-2</sup>	phosphatfreies Detergens (12,0)
10 <sup>-13</sup>	13	10 <sup>-1</sup>	Bleichmittel (12,5)
10 <sup>-14</sup>	14	1	Natronlauge (13,5)

**Abb. 2-16** In wässrigen Lösungen steigt die Konzentration der Hydroxid (OH<sup>-</sup>)-Ionen, wenn die Konzentration der H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>-Ionen (bzw. H<sup>+</sup>-Ionen) sinkt. Das Produkt der beiden Werte [OH<sup>-</sup>] × [H<sup>+</sup>] ist immer 10<sup>-14</sup> (mol l<sup>-1</sup>)<sup>2</sup>. Bei neutralem pH-Wert, [OH<sup>-</sup>] = [H<sup>+</sup>] sind beide Ionenkonzentrationen 10<sup>-7</sup> M. Außerdem sind einige gebräuchliche Lösungen mit ihren ungefähren pH-Werten angegeben.

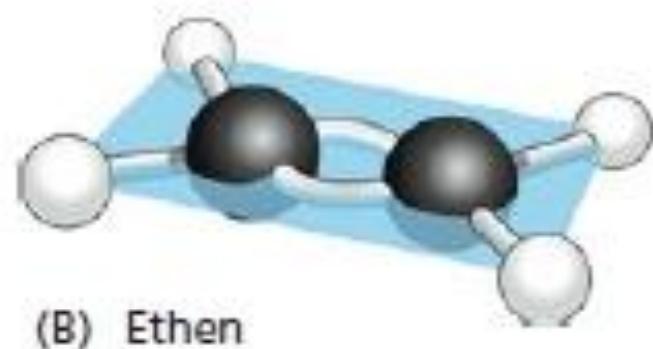
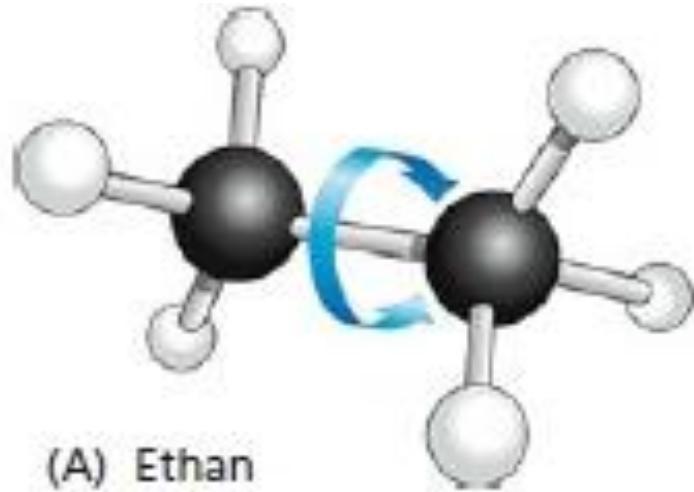
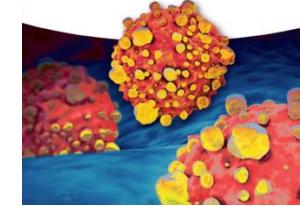
Bruce Alberts, Alexander Johnson,  
Julian Lewis, David Morgan, Martin Raff,  
Keith Roberts und Peter Walter

Molekularbiologie  
der Zelle

Übersetzung herausgegeben von Ulrich Schäfer  
6. Auflage

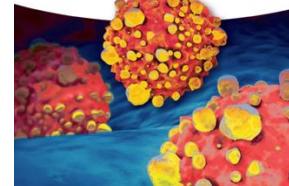


# Eine Zelle wird aus Kohlenstoffverbindungen gebildet

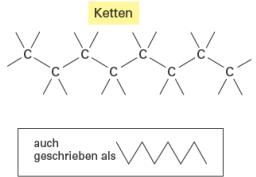


**Abb. 2-10** Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindungen sind kürzer und starrer als C–C-Einfachbindungen. (A) Das Ethanmolekül mit einer kovalenten Einfachbindung zwischen den beiden Kohlenstoffatomen zeigt die tetraedrische Anordnung der drei kovalenten Einfachbindungen zwischen jedem Kohlenstoffatom und seinen drei anhängenden H-Atomen. Die  $\text{CH}_3$ -Gruppen, die durch die kovalente C–C-Einfachbindung miteinander verknüpft sind, können sich relativ zur anderen frei um die Bindungssachse drehen. (B) Die Doppelbindung zwischen den beiden Kohlenstoffatomen in einem Ethenmolekül (Ethylen) ändert die Bindungsgeometrie der Kohlenstoffatome und bringt alle Atome in eine gemeinsame Ebene. Die Doppelbindung verhindert die Drehung einer  $\text{CH}_2$ -Gruppe relativ zur anderen.

# Eine Zelle wird aus Kohlenstoffverbindungen gebildet


**KOHLENSTOFFSKELETT**

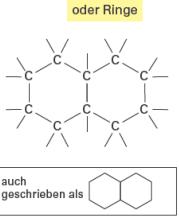
Die einzigartige Rolle des Kohlenstoffs in der Zelle beruht auf seiner Fähigkeit, starke kovalente Bindungen mit anderen Kohlenstoffatomen einzugehen. Daher können Kohlenstoffatome Ketten miteinander bilden.



oder Verzweigungen



oder Ringe


**Kovalente Bindungen**

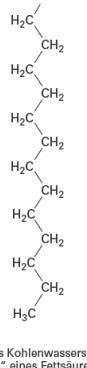
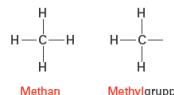
Eine kovalente Bindung entsteht, wenn zwei Atome sehr dicht zusammenkommen und eines oder mehrere ihrer Elektronen geteilt werden. In einer Einfachbindung wird je ein Elektron eines jeden der beiden Kohlenstoffatome anteilig; in einer Doppelbindung sind es insgesamt vier anteilige Elektronen. Jedes Atom bildet eine festgelegte Zahl Kovalenzbindungen in einer ganz bestimmten räumlichen Ausrichtung aus. Kohlenstoff, zum Beispiel, bildet vier Einfachbindungen in Tetraeder-Anordnung aus, während Stickstoff drei Einfachbindungen und Sauerstoff zwei Einfachbindungen, wie hier gezeigt, ausbilden.



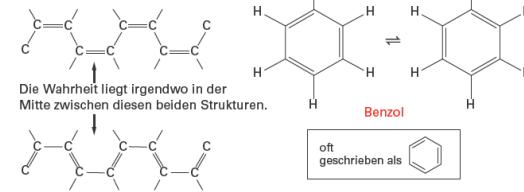
Atome, die durch zwei oder mehr Kovalenzbindungen verbunden sind, können sich nicht frei um die Bindungsachse drehen. Diese Einschränkung beeinflusst die dreidimensionale Raumstruktur vieler Makromoleküle ganz wesentlich.

**KOHLENWASSERSTOFFE**

Kohlenstoff und Wasserstoff bilden miteinander stabile Verbindungen, die Kohlenwasserstoffe. Diese sind nicht polar, bilden keine Wasserstoffbrücken und sind im Allgemeinen nicht in Wasser löslich.


**ALTERNIERENDE DOPPELBINDUNGEN**

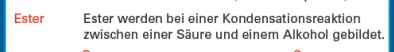
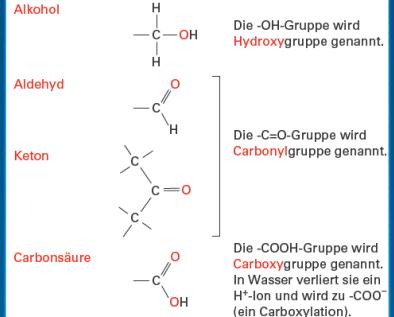
Die Kohlenstoffkette kann Doppelbindungen enthalten. Wenn diese an alternierenden Kohlenstoffatomen stehen, bewegen sich die Elektronen innerhalb des Moleküls und stabilisieren die Struktur durch eine Erscheinung, die **Mesomerie** (oder **Resonanz**) genannt wird.



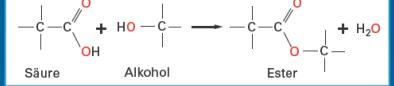
Tafel 2.1 Chemische Bindung und die häufigsten Gruppen in biologischen Molekülen

**C-O-VERBINDUNGEN**

Viele Biomoleküle enthalten einen Kohlenstoff an einen Sauerstoff gebunden. Zum Beispiel:



Die -COOH-Gruppe wird **Carboxylgruppe** genannt. In Wasser verliert sie ein H<sup>+</sup>-Ion und wird zu -CO- (ein Carboxylation).

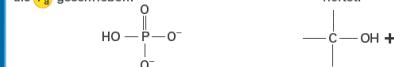


Sulfhydrylgruppen

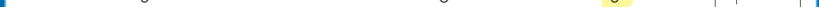
$-\text{C}-\text{SH}$  nennt man eine **Sulfhydrylgruppe**. In der Aminosäure Cystein kann die Sulfhydrylgruppe in der reduzierten Form  $-\text{C}-\text{SH}$  vorkommen oder seltener in der oxidierten quervernetzenden Form  $-\text{C}-\text{S}-\text{S}-\text{C}-$

**PHOSPHATE**

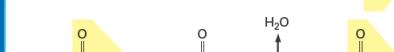
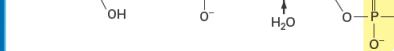
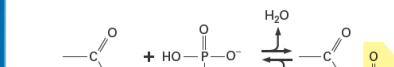
Anorganisches Phosphat ist ein stabiles Ion, das aus Phosphorsäure,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , entsteht. Es wird oft als  $\text{P}_i$  geschrieben.



Phosphat-Ester können sich zwischen Phosphat und einer freien Hydroxygruppe ausbilden. **Phosphatgruppen** werden auf diese Weise häufig an Proteine angeheftet.

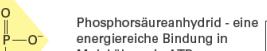
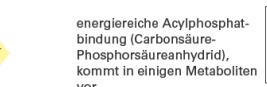


Die Verbindung von Phosphat mit einer Carboxygruppe oder mit zwei und mehr weiteren Phosphatgruppen gibt ein Säureanhydrid. Da Verbindungen dieser Art in der Zelle leicht hydrolysiert werden, sagt man manchmal, sie besitzen eine "energieriche" Bindung.

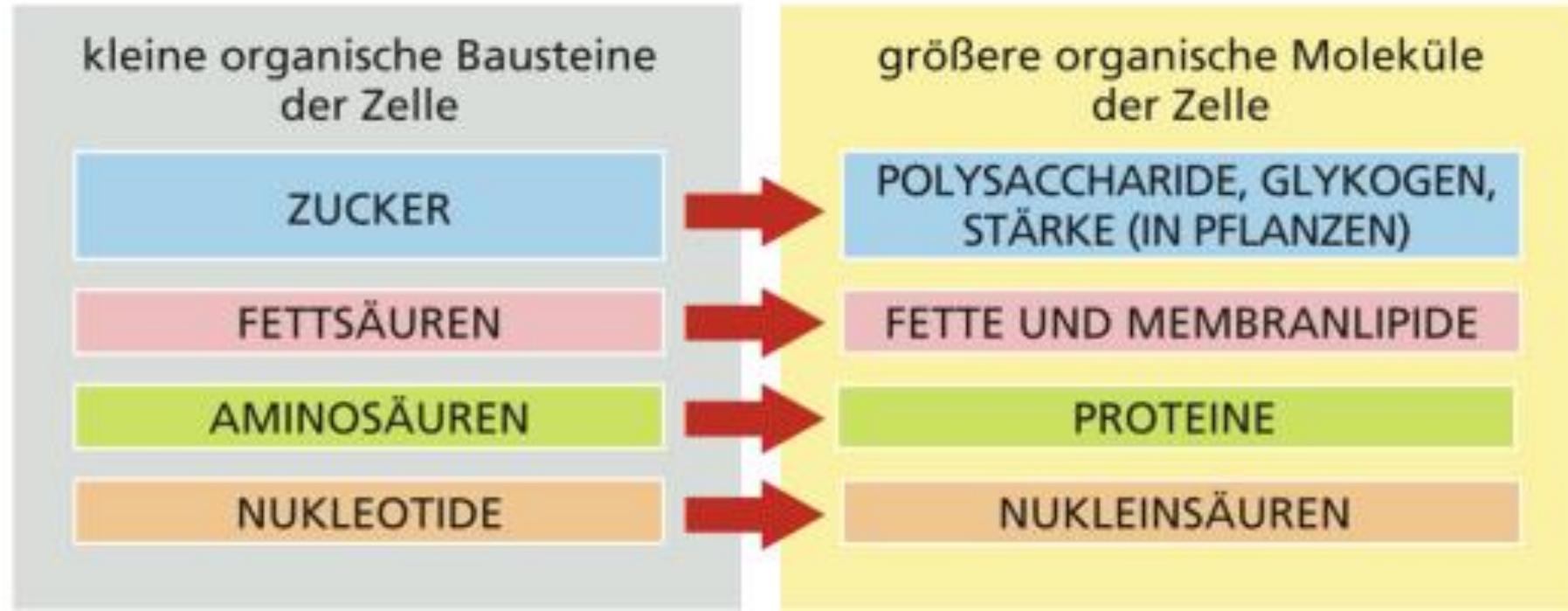
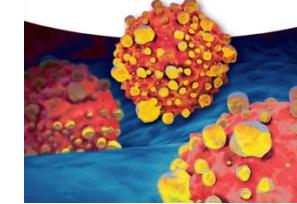


energieriche Acylphosphat-bindung (Carbonsäure-Phosphorsäureanhydrid), kommt in einigen Metaboliten vor

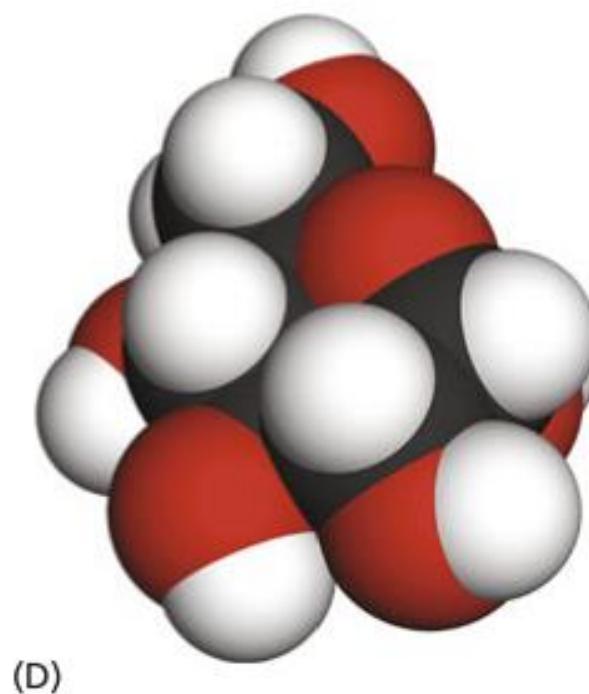
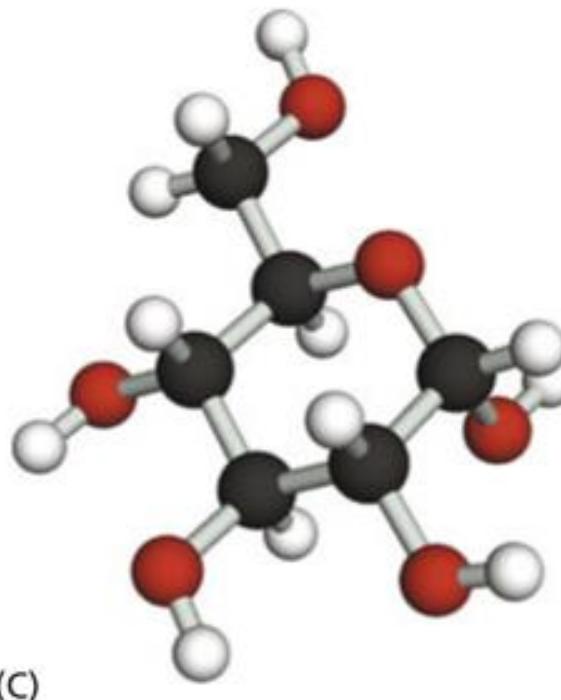
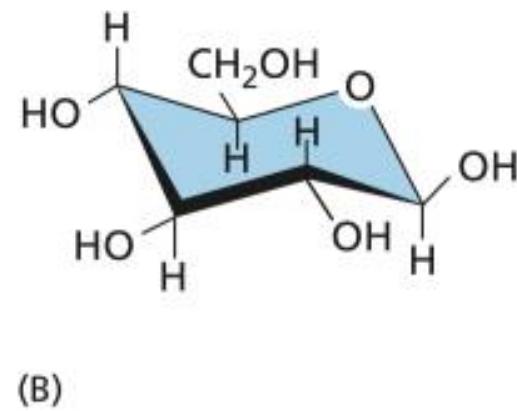
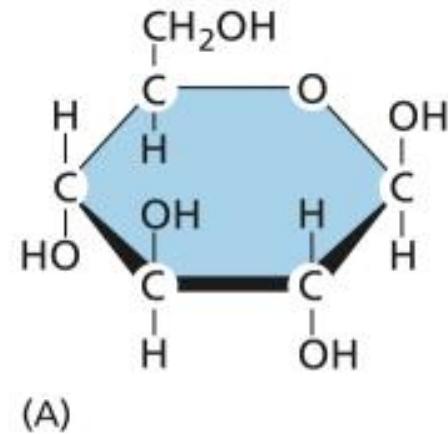
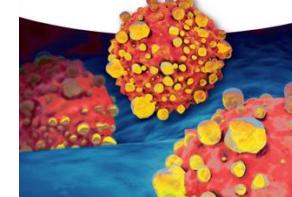
Phosphorsäureanhydrid - eine energieriche Bindung in Molekülen wie ATP



# Vier Grundtypen kleiner organischer Moleküle in Zellen

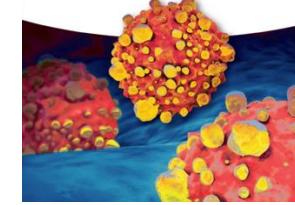


**Abb. 2-17** Zucker, Fettsäuren, Aminosäuren und Nukleotide bilden die vier Grundtypen kleiner organischer Moleküle in Zellen. Sie bilden die monomeren Bausteine (oder Untereinheiten) der größeren organischen Moleküle, einschließlich der meisten Makromoleküle und anderer molekularer Aggregate der Zelle. Einige, wie Zucker und Fettsäuren, sind außerdem zelluläre Energiequellen.



**Abb. 2-18** Die Struktur von Glucose (ein Monosaccharid) kann auf verschiedene Weisen dargestellt werden. In der Strukturformel (A) sind die Atome als chemische Symbole gezeigt, die durch kovalente Bindungen in Form von durchgezogenen Linien miteinander verbunden sind. Die verbreiterten Linien sollen die Ebene des Zuckerrings darstellen und verdeutlichen, dass sich die H- und die OH-Gruppen nicht in derselben Ebene befinden wie der Ring. (B) Eine andere Art von Strukturformel zeigt die dreidimensionale Struktur der Glucose in der „Sesselform“. (C) Ein Kugel-Stab-Modell, mit dem die dreidimensionale Anordnung der Atome im Raum gezeigt wird. (D) Ein Kalottenmodell, das nicht nur die dreidimensionale Anordnung der Atome zeigt, sondern auch eine gewisse Vorstellung von ihren Größenverhältnissen und den Oberflächenkonturen des Moleküls vermittelt.

# Frage: Was unterscheidet verschiedene Zuckermoleküle?

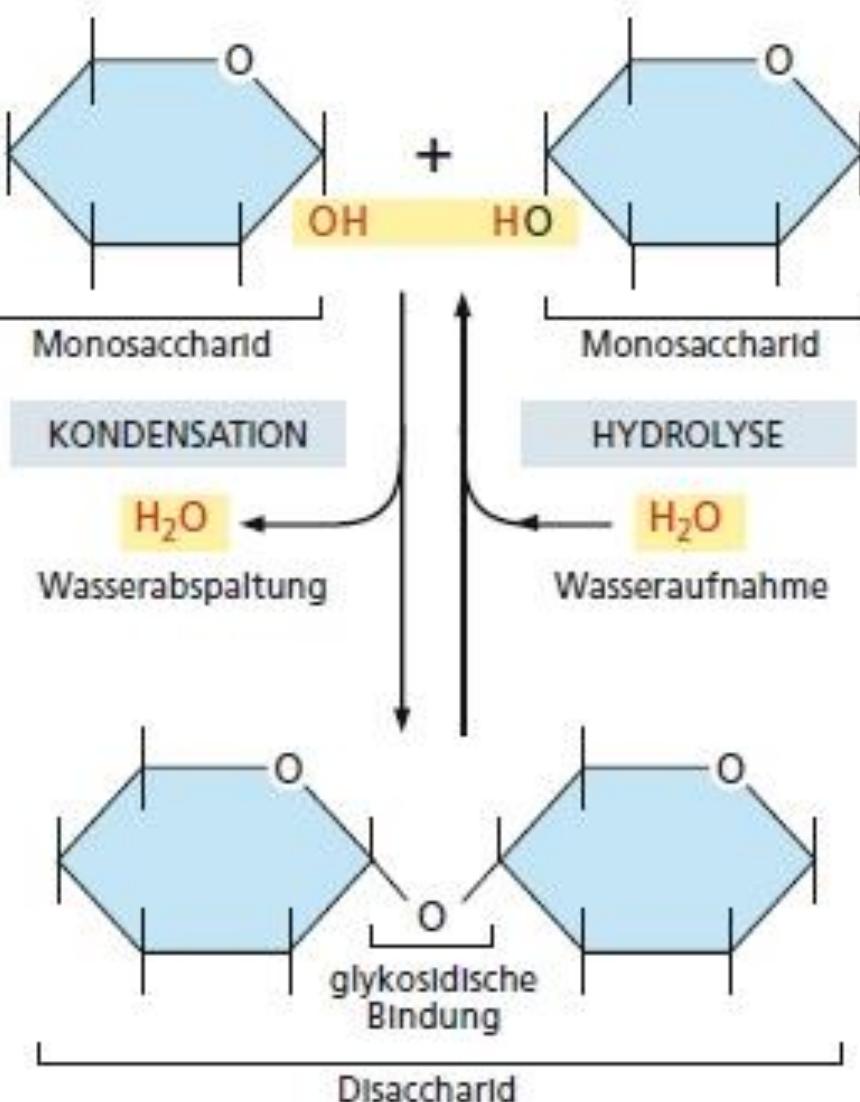
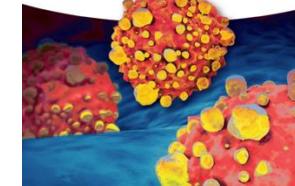


Glucose hat beispielsweise die Formel C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>

Zwei weitere Zucker haben die gleiche Strukturformel:  
Mannose oder Galactose

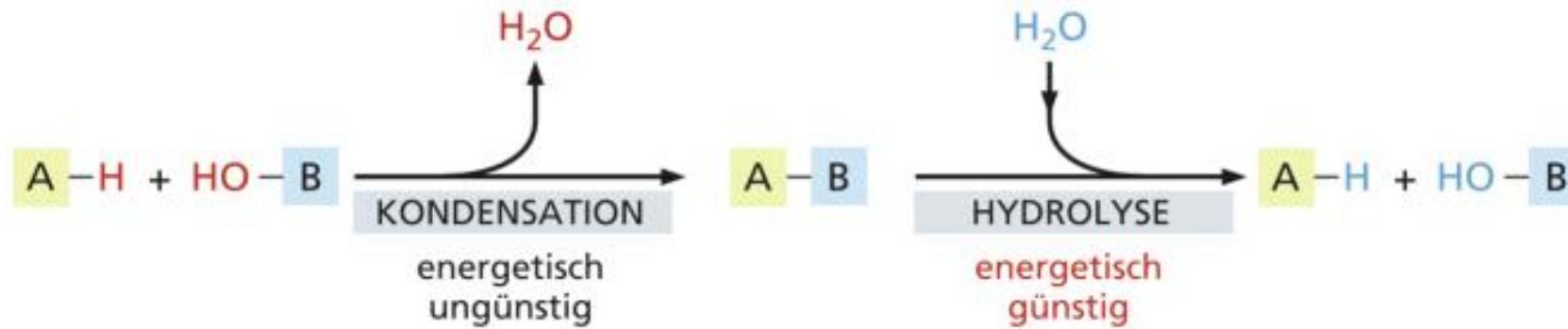
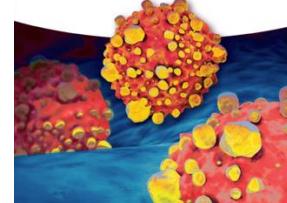
Wie kann das sein?

# Verknüpfungen von Zucker zu großen Zuckerpolymeren



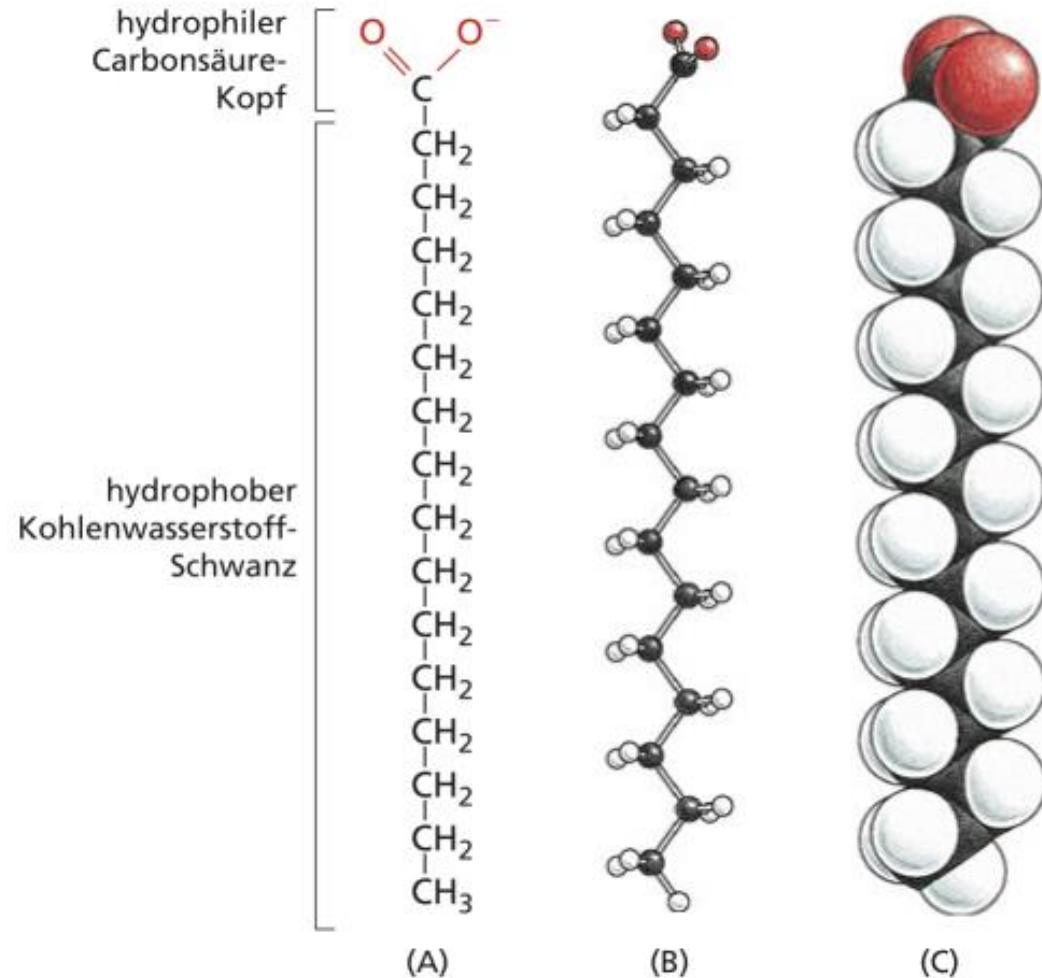
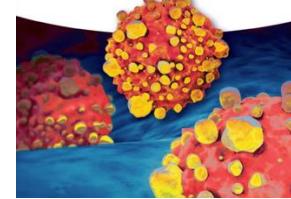
**Abb. 2-19** Zwei Monosaccharide können durch eine kovalente glykosidische Bindung zu einem Disaccharid verknüpft werden. Diese Reaktion gehört zur allgemeinen Kategorie der *Kondensationsreaktionen*, in der sich zwei Moleküle unter Wasserabspaltung miteinander verbinden. Die Umkehrreaktion (in der Wasser aufgenommen wird) heißt *Hydrolyse*.

# Kondensation vs. Hydrolyse



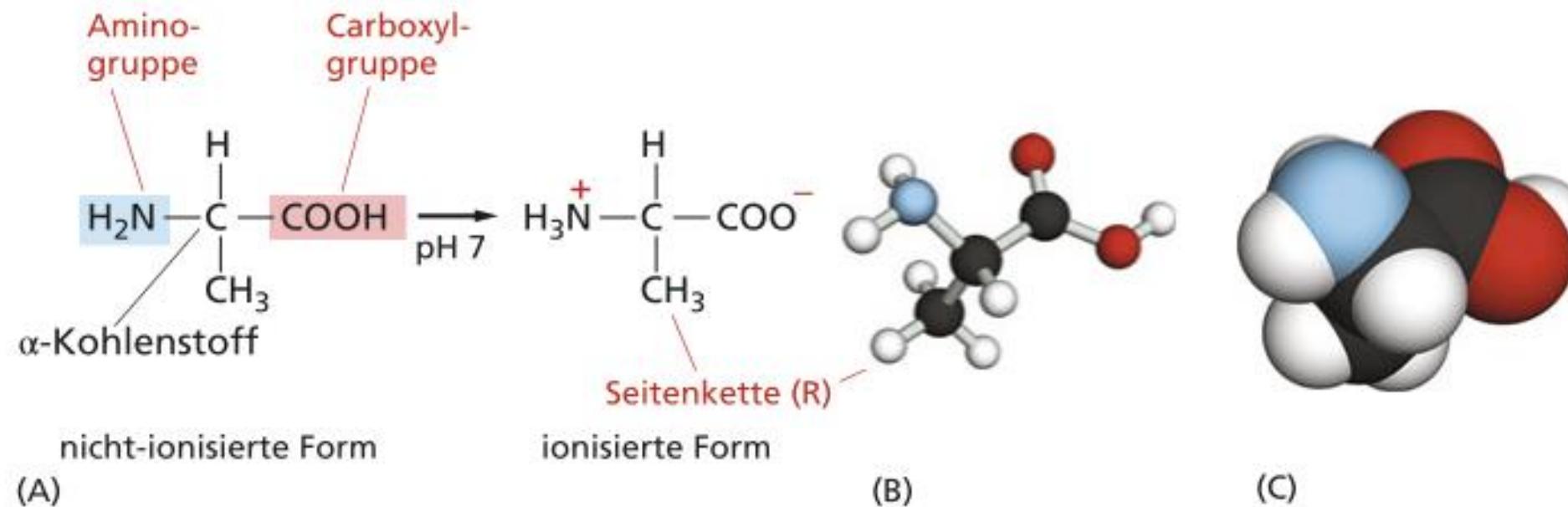
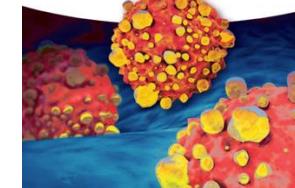
**Abb. 2-20 Kondensation und Hydrolyse sind Umkehrreaktionen.** Die großen Polymermoleküle der Zelle werden aus kleinen Untereinheiten (Monomeren) durch Kondensationsreaktionen aufgebaut. Durch Hydrolyse werden sie wieder abgebaut. Kondensationsreaktionen sind energetisch ungünstig, daher benötigt die Bildung von Makromolekülen Energie, was wir in Kap. 3 besprechen werden.

# Weitere Bestandteile - Fettsäuren

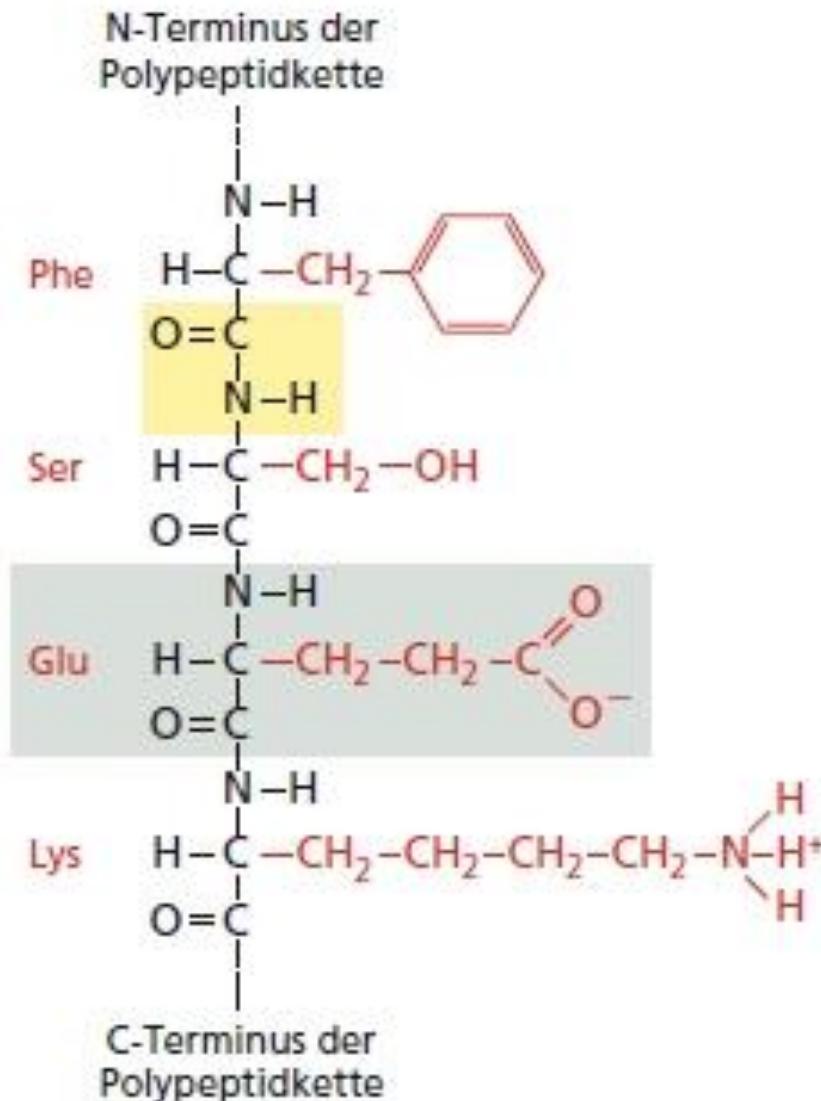
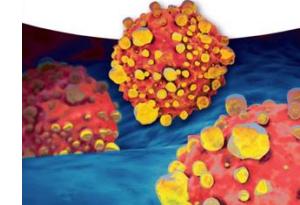


**Abb. 2-21** Fettsäuren besitzen sowohl hydrophobe als auch hydrophile Anteile. Die hydrophobe Kohlenwasserstoffkette ist mit einer hydrophilen Carbonsäuregruppe verbunden. Verschiedene Fettsäuren haben verschiedene „Kohlenwasserstoffschwänze“. Hier ist Palmitinsäure dargestellt. (A) Strukturformel. Der „Carbonsäurekopf“ ist hier in seiner ionisierten Form dargestellt, wie er in Wasser bei pH 7 vorliegt. (B) Kugel-Stab-Modell. (C) Kalottenmodell.

# Weitere Bestandteile – Aminosäuren: Bausteine der Proteine

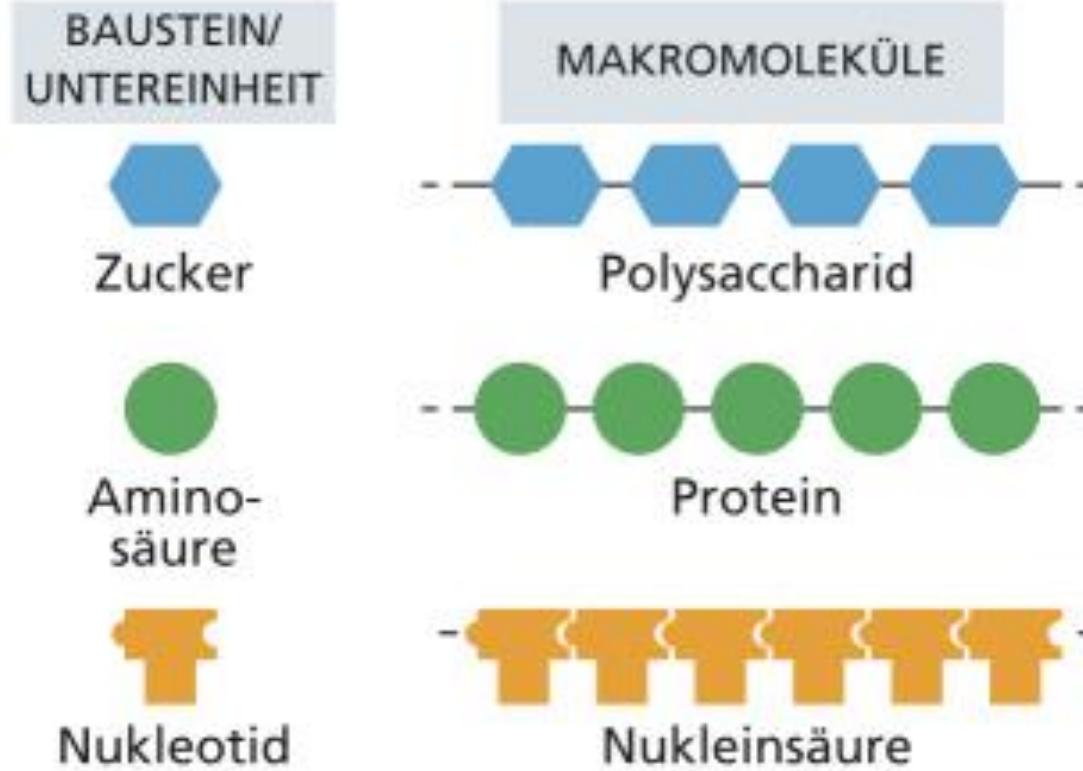
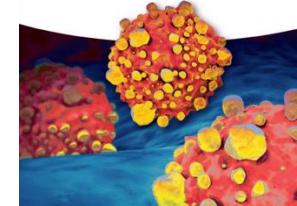


**Abb. 2-24** Alle Aminosäuren haben eine Aminogruppe, eine Carboxylgruppe und eine Seitenkette (R), die an den  $\alpha$ -Kohlenstoff gebunden sind. In der Zelle mit einem pH-Wert nahe 7 liegt die freie Aminosäure in ihrer ionisierten Form vor. Wenn sie jedoch in eine Polypeptidkette eingebaut wird, verschwinden die Ladungen an der Amino- und der Carboxylgruppe. (A) Die hier gezeigte Aminosäure Alanin ist eine der einfachsten Aminosäuren und hat als Seitenkette eine Methylgruppe ( $\text{CH}_3$ ). Die Aminogruppe ist *blau* und die Carboxylgruppe *rot* markiert. (B) Ein Kugel-Stab-Modell und (C) ein Kalottenmodell von Alanin (in (B) und (C): C schwarz, H weiss, O rot und N blau).

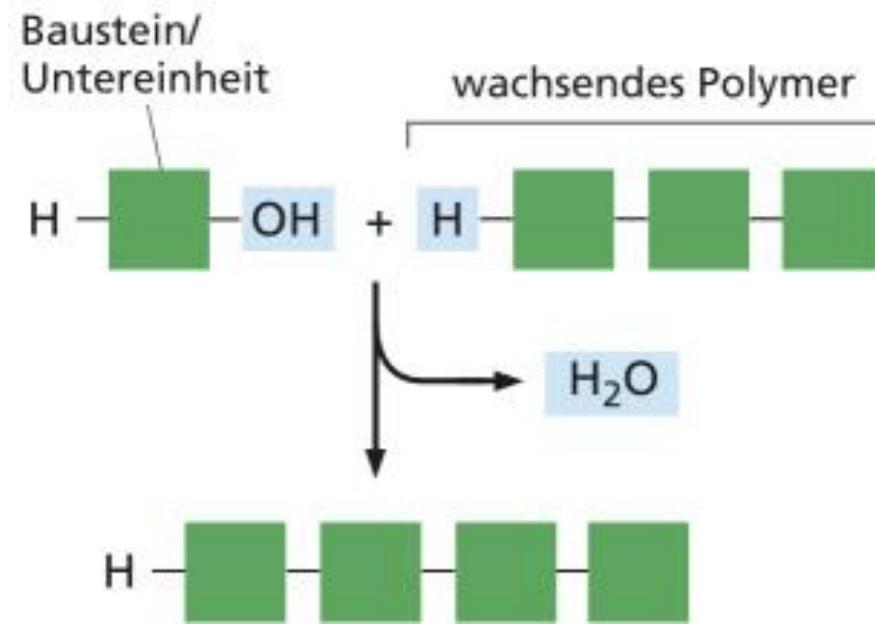


**Abb. 2-25** Aminosäuren in einem Protein werden durch Peptidbindungen zusammengehalten. Die vier hier gezeigten Aminosäuren sind durch drei Peptidbindungen verknüpft, von denen eine *gelb* markiert ist. Eine der Aminosäuren, Glutaminsäure, ist *grau* unterlegt. Die Aminosäureseitenketten sind in *Rot* gezeichnet.

# Makromoleküle in Zellen

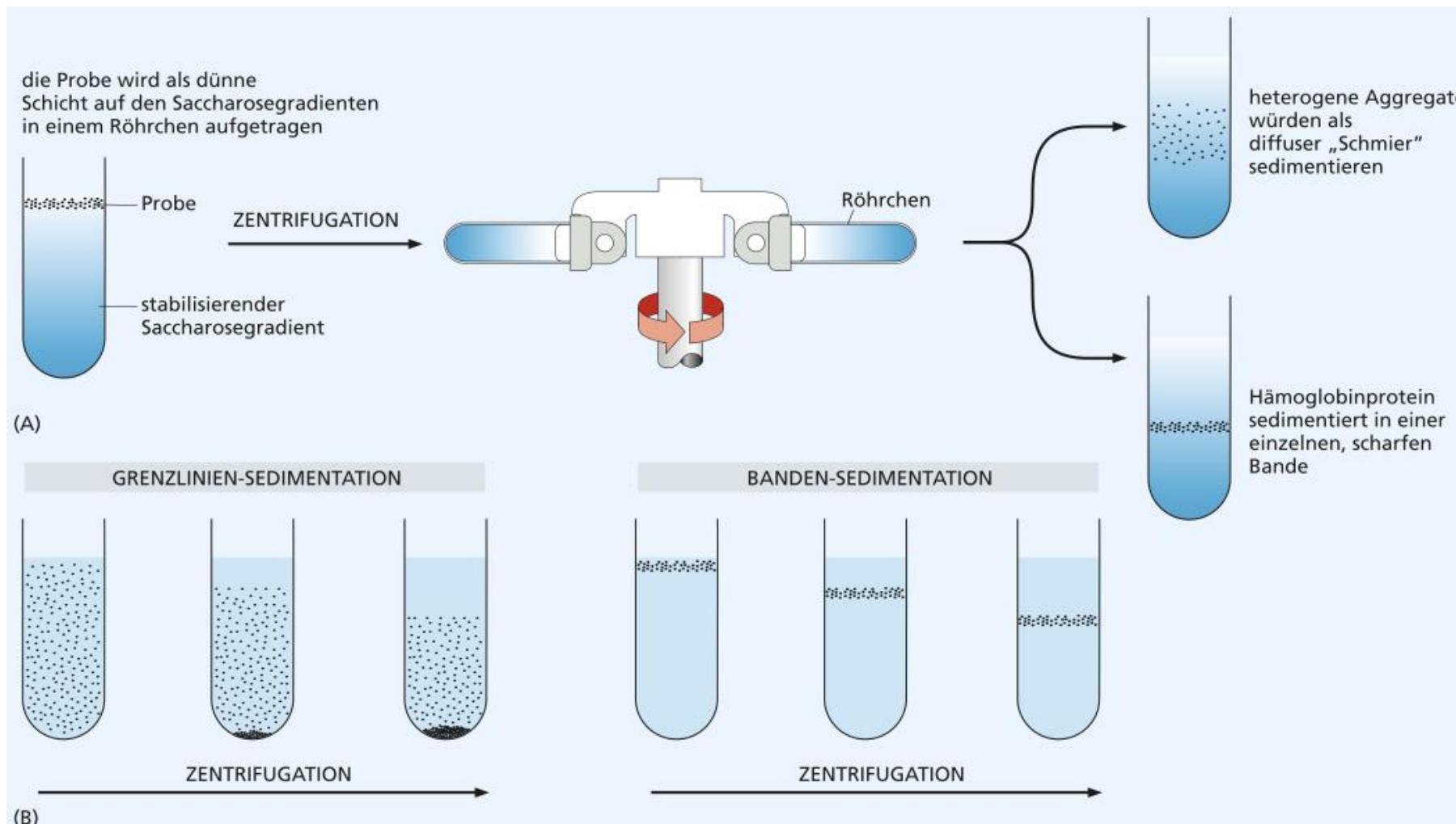
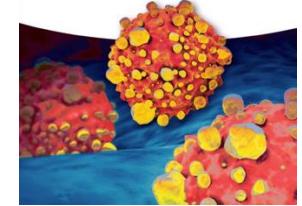


**Abb. 2-30 Polysaccharide, Proteine und Nukleinsäuren werden aus monomeren Untereinheiten gebildet.** Jedes Makromolekül ist ein Polymer aus kleinen Molekülen (genannt Monomere oder Untereinheiten), die durch kovalente Bindungen miteinander verbunden sind.

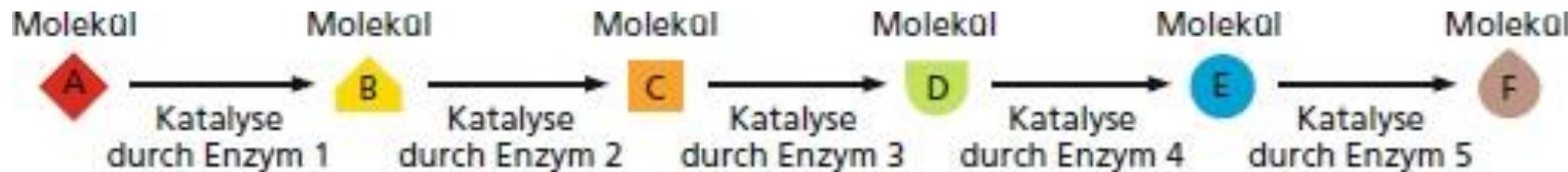
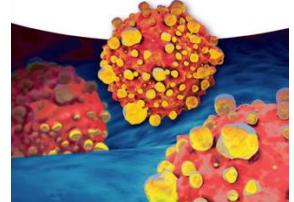


**Abb. 2-31 Makromoleküle werden durch die Anlagerung von Untereinheiten an ein Ende einer Kette gebildet.** In einer Kondensationsreaktion wird pro Anlagerung eines Monomers an ein Ende der wachsenden Kette ein Molekül Wasser abgespalten. Die umgekehrte Reaktion – der Abbau des Polymers – erfolgt durch die Aufnahme von Wasser (Hydrolyse). Siehe auch [Abb. 2-19](#).

# Makromoleküle in Zellen



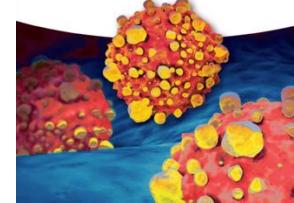
**Abb. 2-33 Die Ultrazentrifuge hat geholfen, die Debatte über die Natur von Makromolekülen beizulegen.** In der Ultrazentrifuge können Zentrifugalkräfte, die 500 000-mal stärker als die Schwerkraft sind, verwendet werden, um Proteine oder andere große Moleküle zu trennen.



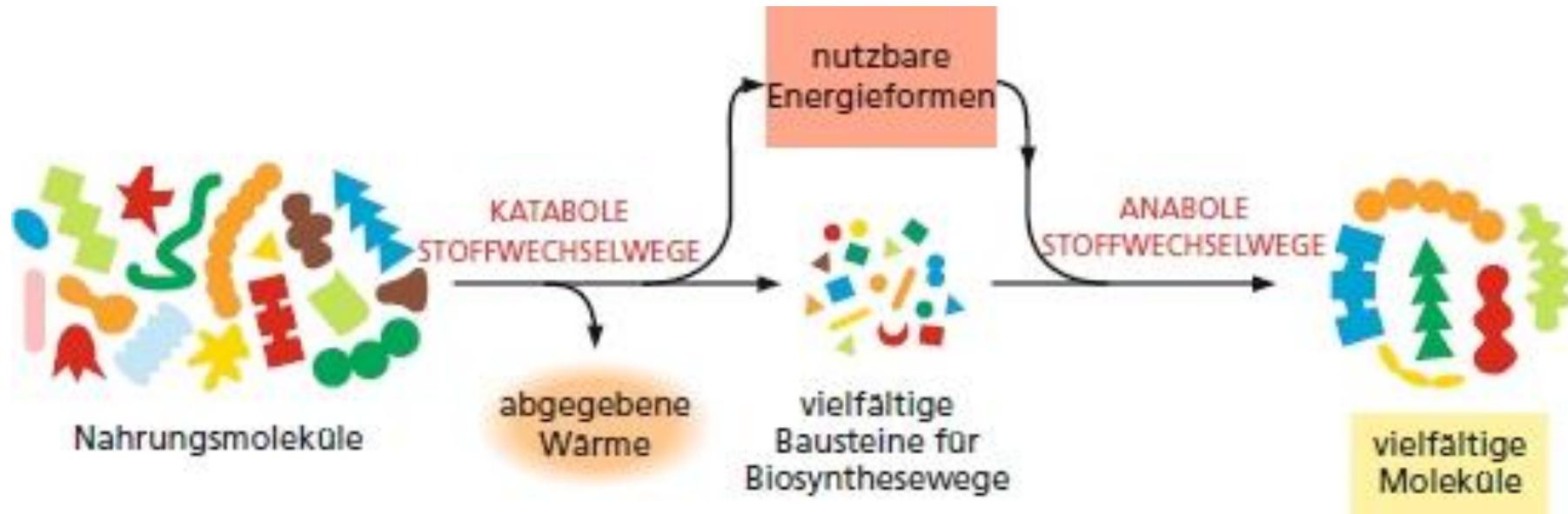
**Abb. 3-1 Eine Reihe enzymkatalysierter Reaktionen bildet einen verknüpften Reaktionsweg.**

Jede chemische Reaktion wird durch ein bestimmtes Enzym katalysiert. Zusammengefasst wandelt diese Gruppe von Enzymen in aufeinanderfolgenden Schritten ein Moleköl A in ein Moleköl F um.

# Katabole und Anabole Stoffwechselwege

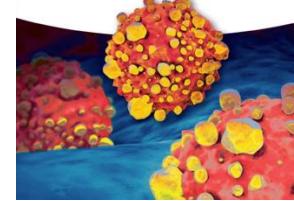


Kapitel 3



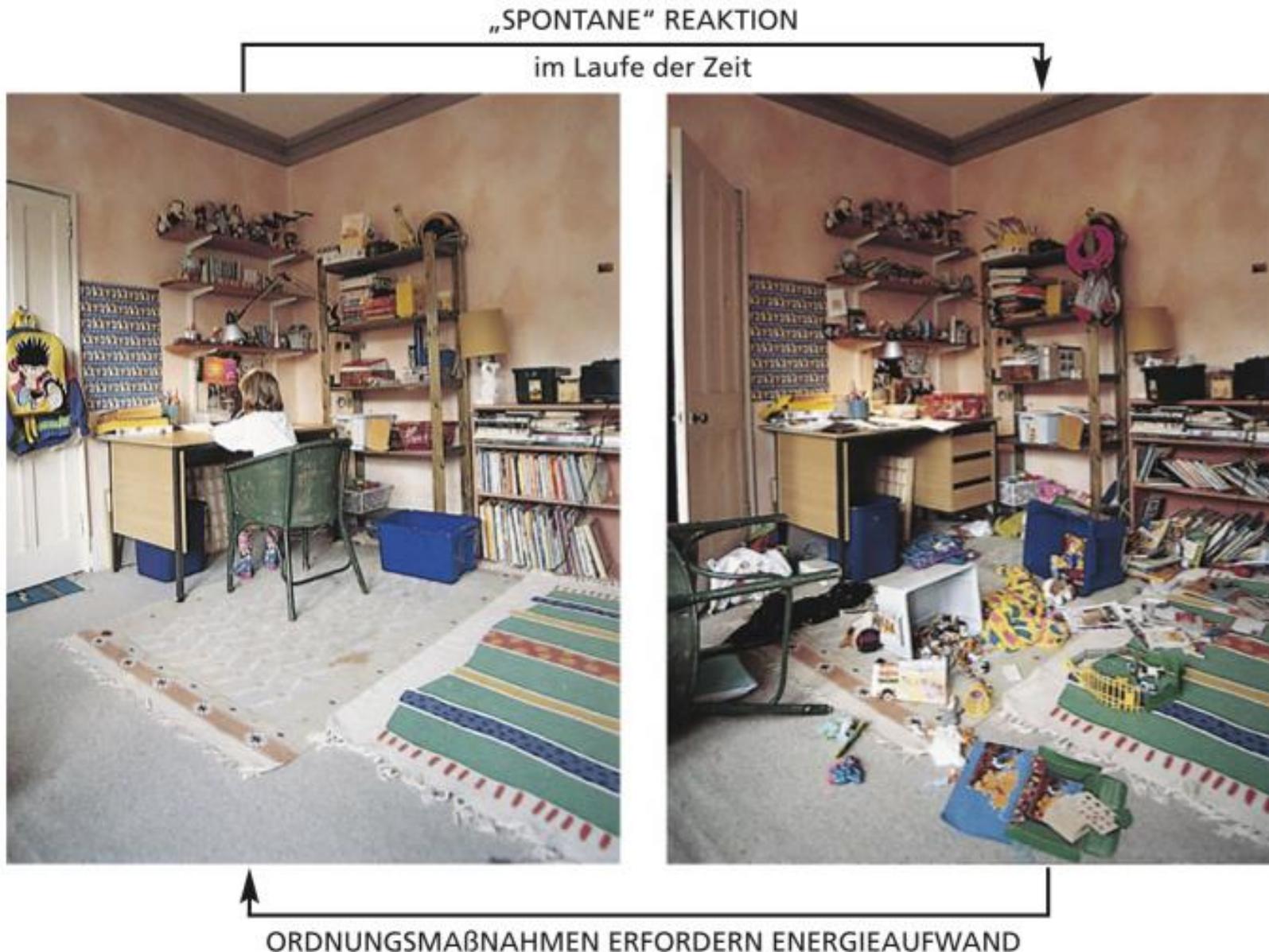
**Abb. 3-2 Katabole und anabole Wege bilden zusammen den Stoffwechsel einer Zelle.** Beim Katabolismus geht ein Großteil der Energie, die in den chemischen Bindungen der Nahrungsmoleküle gespeichert ist, als Wärme verloren. Aber ein Teil dieser Energie wird in nutzbare Energieformen umgewandelt, die nötig sind, um die Synthese neuer Moleküle in den gezeigten anabolen Stoffwechselwegen anzutreiben.

# Ordnung benötigt Energie

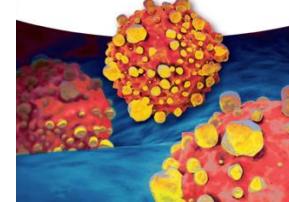


## Kapitel 3

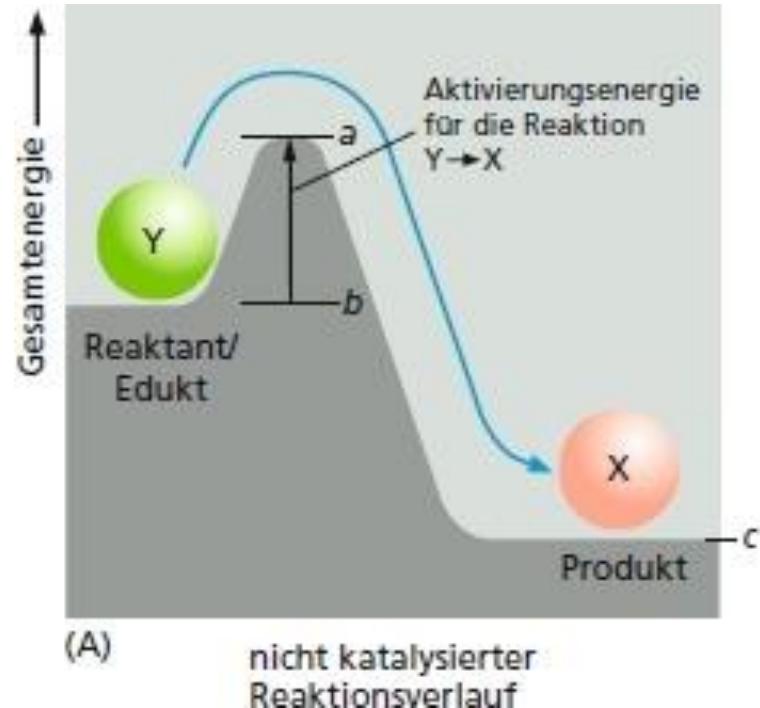
**Abb. 3-4 Der spontane Hang zur Unordnung ist eine alltägliche Erfahrung.** Um diese natürliche Neigung zur Unordnung umzukehren, braucht es Willensanstrengung und Energiezufuhr. Tatsächlich können wir nach dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik sicher sein, dass ein Mensch beim Aufräumen genug Energie in Form von Wärme an die Umgebung abgibt, um die Wiederherstellung der Ordnung in diesem Raum mehr als zu kompensieren.



# Fragen für die nächste Vorlesung



## Kapitel 3



1. Durch welchen Prozess gewinnen Zellen die nötige Energie?
2. Sogar energetisch günstige Reaktionen brauchen Aktivierungsenergie – wie schaffen das die Zellen?

# Hausaufgaben

**Drei neue Aufgaben auf Moodle**

- 3 Aufgaben zu Chemie der Zelle und Zellenergetik

**Vielen Dank für ihre  
Aufmerksamkeit!**