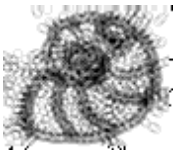
Gerhard Terstegge
Stefanie Terstegge

Biologische Strukturen



Molekulare Grundlagen
Die lebendige Struktureinheit
Zellverband und Gewebe
Organe und Organsysteme

1 STRuktur
informATIon
enErgie
bioloGIE

(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de

Das Buch

„Biologische Strukturen“ fasst die Grundlagen der Einheit Zelle in kurzer Form zusammen. Der Band ist gedacht für alle, insbesondere Schülerinnen und Schüler etwa ab Jahrgangsstufe 11, die sich Aspekte der modernen Biologie erschließen wollen. Geplant sind weitere Bände, die nicht die „klassischen“ Fachgebiete (wie Cytologie, Genetik, Ethologie usw.) nachzeichnen sollen, sondern die eigentlich wichtigen Leitthemen Struktur, Energie, Information und Strategien in den Vordergrund stellen. Gerade der Versuch, andere Fachdisziplinen einzubeziehen, soll dem Leser deutlich machen, dass Biologie heute nicht mehr als Fach isoliert betrachtet werden darf.

Die Autoren

Gerhard Terstegge studierte Biologie und Chemie an der Justus-von-Liebig-Universität Gießen und der Ruhruniversität Bochum. Seit 1973 unterrichtet er am Gymnasium und war viele Jahre als Fachberater für die Bezirksregierung tätig. Besonders interessiert ist er an den Themenbereichen Neurophysiologie und Biotechnologie. Verschiedene Veröffentlichungen zu Methoden im Biologieunterricht erschienen in Zeitschriften und Handbüchern. Nebenbei gehört die Programmierung von Datenbankanwendungen für die Schulverwaltung zu seinen Beschäftigungen.

Stefanie Terstegge, Diplom-.Biotechnologin, studierte an der Universität Bielefeld und an der École Supérieure de Biotechnologie de Strasbourg (ESBS), einer Abteilung der Université Louis Pasteur. Neben dem wissenschaftlichen Studium hat sie besonderes Interesse an publizistischer Arbeit (z.B. als Mitautorin der Lehrermaterialien zum Linder).

Wir danken Ralf Pretzer für die vielen Stunden, die er für das Korrekturlesen aufwendete. Wichtige Anregungen zur Gestaltung haben wir gern übernommen.

Das Internet

Sie finden Informationen und Korrekturen im Internet unter www.lebendiger-unterricht.de (Dort können Sie den Autoren Anregungen für die weitere Entwicklung der Reihe geben .) Geboten werden dort auch viele Unterrichtsmaterialien zu biologischen Themen.

Der Verlag

Dieses Buch wurde als „Book on Demand“ über die neue Digitaldrucktechnologie hergestellt und ist über den klassischen Buchhandel und Internet-Buchhandlungen zu beziehen.
Für sein innovatives Technologiekonzept „Libri Books on Demand“ erhielt der Hamburger Buchgrossist Libri, der dieses Buch gedruckt hat, den Smithsonian Award 1999 in der Kategorie „Manufacturing“.

(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de

Band 1

Biologische Strukturen

(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de

Inhalt

I. Molekulare Grundlagen 7

1 Die kleinsten Teilchen 7
2 Organische Chemie und biochemische Grundlagen 27
3 Grenzflächen und Membranen 41
4 Stofftransport durch Membranen 51

II. Die lebendige Struktureinheit 65

1 Organisationsstufen auf dem Weg zur Zelle 65
2 Das abgegrenzte aber „offene System“ 67
3 Tierische und pflanzliche Zellen im Vergleich 81
4 Zellorganellen: Reaktionsräume der Zelle 81
5 Variationen einer Grundstruktur 72

III. Zellverband und Gewebe 101

1 Der Zellverband - ein lockerer Zusammenschluss 101
2 Zellteilung - Zellvermehrung 102
3 Differenzierung und Arbeitsteilung 107

IV. Organe und Organsysteme 117

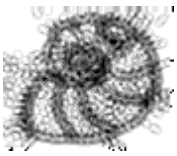
1 Das Laubblatt 117
2 Die Haut 121
3 Organsysteme 125
4 Der Organismus - auch nur eine Zelle? 129

V. Zusammenfassung und Übersicht 131

Literatur 133
Register 134

© 2001 by Gerhard Terstegge und Stefanie Terstegge
Alle Rechte liegen bei den Autoren.
Umschlaggestaltung und Layout: G. Terstegge
Herstellung: Libri Books on Demand
Printed in Germany ISBN 3-8311-1222-3

(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de



Vorwort

Regellos und nicht vorhersehbar ist der Weg der Gasmoleküle. Nicht zufällig ist der Begriff „Gas“ sprachlich mit dem Wort „Chaos“ verwandt. Erst im festen Zustand finden die Moleküle zu einer Ordnung, weil sie eine möglichst hohe Packungsdichte anstreben. Diese Anordnung lässt eine bestimmte Regelmäßigkeit erkennen, und sie erlaubt es uns zum Beispiel, die molekulare Gestalt zur Kristallform zu vergrößern. Wir sprechen von einer Struktur der Materie, der Zellen, der Organismen. Dabei ist Struktur durchaus nicht ausschließlich ein statischer Begriff, sondern sie lässt durch ihre Wiederholbarkeit auch Dynamik erkennen.

Das Logo veranschaulicht diese Verbindung von Struktur und Dynamik. Es zeigt eine Foraminifere (*Polystomella*). Unter dem Mikroskop wird zunächst nur ihr „Ist-Zustand“ erkennbar: die Aufteilung in Gehäusekammern. Das Bild gibt aber auch Hinweise auf Veränderungen, die sich ganz offensichtlich durch das Wachstum ergeben: die Spirale. Gerade diese geometrische Figur vereint in einer besonderen Weise Statik und Dynamik.

Der vorliegende Band soll helfen, die chemischen Grundstrukturen zu erkennen, die auf nächsthöherer Ebene die Zellstrukturen bilden. Daran lassen sich auch Grundprinzipien ablesen, die zur Entstehung von Geweben, Organen usw. führen. Auch der Zusammenschluss von Individuen zu Populationen und Verbänden lässt wiederum Strukturen sichtbar werden.

Um eine möglichst effektive und abwechslungsreiche Arbeit mit dem Material zu ermöglichen, wurden zusätzliche Informationen (**EXTRA-INFO**), Versuchsanleitungen (**PRAKTIKUM**) und Aufgaben zur Wiederholung und Vertiefung (**REPETITORIUM**) eingefügt. *Kursiv* gedruckte Begriffe sollten die besondere Aufmerksamkeit des Lesers finden. Fachausdrükke wurden mit wenigen Ausnahmen nicht übersetzt/erklärt. Um einen Zugang – und damit ein tieferes Verständnis – zu finden, ist es unverzichtbar, dies selbst nachzuholen. Alle Hilfestellungen sind in erster Linie als Anregung gedacht, die Biologie nicht isoliert, sondern, wie die Richtlinien dies für den Unterricht in der SII fordern, ihre Beziehungen zu einer größeren Zahl von anderen Fächern zu sehen.

Gerhard Terstegge
Stefanie Terstegge

(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de

2 Organische Chemie und biochemische Grundlagen

2.1 Molekulare Bestandteile der Zellen

Die belebte Materie benötigt nur 27 von den rund hundert chemischen Elementen; von ihnen machen die vier Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff bei den meisten lebenden Organismen etwa 69% der Gesamtmasse aus. Fast der gesamte nichtwässrige Anteil der lebenden Zelle besteht aus organischen Verbindungen des Kohlenstoffs, die in der Erdkruste nicht oder kaum zu finden sind.

Für das Grundgerüst der Biomoleküle scheint der Kohlenstoff besonders geeignet zu sein, denn er kann mit den genannten Elementen stabile kovalente Bindungen eingehen.

Die molekulare Organisation der Zelle beginnt mit sehr einfachen Vorstufen - Molekülen, die der Umgebung entnommen werden. Sie werden durch enzymatische Reaktionen in Molekülbausteine umgewandelt, die dann unter Bildung der Makromoleküle kovalent zu supramolekularen Komplexen und diese schließlich zu Zellorganellen zusammengefügt werden. Die ersten Zellen könnten aus etwa 30 ursprünglichen Molekülen entstanden sein:

20 Aminosäuren
5 Purine und Pyrimidine
2 Zucker (Glucose und Ribose)
1 Fettsäure (z.B. Palmitinsäure)
1 Glycerin
1 Cholin.

Diese ursprünglichen *Biomoleküle* könnten auf *abiotisch*em Wege gebildet worden sein, und zwar durch Reaktionen zwischen Bestandteilen der *Uratmosphäre* unter Einfluss von Strahlungsenergie und Blitzentladungen.

Wahrscheinlich sind die Biomoleküle die einfachsten, aber vielseitigsten und tauglichsten aller Moleküle (sieht man vielleicht einmal vom Wassermolekül ab), die zur Erfüllung der zahlreichen Funktionen in der Zelle in Betracht kommen. Größe und Gestalt der Biomoleküle sind für die hohe Spezifität ihrer biologischen Wechselwirkungen und für ihre Rolle als Strukturelemente der Zelle außerordentlich wichtig.

2.2 Kennzeichen organischer Verbindungen

Wie oben schon angedeutet, basieren die charakteristischen Kennzeichen der organischen Verbindungen auf der besonderen Struktur des Kohlenstoffatoms. Die wichtigsten sind dabei:

(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de

- C-Atome können mit anderen C-Atomen Ketten bilden;
- der Kohlenstoff ist 4-wertig, d.h., er kann vier (Einfach-)Bindungen zu Nachbaratomen eingehen;
- Doppel- und Dreifachbindungen zwischen C-Atomen sind möglich;
- Es sind Verzweigungen der Ketten möglich.
- Ein Zusammenschluss zu einem Ring kann erfolgen.

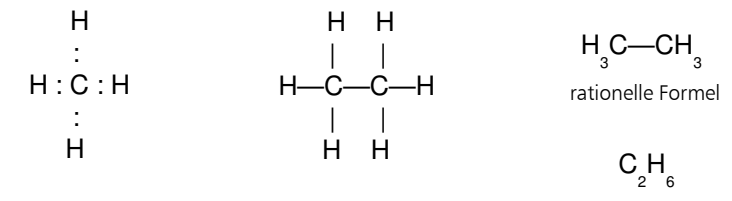
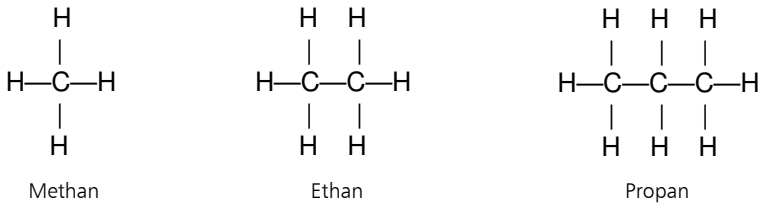


Abb. 7,1
Verschiedene Darstellungen von chemischen Formeln

2.3 Einfache Kohlenwasserstoffe

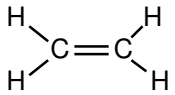
Nach der Zahl der Bindungen zwischen den C-Atomen unterscheidet man

Alkane (Methan, Ethan, Propan, Butan, Pentan, Hexan usw.)
Man beachte die freie Drehbarkeit um Einfachbindungen!

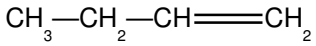


Alkene (—, Ethen, Propen, Buten usw.)
Sie besitzen eine oder mehrere Doppelbindungen. Hier ist die freie Drehbarkeit aufgehoben (cis- und trans-Formen). Alkene sind „ungesättigt“, d.h. durch Wasserstoffatome können dieseVerbindungen abgesättigt werden, dann verschwinden die Doppelbindungen.

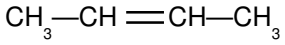
(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de



Ethen (Ethylen)



Buten

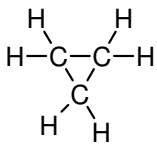


Isobuten

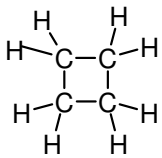
Alkine (—, Ethin, Propin, usw.)
Kennzeichen dieser Gruppe sind die Dreifachbindungen.

Ethin (Acetylen)

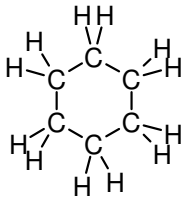
Kohlenwasserstoffketten können sich auch zu Ringen schließen, man spricht von *zyklischen Kohlenwasserstoffen (KW)*, wie z.B. das Cyclohexan und Benzol.



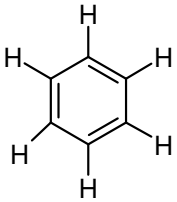
Cyclopropan



Cyclobutan



Cyclohexan



Benzol

Abb. 8,1
Beispiele zyklischer Kohlenwasserstoffe

2.4 Funktionelle Gruppen

Die oben angeführten Beispiele von *Kohlenwasserstoffen* (also Verbindungen aus Kohlenstoff und Wasserstoff) enthalten chemisch gesehen reduzierte Kohlenstoffatome. Daraus folgt, dass sie irgendwann unter Energieaufwand gebildet wurden und daher Energie enthalten, die bei einer Verbrennung (Oxidation) freigesetzt werden kann. Methan, Ethan, Benzol usw. werden daher als Brennstoffe genutzt. Ansonsten sind diese Kohlenwasserstoffe eher „langweilig“ (reaktionsträge). Charakteristische und vielfältige Eigenschaften bekommen sie erst durch die sogenannten *funktionellen Gruppen*. Sie bringen in erster Linie Sauerstoff und Stickstoff in die Verbindungen.

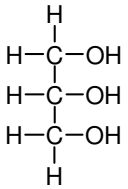
(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de

—OH	Hydroxylgruppe	siehe Alkohole
—C(=O)OH	Carboxylgruppe	siehe Säuren
—N(H)H	Aminogruppe	siehe Aminosäuren
—C(=O)H	Aldehydgruppe	siehe Aldehyde/Ketone

Abb. 9,1
Wichtige funktionelle Gruppen

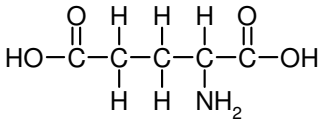
Eine Kohlenwasserstoffkette kann auch mehrere funktionelle Gruppen tragen:

gleiche



Glycerin

verschiedene



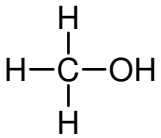
Glutaminsäure

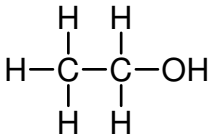
Die durch die funktionellen Gruppen gewonnenen neuen chemischen Eigenschaften werden in Stoffklassen geordnet.

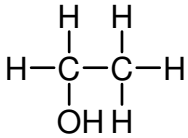
2.5 Wichtige biochemische Stoffklassen

2.5.1 Alkohole

Alkohole besitzen die funktionelle Gruppe –OH.

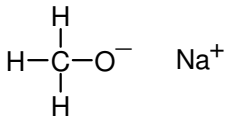






Auf Grund der hohen EN des Sauerstoffatoms kann ein H^+ abgespalten werden.

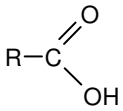
Damit reagiert der Alkohol schwach sauer, er bildet mit Kationen (Na^+ usw.) Salze, sogenannte Alkoholate.



Alkohole mit mehreren OH-Gruppen heißen mehrwertige Alkohole, ein Beispiel ist das Glycerin (= 3-wertiger Alkohol).

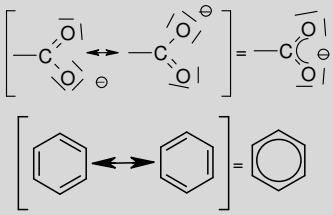
2.5.2 Organische Säuren

Ihre funktionelle Gruppe wird Carboxylgruppe genannt:

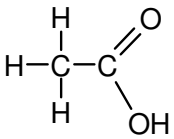


Der Säurecharakter beruht auf der Dissoziation in wässriger Lösung. Diese ist deutlicher ausgeprägt als beim Alkohol, da der Säurerest durch Mesomerie stabilisiert wird. Das abgetrennte Proton müsste diese Stabilisierungsenergie überwinden, um sich wieder anlagern zu können.

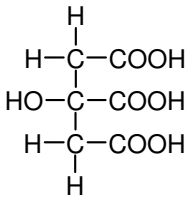
Mesomerie: Darunter versteht man die Wirkung der beiden „zusätzlichen" Elektronen in der Doppelbindung. Sie sind nicht an ihren Platz gebunden, d.h., sie sind nicht eindeutig zuzuordnen. Man gibt deshalb auch oft keine starren Formeln, sondern Grenzstrukturen an. Man umschließt sie zur besseren Unterscheidung durch eine eckige Klammer.



Beispiele organischer Säuren:



Essigsäure

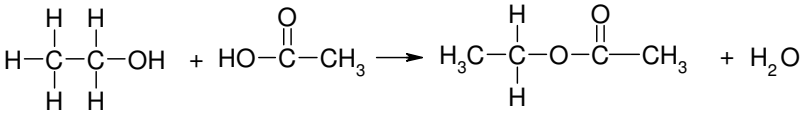


Zitronensäure

(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de

2.5.3 Ester

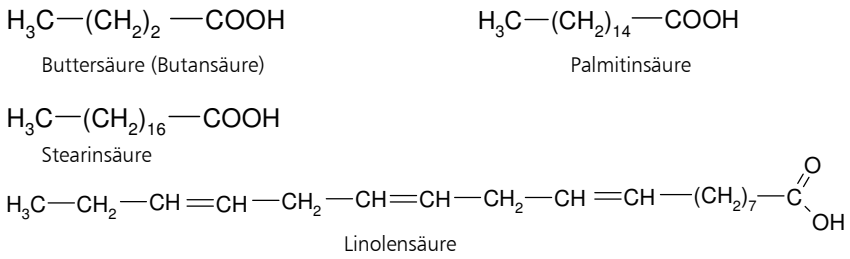
Organische Säuren können mit Alkoholen unter Wasserabspaltung Estermoleküle bilden. Viele Ester sind durch ihren aromatischen Duft gekennzeichnet, so finden sie sich als *Aroma- und Duftstoffe* z.B. im Obst. Auch als „naturidentische" Aromastoffe werden sie vielen Lebensmitteln zugesetzt. Ester mit anorganischen Säuren (z.B. Phosphorsäure) werden als Gifte gebraucht, sie finden sich in *Insektiziden*.



Essigsäureethylester

2.5.4 Fettsäuren

Längere Kohlenwasserstoffketten (15 und mehr C-Atome) mit endständiger Carboxylgruppe nennt man Fettsäuren. Man unterscheidet (je nach Vorhandensein von Doppelbindungen) gesättigte und ungesättigte Fettsäuren. Ihre biologische Wertigkeit in Nahrungsmitteln wird diskutiert.



Buttersäure (Butansäure)

Palmitinsäure

Stearinsäure

Linolensäure

Abb. 11,1
Einfache organische Säure (Buttersäure) und verschiedene Fettsäuremoleküle mit deutlich größeren Kettenlängen

2.5.5 Fette

sind Ester des Glycerins mit Fettsäuren (Verknüpfung der Hydroxyl- mit der Carboxylgruppe). Die natürlichen Fette sind Gemische aus Glycerinestern verschiedener Fettsäuren. Die Kettenlänge ist recht variabel. Der Gehalt an ungesättigten Fettsäuren bestimmt dabei den Grad der Flüssigkeit (*Öl*). Flüssige Fette (Sonnenblumenkernöl usw.) können durch Beseitigung der Doppelbindungen „gehärtet" werden (*Margarineherstellung*). Dazu wird auf katalytischem Wege Wasserstoff eingebaut.

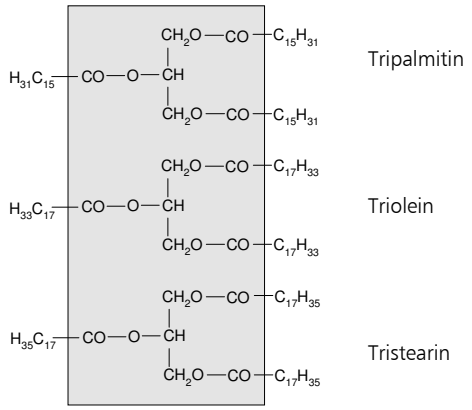
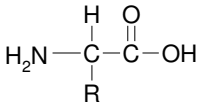


Abb.12,1
Fette aus verschiedenen Fettsäuremolekülen

Seifen sind Natriumsalze der höheren Fettsäuren. Man gewinnt sie durch Kochen von Fetten mit Natronlauge, wobei die Esterbindung aufgetrennt wird. Durch Zugabe von Natriumchlorid werden die Fettsäuren neutralisiert und ausgefällt. Nach dem Trocknen kann man daraus Seifenstücke pressen.

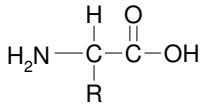
2.5.6 Aminosäuren

Die Aminosäuremoleküle enthalten zwei oder mehrere funktionelle Gruppen, darunter eine Carboxylgruppe (=Säure) und eine Aminogruppe (=Base). Als Ausnahme besitzt Prolin eine Iminogruppe (siehe Tabelle).

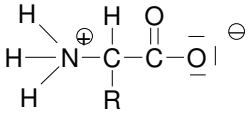


Besonders wichtig sind für die Eiweißbildung 20 Aminosäuren, ihre Aminogruppe befindet sich in α–Stellung, d.h. sie ist mit dem C-Atom verbunden, welches der COOH-Gruppe benachbart ist. Neben den 20 *proteinogenen Aminosäuren* finden sich in Organismen noch über 100 weitere mit anderen Aufgaben (z.B. die γ-Aminobuttersäure als Neurotransmitter). Unter essentiellen Aminosäuren versteht man diejenigen, die unbedingt mit der Nahrung aufgenommen werden müssen. Andere Aminosäuren können im Organismus hergestellt werden. Die chemischen und biologischen Leistungen der Aminosäuren werden vor allem durch ihre *Zwitterionen*-Eigenschaft bestimmt.

(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de



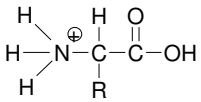
ungeladene Form
(kommt praktisch nicht vor)



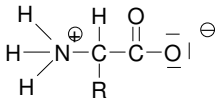
Ionenschreibweise
(Proton der Carboxylgruppe ist an der Aminogruppe gebunden)

Abb. 13,1
Aminosäure

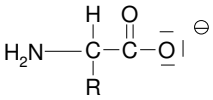
In saurer Lösung liegt die Aminosäure als Kation, in alkalischer Lösung als Anion vor. Diese Eigenschaft kann zur Trennung von Aminosäuremolekülen im elektrischen Feld ausgenutzt werden (Elektrophorese). Natürlich wirkt sich die Zahl der geladenen Seitengruppen auch bei den Eiweißen (Proteinen) aus (s.a. Tertiärstruktur).



Kation



Zwitterion

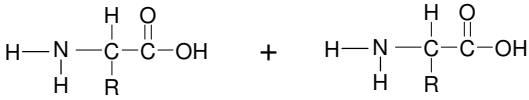


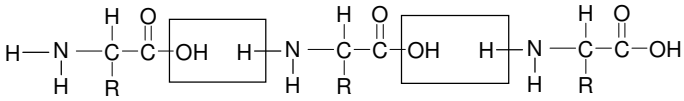
Anion

Abb. 13,2
Zustand in Abhängigkeit vom pH-Wert des Lösungsmittels

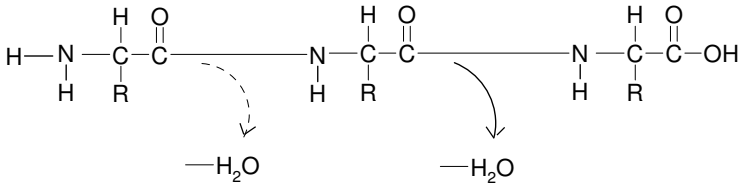
2.5.7 Peptide

Aminogruppe und Carboxylgruppe benachbarter Aminosäuremoleküle können unter Wasserabspaltung eine Bindung eingehen. Dabei entsteht ein Dipeptid, durch weitere Anlagerung ein Tripeptid.





N-terminale Aminosäure C-terminale Aminosäure



Fügen sich einige wenige zusammen, spricht man von Oligopeptiden, sind es mehrere (bis etwa 100), heißen die Produkte *Polypeptide*. Ein Beispiel für ein Polypeptid ist das *Insulin*.

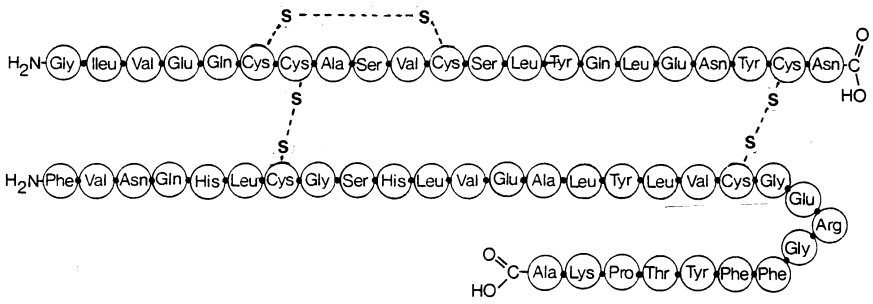


Abb. 14,1
Insulin, ein Polypeptid aus 51 Aminosäuremolekülen

2.5.8 Eiweiße (Proteine)

sind Riesen-(Makro-)moleküle aus mehr als 100 Aminosäurebausteinen. Bezüglich des Aufbaus dieser großen Moleküle unterscheidet man die

Primärstruktur	Reihenfolge der Aminosäuren (Aminosäuresequenz, lineare Anordnung)
Sekundärstruktur	Räumliche Anordnung dieser Aminosäurekette durch intramolekulare Wechselwirkungen, dabei unterscheidet man zwei Typen: *Faltblattstruktur* (Zickzackförmiger Wechsel der Aminosäureposition) *Helixstruktur* (aufgeschraubte Anordnung, der oft verwendete Ausdruck „spiralig“ ist mathematisch falsch.) *random coil* ist eine dritte Form, die sterisch nicht ganz festgelegt ist.

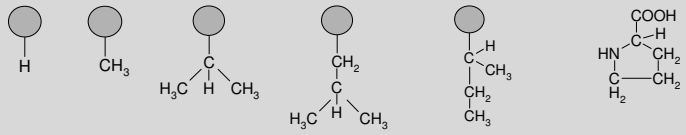
(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de

EXTRA-INFO

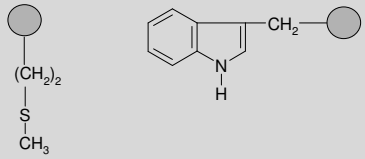
Aminosäuren

Unter den Namen sind die Abkürzungen angegeben. Alternativ werden ein- oder dreibuchstabige Abkürzungen verwendet.

mit unpolaren Seitengruppen

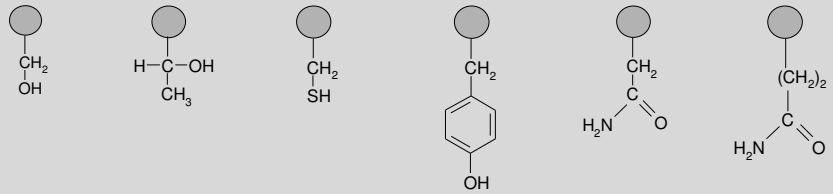


Glycin Gly **G** | Alanin Ala **A** | Valin Val **V** | Leucin Leu **L** | Isoleucin Ile **I** | Prolin Pro **P**



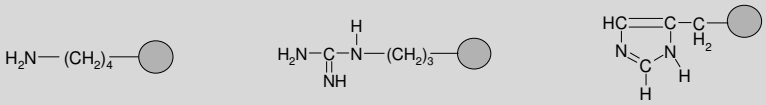
Methionin Met **M** | Tryptophan Trp **W** | Phenylalanin Phe **F**

mit polaren ungeladenen Seitengruppen



Serin Ser **S** | Threonin Thr **T** | Cystein Cys **C** | Tyrosin Tyr **Y** | Asparagin Asn **N** | Glutamin Gln **Q**

mit positiv geladenen Seitengruppen (bei pH 6: basische Aminosäuren)



Lysin Lys **K** | Arginin Arg **R** | Histidin His **H**

mit negativ geladenen Seitengruppen (bei pH 6: saure Aminosäuren)

Asparaginsäure Asp **D** | Glutaminsäure Glu **E**

Dieses Symbol ersetzt die Amino- und Carboxylgruppe.

(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de

Tertiärstruktur	Entstehung eines Eiweißknäuels durch geladene Seitengruppen einiger Aminosäuren (z.B. Wasserstoffbrücken, Disulfidbrücken (vgl. Abb. des Insulins!). Obwohl die Anordnung bei gleicher Aminosäuresequenz immer identisch ist, wird manchmal der Begriff „Zufallsknäuel“ verwendet (nicht mit „random coil“ verwechseln!).
Quartärstruktur	Funktionelle Einheit, die aus mehreren Proteinen gebildet wird (Komplexe).

Proteine falten sich in eine Konformation, die einem Energieminimum entspricht. Hier sind sie stabil.

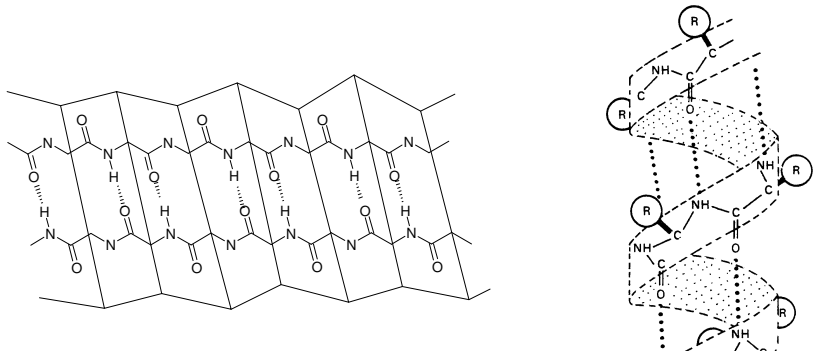
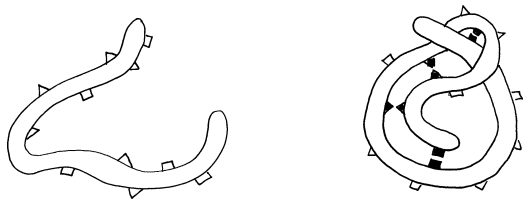


Abb. 16,1
β-Faltblattstruktur (einige Atome wurden zur Vereinfachung weggelassen) und α-Helixstruktur



Polare bzw. unpolare Seitengruppen dirigieren in eine Knäuelstruktur.
Diese ist also nicht zufallsbestimmt.

Abb. 16,2
„Zufallsknäuel“ sind nicht vom Zufall abhängig

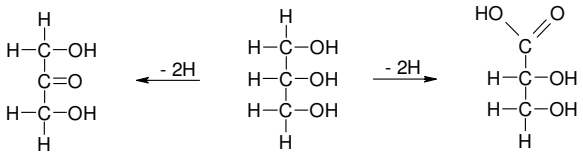
(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de

Genauere Untersuchungen haben gezeigt, dass neben den hier dargestellten Konformationen auch kleinere Einheiten der langen Polypeptidkette des Proteins eine eigene Faltungscharakteristik aufweisen. Eine Gruppe von etwa 50 bis 350 Aminosäuren (eine sogenannte Domäne) kann sich unabhängig in eine stabile Form falten.

Ob die Form des Proteins korrekt gefaltet wurde, kann durch die kürzlich entdeckten *Chaperone* geprüft werden. Dies sind Proteine, die die richtige Faltung der Peptidkette unterstützen sowie falsch gebaute Tertiärstrukturen erkennen und diese zwecks Abbau weiterreichen. Was hier als Qualitätskontrolle verstanden wird, kann auch unerwartete Folgen haben. So kommt es vor, dass bereits geringfügig falsch gefaltete Proteine ausgesondert werden, obwohl sie normal funktionieren würden. So ist es bei der *Cystischen Fibrose*, bei der ein Transportprotein nicht „nach Plan" gebaut wird. Obwohl es funktionieren würde, wird es zerstört – mit tragischer Folge.

2.5.9 Aldehyde/Ketone

Aldehyde entstehen durch Oxidation der Alkohole, weitere Oxidation führt zur Säure. So oxidiert z.B. Alkohol im Wein zu Essigsäure (Weinessig). Ketone entstehen ebenfalls durch Oxidation, bei ihnen ist jedoch die C=O -Gruppe nicht endständig.



Dihydroxypropanon Glycerin Glycerinaldehyd

2.5.10 Kohlenhydrate

In der Regel sind Kohlenhydrate Verbindungen mit der allgemeinen Summenformel $C_n(H_2O)_n$, daher können sie formal als Hydrate des Kohlenstoffs (daher nicht Kohlehydrate!) aufgefasst werden. Dies entspricht aber in keiner Weise der Strukturformel und dem chemischen Verhalten. Meist wird die Struktur in einer Ketten- oder Ringformel angegeben. In der Natur finden sich vorwiegend die Ringformen, die durch intramolekulare Umlagerungen entstanden sind.

Disaccharide entstehen durch Zusammenlagerung von zwei Monosaccharidmolekülen unter Wasserabspaltung. Man spricht von einer glykosidischen Bindung über das Sauerstoffatom.

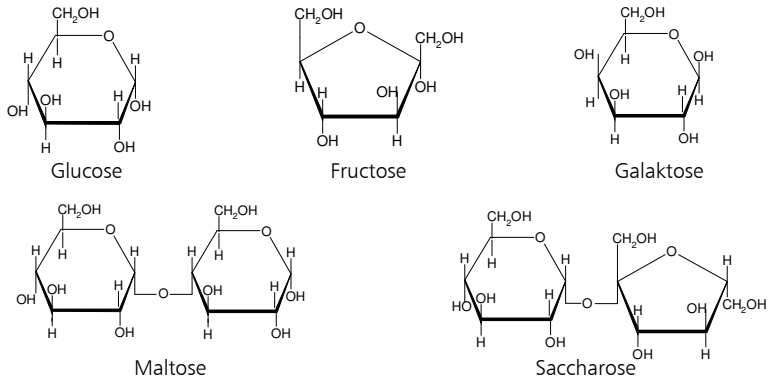


Abb. 18,1
Mono- und Disaccharide

Polysaccharide sind langkettige Moleküle, z.T. mit Verzweigungen:

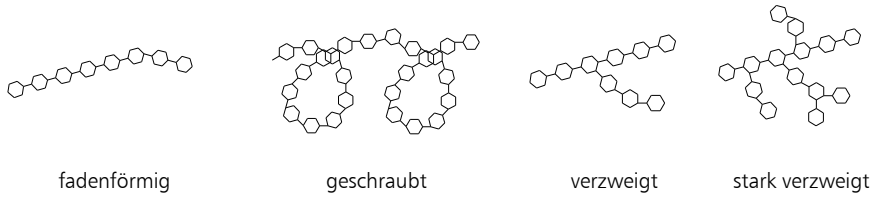


Abb. 18,2
Polysaccharide = Makromoleküle mit unterschiedlicher Organisation

Im vorangegangenen Kapitel wurden grundlegende Strukturen biochemisch wichtiger Moleküle aufgezeigt, weitere (wie Chlorophyll, ATP, DNA) werden z.B. in Band 2 beschrieben.

(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de

REPETITORIUM

1. Grenzen Sie die Teildisziplinen der Chemie – Anorganische Chemie, Organische Chemie und Biochemie – gegeneinander ab.

2. Welche Elemente sind in den auf S. 21 genannten „ursprünglichen Molekülen“ enthalten?

3. Informieren Sie sich über MILLERS Versuche zur abiogenen Entstehung verschiedener Moleküle! Schreiben Sie einige Beispiele auf.

4. Was versteht der Chemiker unter *konjugierten Doppelbindungen*? Nennen Sie Beispiele (Lehrbuch!).

5. Erläutern Sie kurz die Wirkung funktioneller Gruppen.

6. Welche organischen Verbindungen lösen sich leicht in Wasser? Begründen Sie!

7. Erläutern Sie die Begriffe *Stabilisierungsenergie* und *Aktivierungsenergie*.

8. Wie heißt der Wirkstoff in E 605?

9. Tragen Sie Argumente von Ernährungswissenschaftlern für den Verzehr von Butter bzw. Margarine zusammen.

10. Erläutern Sie kurz das Wirkungsprinzip eines Katalysators!

11. Welche Katalysatoren werden zur Fetthärtung verwendet? Was sagen die Margarinehersteller über Rückstände im Produkt?

12. Stearinsäure ist trotz polarer Carboxylgruppe nicht in Wasser löslich. Begründen Sie dies (Skizze)!

13. Welche Aminosäuren sind hydrophob, welche sind hydrophil?

14. Informieren Sie sich über Herkunft und Aufgabe des Insulins!

15. Beschreiben Sie den Unterschied zwischen Summen- und Strukturformel!

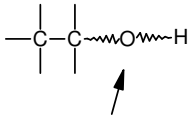
16. Für ein Protein wird die Molmasse mit 60 000 u angegeben. Wie viele Aminosäuren enthält es? Berechnen Sie dazu zunächst die durchschnittliche Molmasse der proteinogenen Aminosäuren.

(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de

3 Grenzflächen und Membranen

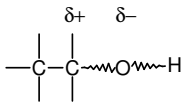
3.1 Grenzflächenaktive Stoffe

Aufgrund der höheren EN einiger Elemente kommt es innerhalb eines Moleküls zu Elektronenverschiebungen.

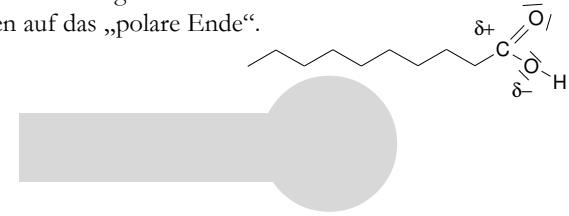


(höhere Elektronendichte am Sauerstoff)

Dadurch wird der rechte Molekülteil geringfügig negativ gegenüber der linken Seite.



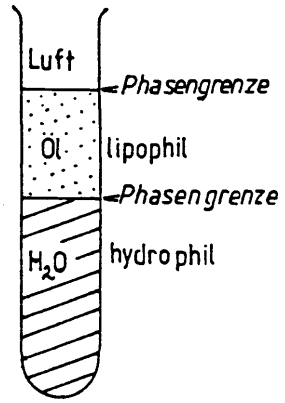
Das Molekül wird polar. Bei längeren Kohlenwasserstoffketten konzentrieren sich diese polaren Eigenschaften auf das „polare Ende“.



Diese Eigenschaft tritt in Wechselwirkung mit z.B. Wassermolekülen, die ebenfalls polare Eigenschaften aufweisen. Aus der Kenntnis dieser Grundlagen erklärt sich die Unverträglichkeit von polaren und unpolaren Molekülen. Dabei halten die polaren Moleküle untereinander einen stärkeren Kontakt, während die unpolaren Teilchen regelrecht aus dem Kreis der polaren Moleküle herausgedrängt werden. Je nach ihrer Dichte sammeln sie sich oberhalb (z.B. Benzin) oder unterhalb (z.B. Quecksilber) von Wasser. Dabei bilden sich deutliche *Phasengrenzen* (Abb. 42,1) aus.

Diese Phasengrenzen werden (wenn vorhanden) bevorzugt von Molekülen besetzt, die beide Eigenschaften tragen, wie eine (längere) unpolare Kohlenwasserstoffkette und eine polare „–OH“- oder „–COOH“-Gruppe. Moleküle, die -wie eben gesagt- beide Eigenschaften tragen, nennt man amphiphile Moleküle. Derartige *amphiphil*e Eigenschaften weisen z.B. die Fettsäuren auf.

(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de



Polare Gruppen sind *hydrophil,* aber *lipophob*

unpolare Gruppen sind *hydrophob,* aber *lipophil.*

Abb. 21,1
Phasengrenzen an Luft und Wasser

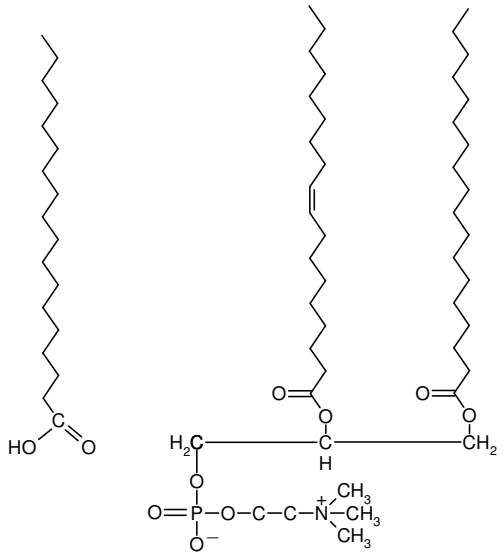


Abb. 21,2
Strukturformeln amphiphiler Moleküle: Stearinsäure (li.) und Lecithin

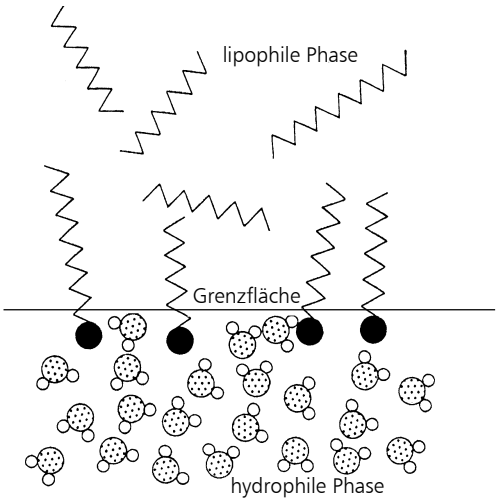


Abb. 22,1
Anordnung grenzflächenaktiver Stoffe. Polare Gruppen tauchen in die hydrophile Phase ein

3.2 Modellversuch

Am Aufbau biologischer Membranen (vgl. später) sind Strukturlipide (z.B. Phospholipide wie *Lecithin*) beteiligt. Diese Moleküle besitzen amphiphile Eigenschaften, d.h., sie ordnen sich bevorzugt an der *Grenzfläche* einer lipophilen und einer hydrophilen Phase an. Sind diese Lipide in geringer Menge vorhanden, so bilden sie eine monomolekulare Schicht. Die Moleküle bleiben dabei untereinander durch seitliche Wechselwirkungen in lockerer Verbindung. Es entsteht so ein monomolekularer Film bzw. eine *Membran*.

In einem Modellversuch kann man anstelle der Lipide Moleküle verwenden, die ebenfalls typische amphiphile Eigenschaften zeigen (z.B. *Stearinsäure*). Als Grenzfläche bietet sich die Wasseroberfläche an. Das Fehlen der lipophilen Phase stört bei der Betrachtung der Versuchsergebnisse nicht.

Tropft man (in Benzin gelöste) Stearinsäure auf eine solche Wasseroberfläche, so spreitet das Benzin die Stearinsäuremoleküle. Diese amphiphilen Moleküle liegen daraufhin in einer monomolekularen Schicht vor. Diese Schicht ist außerordentlich dünn, so dass sie kaum sichtbar wird. Dass sie auf der Wasseroberfläche liegt, lässt sich mit Hilfe eines Schiebers (Styroporstreifen) leicht zeigen. Komprimiert man damit den Molekülfilm, so tritt bald ein deutlicher Widerstand auf, der - lässt man den Schieber los - den Styroporstreifen zurückdrängt.

(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de

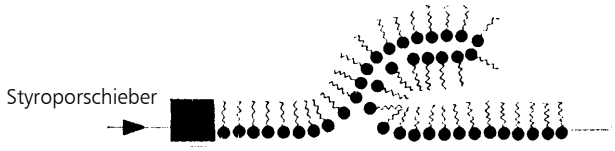


Abb. 23,1
Faltenbildung eines Oberflächenfilms durch seitlichen Schub

Bei stärkerem seitlichen Druck legt sich der Film (etwa mit dem Zusammenschieben einer Tischdecke vergleichbar) übereinander. Der zunächst zu beobachtende Rückschub bleibt aus. Durch diese Faltungen wird nun auch die Molekülschicht als grauer Schleier sichtbar; sie ist allerdings nicht mehr monomolekular.

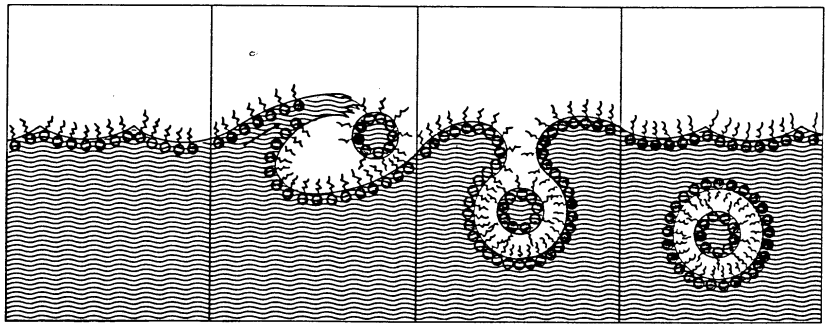


Abb. 23,2
Faltungen eines monomolekularen Films an einer Wasseroberfläche: es entstehen membranumhüllte Tröpfchen

Biologische Membranen – ein Modellversuch

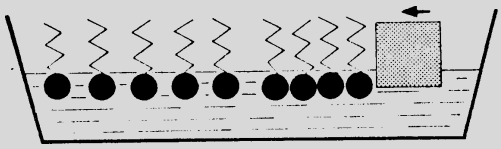
1. Geräte
Entwicklerschale (ca. 30x50 cm), Styroporstreifen, Lineal, Messzylinder, Waage, Pipette oder Injektionsspritze.

2. Material
Stearinsäure, Benzin, Schwefelpulver, Speiseöl.

3. Vorbereitende Arbeiten
Herstellung der Stearinsäurelösung (1000:3)
0,3 g Stearinsäure werden in 100 ml Benzin gelöst (Gefäß gut verschließen!).

Bestimmung der Tropfenzahl pro ml
Eine 1 ml-Pipette, die später im Versuch benutzt werden soll, wird mit der Stearinsäurelösung gefüllt. Durch langsames Ausfließenlassen wird die Tropfenzahl pro ml bestimmt. (Statt der Pipette kann evtl. auch eine Einweg-Injektionsspritze benutzt werden.)

4. Versuchsdurchführung
Man füllt eine größere Entwicklerschale mit Wasser, nachdem man sie vorher von evtl. noch anhaftenden Stearinsäureresten mit etwas Benzin gereinigt hat. Die Wasseroberfläche wird möglichst gleichmäßig mit Schwefelpulver abgestreut. Dann tropft man Stearinsäurelösung auf die Wasseroberfläche. (Im Vorversuch sollte die Zahl der Tropfen bestimmt werden, die gerade ausreichen, die Wasseroberfläche mit einem möglichst großen kreisförmigen Film zu bedecken.) Der Durchmesser des Fettsäureflecks ist zu messen. Mit Hilfe eines 1–2 cm breiten Styroporschiebers, dessen Länge etwa der Breite der Schale entspricht, lässt sich der Film durch Verschieben nachweisen.



5. Berechnung der Dicke des monomolekularen Films
Aus der Fläche des Flecks und dem Volumen der eingesetzten Stearinsäure lässt sich die Dicke (Höhe) des monomolekularen Films berechnen. Diese Dicke entspricht der Länge des Stearinsäuremoleküls.

PRAKTIKUM

(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de

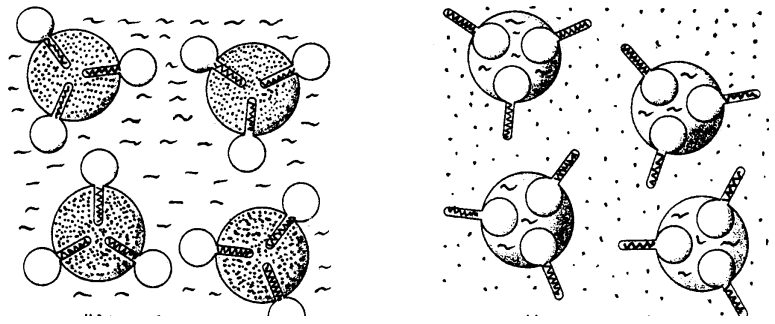


Abb. 25,1
O/W (Öl in Wasser)– und W/O (Wasser in Öl)–Emulsionen

3.3 Emulgatoren

(lat. emulgere - melken). Grenzflächenaktive Moleküle sind nicht nur an der Phasengrenze vorhanden, sondern sie sind darüber hinaus auch in der Lage, die Moleküle ober- und unterhalb dieser Grenze miteinander zu verbinden. Bei fein verteilten Tröpfchen wird so eine innige Vermischung der ursprünglich nicht mischbaren Phasen erreicht.

Darauf beruht u.a. die „Lösung" von Fetten im Darm. Auch Creme, die ja bekanntlich zu etwa gleichen Teilen aus Wasser und Öl besteht, wird zu einer homogenen Substanz, wenn ein *Emulgator* (z.B. Lecithin, Stearinsäure) für den Zusammenhalt sorgt. Es gibt zahlreiche weitere Anwendungen für diese interessante Stoffgruppe. Ein besonderes Beispiel ist auf der folgenden **PRAKTIKUM-**Seite wiedergegeben.

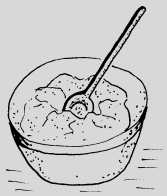
3.4 Membranen

Wie bereits im Modellversuch gezeigt wurde, bilden amphiphile Moleküle an der Phasengrenze eine zusammenhängende Schicht. Dieser Zusammenhalt wird erreicht durch die schwachen VAN-DER-WAALS–Kräfte, die die Kohlenwasserstoffketten aufeinander ausüben. Es entsteht der Eindruck einer Membran, obwohl sich sehr einfach zeigen lässt, daß die Moleküle in der Membran relativ leicht gegeneinander verschiebbar sind. Die Situation ist eher mit einem *„flüssigen Mosaik"* zu vergleichen. Betrachtet man die Abbildung 44,2 so gewinnt man eine Vorstellung von der Entstehung durch Membranen abgegrenzter Tröpfchen. Dabei ergibt sich hier die Notwendigkeit, Doppelmembranen auszubilden. (Bei einer Öl/Wasser – Emulsion ist natürlich nur eine Einfachmembran vorhanden.)

(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de

Backen mit Emulgator

Auf Lebensmittelverpackungen bekommt man immer häufiger den Hinweis, dass Emulgatoren verwendet wurden. Man erreicht mit ihrer Hilfe eine gleichmäßigere Verteilung der Fette und anderer Inhaltsstoffe. Achten Sie einmal bei Mayonnaise und Schokoladeprodukten auf die Inhaltsangabe. Ganz besonders gut eignen sich Emulgatoren zum Backen. Was die Profis können, sollte uns auch gelingen. Man bekommt einen passenden Emulgator z.B. in den Apotheken, die Grundstoffe für die verschiedenen Hobbythek-Rezepte anbieten. Unter der Bezeichnung *Tegomuls 90* wird ein aus Stearinsäure hergestellter Emulgator angeboten. Das weiße Pulver muss nur noch ein wenig mit Wasser vermischt (Massenverhältnis 1:10) und bei mäßiger Hitze „gelöst" werden.



Und nun ans Backen: Für einen Biskuit-Boden braucht man „frei nach Dr. Oetker" 4 Eier, 175 g Zucker, 75 g Mehl und 75 g Speisestärke, eine Prise Salz, vielleicht etwas abgeriebene Zitronenschale und ... nein, nicht Backpulver, sondern etwa 50 g Tegomulspaste, die bereits vorbereitet wurde. Und auch wenn Großmutter nun verzweifeln sollte: Alles zusammen in die Rührschüssel und den elektrischen Handrührer auf volle Leistung! Nach fünf Minuten ist es soweit, es ist genügend Luft (auch wenn dies nicht gleich erkennbar ist) in den Teig gerührt. Der Teig wird in eine (evtl. mit Backpapier ausgelegte) Form gefüllt und in den vorgeheizten Backofen (ca. 200 °C) geschoben. Nach einer halben Stunde dürfte der Boden fertig sein.

Für einen passenden Torten-Belag können Sie Ihre Phantasie spielen lassen – oder fragen Sie Ihre Großmutter, wenn sie sich schon wieder von dem Schock erholt hat. --- Sie wollen noch wissen, warum die Großmutter mit Schaudern Ihrer Backkunst zusah? Nun, sie ist gewohnt, das geschlagene Eiweiß erst zum Schluß vorsichtig (damit der Teig luftig locker wird/bleibt) unterzuheben. Mit einem Emulgator erübrigt sich das.

Mit Emulgatoren lassen sich in der Küche noch weitere Anwendungen finden, z.B. bei der Eisherstellung. Während bei der Eigenproduktion in der Tiefkühltruhe oft sehr große störende Eiskristalle entstehen, kann der Emulgator dies verhindern. Hier sollten Sie einmal selbst etwas probieren. Weitere Anregungen finden Sie in dem Buch von Jean Pütz und Christine Niklas „Cremes und sanfte Seifen". Mit Sicherheit steht es in der Stadtbücherei. Oder haben Sie es schon ausgeliehen?

(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de

3.5 Der Pneu

„Sämtliche Lebewesen, von der Urzelle bis zum Menschen, besitzen ein gemeinsames Konstruktionsprinzip - die biegeweiche, vom Innendruck aufgepumpte Membrankonstruktion, kurz: den Pneu."

F. Otto

Während Biologen die Stabilität von Organismen lange Zeit durch Skelette, Verholzungen etc. gewährleistet sahen, wurde großzügig übersehen, dass „von vornherein überhaupt keine festen Bauelemente nötig sind, um bei möglichst geringem Masseaufwand extremste Belastungen auszuhalten: die hydrostatische Belastbarkeit von Flüssigkeiten und Gasen ist sehr hoch, genauso die Zugbelastbarkeit von weichen Fäden, Sehnen und Häuten. Beide Konstruktionstypen sind beim *Pneu* in einem System vereinigt." (Otto) Was ein Pneu ist, kann man sich an einer *Seifenblase* verdeutlichen.

Die zarte Membran aus Wasser und einem grenzflächenaktiven Stoff stellt eine recht stabile Konstruktion dar. In einem einfachen Experiment lässt sich zeigen, dass sogar kleine Gegenstände (die vorher mit Seifenlösung befeuchtet wurden) ins Innere einer Seifenblase gebracht werden können, ohne die Membran zu zerstören. Man gewinnt so eine Vorstellung von den Möglichkeiten des Stofftransports durch Membranen lebender Zellen. Besonders interessant ist auch das Verhalten von benachbarten Seifenblasen. Wenn sie sich berühren, ändern sie ihre Form. So entsteht eine ebene Berührungsfläche, die drei Winkel an jeder Berührungskante betragen jetzt 120 Grad.

Der Pneu ist als Modell ein wichtiges Hilfsmittel zum Verständnis biologischer Strukturen geworden. So kann man formulieren: „Nicht jedes biologische System ist ein Pneu, aber jedes System entsteht als Pneu." Die ursprünglich zarten Strukturen einer Zelle erhalten erst später (bei Bedarf) „feste" Stützelemente.

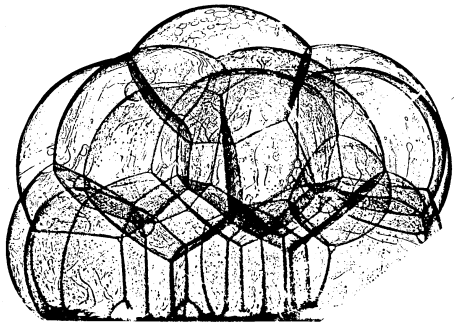


Abb. 27,1
Seifenblasen. Sie bilden an den Berührungsstellen wegen des Druckausgleichs ebene Flächen

1. Beschreiben Sie den Lösungsvorgang bei Salzen und Metallen, vergleichen Sie mit Hilfe einer Skizze.

2. Warum schwimmen Fettaugen auf der Suppe? Was geschieht auf molekularer Ebene? Wie verhalten sich dabei die Wassermoleküle?

3. Im Modellversuch wurde die Länge eines Stearinsäuremoleküls bestimmt. Welche Fehler müssten bei der Versuchsauswertung eigentlich noch zusätzlich berücksichtigt werden? Bestimmen Sie überschlagsweise die Fehlergrenzen.

4. Informieren Sie sich über die Zusammensetzung und Wirkung der Gallenflüssigkeit.

5. Wo finden Emulgatoren in Nahrungsmitteln Verwendung? Welche Ziele verfolgen die Hersteller dieser Produkte?

6. Informieren Sie sich über die Wirkungsweise von waschaktiven Substanzen.

7. Sie finden auf Waschmitteln die Begriffe „Detergentien“ und „(anionische) Tenside“. Suchen Sie in Chemiebüchern Hinweise über die chemische Natur dieser Stoffe und begründen Sie aus der Molekülstruktur die Reinigungswirkung.

8. Membranumhüllte Bläschen werden als Vorstufen zur evolutiven Entwicklung der Zelle vermutet. Welche Bedeutung haben derartige Membranen in dieser Hinsicht?

9. Erzeugen Sie Seifenschaum und betrachten Sie die „Zellen“ und „Zellgrenzen“.

10. Zeichnen Sie einen Ausschnitt der Seifenblasenhaut mit geeigneten Symbolen für die beteiligten Moleküle.

11. Quallen besitzen keinerlei knöcherne oder knorpelige Stützelemente, dennoch sind sie formstabil. Auch eine Qualle am Strand behält ihre Form. Erläutern Sie die Gründe.

(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de

In allen Buchhandlungen oder
im Internet bei Amazon:

Terstegge, Biologische Strukturen ISBN 3-8311-1222-3

Terstegge, Energie bewegt ISBN 3-8311-2117-6

(c) G. Terstegge, 2004
www.lebendiger-unterricht.de