

# Markl Biologie

Oberstufe

Lösungen

Autoren:

Maria Beier

Berthold Brose

Sven Gemballa

Holger Knerich

Ralf Küttner

Julia Markl

Matthias Nolte

Ernst Klett Verlag  
Stuttgart · Leipzig

**1. Auflage**

1 5 4 3 2 1 | 22 21 20 19 18

Alle Drucke dieser Auflage sind unverändert und können im Unterricht nebeneinander verwendet werden.

Die letzte Zahl bezeichnet das Jahr des Druckes.

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages. Hinweis §52 a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen. Fotomechanische oder andere Wiedergabeverfahren nur mit Genehmigung des Verlages.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2018. Alle Rechte vorbehalten. [www.klett.de](http://www.klett.de)

**Herausgeber:** Prof. Dr. Jürgen Markl

**Autorinnen und Autoren:** Maria Beier, Berthold Brose, Prof. Dr. Sven Gemballa, Holger Knerich, Ralf Küttner, Dr. Julia Markl, Dr. Matthias Nolte

**Redaktion:** Laura Tippel, Waltraud Gerbach

**Mediengestaltung:** Andrea Lang-Bristle

**Satz:** SatzKiste GmbH, Stuttgart

Printed in Germany  
ISBN 978-3-12-150050-5

# Zelle

1

## Die Makromoleküle des Lebens

S. 22 1.1

### Die Primärstruktur eines Proteins legt alle seine Eigenschaften fest

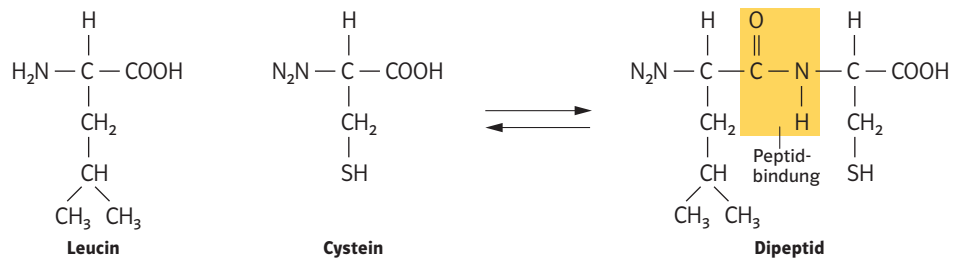
**A1**

**a.** Entwickeln Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung eines Dipeptids aus den Aminosäuren Leucin und Cystein und markieren Sie die Peptidbindung. Orientieren Sie sich dabei an den Abb. 2 und 3.

**b.** Es gibt zwei Möglichkeiten, an das Dipeptid aus a) eine weitere Aminosäure anzuhängen.

Notieren Sie die Reaktionsgleichung und erklären Sie diese.

**a.**

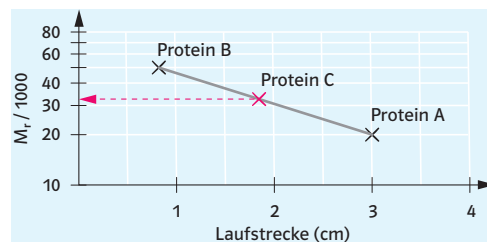


Hier reagiert die Carboxygruppe des Leucins mit der Aminosäure des Cysteins. Umgekehrt ist es auch möglich.

**b.** Am vorderen und am hinteren Ende des Dipeptids sind eine freie Carboxy- bzw. Aminogruppe vorhanden. Diese können jeweils mit einer weiteren Aminosäure eine neue Peptidbindung bilden.

**A2**

Das Protein A in Abb. 4 soll eine relative Molekülmasse ( $M_r$ ) von 20 000 haben, das Protein B eine von 50 000. Bestimmen Sie damit die  $M_r$  von Protein C. Verwenden Sie dazu halblogarithmisches Papier ( $\rightarrow$  Abb.) und konstruieren Sie mit den gemessenen Laufstrecken von A und B eine Eichgerade, an der Sie die  $M_r$  von C ablesen. (Der Logarithmus der  $M_r$  ist direkt proportional zur Laufstrecke im Gel.)



Protein C hat eine relative Molekülmasse von ca. 33 000.

S. 24 1.2

### Die Polarität des Wassermoleküls ist eine Voraussetzung für irdisches Leben

**A1**

Die Abbildung zeigt die Ladungsverteilung im Wassermolekül modellhaft. Ordnen Sie den Farben rot und blau die richtige Bedeutung zu und erklären Sie die sich daraus ergebende Eigenschaft des Wassermoleküls.

Rot bedeutet Elektronenmangel. Blau bedeutet Elektronenüberschuss. Daraus ergibt sich, dass das Wassermolekül polar ist. Es existiert eine negative Teilladung ( $\delta^-$ ) am Sauerstoffatom und eine positive Teilladung ( $\delta^+$ ) an den Wasserstoffatomen. Es ist ein Dipolmolekül.

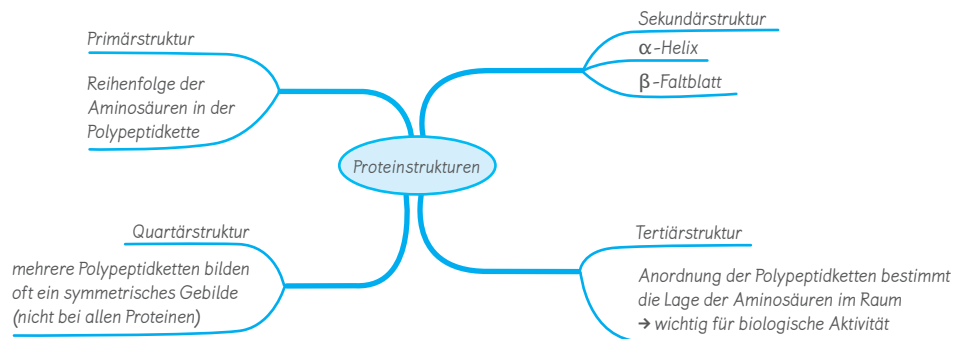
**A2** Einige organische Stoffe, wie z. B. Ethanol (→ Abb.), sowie viele Salze sind gut wasserlöslich. Erklären Sie die unterschiedlichen Gründe mithilfe der Abbildungen sowie Abb. 1 e.

Salze bestehen aus elektrisch positiv und negativ geladenen Ionen. Die polaren Wassermoleküle können sich mit ihrer positiven Teilladung an die negativen Ionen des Salzes (Anionen) und mit ihren negativen Teilladungen an die positiven Ionen des Salzes (Kationen) anlagern (= Hydratation). Die Anziehungskraft der Ionen wird überwunden, der Ionenkristall geht in Lösung.

Ursache für die gute Wasserlöslichkeit von Ethanol sind ebenfalls Wechselwirkungen der Wassermoleküle mit den Ethanol-Molekülen. Die OH-Gruppe im Ethanol ist hydrophil. Zwischen beiden Molekülen wirken Wasserstoffbrückenbindungen.

S. 26 **1.3 Die Funktion eines Proteins beruht auf seiner räumlichen Struktur**

**A1** Erstellen Sie eine Mind-Map zu den verschiedenen Strukturebenen von Proteinen.



- A2**
- Erhitzen ist eine Möglichkeit um Krankheitserreger, wie z. B. Bakterien, etwa an medizinischen Geräten unschädlich zu machen. Erklären Sie das.
  - Benennen Sie mithilfe der Abb. 1, welche Bindungen in Proteinen durch Denaturierung zerstört bzw. nicht zerstört werden.
    - Durch Hitze werden Bakterien abgetötet. Das geschieht durch die Denaturierung der Proteine in den Zellen. Dabei bleibt nur die Primärstruktur erhalten. Die höheren Molekülstrukturen werden zerstört. Die Proteine können ihre biologischen Funktionen nicht mehr erfüllen.
    - Es werden zerstört: Wasserstoffbrücken, Ionenbindungen, hydrophobe Wechselwirkungen. Es werden nicht zerstört: Peptidbindungen, Disulfidbrücken.

S. 28 **1.4 Kohlenhydrate dienen als Energiespeicher, Baumaterial und Etiketten**

**A1** Wenn Sie Getreide oder Kartoffeln essen, nehmen Sie das Polysaccharid Stärke auf. Stärke ist kaum wasserlöslich und kann deshalb nicht ins Blut aufgenommen werden. Bei der Verdauung wird Stärke durch die Verdauungsenzyme in gut wasserlösliche Glucose umgewandelt. Stellen Sie eine begründete Vermutung über die Ursachen der unterschiedlichen Wasserlöslichkeit von Glucose und Stärke an. Abb. 1 und Konzept 1.2 helfen Ihnen dabei.

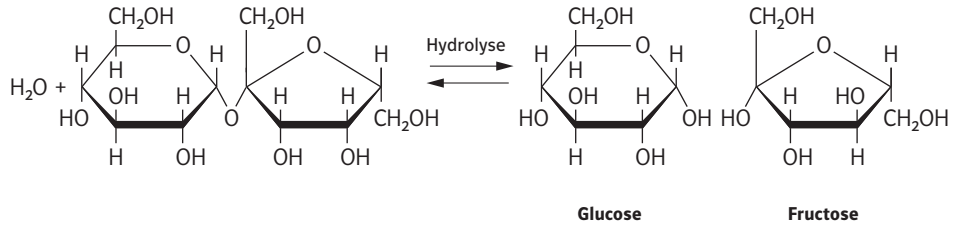
Wasser ist ein polares Lösungsmittel. Glucose enthält im Molekül 5 Hydroxygruppen, die ebenfalls polar und damit hydrophil sind. Deshalb können Glucose- und Wassermoleküle gut in Wechselwirkung treten. Glucose ist also gut wasserlöslich. (Hinweis: Zusätzlich sind Wasserstoffbrücken zwischen Wasser- und Glucosemolekülen möglich.)

Stärke enthält ebenfalls viele polare Hydroxygruppen. Trotzdem ist sie nur schwer wasserlöslich. Die Ursache dafür kann also nur in der Molekülgröße liegen. Stärke

besteht aus vielen Glucose-Einheiten und ist deshalb ein viel größeres Molekül (Makromolekül), das sich schlecht in Wasser löst.

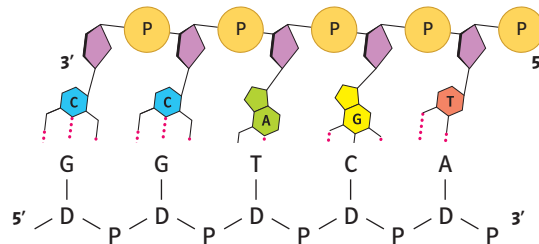
(Hinweis: Wasserstoffbrücken gibt es hier zwischen den nebeneinanderliegenden Stärkemolekülen. Sie halten sie untereinander noch fester zusammen.)

**A2** Fructose, der Fruchtzucker, kommt u. a. in süßen Früchten vor. Bei der Verdauung von Saccharose läuft eine Hydrolyse ab. Dabei entsteht neben Fructose auch Glucose. Erklären Sie das anhand einer chemischen Gleichung wie in Abb. 1c.



S. 29 **1.5** Die Erbsubstanz DNA besteht aus nur vier verschiedenen Bausteinen

**A1** Übertragen Sie die Abbildung unten und ergänzen Sie den Komplementärstrang zu dem gegebenen DNA-Einzelstrang. Verwenden Sie P für den Phosphatrest, D für Desoxyribose und die richtigen Buchstaben für die organischen Basen.



**A2** Vergleichen Sie DNA und RNA tabellarisch.  
z. B.:

	Desoxyribonucleinsäure (DNA)	Ribonucleinsäure (RNA)
<b>Funktion</b>	Datenspeicher Bauplan für Proteine	Abschrift des Bauplans
<b>Bau des Moleküls</b>	Nucleotide	
	Doppelhelix aus zwei komplementären Strängen, rechts drehende „Wendeltreppe“	Einzelstrang
<b>Bau eines Nucleotids</b>	1 Desoxyribose	1 Ribose
	1 Phosphatrest	
	1 organische Base	
<b>organische Basen</b>	Adenin A (Purinbase) Guanin G (Purinbase) Cytosin C (Pyrimidinbase)	
	Thymin T (Pyrimidinbase)	Uracil U (Pyrimidinbase)
<b>komplementäre Basen</b>	G-C (3 Wasserstoffbrücken)	
	A-T (2 Wasserstoffbrücken)	A-U (2 Wasserstoffbrücken)

S. 30 **1.6** Lipide sind unpolar und stoßen daher Wasser ab

**A1** Vergleichen Sie Phospholipide und Triglyceride nach Aufbau, Eigenschaften und Vorkommen.

	Phospholipide	Triglyceride
<b>Bau</b>	Glycerol	
	2 Fettsäuren 1 Phosphatrest 1 Cholin	3 Fettsäuren
<b>Eigenschaften</b>	polare Kopfregion (hydrophil) unpolare Schwanzregion (hydrophob)	unpolar (hydrophob)
<b>Vorkommen</b>	in Biomembranen	Energiespeicher, Wärmeisolator, Polstermasse

**A2** Phospholipide können an ihrem polaren Molekülteil mit Wasser wechselwirken. Beschreiben Sie das Zustandekommen dieser Wechselwirkungen.

Am polaren Molekülteil, dem Kopf des Phospholipids, befinden sich zwei ionische Ladungen. Eine positive Ladung am N-Atom des Cholins und eine negative Ladung an einem O-Atom des Phosphatrests. Diese Ladungen ziehen die negative Teilladung ( $\delta^-$ ) am Sauerstoffatom und eine positive Teilladung ( $\delta^+$ ) an den Wasserstoffatomen des Dipolmoleküls Wasser an.

S. 31 **1.7** Die Makromoleküle des Lebens basieren auf dem Element Kohlenstoff

**A1** Kohlenstoff ist die Basis für die Vielfalt der Makromoleküle des Lebens. Erläutern Sie das auch mithilfe der Abb. 2.

Kohlenstoff kann vier kovalente Bindungen zu Nachbaratomen ausbilden. Diese Bindungen können zu verschiedenen Elementen, aber auch wieder zu Kohlenstoffatomen ausgebildet werden. Damit werden Kohlenstoffketten verschiedener Länge möglich. Durch Doppelbindungen, Verzweigungen und Ringbildungen erhöht sich die Anzahl der möglichen Molekülbildungen. Außerdem können verschiedene funktionelle Gruppen im Molekül vorkommen. Damit ergibt sich eine nahezu unendliche Anzahl von Varianten für „Biomoleküle“.

**A2** Ergänzen Sie die Tabelle. Beschränken Sie sich in der Spalte „Vorkommen“ auf die in Kap. 1 besprochenen Stoffe oder Stoffgruppen. Die funktionellen Gruppen können in den Stoffen auch miteinander reagiert haben, wie z. B. die Hydroxy- mit der Carboxygruppe in den Lipiden.

z. B.:

Funktionelle Gruppe	Vorkommen
Hydroxy-Gruppe	Kohlenhydrate, Aminosäuren (z. B. Thyroxin), Glycerol, Lipide
Aminogruppe	Aminosäuren, Proteine, Nucleinsäuren
Carboxy-Gruppe	Aminosäuren, Proteine, Lipide, Fettsäuren
Thiolgruppe	Aminosäuren (Cystein)
Phosphatgruppe	DNA, RNA, Phospholipide

S. 32

**Kombiniere!**

**A1** Die Nährstoffe in unserer Nahrung werden durch die Enzyme des Verdauungssystems zerlegt. Abb. 1 zeigt vereinfacht diese Vorgänge, wie sie Ihnen sicher noch aus Lehrbüchern der Sekundarstufe I bekannt sind. Ordnen Sie den Symbolen die Stoffe zu.

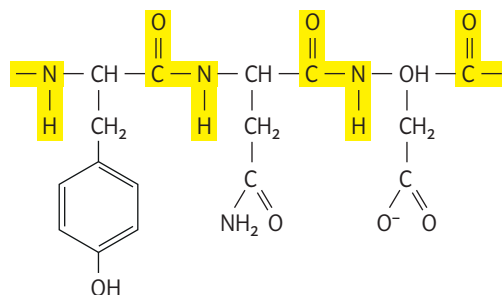
- a) Kette aus Sechsecken: Polysaccharid (z. B. Stärke)
  - zwei Sechsecke: Disaccharid (z. B. Maltose)
  - Sechseck: Monosaccharid (z. B. Glucose)
- b) Kette aus Ellipsen: Polypeptid oder Protein
  - Ellipse: Aminosäure
- c) E-förmiger Balken mit drei Zick-Zack-Linien: Lipid oder Fett
  - E-förmiger Balken: Glycerol
  - Zick-Zack-Linie : Fettsäure

**A2**

- a. Erklären Sie mithilfe der Abb. 2 die allgemeine Struktur von Proteinen.
  - b. Nennen Sie die Namen der drei im Molekülausschnitt in Abb. 2 gezeigten Aminosäuren.
  - c. Notieren Sie die Strukturformel des in Abb. 2 gezeigten Molekülausschnitts und markieren Sie die Peptidbindungen. Nutzen Sie dazu die Abb. 2 und 3 auf Seite 20 und 21.
- a. Proteine besitzen verschiedene Strukturebenen. Sie bestehen aus Aminosäuren, die durch Peptidbindungen kettenförmig miteinander verbunden sind. Die Reihenfolge der Aminosäuren (= Aminosäuresequenz) ist die Primärstruktur (z. B. -Tyr-Asn-Asp- im vergrößerten Abschnitt). Entsprechend der Reste der Aminosäuren können sie untereinander in Wechselwirkungen treten. Durch Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Aminosäuren können die beiden Sekundärstrukturen entstehen: die  $\beta$ -Faltblattstruktur (Pfeile im Bändermodell) und die  $\alpha$ -Helix-Struktur (Spirale). Nicht alle Bereiche der Aminosäureketten bilden Sekundärstrukturen. Innerhalb des Proteins sind weitere dreidimensionale Schleifen und Bögen, die Tertiärstruktur, zu erkennen. Ursache für diese Anordnung sind wiederum die Wechselwirkungen zwischen den Resten der Aminosäuren (z. B. Ionenbindung, Wasserstoffbrücken, Disulfidbrücken und hydrophobe Wechselwirkungen).

b. Tyr = Tyrosin    Asn = Asparagin    Asp = Asparaginsäure

c.

**A3**

- a. Ordnen Sie Inulin anhand von Abb. 3 einer Stoffklasse zu.
  - b. Geben Sie die Namen der Grundbausteine des Inulins an, die durch die Spaltung der glykosidischen Bindungen durch das Protein Inulinase entstehen.
  - c. Nennen Sie mindestens zwei weitere Reservestoffe von Pflanzen und Tieren, deren Aufbau dem Inulin ähnelt.
- a. Polysaccharid
  - b. ein Molekül Glucose und mehrere (30–100) Moleküle Fructose
  - c. Stärke (bei Pflanzen), Glykogen (bei Tieren)

**A 4**

- a. Erklären Sie den Begriff pH-Wert.
  - b. Beschreiben Sie die Veränderung in Lösungen, durch die ein Anstieg des pH-Werts verursacht wird.
  - c. Geben Sie den Fachbegriff für Lösungen an, die die gleiche Wirkung auf den pH-Wert einer Lösung haben wie das Kohlensäure-Hydrogencarbonat-System im Blut.
- a. Der pH-Wert gibt die Konzentration der Wasserstoff-Ionen ( $H^+$ ) in einer Lösung an. Die pH-Skala geht von 0 – 14. Bei pH 0 beträgt die Konzentration der Wasserstoff-Ionen 1 mol/l, bei pH 7 beträgt sie  $10^{-7}$  mol/l und bei pH 14 nur noch  $10^{-14}$  mol/l. Der pH-Wert ist eine logarithmische Skala.
  - b. Wenn die Konzentration der Wasserstoff-Ionen in einer Lösung abnimmt, steigt der pH-Wert.
  - c. Puffersubstanzen



2

Die Zelle — Grundeinheit des Lebens

S. 35 2.1 Mikroskope machen Zellen und deren Bestandteile sichtbar

**A1** Vergleichen Sie Lichtmikroskopie und Transmissions-Elektronenmikroskopie tabellarisch.

z. B.:

	Lichtmikroskopie	Transmissions-Elektronenmikroskopie
Objekt	wird durchstrahlt	
Strahlungsart	Licht	Elektronen
Vergrößerung	100 – 1000-fach	10 000 – 100 000-fach
Auflösung	400 – 700 nm	wenige pm
Lebendbeobachtung	möglich	nicht möglich
Bilder	farbig	schwarzweiß

**A2** In populärwissenschaftlichen Zeitschriften werden oft beeindruckende farbige REM-Bilder abgedruckt. Erklären Sie, was bei der Interpretation solcher Farbbilder zu beachten ist.

REM liefern nur Bilder in Graustufen. Die Farben entstehen durch Einfärben am PC entsprechend der Graustufen. Es sind keine natürlichen Farben der untersuchten Objekte.

S. 38 2.2 In Tier- und Pflanzenzellen teilt sich eine Vielfalt an Organellen die Aufgaben

**A1** Viele Zellorganellen sind von Membranen umhüllt. Vergleichen Sie diese Reaktionsräume der Zelle mit Reagenzgläsern, den Reaktionsräumen im Chemieunterricht.

z. B.

	Zellorganell (= Kompartiment)	Reagenzglas
Funktion	Reaktionsraum	
Material	Membran	Glas
Abgrenzung	gegenüber dem Cytoplasma	gegenüber dem Chemieraum
Stoffaustausch	durch die gesamte Membran	nur durch die Öffnung

**A2**

a. Ordnen Sie die Zellorganellen danach, ob sie von einer oder zwei Membranen begrenzt werden.

b. Nennen Sie Zellbestandteile ohne Membran.

a. eine Membran: Cytoplasma, Vakuole, Peroxisom, Golgi-Apparat, Endoplasmatisches Reticulum, Vesikel

zwei Membranen: Mitochondrium, Chloroplast, Zellkern

b. z. B. Centriolen, Cytoskelett, Nucleolus, Ribosom

S. 40 2.3 Der Zellkern ist die Steuerzentrale der Zellaktivität

**A1** Schirmalgen kommen in subtropischen und tropischen Meeren vor. Obwohl es einzellige Lebewesen sind, werden sie bis 10 cm groß. Erläutern Sie das Experiment mit den Schirmalgen aus der Gattung *Acetabularia* (→ Abb. 2). Gehen Sie dabei von folgender Hypothese aus: Der Zellkern steuert den Stoffwechsel einer Zelle. Gliedern Sie die Antwort in Hypothese, Experiment, Beobachtung, Ergebnis.

Hypothese:

Der Zellkern steuert den Stoffwechsel einer Zelle.

Experiment:

Zwei gut zu unterscheidende Arten von Schirmalgen liegen vor. Schirmalgen sind einzellige Lebewesen.

*Acetabularia crenulata*: dunkelgrün, gefranster Schirm.

*Acetabularia mediterranea*: hellgrün, tellerförmiger Schirm

Bei *Acetabularia mediterranea* wird der Schirm und ein Stück des Stiels abgeschnitten. Außerdem wird der Zellkern entfernt und stattdessen der Zellkern von *Acetabularia crenulata* eingepflanzt.

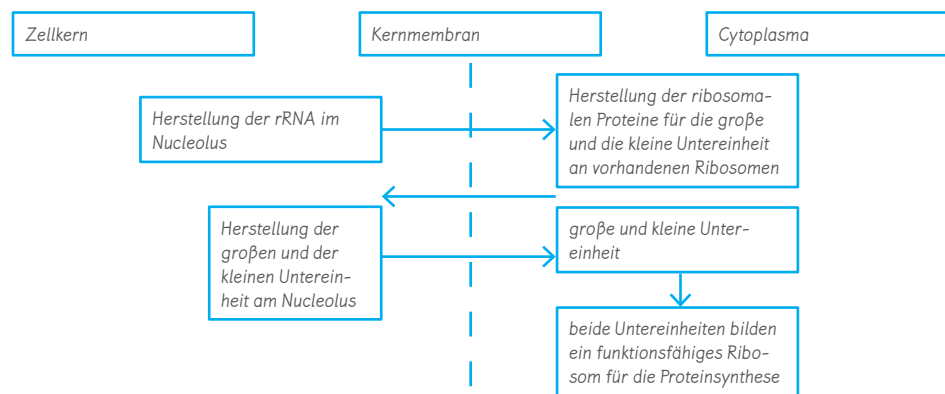
Beobachtung:

Die Alge regeneriert sich. Stiel und Schirm wachsen nach, haben dabei die Eigenschaften von *Acetabularia crenulata* (dunkelgrün, gefranster Hut).

Ergebnis:

Da beim Experiment nur der Zellkern von der Algenart stammt, deren Merkmale der neu gewachsene Stiel und Schirm zeigen, muss die Information dazu aus dem Zellkern stammen. Die Hypothese wurde bestätigt.

**A2** Entwickeln Sie ein Flussdiagramm für die Herstellung von Ribosomen.



S. 41 **2.4** Im Cytoplasma laufen viele Reaktionen gleichzeitig ab

**A1** Nennen Sie wichtige Reaktionen, die im Zellplasma ablaufen.

- Herstellung von Proteinen an Ribosomen
- Abbau schadhafter Proteine durch Proteasomen

**A2** Erklären Sie die Bedeutung des Cytoplasmas für die Proteinsynthese.

Im Cytoplasma werden alle Proteine hergestellt. Dazu benötigt die Zelle die beiden Untereinheiten der Ribosomen und die mRNA aus dem Zellkern.

S. 43 **2.5** Das Endomembransystem produziert, verpackt, verschickt und recycelt

**A1** Erläutern Sie die Funktion der Transportvesikel und der Lysosomen.

Transportvesikel schließen Stoffe in eine Biomembran ein. Sie können so innerhalb des Cytoplasmas transportiert und zum Endomembransystem oder zur Zellmembran gelangen.

Transportvesikel können z.T. auch mit dem Endomembransystem oder der Zellmembran verschmelzen.

Lysosomen sind ebenfalls membranumhüllte Bläschen, die abbauende Enzyme enthalten. Sie verschmelzen mit Vesikeln, die abzubauen Stoffe enthalten. So bildet sich ein Kompartiment mit Verdauungsfunktion.

**A2** Wählen Sie im Folgenden die Begriffe, die zur Herstellung der Amylase passen, und ordnen Sie diese in der richtigen Reihenfolge:  
 Zellkern einer Speicheldrüsenzelle → genetische Information für Amylase → raues ER → Empfangsseite des Golgi-Apparats → Zisterne des Golgi-Apparats → Versandseite des Golgi-Apparats → Transportvesikel → Exocytose der Amylase → Ausführungsgang der Speicheldrüse zur Mundhöhle  
 Endocytose der Amylase, Lysosom und glattes ER entfallen.

## S. 44 2.6 Tierzellen werden vom Cytoskelett, Pflanzenzellen von der Zellwand gestützt

**A1** Erläutern Sie die Formstabilität von pflanzlichen Geweben, wie z. B. einem Laubblatt. Unterscheiden Sie dabei die Ebenen Zelle und Gewebe.

Ebene Zelle:

Pflanzenzellen sind von einer Zellwand umgeben. Durch das Polysaccharid Cellulose sind Zellwände sehr formstabil.

Ebene Gewebe:

Pflanzenzellen sind untereinander durch eine Art Kitt, das Polysaccharid Pektin, verbunden. Das verleiht dem gesamten Gewebe Festigkeit.

**A2** Nennen Sie die Bestandteile des Cytoskeletts tierischer Zellen und geben Sie jeweils ihre Funktion an.

Actinfilamente: Bewegungsvorgänge in der Zelle (z. B. Muskeln)

Mikrotubuli: Bewegungsvorgänge in der Zelle (z. B. Zellteilung)

Intermediärfilamente: Stabilität von Zellen (z. B. Hautzellen)

## S. 47 2.7 Die Mitose führt zu einer exakten Verdopplung des Zellkerns

**A1** Beschreiben Sie stichwortartig wesentliche Vorgänge und den Verlauf von Mitose und Cytokinese einer Tierzelle.

Prophase: Chromatin kondensiert im Zellkern zu sichtbaren Chromosomen, die aus zwei identischen Schwesterchromatiden bestehen; Nucleolus und Kernhülle verschwinden, die Mitosespindel entsteht.

Metaphase: Die Chromosomen liegen kondensiert auf der Äquatorialplatte; die Schwesterchromatiden sind mit entgegengesetzten Polen verbunden.

Anaphase: Die Schwesterchromatiden trennen sich am Centromer und wandern mithilfe des Spindelapparats zu den entgegengesetzten Polen.

Telophase: Um diese Tochterchromosomen bildet sich an jedem Zellpol eine neue Kernhülle; zwei identische Tochterzellkerne sind entstanden. Die Mutterzelle ist länglich geworden.

Cytokinese: Die Mutterzelle schnürt sich am Äquator ein und bildet zwei Tochterzellen.

**A2** Im mikroskopischen Schnittbild in Abb. 1 durch eine pflanzliche Wurzelspitze sind vier in Teilung begriffene Zellen zu sehen. Ordnen Sie diese begründet den Phasen der Mitose zu.

1 Telophase:

Zwei Zellkerne mit Tochterchromosomen sind zu erkennen. Die Cytokinese beginnt. Das ist an der sich bildenden neuen Zellmembran zwischen den Kernen zu erkennen.

2a und b Cytokinese:

Die neu gebildeten Zellkerne sind schon durch die Zellmembran getrennt. Die Chromosomen sind nicht mehr sichtbar und liegen wieder als Chromatin vor. Die Zellteilung ist vollzogen.

3 Anaphase:

Die Kernmembran ist aufgelöst. Die Chromosomen und der Spindelapparat sind zu sehen. Die Chromosomen sind nicht mehr in der Äquatorialebene, aber auch noch nicht am Zellpol.

4 Prophase:

Das Chromatin ist zu deutlich sichtbaren Chromosomen verdichtet. Die Membran des Kerns der Mutterzelle ist aber noch nicht aufgelöst.

S. 49 **2.8** Bakterien sind klein, effizient und äußerst vielfältig

**A1** Vergleichen Sie Eucyte und Procyte tabellarisch miteinander.

z. B.:

	Eucyte	Procyte
<b>Gemeinsamkeiten</b>		
Bau	Zellwand (außer bei Tierzellen), Zellmembran, Cytoplasma, Vesikel, Ribosomen, Chromosomen	
<b>Unterschiede</b>		
Größe	groß	klein
Bau	---	Plasmide, Kapsel,
	kein Murein	Zellwände aus Murein
Stoffwechselfalt	kleiner	sehr groß
Fortpflanzung	meist geschlechtlich langsam	häufig ungeschlechtlich selten geschlechtlich sehr schnell

**A2** Bakterien können alle Lebensräume besiedeln. Begründen Sie das.

Die Stoffwechselfähigkeiten der Bakterien sind äußerst vielfältig. Sie können mit und ohne Sauerstoff leben und Energie gewinnen. Einige Arten betreiben sogar Fotosynthese und können die Lichtenergie nutzen oder oxidieren verschiedene Stoffe. Außerdem sind Bakterien sehr klein und können sich sehr schnell vermehren.

S. 50

**Kombiniere!**

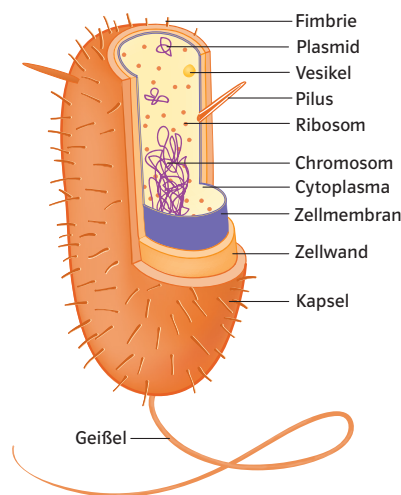
**A1** Abb. 1 zeigt das mikroskopische Bild einer Zelle.

- a. Begründen Sie, ob es sich bei der dargestellten Zelle um eine Tier- oder eine Pflanzenzelle handelt.
- b. Ordnen Sie den Ziffern Zellorganellen zu.
- c. Begründen Sie anhand der Abbildung, mit welchem Mikroskoptyp das Bild erstellt wurde.
  - a. Es ist eine Pflanzenzelle, denn Zellwand, Vakuole und Chloroplasten sind vorhanden.
  - b. 1 Zellwand; 2 Chloroplast; 3 Vakuole; 4 Kernmembran; 5 Zellkern mit Chromatin; 6 Nucleolus; 7 Mitochondrium
  - c. Es ist eine TEM-Aufnahme. Es sind Strukturen zu erkennen, die das Lichtmikroskop nicht mehr zeigt, z. B. Feinbau von Chloroplasten und Membranen. Außerdem ist das Bild nicht räumlich, wie es bei einer REM-Aufnahme wäre.

**A2** Zellen sind die kleinsten Einheiten des Lebens. In ihnen laufen ständig Stoffwechselreaktionen ab, in denen Stoffe auf- und abgebaut werden. Erstellen Sie eine Tabelle wie in Abb. 2 und nennen Sie je drei typische Zellbestandteile, die an Stoffaufbau- und Stoffabbauprozessen beteiligt sind. Nennen Sie außerdem die Stoffe, die dabei entstehen oder abgebaut werden. Geben Sie an, ob es sich um Kompartimente oder Proteinkomplexe handelt.

Zellbestandteil	Aufbau/Abbau	Stoffe	Kompartiment/Proteinkomplex
Chloroplast	Aufbau	Zucker (Glucose)	Kompartiment
Ribosom	Aufbau	Proteine	Proteinkomplex
glattes ER	Aufbau	Lipide	Kompartiment
Mitochondrium	Abbau	Glucose	Kompartiment
Proteasomen	Abbau	schadhafte Proteine	Proteinkomplex
Lysosomen	Abbau	verschiedene Stoffe	Kompartiment

**A3** Zeichnen und beschriften Sie eine typische Bakterienzelle.

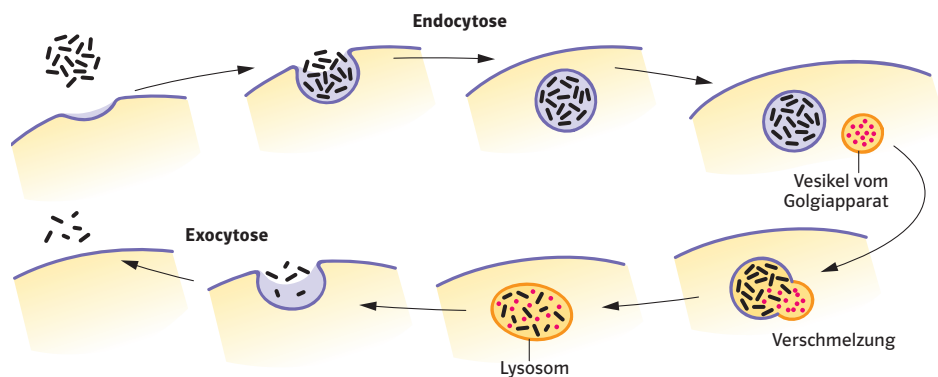


- A4** Die meisten Landpflanzen vermehren sich durch Samen. Sie entstehen in der Blüte nach der Befruchtung der Eizellen. Einige Pflanzen, wie z. B. Begonien (→ Abb. 3), haben auch andere Fortpflanzungsstrategien entwickelt (→ Abb. 4).
- a. Beschreiben Sie die in Abb. 4 gezeigte Fortpflanzung.
  - b. Der Zellkern enthält die gesamte Erbinformation eines Organismus. Bestätigen Sie diese Aussage anhand dieser Fortpflanzungsstrategie.
  - c. Die Tochterpflanze und die Mutterpflanze in Abb. 4 haben die gleiche Erbinformation. Begründen Sie das.

- a. Die Fortpflanzung erfolgt ungeschlechtlich. Eine obere Epidermiszelle vom Laubblatt beginnt sich zu teilen und bildet einen „Zellhaufen“, aus dem dann eine junge Begonienpflanze heranwächst.
- b. Eine Epidermiszelle ist eine spezialisierte Pflanzenzelle. Sie nimmt selbst nur noch bestimmte Aufgaben wahr. Da aus den Tochterzellen einer Epidermiszelle bei dieser Art der Fortpflanzung jedoch wieder Zellen entstehen, die andere Funktionen erfüllen (z. B. Gewebe der Sprossachse und der Wurzel), muss sich die Erbinformation dazu im Zellkern der Epidermiszelle befinden.
- c. Die Epidermiszelle teilt sich mitotisch. In der Anaphase der Mitose werden die Schwesterchromatiden, die die gleiche Erbinformation besitzen, auf die zukünftigen Tochterzellen verteilt. Das heißt Mutter- und Tochterzellen haben die gleiche Erbinformation.

**A5** Das Endomembransystem ist ein zusammenhängendes Kompartiment der Eucyte, in dem Vesikel wie Lysosomen und Zisternen des ER eine wichtige Rolle spielen und Vorgänge wie Endo- und Exocytose stattfinden. Erklären Sie das Zusammenspiel der Elemente des Endomembransystems bei der intrazellulären Verdauung. Gehen Sie dabei von einer Stoffaufnahme durch Endocytose aus. Die unverdaulichen Bestandteile sollen wieder aus der Zelle ausgeschieden werden. Fertigen Sie dazu eine Skizze an.

Ein Partikel (z. B. Nahrung) wird von der Zelle durch die Zellmembran in das Cytoplasma aufgenommen. Dabei wird der Partikel in ein Vesikel eingeschlossen (= Endocytose). Im Cytoplasma kann dieses Vesikel mit einem anderen Vesikel verschmelzen, das z. B. vom Golgi-Apparat abgeschnürt wurde und Verdauungsenzyme enthält. Es entsteht ein Lysosom, in dem die Zersetzung der Nahrungspartikel abgetrennt vom Cytoplasma erfolgt. Nach der Verdauung gelangen die unverdaulichen Stoffe aus der Zelle. Dazu verschmilzt das Lysosom mit der Zellmembran (= Exocytose).



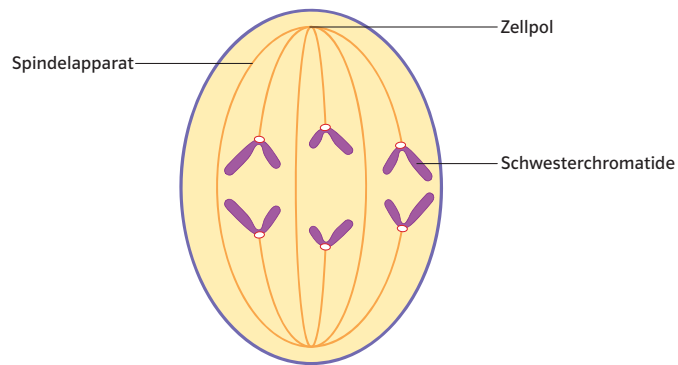
- A6**
- a. Erklären Sie die Bedeutung der Mitose.
  - b. Definieren Sie die Begriffe Cytokinese und Mitose.
  - c. Nach der Zellteilung haben beide Tochterzellen die identische Erbinformation wie die Mutterzelle, aber die Masse der DNA im Zellkern ist nur halb so groß. Erläutern Sie das.
  - d. Fertigen Sie eine beschriftete Skizze einer Zelle (mit drei Chromosomen) an, in der die Aufteilung der genetischen Information gerade abläuft. Benennen Sie diese Phase.
- a. Alle Lebewesen bestehen aus Zellen. Neue Körperzellen entstehen durch mitotische Zellteilung. Es bilden sich zwei genetisch identische Tochterzellen aus einer Mutterzelle. Die Mitose sorgt also für den Erhalt und die Weitergabe der Erbinformation bei der Zellteilung.
  - b. Mitose ist der Vorgang bei der Kernteilung. Sie wird in die Prophase, Metaphase, Anaphase und Telophase aufgeteilt.

Cytokinese ist der Vorgang bei der Zellteilung, bei dem das Zellplasma auf die beiden Tochterzellen (durch Bildung von Zellmembranen) verteilt wird.

**c.** Die genetische Information wird im Zellkern der Mutterzelle einmal kopiert und damit die Masse verdoppelt (Bildung der Schwesterchromatide des Zwei-Chromatid-Chromosoms). Die Information verändert sich dabei nicht. Sie liegt nun aber in zwei gleichen Ausgaben vor.

Während der Kernteilung erhält dann jede Tochterzelle die gleiche genetische Information (je eine Ausgabe) durch die Teilung der Zwei-Chromatid-Chromosomen am Centromer in die Schwesterchromatiden. Dadurch halbiert sich die Masse der DNA, aber die Information ändert sich nicht. Jede Zelle erhält eine Ausgabe.

**d.** Anaphase



3

**Biomembranen und Transportvorgänge**

S. 55 **3.1**

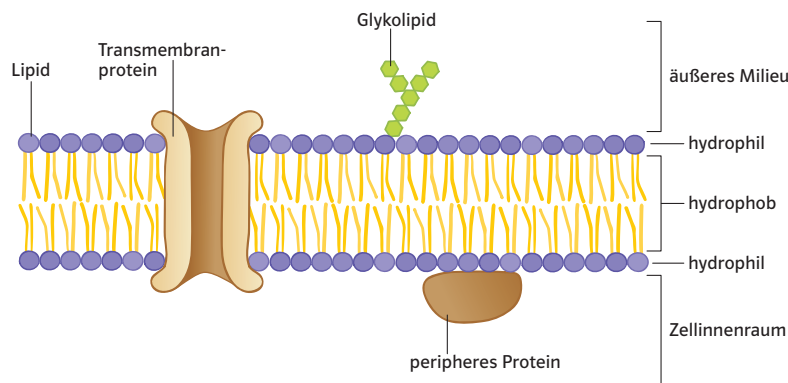
**Biomembranen sind ein flüssiges Mosaik aus Lipiden und Proteinen**

**A1** Biomembranen begrenzen Kompartimente.

- a. Erklären Sie den Begriff Kompartimente.
- b. Skizzieren und beschriften Sie den Querschnitt einer Biomembran, die eine Zelle begrenzt. Sie soll folgende Bestandteile enthalten: Lipidmoleküle, ein Glykolipid, ein für Transporte geeignetes Transmembranprotein und ein peripheres Protein.
- c. Ordnen Sie die Begriffe hydrophil, hydrophob, Zellinnenraum und äußeres Milieu zu.

a. Kompartimente sind abgetrennte Räume, in denen biochemische Reaktionen ablaufen können.

b. und c.



**A2** Erläutern Sie am Beispiel der Biomembran den Zusammenhang von Struktur und Funktion.

Biomembranen ermöglichen es, Räume in wässrigen Lösungen abzugrenzen. Sie grenzen Zellen gegen ein Außenmedium ab und bilden auch Zellorganellen innerhalb der Zellen, in denen bestimmte biochemische Reaktionen ablaufen können. Die Einzelbestandteile der Biomembran ermöglichen dabei folgende Funktionen:

Struktur	ermöglichte Funktion
Lipid-Doppelschicht aus Phospholipiden	hydrophile Phospholipidteile vermitteln zum wässrigen Innen- und Außenmilieu  hydrophobe Fettsäurereste halten die beiden Phospholipidschichten zusammen und bilden eine Schranke für Wasser und hydrophile Moleküle
Cholesterinmoleküle in der Lipidschicht	sorgen für die Beweglichkeit der Lipidschicht
Transportproteine	bieten Transportmöglichkeiten für hydrophile Stoffe, selektive Transporte sind möglich
Membranproteine	ermöglichen Verbindungen zu anderen Membranen
Rezeptorproteine	erkennen Signale und geben Informationen weiter
Kohlenhydratketten an Glykoproteinen und Glykolipiden	ermöglichen Zell-Zell-Erkennung und die Erkennung körperfremder Zellen bei der Immunabwehr

S. 56 **3.2**

**Proteine und Kohlenhydrate machen Zellen von außen erkennbar**

**A1** Züricher Wissenschaftler entwickelten eine Methode, Bakterien einzufangen, die menschliche Zellen befallen können. Sie beschichteten Glasoberflächen mit Kohlenhydraten, die man auch auf der Oberfläche menschlicher Zellen an die Zellmembran gebunden findet. Erklären Sie das Prinzip der Methode. Zellen besitzen auf ihrer Membran charakteristische Proteine und Kohlenhydrate. Über sie erkennen sie sich gegenseitig. Die Wechselwirkung der Membranproteine



mit anderen Membranproteinen und Kohlenhydraten auf der Zellmembran sorgt für die Zell-Zell-Erkennung bzw. für das Aneinanderheften gleicher Zellen. Besitzt die präparierte Glasoberfläche typische Membranproteine und Kohlenhydrate menschlicher Zellen, heften sich dort die Zellen an, die sich sonst an menschlichen Zellen anlagern würden.

**A2** Der Mechanismus der molekularen Zell-Erkennung wird oft auch als Schlüssel-Schloss-Prinzip bezeichnet. Erklären Sie das.

Zur Zell-Erkennung müssen die Bindestellen der Proteine oder Kohlenhydrate einer Zelle genau zu den Bindestellen der gleichen Moleküle auf der anderen Seite passen. So funktioniert auch ein Schlüssel: Die Zacken des Schlüsselbarts müssen genau in die Hohlräume des Schlosses passen.

### S. 58 3.3 Substanzen diffundieren entlang ihres Konzentrationsgefälles

**A1** Wählen Sie aus den folgenden Wortgruppen die aus, die für die Abb. 2 zutreffen, und ordnen Sie diese den Abbildungen a, b oder c zu.

- a) höchste Konzentration gelöster Teilchen,  
größtes Konzentrationsgefälle,  
mehr Teilchen gelangen pro Minute von rechts nach links.
- b) mehr Teilchen gelangen pro Minute von rechts nach links,  
Teilchen passieren die Membran von beiden Seiten.
- c) kein Konzentrationsgefälle,  
Teilchen passieren die Membran von beiden Seiten.  
nicht zutreffend:  
Keine gelösten Teilchen gelangen durch die Membran.  
Auf der linken Seite ist die Teilchenkonzentration kleiner als rechts.

**A2** Sie bringen Zellen in eine Lösung mit einem Farbstoff, für den die Zellmembran permeabel ist. Der Farbstoff diffundiert hinein und färbt das Cytoplasma an. Nun wollen Sie die Zellen wieder entfärben. Erläutern Sie Ihr Vorgehen. Die Zellen sollten wiederholt in Wasser gespült werden. In die Umgebung der Zellen wird bezogen auf die Farbstoffkonzentration eine hypotonische Lösung gebracht (z. B. Leitungswasser). So wird der Farbstoff entsprechend des Konzentrationsgefälles aus den Zellen diffundieren. Nach dem Konzentrationsausgleich wird die nun angefärbte Umgebungslösung mehrmals entfernt und gegen die hypotonische Lösung getauscht.

### S. 60 3.4 Durch Osmose können Zellen Wasser aufnehmen oder abgeben

**A1** Zerschneiden Sie einen Apfel oder eine Kartoffel und streuen Sie etwas Salz oder Zucker auf die Schnittfläche. Erklären Sie Ihre Beobachtungen.

Beobachtung: Das Salz (oder der Zucker) werden feucht und lösen sich langsam in dem aus dem Gewebe austretenden Wasser.

Erklärung: Salz oder Zucker lösen sich in dem dünnen Wasserfilm auf der Schnittfläche. Es entsteht eine stark konzentrierte Lösung, die gegenüber der Lösung in den Zellen im Gewebe hypertonic ist. Die Zellmembranen der Pflanzenzellen sind semipermeabel. Das bedeutet, die Salz- bzw. Zuckerteilchen können diese im Gegensatz zu den Wassermolekülen nicht passieren. Es kommt zur Osmose. Da der Wassergehalt in der hypertonicen Lösung (Zellplasma) größer ist als in der hochkonzentrierten Salz- bzw. Zucker-Lösung, wandern pro Zeiteinheit mehr Wasserteilchen aus den Zellen heraus als in die Zellen hinein. Das führt in der Summe zum Austritt von Wasser aus den Zellen. Der Turgor der Zellen nimmt ab. Dabei kann es auch zum Schrumpfen der Zellkörper (Plasmolyse) kommen.

**A2** Bei Infusionen in das Blutsystem ist es extrem wichtig, als Infusionsflüssigkeit eine „physiologische Salzlösung“ zu nehmen, da diese eine ganz bestimmte Salzkonzentration aufweist. Begründen Sie.

Bei Wirbeltieren wird das Gleichgewicht der osmotischen Verhältnisse in den Körperflüssigkeiten aufrechterhalten (Homöostase). Dies muss auch bei der Zufuhr von Flüssigkeiten bestehen bleiben, damit die Blutzellen weder schrumpfen noch platzen und damit der Sauerstofftransport und die Lebensfähigkeit erhalten werden. Die verwendete Kochsalzlösung und das Blutplasma sollten also isotonische Lösungen sein.

S. 62 **3.5** Kanal- und Transportproteine erleichtern die Diffusion durch Membranen

**A1** Vergleichen Sie Bau und Funktion von Kanalproteinen und Transportproteinen in einer Tabelle.

	Kanalprotein	Transportprotein (Carrier)
Bau	Protein durchdringen die Zellmembran	
	formstabil mit Hohlraum	formveränderlich mit Bindungsstellen für das zu transportierende Teilchen
Funktion	schnelle Diffusion (erleichterte Diffusion) Auswahl der zu transportierenden Teilchen möglich (kontrollierte Diffusion)	

**A2** Erklären Sie den Begriff „passiver Transport“ am Beispiel der Aquaporine. Aquaporine sind Kanalproteine in der Zellmembran, die die Diffusion von Wasser erleichtern. Das Wasser gelangt ohne Energieaufwand von einer Seite der Membran auf die andere. Triebkraft des Transports ist allein der unterschiedliche Wassergehalt auf beiden Seiten der Membran. Solche Transporte ohne Energieaufwand sind passive Transporte. (Hinweis: Ist Wasser der transportierte Stoff, sollte der Begriff Konzentrationsgefälle vermieden werden, da Wasser das Lösungsmittel und nicht der gelöste Stoff ist).

S. 63 **3.6** Der Transport gegen ein Konzentrationsgefälle kostet die Zelle Energie

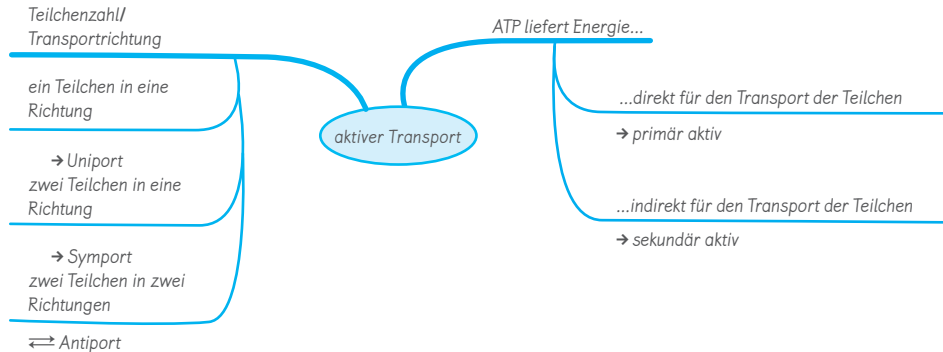
**A1** Kalium-Ionen spielen in vielen Zellen eine große Rolle für Symporte und Antiporte anderer Teilchen. Gramicidin ist ein Antibiotikum, das sich in Bakterienmembranen einlagert und diese für Kationen (positiv geladene Ionen) durchlässig macht. Danach kommen fast alle sekundär aktiven Transportvorgänge in diesen Membranen zum Erliegen. Erklären Sie das beobachtete Ergebnis.

Wird die Membran für Kationen durchlässig, kann das durch den aktiven Transport entstandene Konzentrationsgefälle nicht aufrechterhalten werden. Die Kalium-Ionen diffundieren frei zurück und es kommt zum Konzentrationsausgleich. Damit kommen alle an Kalium-Ionen gekoppelten Symporte und Antiporte zum Erliegen.

**A2** Aktiver Transport kommt u. a. auch in Ihren Nervenzellen vor. Nennen Sie zwei Merkmale von aktiven Transporten und stellen Sie die Formen aktiver Transporte in einer Mind-Map dar.

Merkmale für aktiven Transport:

- verläuft entgegen dem Konzentrationsgefälle
- Energie wird benötigt



S. 64 **3.7** Der osmotische Druck von Körperflüssigkeiten kann reguliert werden

**A1** Müssen Fische trinken? Begründen Sie Ihre Antwort.

Die Antwort hängt vom Lebensraum der Fische ab. Salzwasserfische leben in einer hypertonischen Lösung, dem Meerwasser. Durch die semipermeablen Membranen ihrer Körperzellen, die mit dem Meerwasser Kontakt haben, diffundiert also ständig Wasser aus ihrem Körper. Das muss durch Wasseraufnahme, also trinken, ersetzt werden. Das gleichzeitig damit aufgenommene Salz wird z. B. über die Kiemen oder durch den Urin wieder ausgeschieden. Süßwasser ist für die Körperzellen der dort lebenden Fische eine hypotonische Lösung. In die Zellen der Süßwasserfische diffundiert also ständig Wasser hinein. Sie müssen also nicht trinken, aber das überschüssige Wasser z. B. durch große Mengen verdünnten Urin ausscheiden.

**A2** Salzpflanzen, wie Queller, transportieren Salz-Ionen in die Zelle, um Wasser aufnehmen zu können. Erklären Sie, weshalb es sich um einen aktiven Transport handeln muss.

Die Wasseraufnahme an Pflanzenwurzeln erfolgt durch Diffusion. Dazu muss die Bodenlösung gegenüber der Lösung im Cytoplasma der Wurzelzellen hypotonisch (also reicher an Wasser) sein. Für Salzpflanzen ist das ein Problem, denn in ihrem Lebensraum ist Salzkonzentration im Boden besonders hoch. Deshalb reichern sie ihre Wurzelzellen mit Ionen an, bis ihr Wassergehalt niedriger ist als im Boden. Nur so ist Wasseraufnahme durch Osmose möglich. Der Transport der Salz-Ionen erfolgt gegen das natürliche Konzentrationsgefälle (hohe Salzkonzentration im Boden, noch höhere Salzkonzentration in der Zelle). Das geht nur unter Energieaufwand und ist somit ein aktiver Transport.

S. 65 **3.8** Größere Teilchen werden durch Membraneinstülpung ein- und ausgeschleust

**A1** Vergleichen Sie die rezeptorvermittelte Endocytose mit der Zell-Zell-Erkennung (→ 3.2).

Es handelt sich um recht unterschiedliche Vorgänge. Bei Zell-Zell-Erkennung identifizieren sich Zellen. Das ist nötig, damit Zellen artspezifisch zusammenfinden oder Gewebe in Organismen bilden können. Bei der rezeptorvermittelten Endocytose nehmen Zellen Stoffe auf, die sie ebenfalls vorher erkennen. Gemeinsam ist beiden Prozessen, dass die Erkennung über die Bindungsstellen von

Molekülen (Rezeptoren) erfolgt, die sich in der Zellmembran befinden (Schlüssel-Schloss-Prinzip).

**A2** Beschreiben Sie, auf welche Weise der Membranbaustein Cholesterol aus dem Blut in die Zellen gelangt.

Die Aufnahme erfolgt durch rezeptorvermittelte Endocytose und mithilfe eines speziellen Proteins. Es hat die im Blutplasma unlöslichen Cholesterolmoleküle an sich gebunden (= Lipoprotein LDL). Spezielle LDL-Rezeptoren der Zellmembranen binden diese Lipoproteine. Dann werden sie und damit auch die gebundenen Cholesterolmoleküle durch Einstülpung der Zellmembran in Vesikel eingeschlossen. Es handelt sich dabei um eine selektive Endocytose.

S. 66

**Kombiniere!**

**A1**

**a.** Benennen Sie die Bestandteile der Zellmembran in Abb. 1.

**b.** Geben Sie die Funktionen von Zellmembranen an.

**a.** 1 Phospholipid, 2 integrales Protein, 3 Transmembranprotein, 4 Transmembranes Transportprotein, 5 transmembranes Kanalprotein, 6 Cholesterol, 7 Kohlenhydratkette des Glykolipids

**b.**

- Membranen teilen Zellen in Reaktionsräume, z. B. Chloroplasten und Mitochondrien.
- Membranen sind Schranken für Stoffe.
- Durch Membranen erfolgen Transportprozesse.
- Über bestimmte Membraneigenschaften erfolgt die Zell-Zell-Erkennung.

**A2** Welche der folgenden Aussagen ist falsch? Benennen Sie die falschen Aussagen und berichtigen Sie diese.

**a.** Die Bestandteile der Zellmembranen sind gegeneinander beweglich.

**b.** Aquaporine sind Wasser transportierende Lipide.

**c.** Zwischen zwei Zellen ist eine Zellmembran.

**d.** Membranproteine halten die Lipid-Doppelschicht zusammen.

**e.** Zellmembranen sind für Wassermoleküle permeabel.

**b.** Aquaporine sind Wasser transportierende Proteine.

**c.** Zwischen zwei Zellen sind zwei Zellmembranen.

**d.** Die lipophilen Molekülteile der Phospholipide halten die Lipid-Doppelschicht zusammen.

**A3** Ein Dialyseschlauch ist eine für große Moleküle, wie Zucker und Proteine, nicht permeable Membran. Für kleine Moleküle, wie z. B. Wasser, ist er durchlässig. Ein Dialyseschlauch wird mit destilliertem Wasser gefüllt und in Zuckerwasser gelegt. Stellen Sie eine begründete Vermutung über die Veränderung von Masse und Volumen des Schlauches an.

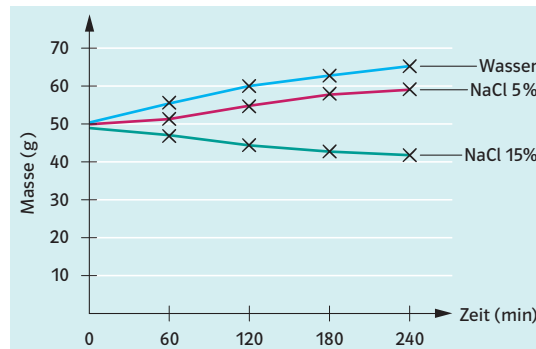
Die Masse und das Volumen des Schlauches werden kleiner. Die Zuckerlösung ist gegenüber dem Wasser im Schlauch hypertonic, sie enthält also durch den gelösten Zucker weniger Wasserteilchen pro Volumeneinheit. Deshalb diffundiert Wasser aus dem Schlauch in die Zuckerlösung. Zucker, der außen höher konzentriert ist, kann nicht entsprechend des Konzentrationsgefälles in den Schlauch diffundieren, da der Schlauch für große Moleküle nicht durchlässig ist. Den gesamten Vorgang nennt man Osmose.

**A4** Das Experiment in Abb. 2 wurde mit drei Hühnereiern durchgeführt, deren Eihaut durch Entfernen der Kalkschale freigelegt wurde. Die Kalkschale von Vogeleiern ist porös sowie durchlässig für Luft und Wasserdampf. Im Inneren der Eihaut liegt das Eiklar, das den Eidotter im Zentrum umgibt. Das Eiklar besteht zu ca. 90 % aus Wasser und ca. 10 % aus Proteinen. Kohlenhydrate und Fette gibt es im Eiklar

kaum. Das Eidotter enthält ca. 50 % Wasser. Es ist reich an Proteinen und Fetten.

- a. Stellen Sie die Messwerte der Tabelle in Abb. 2 in einem Diagramm dar.
- b. Begründen Sie die Lage der Graphen.
- c. Erläutern Sie den folgenden Befund: Eier von Vögeln und Reptilien können austrocknen und sind dann fast leer.

a.



b. Es findet Osmose statt. Die Eihaut ist semipermeabel. Für die Inhaltsstoffe des Eies (z. B. Proteine) und die Natrium- und Chlorid-Ionen ist die Eischale nicht durchlässig. Für Wasser ist sie durchlässig. Die 15%-igen Natriumchlorid-Lösungen sind gegenüber dem Ei-Inhalt hypertonisch. Wasser diffundiert aus dem Ei in die Lösung, die Masse des Eies sinkt.

Gegenüber Wasser und der 5%-igen Salzlösung ist die Lösung im Ei hypertonisch. Wasser diffundiert in das Ei, die Masse wird größer. Da der Konzentrationsunterschied zwischen Ei-Inhalt und destilliertem Wasser größer ist als der Unterschied zwischen Ei-Inhalt und der 10%-igen Lösung, steigt diese Kurve stärker an.

c. Im Ei befindet sich eine wässrige Lösung. Die Luft enthält nur sehr wenig Wasserdampf. Das starke Konzentrationsgefälle bewirkt eine schnelle Diffusion des Wassers durch die semipermeable Eihaut und die poröse Kalkschale. Da Eiklar und Eidotter sehr viel Wasser enthalten, ist das Ei nach dem Austrocknen fast leer.

**A5** Viele Seevögel, wie z. B. Albatrosse, trinken Meerwasser und ernähren sich von Fischen und wirbellosen Tieren aus dem Meerwasser. In ihrem Kopf befinden sich Salzdrüsen (→ Abb. 3), die über einen Nasengang mit den Nasenlöchern verbunden sind. Mit den Salzdrüsen scheiden die Tiere ein Sekret aus, dessen Konzentration an  $\text{Na}^+$ - und  $\text{Cl}^-$ -Ionen doppelt so hoch sein kann wie die des Meerwassers.

a. Erläutern Sie die Bedeutung dieser osmoregulatorischen Prozesse für Seevögel.  
 b. Beschreiben Sie einen Transportvorgang, durch den Natrium- bzw. Chlorid-Ionen aus dem Blut durch die Epithelzellen in die Salzdrüsen gelangen könnten.

a. Seevögel können überschüssiges Salz ausscheiden, das sie mit der Nahrung ständig aufnehmen. Damit halten sie den osmotischen Druck ihrer Körperflüssigkeiten konstant (Hömoöostase).

b. Da die Konzentration der ausgeschiedenen Salzlösung höher ist als die des Meerwassers, also auch der Nahrung und des „Trinkwassers“ der Albatrosse, wird die Konzentration der ausgeschiedenen Lösung gegenüber dem inneren Milieu der Seevögel aktiv erhöht. Da gegen das Konzentrationsgefälle transportiert wird, muss es sich um einen energieaufwendigen Transport handeln. Die einfachste Möglichkeit wäre ein aktiver Uniport der Ionen durch ein Transportprotein von den Blutgefäßen in die Epithelzellen und den Epithelzellen in den Innenraum der Salzdrüse.

## 4 Energie und Enzyme

### S. 70 4.1 Lebewesen benötigen Energie, um existieren zu können

**A1** Ein Frosch springt auf einen Stein. Erklären Sie an diesem Vorgang den Ersten Hauptsatz der Thermodynamik. Verwenden Sie dabei auch die Begriffe kinetische Energie, Wärmeenergie, chemische Energie und potenzielle Energie. Der Frosch hat eine gewisse potenzielle Energie. Durch den Sprung gelangt er auf den Stein und seine potenzielle Energie wird größer. Während des Sprungs bewegt er sich, hat also kinetische Energie. Nach dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik kann keine Energie entstehen oder verloren gehen, sondern nur von einer Energieform in eine andere umgewandelt werden. Für den Sprung wird in den Muskeln chemische Energie z. B. der Glucose in kinetische Energie und Wärmeenergie umgewandelt. Die kinetische Energie katapultiert den Frosch nach oben auf den Stein. Sie wird also in potenzielle Energie umgewandelt. (Hinweis: Nach dem 2. Hauptsatz erhöht die Wärmeenergie die Unordnung der Umgebung und wird damit „entwertet“, also nicht mehr „nutzbar“.)

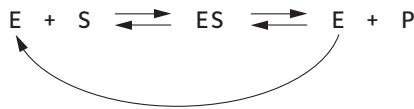
**A2** Wenn Sie Ihr Zimmer aufräumen, wird das Universum unordentlicher. Begründen Sie das. Wer aufräumt, erhöht die Ordnung in einem System, die Entropie „der Sachen im Zimmer“ wird kleiner. Zum Aufräumen benötigt man Energie, die durch Energieumwandlung aus anderen Energieformen erzeugt wird. Nach dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik entsteht dabei stets Unordnung, die Entropie wird größer. Das heißt die Ordnung im Zimmer wird durch Unordnung im Universum erkaufte. In diesem Falle ist das Universum zunächst die Luft im Zimmer, die sich erwärmt und damit unordentlicher wird.

### S. 71 4.2 Chemische Vorgänge liefern oder verbrauchen nutzbare Energie

**A1** Fotosynthese und Zellatmung sind Ihnen als zentrale biologische Stoffwechselfvorgänge bekannt. Ordnen Sie diese danach, ob ihnen hauptsächlich Energie liefernde oder Energie verbrauchende Stoffwechselreaktionen zugrunde liegen. Benennen Sie die zugeführte oder frei werdende Energieform.

Fotosynthese, endotherm	Lichtenergie → chemische Energie des Traubenzuckers
Zellatmung, exotherm	chemische Energie des Traubenzuckers → z. B. mechanische Energie des Muskels (Hinweis: Hier ist noch das energiereiche ATP zwischengeschaltet.)

**A2** Erklären Sie das Prinzip Energiekopplung an einem Hundert-Meter-Läufer. Ein Sprinter benötigt Energie zum Laufen. Um einen Muskel zu kontrahieren, ist mechanische Energie nötig. Der Muskelkontraktion liegen also endergonische Stoffwechselreaktionen zugrunde. Diese Energie entsteht durch Energieumwandlung bei der Zellatmung. Das ist eine exergonische Reaktion. Exergonische Vorgänge (Zellatmung) und endergonische Vorgänge (Muskelkontraktion) sind also gekoppelt.

S. 73 **4.3** Enzyme beschleunigen chemische Reaktionen**A1** Erklären Sie die folgende Symbolik.

Ein Enzym (E) reagiert mit einem Stoff, dem Substrat (S), zum Enzym-Substrat-Komplex (ES). Dieser zerfällt. Dabei werden das oder die Produkte (P) gebildet. Das Enzym wird wieder frei und kann an ein neues Substratmolekül (S) binden.

**A2** Nennen Sie die wesentlichen Eigenschaften eines Enzyms.

Enzyme ...

- sind Proteine.
- sind Biokatalysatoren.
- beschleunigen biochemische Reaktionen durch Senkung der Aktivierungsenergie.
- haben ein reaktives Zentrum für das Substrat.
- aktives Zentrum und Substrat passen genau zusammen (Schlüssel-Schloss-Modell) bzw. stellen sich aufeinander ein (Induced-fit-Modell).
- werden „wiederverwendet“.

S. 75 **4.4** Enzyme sind substratspezifisch und wirkungsspezifisch**A1** Erklären Sie die Begriffe Wirkungs- und Substratspezifität von Enzymen.

Wirkungsspezifität: Ein Enzym katalysiert nur eine bestimmte Reaktionsart.

Substratspezifität: Ein Enzym kann nur ein bestimmtes Substrat binden.

**A2** An Fructose kann die Hexokinase keine Phosphatgruppe anhängen. Begründen Sie das auch mithilfe der Abb. 2.

Fructose kann nicht im aktiven Zentrum der Hexokinase binden, weil die Hexokinase substratspezifisch ist. In der Abb. 2 ist zu erkennen, dass ein Glucosemolekül aus einem Ring von 6 C-Atomen besteht und die Stellung der OH-Gruppen an C-Atom 1, 2, 4 und 6 räumlich genau so ist, dass die Wasserstoffbrücken zu bestimmten Aminosäuren im aktiven Zentrum des Enzyms möglich sind.

Fructose hat nur einen Ring, bestehend aus 5 C-Atomen. Die für die Wasserstoffbrücken wichtigen OH-Gruppen (hier an C-Atom 1, 3, 4 und 5) haben eine andere Ausrichtung, sodass Wasserstoffbrücken wie bei der Glucose nicht möglich sind. Eine Anlagerung der Fructose im aktiven Zentrum ist also nicht möglich.

S. 77 **4.5** Enzym- und Substratkonzentration bestimmen die Reaktionsgeschwindigkeit**A1** Betrachtet man chemische Reaktionen auf der Teilchenebene, braucht es drei Voraussetzungen, damit zwei Teilchen A und B zu AB reagieren können:

- A und B müssen vorhanden sein.
- A und B müssen zusammenstoßen.
- Beim Zusammenstoß muss die für die Reaktion notwendige Aktivierungsenergie vorhanden sein.

Begründen Sie mithilfe dieser Voraussetzungen die Konzeptüberschrift „Enzym- und Substratkonzentration bestimmen die Reaktionsgeschwindigkeit“.

Das Konzept lautet: Enzym- und Substratkonzentration bestimmen die Reaktionsgeschwindigkeit.

A ist das Substrat und B das Enzym. Beide müssen da sein und mit ausreichender Energie zusammenstoßen, um den Enzym-Substrat-Komplex zu bilden. Eine hohe



Substratkonzentration steht für eine große Anzahl von Substratteilchen. Die Erhöhung der Anzahl der Substratmoleküle führt zu einer höheren Wahrscheinlichkeit der Begegnung zwischen Substrat- und Enzymmolekülen, was dazu führt, dass mehr Enzym-Substrat-Komplex-Moleküle entstehen. Die Reaktion wird schneller. Das gilt auch, wenn nur die Anzahl der Enzymmoleküle steigt. Am schnellsten wird die Reaktion jedoch, wenn sowohl die Konzentration der Substrat- als auch der Enzymmoleküle erhöht wird. An der für die Reaktion notwendigen Energie ändert die Konzentration der Stoffe nichts.

**A2** Das Enzym Hexokinase ist Ihnen bekannt. Katalase macht in Organismen das Zellgift Wasserstoffperoxid unschädlich.

**a.** Geben Sie die Informationen an, die Ihnen die Michaelis-Konstanten der beiden Enzyme liefern.

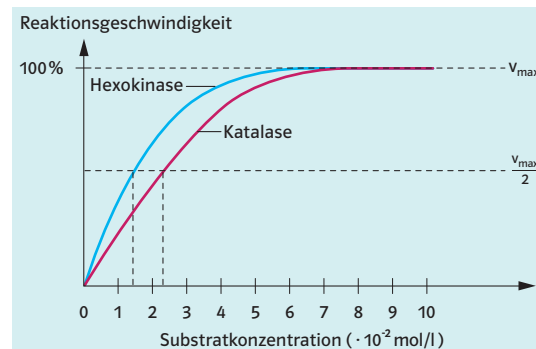
Hexokinase  $K_M = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l}$

Katalase  $K_M = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l}$

**b.** Skizzieren Sie das Reaktionsgeschwindigkeit/Substratkonzentrationsdiagramm. Verwenden Sie für die maximale Reaktionsgeschwindigkeit die Angabe 100%.

**a.**  $K_M$  der Hexokinase ist kleiner als  $K_M$  der Katalase. Hexokinase bindet besser an sein Substrat als Katalase.

**b.**



## S. 79 4.6 pH-Wert und Temperatur beeinflussen die Enzymaktivität

**A1** Die Geschwindigkeit von Enzymreaktionen ist von Umweltfaktoren abhängig. Nennen und erklären Sie diese.

**Temperatur:** Mit steigender Temperatur werden auch Enzymreaktionen schneller, weil sich die Teilchen schneller bewegen und damit häufiger zusammenstoßen. Gleichzeitig beschädigt größere Hitze die Enzymmoleküle. So werden die Enzymreaktionen bei steigender Temperatur wieder langsamer, bis sie schließlich zum Erliegen kommen, wenn alle Enzyme denaturiert sind.

**pH-Wert:** Enzyme sind Proteine. Für die Reaktion muss das Substrat im aktiven Zentrum des Enzyms anbinden. Für die Bindung sind auch zwischenmolekulare Kräfte wie Wasserstoffbrücken notwendig. Wasserstoff-Ionen der Säuren können an den Carboxygruppen der Aminosäuren im Enzym anbinden und die Wasserstoffbrücken zu dem Substratmolekül verhindern. Es „passt“ dann nicht mehr oder schlechter ins aktive Zentrum. Deshalb hat die Wasserstoff-Ionen-Konzentration einer Lösung, die als pH-Wert gemessen wird, Einfluss auf die Enzymaktivität.

**A2** Lebensmittel verderben, weil Mikroorganismen sie besiedeln und als Nahrungsquelle nutzen. Dabei entstehen oft übel riechende, giftige Stoffe. Begründen Sie, warum dagegen Folgendes hilft: Ansäuern (Sauerkraut, saure Gurken), Einkochen (Früchte, Fleisch), Trocknen (Zwieback, Trockenobst), Einsalzen (Fisch), Zuckern (Marmelade), Kühlen bzw. Tiefrieren (alle). Für die Lösungen helfen Ihnen die Konzepte 1.2 und 3.4.



Ansäuern (Sauerkraut, saure Gurken)	Änderung des pH-Wertes: Enzyme der Mikroorganismen funktionieren nicht mehr oder schlechter
Einkochen (Früchte, Fleisch)	Die Enzyme der Mikroorganismen denaturieren. Sie sterben ab.
Trocknen (Zwieback, Trockenobst)	Enzymreaktionen finden in wässrigen Lösungen statt. Ohne Wasser können die Mikroorganismen keinen Stoffwechsel betreiben.
Einsalzen oder Zuckern (Fisch, Marmelade)	Durch Salz und Zucker entstehen in der Umgebung der Mikroorganismen hypertonische Lösungen. Deshalb diffundiert das Wasser aus ihnen heraus. Ohne Wasser können die Mikroorganismen keinen Stoffwechsel betreiben.
Kühlen bzw. Tiefrieren	Absenken der Temperatur: Enzyme der Mikroorganismen funktionieren nicht mehr oder langsamer

S. 81 **4.7** Enzyme werden durch andere Stoffe reguliert

**A1** Vergleichen Sie die kompetitive und die allosterische Enzymhemmung tabellarisch.

kompetitive Enzymhemmung	allosterische Enzymhemmung
verändern die Geschwindigkeit von Enzymreaktionen	
Stoffe binden an das Enzym	
im aktiven Zentrum Substrat und Hemmstoff konkurrieren um den Platz im aktiven Zentrum	nicht am aktiven Zentrum
das aktive Zentrum wird blockiert	die Konformation des aktiven Zentrums wird verändert
die Erhöhung der Substratkonzentration verringert die Hemmung	die Erhöhung der Substratkonzentration verringert die Hemmung nicht
können enzymatische Reaktionen regeln	

**A2** Beschreiben Sie die abgebildete Enzymreaktion. Verwenden Sie die Fachbegriffe.

Die Abbildung zeigt die Aktivierung von Enzym (A) durch Magnesium-Ionen. Diese bewirkt die Änderung des aktiven Zentrums. Das Substrat B kann erst jetzt vom aktivierten Enzym gebunden und umgesetzt werden. Das sich bildende Produkt kann aber das aktive Zentrum von Enzym A ebenfalls besetzen. Es konkurriert also mit Substrat B darum. Folglich liegt eine kompetitive Hemmung vor. Die Enzymreaktion ist also negativ rückgekoppelt, weil das Produkt eine eigene Herstellung hemmt.

S. 82

**Kombiniere!**

**A1** Ein Stück Traubenzucker (Glucose) in Ihrer Hand erreicht nach einiger Zeit Ihre Körpertemperatur von ca. 37°C. Es reagiert dabei nicht mit dem Sauerstoff der Luft. Glucose gelangt nicht in die Mitochondrien. Traubenzuckermoleküle, die in Ihre Körperzellen gelangen, reagieren dort bei 37°C schrittweise zu Kohlendioxid und Wasser. Dabei wird die Energie freigesetzt, die Ihnen ermöglicht zu leben. Erklären Sie, weshalb Traubenzucker bei 37°C in der Zelle, aber nicht auf der Hand reagiert.

Bei 37°C ist die Aktivierungsenergie für die Reaktion von Glucose mit Sauerstoff nicht erreicht, deshalb „verbrennt“ der Zucker nicht auf der Hand. In den Körperzellen kann die Reaktion trotzdem stattfinden, weil Enzyme vorhanden sind, die die Aktivierungsenergie absenken und die Reaktion bei 37 °C ermöglichen.

**A2** Erläutern Sie die Bedeutung des Enzym-Substrat-Komplexes für eine biochemische Reaktion.

Der Enzym-Substrat-Komplex ist die Verbindung zwischen Substrat und Enzym. Er kann viel leichter (also bei geringerer Aktivierungsenergie) zum Produkt reagieren, als es die Substratmoleküle allein tun könnten. Über die Bildung des Enzym-Substrat-Komplexes erhöht sich die Reaktionsgeschwindigkeit.

**A3** In alkoholhaltigen Getränken, wie z. B. Bier und Wein, entsteht der Alkohol (genauer Ethanol), weil Hefepilze die Kohlenhydrate, die in den Gerstenkörnern bzw. den Weintrauben enthalten sind, zunächst in Traubenzucker (Glucose) zerlegen. Diesen nutzen sie dann als Nährstoff. Im Prozess der alkoholischen Gärung oxidieren sie die Glucose enzymatisch schrittweise unter Freisetzung von Energie. Nebenbei entstehen Ethanol und Kohlenstoffdioxid als Stoffwechselprodukte. Die Aktivität der Enzyme in den Hefepilzen kann experimentell untersucht werden. Dazu werden gleiche Mengen an Hefepilzen in einer Glucose-Lösung aufgeschwemmt. In 7 mit Gärröhrchen verschlossenen Erlenmeyerkolben kultiviert man die Aufschwemmungen bei unterschiedlichen Temperaturen (→ Abb. 1). Der pH-Wert liegt bei allen Ansätzen im neutralen Bereich. Die Anzahl der Kohlenstoffdioxid-Bläschen pro Minute, die durch das Gärröhrchen entweichen, sind ein Maß für die Aktivität der Gärungsenzyme.

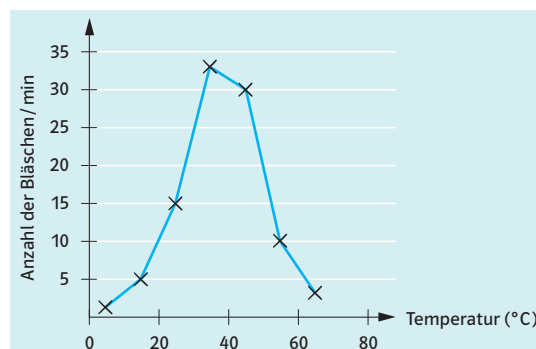
Glucose → Ethanol + Kohlenstoffdioxid

**a.** Stellen Sie die experimentellen Ergebnisse in einem Diagramm dar.

**b.** Formulieren Sie eine Fragestellung, die mit dem Experiment untersucht werden kann, und werten Sie das Diagramm aus.

**c.** Stellen Sie eine Hypothese über das zu erwartende experimentelle Ergebnis auf, wenn in einem 8. Ansatz bei 35 °C eine Spatelspitze der Schwermetallverbindung Silbernitrat in das Gefäß gegeben würde. Begründen Sie Ihre Hypothese.

**a.**



**b.** Fragestellung:

z. B.: Überprüfe die Abhängigkeit der Aktivität der Gärungsenzyme von der Temperatur.

Mit zunehmender Temperatur (von 1–35 °C) steigt die Anzahl der Gasblasen pro Minute (von 1 bis 33). Die Aktivität der Enzyme nimmt zu. Von 35 °C bis 65 °C geht die Gasbildung pro Zeiteinheit zurück (33 bis 3 Gasblasen pro Minute). Die Enzymaktivität sinkt ab.

Zuerst steigt die Enzymaktivität, weil bei Temperaturerhöhung die Geschwindigkeit der Enzym- und Substratteilchen zunimmt und damit die Reaktionsgeschwindigkeit steigt (RGT-Regel). Mit der Erhöhung der Temperatur kommt es aber auch zur Denaturierung der Enzyme. Immer mehr Enzymmoleküle verlieren ihre Wirksamkeit, weil ihre Struktur zerstört wird. Deshalb sinkt die Gesamtaktivität der Enzyme in der Lösung ab.

**c.** z. B.:

Hypothese: Es bilden sich weniger oder keine Gasblasen mehr.

Begründung: Silber-Ionen wirken hemmend auf Enzyme. Sie denaturieren Proteine.

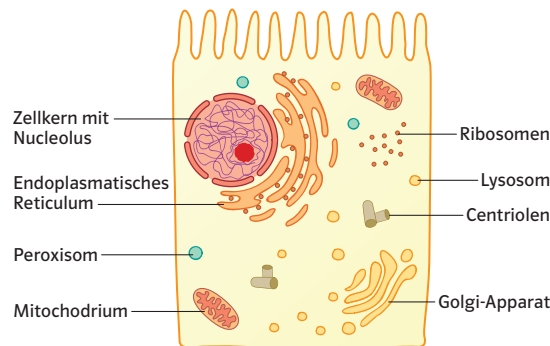
**A4** Isoleucin ist eine Aminosäure, die für den Aufbau funktionsfähiger Proteine im Körper unverzichtbar ist. Der Mensch kann Isoleucin nicht selbst herstellen. Deshalb muss Isoleucin mit der Nahrung aufgenommen werden. Viele Bakterien können jedoch Isoleucin synthetisieren. Dabei kann beobachtet werden, dass die Herstellung von Isoleucin in der Bakterienzelle langsam gedrosselt wird, wenn der Isoleucin-Spiegel im Cytoplasma ansteigt. Die Abb. 2 zeigt Reaktionen zur Herstellung von Isoleucin im Bakterienstoffwechsel vereinfacht.

- a. Beschreiben Sie die Herstellung von Isoleucin in der Bakterienzelle.
  - b. Erläutern Sie die Regulierung der Isoleucin-Produktion in der Bakterienzelle.
  - c. Beim Abfall der Isoleucin-Konzentration in der Bakterienzelle kommt die Produktion dieser Aminosäure wieder in Gang. Stellen Sie eine Hypothese über die Ursache auf.
- a. Ausgangssubstrat für die Isoleucinherstellung ist Threonin. Es wird über fünf enzymatische Reaktionen schrittweise zur Isoleucin umgewandelt.
  - b. Isoleucin ist das Endprodukt und wirkt gleichzeitig als Hemmstoff auf das Enzym, das Threonin im ersten Reaktionsschritt umsetzt. Es bindet am Enzym 1, wodurch sich die Struktur des aktiven Zentrum verändert (= allosterische Hemmung). Damit unterbricht Isoleucin seine eigene Synthese.
  - c. Vermutung: Die Bildung zwischen Threonin und Enzym 1 ist reversibel. Sinkt also die Threonin-Konzentration in der Zelle, lösen sich die Moleküle wieder vom Enzym, das aktive Zentrum nimmt seine ursprüngliche Struktur an und kann wieder Threonin binden. Die Reaktionskette startet wieder.

S. 83

**Abi-Training**

**A1** Zeichnen und beschriften Sie eine Dünndarmzelle auf der elektronenmikroskopischen Ebene. Verwenden Sie dazu die Umriss der Schemazeichnung in Abb. 1. Geben Sie zu fünf Zellkompartimenten ihre Funktion an.



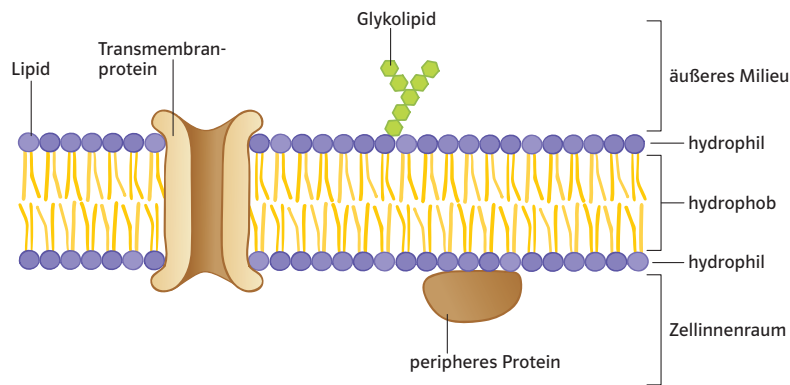
z. B.:

Kompartiment	Funktion
Zellkern	Steuerung des Stoffwechsels, enthält Erbinformation, Herstellung der Ribosomen
Mitochondrium	Kraftwerk der Zelle (Zellatmung)
Endoplasmatisches Reticulum	Proteinsynthese
Golgi-Apparat	Veränderung und Verpackung von Proteinen
Lysosomen	Verdauung von Stoffen

**A2** Auf der Seite des Darmlumens ist die Zellmembran stark aufgefaltet. Erklären Sie an diesem Befund den Zusammenhang von Struktur und Funktion. Zeichnen und beschriften Sie einen Ausschnitt aus der Membran auf der molekularen Ebene mit einem Glucosetransporter.

Die Auffaltung der Zellmembran führt zu einer Vergrößerung der Oberfläche. Damit ist räumlich mehr Platz für alle dort stattfindenden Prozesse. Im Fall der Darm-

schleimhaut wird die Quantität der Transportvorgänge (z. B. Glucoseaufnahme) erhöht.

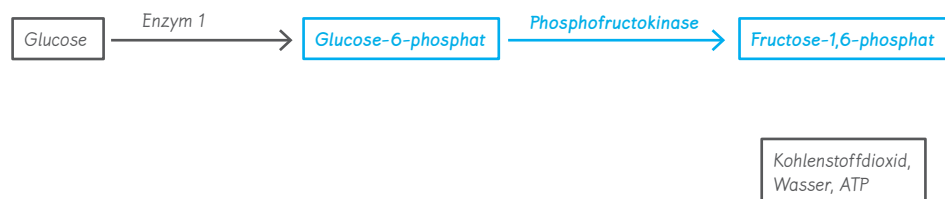


**A3** Erläutern Sie die Transportvorgänge von Glucose in die Zelle und aus der Zelle ins Blut.

Die Glucosemoleküle gelangen über die Zellen der Dünndarmschleimhaut ins Blut. Zuerst gelangen die Glucosemoleküle im Symport mit Natrium-Ionen durch ein Transportmolekül (1) ins Zellplasma der Darmwandzelle. Die Na-Ionen bewegen sich passiv entsprechend ihres Konzentrationsgefälles, da sie im Darm wesentlich höher konzentriert sind als in der Schleimhautzelle. Zum Konzentrationsausgleich der Na-Ionen und damit zum Erliegen des Natrium-Glucose-Symports kommt es nicht, da eine Kalium-Natrium-Pumpe (3) ständig Natrium-Ionen aus den Darmwandzellen ins Blut entfernt (Antiport). Diese Pumpe arbeitet gegen das Konzentrationsgefälle der Na-Ionen zwischen Darmwandzelle und Blut und ist ein aktiver Transportprozess unter Energieverbrauch (ATP-Spaltung). Das Zusammenspiel zwischen Glucose-Natrium-Symport und Kalium-Natrium-Pumpe ist ein sekundär aktiver Transportprozess. Die in der Darmwandzelle nun angereicherte Glucose gelangt entsprechend ihres Konzentrationsgefälles durch erleichterte Diffusion über ein weiteres Transportprotein (2) ins Blut. Die Glucoseresorption erfolgt durch drei Transportprozesse unter Energieverbrauch.

**A4** Erstellen Sie ein Flussdiagramm für die ersten Reaktionsschritte der Zellatmung. Markieren Sie die Reaktion, die durch ATP allosterisch gehemmt wird. Begründen Sie, dass es sich um eine negative Rückkopplung handelt.

Die allosterisch gehemmte Reaktion ist blau dargestellt.



Das Reaktionsprodukt ATP wirkt als Hemmstoff auf ein Enzym, das an den Reaktionen zu seiner eigenen Herstellung beteiligt ist. Die Art der Steuerung von Enzymreaktionen heißt negative Rückkopplung.