Ernährungslehre

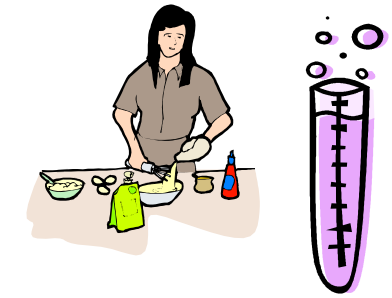
für die Sekundarstufe II

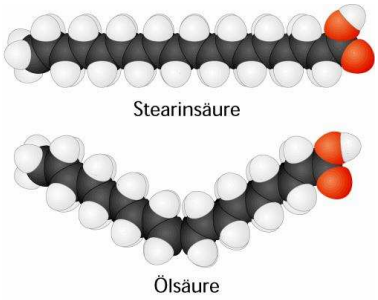
(Fachoberschule, Fachgymnasium, Gymnasium)

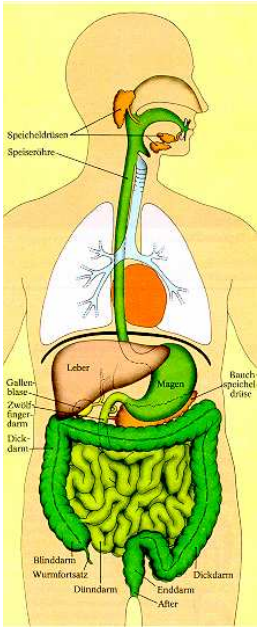
Lebensmittel und ihre Bestandteile

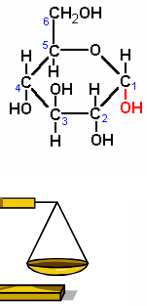
Teil 1: Einführung, Fette, Kohlenhydrate, Eiweiße

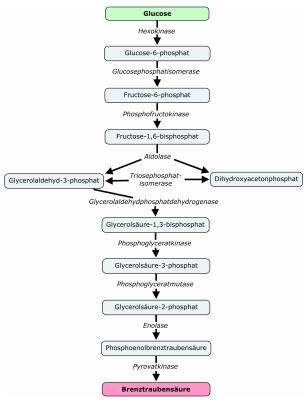
Autor: L. Drews



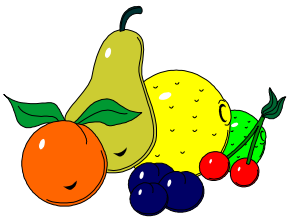


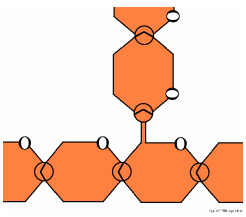


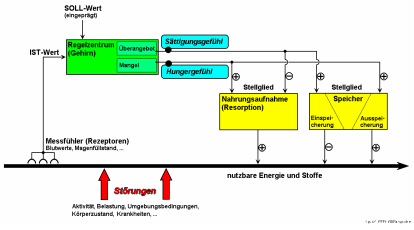




$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \longrightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O \qquad \Delta_R H = -2870\ \text{kJ/mol}$$







V. 3 (2011)

Legende:
mit diesem Symbol werden zusätzliche Hinweise, Tips und weiterführende Ideen gekennzeichnet

Nutzungsbestimmungen / Bemerkungen zur Verwendung durch Dritte:

(1) Dieses Skript (Werk) wird zur freien Nutzung in der angebotenen Form durch den Anbieter (lern-soft-projekt) bereitgestellt. Es kann unter Angabe der Quelle und / oder des Verfassers gedruckt, vervielfältigt oder in elektronischer Form veröffentlicht werden.

(2) Das Weglassen von Abschnitten oder Teilen (z.B. Aufgaben und Lösungen) in Teildrucken ist möglich und sinnvoll (Konzentration auf die eigenen Unterrichtsziele, -inhalte und -methoden). Bei angemessen großen Auszügen gehören das vollständige Inhaltsverzeichnis und die Angabe einer Bezugsquelle für das Originalwerk zum Pflichtteil.

(3) Ein Verkauf in jedweder Form ist ausgeschlossen. Der Aufwand für Kopierleistungen, Datenträger oder den (einfachen) Download usw. ist davon unberührt.

(4) Änderungswünsche werden gerne entgegen genommen. Ergänzungen, Arbeitsblätter, Aufgaben und Lösungen mit eigener Autorenschaft sind möglich und werden bei konzeptioneller Passung eingearbeitet. Die Teile sind entsprechend der Autorenschaft zu kennzeichnen. Jedes Teil behält die Urheberrechte seiner Autorenschaft bei. Die hinzukommenden Urheberrechte dürfen die ursprünglichen nicht verschärfen, aussetzen oder ihnen entgegenwirken.

(5) Zusammenstellungen, die von diesem Skript - über Zitate hinausgehende - Bestandteile enthalten, müssen verpflichtend wieder gleichwertigen Nutzungsbestimmungen unterliegen.

(6) Diese Nutzungsbestimmungen gehören zu diesem Werk.

(7) Der Autor behält sich das Recht vor, diese Bestimmungen zu ändern.

(8) Andere Urheberrechte bleiben von diesen Bestimmungen unberührt.

im Prinzip entsprechen diese Nutzungbestimmungen: creative commons

Rechte Anderer:

Viele der verwendeten Bilder unterliegen verschiedensten freien Lizenzen. Nach meinen Recherchen sollten alle genutzten Bilder zu einer der nachfolgenden freien Lizenzen gehören. Unabhängig von den Vorgaben der einzelnen Lizenzen sind zu jedem extern entstandenen Objekt die Quelle, und wenn bekannt, der Autor / Rechteinhaber angegeben.

public domain (pd)	Zum Gemeingut erklärte Graphiken oder Fotos (u.a.). Viele der verwendeten Bilder entstammen Webseiten / Quellen US-amerikanischer Einrichtungen, die im Regierungsauftrag mit öffentlichen Mitteln finanziert wurden und darüber rechtlich (USA) zum Gemeingut wurden. Andere kreative Leistungen wurden ohne Einschränkungen von den Urhebern freigegeben.
creative commens (cc) creative commons	od. neu … Namensnennung; … nichtkommerziell; … unter gleichen Bedingungen; … in der gleichen Form
gnu free document licence (GFDL; gnu fdl) copyleft	Lizenz gestattet die Vervielfältigung, Verbreitung und Veränderung des Werkes – auch zu kommerziellen Zwecken. Im Gegenzug verpflichtet sich der Lizenznehmer zur Einhaltung der Lizenzbedingungen (Pflicht zur Nennung des Autors, Verpflichtung zum Copyleft-Prinzip; Nichteinhaltung führt zum Lizenzentzug).

Die meisten verwendeten Lizenzen schließen eine kommerzielle (Weiter-)Nutzung aus!

Bemerkungen zur Rechtschreibung:
Dieses Skript folgt nicht zwangsläufig der neuen **ODER** alten deutschen Rechtschreibung. Vielmehr wird vom Recht auf künstlerische Freiheit, der Freiheit der Sprache und von der Autokorrektur des Textverarbeitungsprogramms microsoft ® WORD ® Gebrauch gemacht.
Für Hinweise auf echte Fehler ist der Autor immer dankbar.

Inhaltsverzeichnis:

Seite

1. Womit beschäftigt sich die Ernährungslehre? 6
1.1. aktuelle Aufgaben- und Problemfelder der Ernährungslehre 7

2. Nahrung und Ernährung 9
2.1. Bestandteile der Nahrung 11
2.2. Ernährung, Verdauung und Ausscheidung 12
2.3. Energie-Haushalt des Menschen 14
2.3.1. Energie und Energie-Gehalt der Nahrung 15
Energieumsatz 17
Exkurs: negativer Brennwert 18
2.4. Ernährung und Sinne 20
2.4.1. Sensorik 22
Beispiele für Prüfungsmerkmale 22
2.4.2. Versuche zu den Beziehungen von Sinnen und Ernährung 23
2.5. Hunger, Durst und Appetit 25
2.5.1. Regulation von Stoff- und Energie-Pegeln 28
2.5.2. Vorschlag eines Modell's zur Hunger-Erklärung 30
2.5.2.1. Schritt 1: Mini-Detail-Modell der Ernährung 31
2.5.2.2. Schritt 2: einfaches Modell zur Entstehung des Hungers 32
2.5.2.3. Schritt 3: Einbeziehung der Prägung 35
2.5.2.4. Schritt 4: Einbeziehung langfristiger Effekte 36
Exkurs: Serotonin 37

3. Nahrungsmittel und ihre Inhaltsstoffe 39
3.1. Fette 42
3.1.1. Fett-haltige Nahrungsmittel 43
3.1.1.1. makroskopische Einteilung der Fette 44
3.1.1.2. Gewinnung von Fetten und Ölen 47
3.1.2. Aufbau der Fette 48
Exkurs: Butan 48
3.1.2.1. Bildung von Fetten (Triglyceriden) 52
Exkurs: weitere Einteilungsmöglichkeiten 53
3.1.2.2. Bildung von Lipoiden 54
3.1.2.1. Vielfalt der Fette 58
3.1.3. Eigenschaften der Fette 61
3.1.3.1. Allgemeine (physikalische und chemische) Eigenschaften von Fetten 61
3.1.3.1.1. Reaktionen im Fett-Stoffwechsel 68
3.1.3.2. Biologische Eigenschaften der Fette und ihre Bedeutung 70
Exkurs: Cholesterol (Cholesterin) 72
3.1.3.3. Technologische Eigenschaften der Fette und ihre Nutzung 76
3.1.4. Nachweise und Prüfverfahren für Fette 85
Kennzahlen ausgewählter Fette 91
3.1.5. Ergänzende Experimente zu und mit Fetten 92
3.1.6. Fett-verwandte Stoffe 101
3.1.6.1. weitere Lipiode 101
3.1.6.1.1. Phospholipoide (Phospholipide) 101
3.1.6.1.2. Wachse 101
3.1.6.3. Seifen 103
3.1.6.4. Steroide 103
3.1.6.4.1. Sterole (Sterine) 103
3.1.6.4.2. Gallensäuren 104
3.1.6.4.3. Hormone der Nebennierenrinde 104
3.1.6.4.4. Sexualhormone 104
3.1.6.5. Sphingosinlipoide 104
3.1.6.6. Lipoproteine 105
3.1.6.7. Carotinoide 105
3.1.6.8. Ätherische Öle 106
3.1.7. Fett-Ersatz- und Austauschstoffe 107
3.1.7.1. Fett-Ersatzstoffe 107
3.1.7.2. Fett-Austauschstoffe 108
Eiweiß-basierte Fett-Ersatzstoffe 108
Kohlenhydrat-basierte Fett-Ersatzstoffe 108
3.1.8. ausgewählte Fett-haltige Lebensmittel im Einzelnen 111
3.1.8.1. Butter 111
3.1.8.2. Speisefette und Speiseöle 112
3.2. Kohlenhydrate 114
3.2.1. Kohlenhydrathaltige Nahrungsmittel 114

3.2.1.1. Die Herkunft der Kohlenhydrate ... 116
3.2.2. Aufbau und Einteilung der Kohlenhydrate ... 117
3.2.3. Eigenschaften der Kohlenhydrate ... 119
3.2.3.1. physikalische und chemische Eigenschaften von Kohlenhydraten ... 119
Exkurs: FISCHER-Projektion ... 121
Exkurs: Drehsinn und Spezifischer Drehwert ... 123
einzelne chemische Eigenschaften von Monosachariden ... 131
Bildung von zusammengesetzten Zuckern ... 134
Zerlegung von zusammengesetzten Zuckern ... 137
3.2.3.2. Biologische Eigenschaftung der Kohlenhydrate und ihre Bedeutung ... 139
Exkurs: Laktat-Test (Lactat-Test) ... 141
3.2.3.3. Technologische Eigenschaften der Kohlenhydrate und ihre Nutzung ... 143
3.2.4. Wichtige Kohlenhydrate - kurz vorgestellt ... 148
3.2.4.1. Einfachzucker ... 148
weitere Monosaccharide (ganz ganz kurz) ... 150
3.2.4.1.1. Derivate und abgeleitete Produkte von Monosacchariden ... 151
Glucoside ... 152
Glucosinolate ... 152
3.2.4.2. Zweifachzucker ... 153
3.2.4.2.1. Derivate und abgeleitete Produkte von Disacchariden ... 156
Exkurs: Invertzucker ... 156
3.2.4.3. Dreifachzucker ... 158
3.2.4.4. Mehrfachzucker ... 158
3.2.4.5. Vielfachzucker ... 160
3.2.4.5.1. Homoglykane ... 160
3.2.4.5.1.1. Glucane ... 160
3.2.4.5.1.2. Fructane ... 165
3.2.4.5.2. Heteroglykane ... 166
3.2.4.5.3. Polysaccharid-ähnliche Stoffe aus Saccharid-Derivaten ... 169
3.2.4.6. technologische Süßmittel ... 170
3.2.5. Nachweise für Kohlenhydrate ... 171
Exkurs: GOD-Test auf Glucose (im Urin) ... 174
3.2.6. Ergänzende Experimente zu und mit Kohlenhydraten ... 177
3.2.7. ausgewählte Kohlenhydrat-haltige Lebensmittel im Einzelnen ... 187
3.2.7.1. Haushaltszucker (Rübenzucker, Rohrzucker, Zucker) ... 187
3.2.7.2. Getreide und Getreide-Mehl ... 189
3.2.7.3. Kartoffeln und Kartoffel-Stärke ... 189
3.2.8. spezielle Kohlenhydrate – modern genutzt ... 190
3.2.8.1. Mais-Stärke ... 190
3.2.9. Zucker-Ersatzstoffe und Süßstoffe ... 191
3.3. Eiweiße ... 192
3.3.1. Eiweißhaltige Nahrungsmittel ... 194
3.3.2. Aufbau der Eiweiße ... 195
3.3.2.1. Aminosäuren ... 195
3.3.2.1.1. proteinogene Aminosäuren ... 197
3.3.2.1.2. bedeutende nichtproteinogene Aminosäuren ... 203
3.3.2.1.2. Strukturformeln proteinogener 2-Aminosäuren ... 204
3.3.2.2. physikalische und chemische Eigenschaften der Aminosäuren ... 205
Exkurs: Elektrophorese ... 208
chemische Umwandlungen an Aminosäuren ... 209
3.3.2.2. allgemeine Systematik der Eiweiße (Bau-Typen) ... 216
3.3.2.2.1. Proteïne ... 216
3.3.2.2.2. Proteïde ... 217
3.3.2.3. Struktur-Ebenen der Eiweiße (Bau-Ebenen, Ordnungstufen) ... 219
3.3.2.4. Die Vielfalt der Eiweiße ... 223
3.3.3. Eigenschaften der Eiweiße ... 225
3.3.3.1. Allgemeine (physikalische und chemische) Eigenschaften der Peptide und Eiweiße ... 225
Exkurs: kolloidale Lösungen und der TYNDALL-Effekt ... 228
3.3.3.2. Biologische Eigenschaftung der Eiweiße und ihre Bedeutung ... 230
Biologische Wertigkeit von Eiweißen ... 231
3.3.3.3. Technologische Eigenschaften der Eiweiße und ihre Nutzung ... 241
Exkurs: MAILLARD-Reaktion und AMADORI-Umlagerung ... 245
3.3.4. Nachweise für Eiweiße ... 248
3.3.5. Ergänzende Experimente zu und mit Eiweißen ... 252
3.3.6. ausgewählte Eiweiß-haltige Lebensmittel im Einzelnen ... 258
3.3.6.1. (Hühner-)Ei ... 258
3.3.6.2. Milch ... 260
3.3.6.2.1. direkte Folge- und Ab-Produkte ... 261
3.3.6.2.2. Käse ... 263
3.3.6.3. Analog-Käse – Alles Käse oder was? ... 264
3.3.6.4. Getreide, Mehl und Brot ... 265

3.3.6.x. Bohnen 266
3.3.6.x. Soja 266

8. Literatur und Quellen 267

Prof. H. FÖRSTER (Uni Frankfurt):
"Es kann als gesichert angesehen werden, und dazu bedarf es keiner Aufklärung: Ernährung ist tödlich! Denn jeder, der sich lang genug ernährt hat, ist bislang gestorben. Wer hingegen aufhört sich zu ernähren, kann zumindestens nicht an den Folgen der Ernährung sterben."
/aus: 14/

1. Womit beschäftigt sich die Ernährungslehre?

Die Ernährungslehre - besser müsste man vielleicht die Ernährungslehren sagen - stellen einen großen wissenschaftlichen Bereich dar. Die menschliche Ernährung und ihre systhematischen Betrachtungen sind ein sehr breites Feld. Als eigentliche wissenschaftliche Quellen der Ernährungslehre sind die Biologie und die Chemie zu nennen. Auf diese beiden Wissenschaften läßt sich eine moderne Ernährungslehre aber nicht eingrenzen. Heute haben viele andere Wissenschaften und Lehren einen großen Einfluß auf die Ernährungslehre. Neben der Physik - die Mutter aller Naturwissenschaften - spielen heute z.B. die Weltanschauungen (man denke z.B. an die chinesische Ernährungslehre oder den Vegetarismus), Medizin, Psychologie, Mystik, Präsentations- und Kochkunst eine immer größer werdende Rolle. Nach vielen Lebensmittel-Skandalen nehmen auch Toxikologie, Pharmakologie, Mikrobiologie und ähnliche Grenzwissenschaften eine immer größere Bedeutung ein. Technische und technologische Aspekte treten in unserer Industrie-geprägten Ernährung ebenfalls immer mehr hinzu.
Die wissenschaftliche Ernährungslehre - mit der wir uns befassen werden - beschäftigt sich mit eigentlich Allem, was mit Nahrung und Ernährung zu tun hat. Dabei stehen die Zusammensetzung der Nahrung, die Veränderungen bei der Zubereitung und die Bedeutung für den Menschen im Vordergrund. Mit Hilfe von Experimenten wird geprüft was in der Nahrung enthalten ist - und was nicht (Nachweise). Andere Experimente dienen der Qualitätsprüfung und der Herstellung bestimmter Produkte (z.B. Joghurt).
Natürlich werden in der Ernährungslehre auch Krankheiten, die durch ein Zuviel oder Zuwenig an Nahrung verursacht werden, betrachtet. Diäten und alternative Ernährungsformen gehören heute ebenfalls zu einer anspruchsvollen Ernährungslehre.
Letztendlich sollte man aber immer bedenken, dass die Ernährungslehre nicht ein isoliertes Gebiet ist. Bei allen Betrachtungen sollte man immer an die anderen Wissenschaften, Lehren und Unterrichtsfächer denken. Alles zusammen gibt ein umfassendes Bild von Nahrung und Ernährung des Menschen in unserer Zeit.
Leider ist die Ernährungslehre heute noch nicht so exakt, wie andere Naturwissenschaften. Dies liegt am schwierigen Inhalt, aber auch an dem Mix der vielen Wissenschaften und Lehren. Ein großes Problem ist auch, dass natürlich jeder von Ernährung Ahnung hat. Da ist eine wissenschaftliche Abgrenzung schwer und stößt bei einer zu starken verwissenschaftlichung wieder an die Grenzen ihrer Aufgaben. Schließlich soll sie ja den Menschen und ihrer Ernährung dienen. Viele Völker und Kulturen haben z.T. völlig verschiedene Ernährungssitten und Nahrungsmittel. Da ist es schwer allgemeingültige Aussagen zu treffen. Die meisten Nahrungsmittel sind heute noch nicht einmal vollständig in ihrer Zusammensetzung aufgeklärt. Zum Anderen verbieten sich Experimente mit dem Menschen. Es könnte bei unzureichender Ernährung z.B. durch Experimente zu anhaltenden gesundheitlichen Schäden kommen, die natürlich niemand verantworten kann.

Aufgaben:

1. Aus welchen Naturwissenschaften bezieht die Ernährungslehre ihre Quellen?

2. Nennen Sie stichpunktartig die Inhalte der Ernährungslehre!

1.1. aktuelle Aufgaben- und Problemfelder der Ernährungslehre

Ernährungs-Risiken aus der Sicht des Verbrauchers / Konsumenten:

- Umweltkontamination
- Zusatzstoffe
- Pfusch, Betrug, mangelnde Hygiene, Profit-Gier (Stichwort "Lebensmittel-Skandale")
- Ernährungs-Verhalten / Ernährungs-Gewohnheiten
- pathogene Mikroorganismen (Krank-machende Keime)
- natürliche Giftstoffe

Ernährungs-Risiken aus der Sicht der Wissenschaft:

- Ernährungs-Verhalten / Ernährungs-Gewohnheiten
- pathogene Mikroorganismen (Krank-machende Keime)
- natürliche Giftstoffe
- Umweltkontamination
- Zusatzstoffe

neuartige Substanzen

- Zusatzstoffe, Behandlungsstoffe (Wachse, …)
- fremdartige Substanzen (ungewohnt für einheimische Bevölkerung; fehlende Imunitäten)
- Rückstände von Herbiziden, Fungiziden; Insektizide
- Medikamentenrückstände

unüberschaubare Synergieeffekte
Allergien, Intoleranzen
Kleinstmengen

fehlende wissenschaftliche Basis
fehlende od. ungenaue Referenzwerte
Meinung (Hypothese) von namhaften Wissenschaftlern werden oft höher bewertet als echte Forschungsergebnisse, Diskussionskultur mit Autoritäten und Totschlagargumenten, wenig sachlich dafür laut und persönlich (depharmierend)
Forschungsergebnisse müssen für Bevölkerung verständlich sein oder gemacht werden

sehr sensibles Thema (Überreaktion der Presse und Bevölkerung); Ängste; Panik
Gifte in Nahrungsmittel
Verwendung von Gammelfleisch

Ernährungswissenschaftler sind viel zu oft versteckte Lobbyisten für die Industrie oder irgendwelche Verbände. Nur wenige forschen wirklich unabhängig und mit sauberen naturwissenschaftlichen Methoden.
Popularismus ist einfacher als komplizierte naturwissenschaftliche Zusammenhänge. Und da Ernährung aber alle angeht und auch interessiert, muss das Gedankengut gut verdaulich an den Mann und die Frau gebracht werden.

Antagonisten: Aufwand und Nutzen
wirtschaftliche Interessen, Profit und besonders die ungezügelte Profitgier mancher Lebensmittel-Produzenten befördern den Betrug, Suche nach billigen Ausgangsstoffen, Ersatzstoffen
homogenere Ausgangsstoffe bedeuten homogenere Produktionsabläufe, bedeutet mehr Gewinn oder optimalere Kosten-Gewinn-Proportionen

Massenproduktion mit Qualitätsansprüchen – auch der Konsumenten – führt zu Einheitsprodukten, die durch Zusätze usw. homogenisiert werden, um natürliche Qualitätsunterschiede zu überspielen

von Umsatz und Profit getragene Werbung mit markigen Sprüchen, aber auch wirtschaftlich nicht unabhängige "Experten" und Lobbyisten mit einfach gestrickten Empfehlungen und Aussagen
nicht unabhängige Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE), die Bedarfe immer sehr hoch ansetzt, z.T. gegen besseres Wissen oder trotz unsicherer wissenschaftlicher Beweislage

kriminelle Elemente benutzen die Lebensmitteln-Industrie auch gerne zur billigen Entsorgung von gefährlichen Stoffen
Abfälle mit Sonder-Müll-Charakter (z.B. Dioxin-haltiges Transformatoren-Öl) bzw. nur für technische Verwendungszwecke geeignete Stoffe (technische Fette (z.B. mit enthaltenem Dioxin)) werden in reine Stoffe eingemischt und direkt und vor allem indirekt (als Futtermittel) in den Lebensmittel-Bereich eingeschleust

funktionelle Lebensmittel
versprechen zusätzliche – über den Nähr- und Genuß-Wert hinausgehende – Nutzeigenschaften für den Verbraucher
sind Lebensmittel (!) mit zusätzlichen Zutaten oder veränderten Herstellungs-Verfahren
Verbesserung des Wohlbefindens, Ausgleich von Mängeln in der üblichen Ernährung, Vorbeugung von Krankheiten
schwierig zu definierende Zusatz-Wirkung, viele als "funktionelle Lebensmittel" deklarierte Produkte funktionieren mehr über den Placebo-Effekt, als über wirklich veränderte physische oder psychologische Parameter

2. Nahrung und Ernährung

Auf den ersten Blick scheinen **Nahrung** und **Ernährung** das Gleiche zu sein. In der Ernährungslehre werden beide Begriffe aber genauestens unterschieden.
Unter **Nahrung** fassen wir alle flüssigen und festen Stoffe zusammen, die normalerweise über den Mund aufgenommen werden. Die Aufnahme von gasförmigen Stoffen gehört zur Atmung.
Die Art der Aufnahme und Verwertung der Nahrung wird als **Ernährung** bezeichnet. Die gesamte Nahrung des Menschen besteht aus vielen **Nahrungsmitteln** (Brot, Fleisch, Milch, Fisch, ...). Dies sind die einzelnen Produkte von Pflanzen oder Tieren, die wir zu uns nehmen. Solche Nahrungsmittel sind für eine gesunde Ernährung notwendig. Bei Nahrungsmitteln steht der Nährwert im Vordergrund.
Anders die **Genußmittel**. Sie sind nicht unmittelbar für die Ernährung notwendig. Sie lassen die Nahrung aber besser schmecken oder regen unseren Geist und Körper an. Bei Genußmitteln steht der Genußwert im Vordergrund.
Nahrung kennzeichnet also das WAS, die Ernährung das WIE bei der Nahrungsaufnahme.
In den Gesetzen wird auch von **Lebensmittel** gesprochen. Lebensmittel sind dem Lebensmittel-Gesetz nach, *"alle Stoffe, die dazu bestimmt sind, im unveränderten oder zubereitetem oder verarbeitetem Zustand von Menschen gegessen, gekaut und getrunken zu werden"*. Dabei sind **Arzneimittel** ausdrücklich ausgeschlossen. Für sie gilt das Arzneimittel-Gesetz. In diesem wird eine Liste der betroffenen Stoffe und Gemische geführt.
Für viele Zwecke kann auch eine Unterscheidung der Nahrung nach dem Ursprung bzw. nach ihrer Quelle sein. Denkbar sind natürliche und künstliche Quellen. Künstliche Nahrungsmittel, also solche, die von Menschen ohne natürliche Quellen hergestellt werden, stellen eher einen Sonderfall dar. Als natürliche Quellen für unsere Nahrung kommen Pflanzen, Bakterien (+ Blaualgen), Pilze und Tiere in Frage.
Unserer Nahrung können wir aus verschiedener Sicht betrachtung unterschiedliche Werte (Nahrungs-Werte) geben. Diese sind von sozialen, religiösen, weltanschaulichen Bedingungen und Umständen abhängig. Jeder Mensch legt dabei den einzelnen Werten eine unterschiedliche Rang-Folge zugrunde. Die nachfolgende Aufzählung von möglichen Werten ist einfach alphabetisch sortiert:

Wert	Inhalt, Orientierungs-Werte
•	
• Gebrauchswert, Eigenwert, Nutzwert	
• **Genusswert**	Einfluß auf die Gefühle (Esserlebnis, Wirkung im Körper, …)
•	
•	
• **Nährwert**	Versorgung mit Nährstoffen usw. und Energie
•	
• ökologischer Wert	
•	
•	
•	
•	
•	

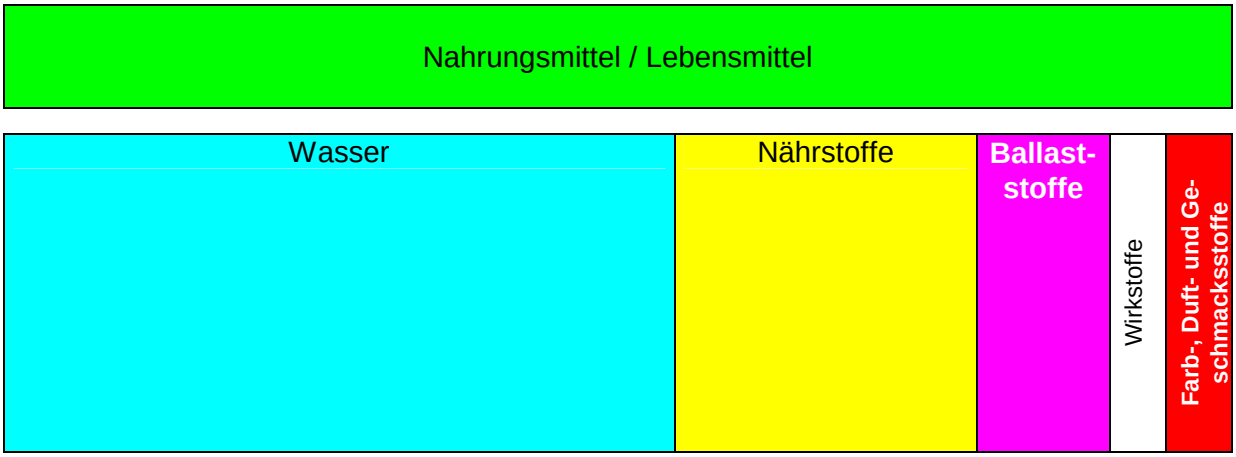
Die verschiedenen Werte und deren individuelle Bewertung spielt bei den Kostformen der Ernährung eine wichtige Rolle. Nährwert und Genusswert stellen sogenannte Grundwerte dar und werden auch i.A. von allen Menschen höherrangig bewertet.

Aufgaben:

1. *Ordnen Sie die Begriffe Nahrung, Genußmittel, Nahrungsmittel, Lebensmittel, Arzneimittel in einem Begriffs-System an!*
2. *Notieren Sie über einen Tag hinweg die Nahrung, die Sie zu sich nehmen!*
3. *Aus welchen Quellen kann die menschliche Nahrung stammen? Geben Sie jeweils zwei Nahrungsmittel als Beispiele an!*
4. *Erstellen Sie sich Lern-Karten für die zentralen Begriffe und Fachwörter! (Auch Fremdwörter können mit hinzugefügt werden!)*
5. *Geben Sie für die Nahrungs-Werte Ihre eigene Rangfolge an! Begründen Sie, warum bestimmte Werte bei Ihnen als wichtiger und andere als unwichtiger eingestuft werden!*

2.1. Bestandteile der Nahrung

Bei der genauen Untersuchung der Nahrung stellt man schnell fest, dass sie aus einer Vielzahl von biologischen und chemischen Stoffen (**Inhaltsstoffe**n) bestehen. Die einzelnen Stoffe in der Ernährungslehre zu betrachten, hat sich als nicht sehr effektiv herausgestellt. Z.B. besteht Fisch aus mehr als 400 einzelnen, bekannten Stoffen, die in unserer Ernährung eine Rolle spielen. Viele dieser Stoffe lassen sich aber sinnvoll in Gruppen einteilen, so dass die Betrachtungen übersichtlicher werden.
Jedes Nahrungsmittel enthält neben dem allgegenwärtigen **Wasser** viele verschiedene Stoffe aus den Hauptgruppen **Nährstoffe**, **Ballaststoffe**, **Wirkstoffe** (Vitalstoffe (Vitamine + Mineralstoffe)) und der Gruppe der **Farb-, Duft- und Geschmacksstoffe**.
Das nächste Schema soll diese Zerlegbarkeit eines Nahrungsmittels darstellen. Die Breite der Spalten verdeutlicht annährungsweise den jeweiligen Anteil einer Gruppe. Da die Nahrungsmittel sehr unterschiedlich zusammengesetzt sind, kann hier auch nur eine grobe Anteilsschätzung erfolgen.

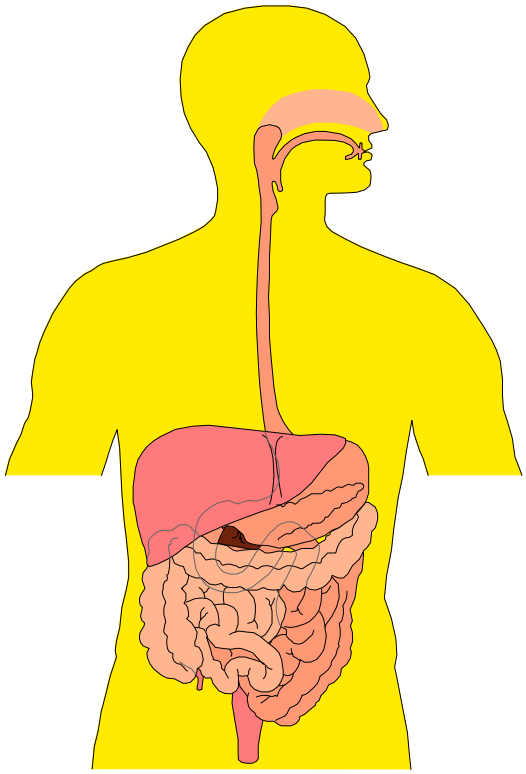


Der Vollständigkeit halber soll erwähnt werden, dass man heutzutage immer mehr auch mit **Schadstoffe**n in den Nahrungsmitteln rechnen muß. Somit müßte man das obige Schema um eine weitere Gruppe ergänzen.

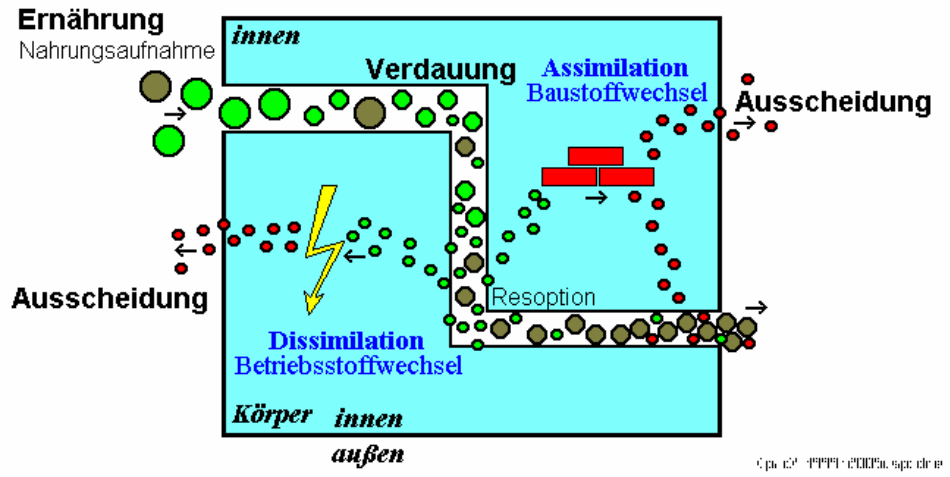
2.2. Ernährung, Verdauung und Ausscheidung

Nachdem wir die Ernährung schon als die Form der Nahrungsaufnahme gekennzeichnet haben, wollen wir uns den Weg der Nahrung noch etwas genauer ansehen. Die aufgenommene Nahrung muß als nächstes in eine Form gebracht werden, in der sie unser Körper nutzen kann. Dies ist die Aufgabe der **Verdauung**. Unsere Verdauungsorgane in der richtigen Reihenfolge sind:

- Mundhöhle mit Schleim- und Speicheldrüsen und Zähnen
- Speiseröhre
- Magen
- Zwölffingerdarm mit Bauchspeicheldrüse
- Dünndarm mit Galle und Leber
- Dickdarm
- Enddarm mit After



Wir unterscheiden bei der Verdauung die mechanische und chemische Zersetzung der Nahrung und die Aufnahme der Spaltprodukte (**Resorption**) in das Körperinnere. Die Zersetzung der Nahrung ist deshalb notwendig, weil die Nahrungsbestandteile nicht in ihrer großen Form vom Darm aufgenommen (resorbiert) werden können. Unser Darm kann nur sehr kleine, wasserlösliche Moleküle aufnehmen. Alle größeren und nicht verdauten Stoffe (Kot, Stuhl) werden über das Darmende vom Körper abgeführt.
Für die aufgenommenen Stoffe gibt es in unserem Körper zwei mögliche Wege. Zum Einen können sie in andere (energiearme) Stoffe umgewandelt werden und die dabei freiwerdende Energie vom Körper für die Lebensvorgänge genutzt werden. Dies ist der sogenannte **Betriebsstoff-Wechsel** (auch Energie-Wechsel, wiss.: **Dissimilation**). Zum Anderen werden die (körperfremden Nahrungs-)Stoffe zu körpereigenen Stoffen gewandelt. Die körpereigenen Stoffe bilden dann unseren Körper. Wir nennen diesen Stoffumbau den **Baustoff-Wechsel** (auch Stoff-Wechsel, wiss.: **Assimilation**).
Die energiearmen Stoffe der Dissimilation und die Abfall-Stoffe der Assimilation müssen noch entsorgt werden. Sonst würden wir uns selbst innerlich vergiften. Das Entsorgen der Gift- und Abfall-Stoffe übernimmt die **Ausscheidung**. Die wichtigsten Ausscheidungsorgane sind Lungen, Nieren und die Haut.
Überblicksmäßig könnte man die ablaufenden Vorgänge in einem groben Schema so darstellen:



Aufgaben:

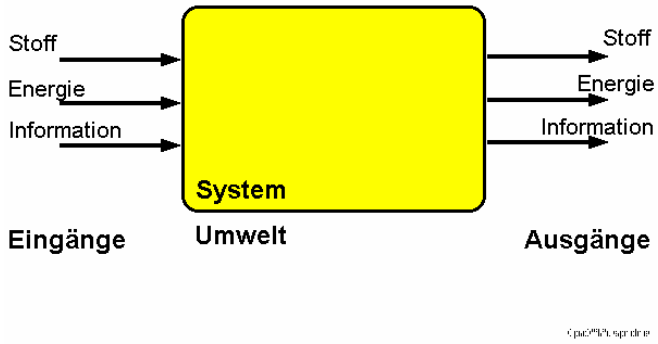
1. *Erläutern Sie das obige Schema! Erklären Sie die einzelnen Begriffe!*
2. *Erstellen Sie eine Tabelle, in der die einzelnen Verdauungsorgane und deren Aufgaben/Funktionen enthalten sind!*

2.3. Energie-Haushalt des Menschen

Der gesamten Natur liegt der Energieerhaltungssatz zugrunde. Dieser Satz besagt, dass die Energie insgesamt immer gleich groß ist. Es kann sich nur die Form der Energie (z.B.: kinetisch, potentiell, elektrisch, chemisch, thermisch, ...) ändern. Die Summe der Werte aller Energieformen ist damit auch immer gleich groß.

$$E_{ges} = E_{kin} + E_{pot} + E_{elek} + E_{chem} + E_{therm} + \ldots$$

Auch für unseren Körper findet der Energieerhaltungssatz seine Anwendung. Er besitzt eine bestimmte Energie-Menge. Ständig gibt unser Körper aber auch Energie ab, so z.B. in Form von Wärme, Bewegung, Schall usw. Auch die Aufrechterhaltung der Lebensvorgänge, der Umbau von körperfremden in körpereigene Stoffe, die Produktion von Geschlechtszellen usw. usf. "verbrauchen" Energie. Diese Energie-Verluste müssen durch eine entsprechsnd große Energie-Aufnahme wieder ausgeglichen werden. Nur wenn Energie-Aufnahme und Energie-Abgabe längerfristig ausgeglichen sind, kann der Körper weiter leben. Fehlt eine ausreichende Energie-Zufuhr, dann greift der Körper, die in ihm selbst gespeicherte Energie-Ressourcen (Körpermasse (vorrangig das Speicherfett usw.)) an. Eine längerfristig erhöhte Energie-Zufuhr bewirkt eine Verstärkung der Speicherung.
Energie-Aufnahme, Energie-Umwandlung, Energie-Speicherung und Energie-Abgabe werden insgesamt als Energie-Wechsel bezeichnet. Dieser gehört zum Stoff- und Energie-Wechsel (Abk.: SEW). Prinzipiell ist der Energiewechsel oft direkt mit dem Stoffwechsel gekoppelt. Wir Menschen nehmen den wesentlichen Teil der Energie über die energiehaltigen Nährstoffe auf. In der folgenden Abbildung ist der Mensch das System.



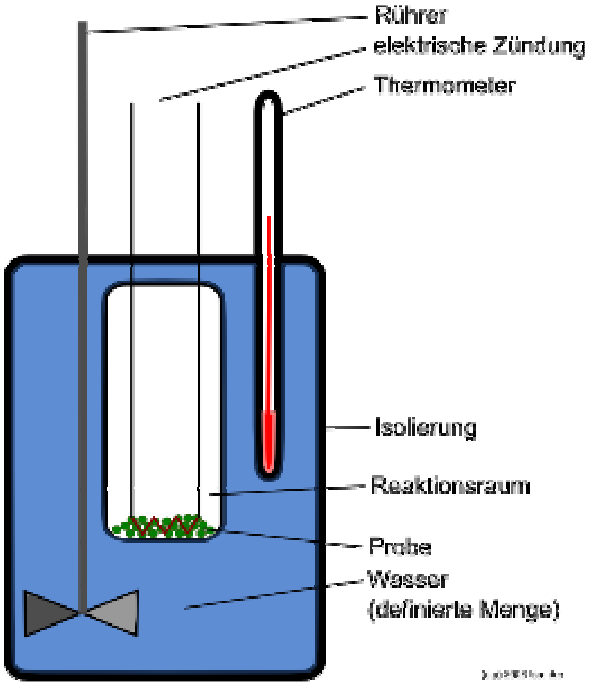
2.3.1. Energie und Energie-Gehalt der Nahrung

Energie, Wärme und Arbeit sind prinzipiell vergleichbare physikalische Größen. Sie sind gleich groß. Die Energie wird in JOULE (Abk.: J) angegeben.

$$\mathbf{1\ J = 1\ Ws = 1\ Nm = 1\ kg * m^2 * s^{-2}}$$

Eine veraltete Einheit für die Energie ist Kalorie (von lat.: calor (Wärme)). Eine Kalorie ist die Energie-Menge, die zum Erwärmen eines Gramm Wassers von 14 auf 15 °C notwendig ist. Diese Einheit darf heute nicht mehr verwendet werden. Zur Umrechnung verwendet man die Beziehung:

1 cal = 0,239 J bzw. 1 J = 4,184 cal



Der Energie-Gehalt einer Stoffprobe (z.B. eines Nahrungsmittels) läßt sich mit einem Kalorie-Meter bestimmen. Kalorie-Meter bestehen aus einem mit Wasser gefüllten Metallgefäß. Im Inneren des Wasserkörpers befindet sich ein weiteres Metallgefäß, in dem sich später die Stoffprobe befindet. Die Stoffprobe wird verbrannt und dann die Erwärmung des umgebenden Wasserbades gemessen. Aus dieser Erwärmung errechnet man schließlich die freigesetzte Wärme-Menge.

Leider ist unser Körper nicht in der Lage die gesamte Energie aus einem Stoff zu nutzen. Von manchen Stoffen (z.B. Genußmitteln) kann überhaupt keine Energie genutzt werden. Deshalb unterscheidet man neben den physikalisch/chemischen Brennwert noch einen physiologischen bzw. biochemischen Brennwert.

Der physikalisch/chemische Brennwert gibt die Energie an, die bei der vollständigen Verbrennung freigesetzt werden würde.

Der physiologische bzw. biochemische Brennwert gibt an, wieviel Energie ein Organismus aus den Stoffen nutzen kann. Der physiologische Brennwert ist immer kleiner als bzw. maximal gleich wie der physikalisch/chemische.

Stoff / Stoffgruppe	**physikalischer / chemischer Brennwert [kJ * mol^{-1}]**	**physiologischer / biochemischer Brennwert [kJ * mol^{-1}]**	**physiologischer / biochemischer Brennwert [kJ / 100 g]**	physiologischer / biochemischer Brennwert [kcal / 100 g]
Eiweiß	23,4	17,2	1425	340
Fett	38,9	38,9	3770	900
Kohlenhydrat	17,2	17,2	1550	370
Ballaststoffe	17 – 23	1 – 2		
Ethanol (Trinkalkohol)			29	7
mehrw. Alkohole (Polyole)			10	2,4
organische Säure			13	3
Banane			400	95
Beeren			185 – 275	45 – 65
Bienenhonig			1390	330
Bohnen			315 – 630	75 – 150
Brot			800 – 1050	190 – 250
Cola			185 – 250	45 – 60
Fisch (roh)			335 – 835	80 – 200
Fleisch			835 – 1130	200 – 270
Fruchtgummi			1250 – 1465	300 – 350
Fruchtsaft			165 – 230	40 – 55
Gemüse (roh)			105 – 170	25 – 40
Hühner-Ei			335	80
Kakao (schwach entölt)			1885	450
Kartoffeln			315 – 630	75 – 150
Kuchen			1250 – 1900	300 – 450
Limonade			185 – 250	45 – 60
Linsen			315 – 630	75 – 150
Mais			315 – 630	75 – 150
Milch			190 – 270	45 – 65
Nudeln			1465	350
Nüsse			2090 – 2640	500 – 630
Obst			185 – 275	45 – 65
Öl			3430 – 3810	820 – 910
Reis			1465	350
Vollmilchschokolade			2345	560

Die biochemische Verwertbarkeit von Stoffen hängt immer von dem Stoffwechsel des betreffenden Organismus ab. Für den Abbau jedes Stoffes werden unterschiedliche Enzyme gebraucht. Dies kann man sich wie einen Satz von Werkzeugen oder Bestecken zur Zerstörung des Stoffes vorstellen. Man spricht auch vom Enzym-Besteck für einen Stoff.

Energieumsatz

Grundumsatz (GU)
Für die Erhaltung der elementaren Lebensfunktionen (wie z.B. Atmung, Kreislauf, Nerventätigkeit, ...) benötigt jeder Organismus eine minimale Menge Energie. Diese Menge wird als Grundumsatz (engl. basal metabolic rate (MBR)) bezeichnet.
Für eine Erfassung der genauen Menge muß sich der Körper in völliger Ruhe befinden. Die Muskulatur soll völlig entspannt sein, die Umgebungstemperatur 20 °C betragen und alle Verdauungsvorgänge abgeklungen (12 - 24 Stunden nach der letzten Nahrungsaufnahme) sein.

Der Grundumsatz ist von:

- Gewicht und Größe
- Geschlecht
- Alter
- Umgebungstemperatur
- sportlichen Aktivitäten
- Körperzustand (Krankheiten, Schlaf, Streß, ...)
- Erregungszustand
- …

abhängig.
Wenn vom Grundumsatz gesprochen wird, dann wird oft auch der Erhaltungsumsatz (engl. maintenance) mit in die Diskussion gebracht. Beide Umsätze meinen das Gleiche, sie werden aber unterschiedlich gemessen und damit ergeben sich Unterschiede in den Mengenangaben. Den Grundumsatz misst man in speziellen Kammern (WARBURG-Prinzip), wobei der Sauerstoff-Verbrauch und die Bildung von Cohlendioxid ermittelt wird. Daraus läßt sich dann - unabhängig von den Nährstoffen - die umgesetzte Energiemenge berechnen.
Eine exakte Definition des Grundumsatzes wird oft folgendermaßer vorgenommen: Der **Grundumsatz** ist diejenige Energiemenge, die der Körper pro Tag bei völliger Ruhe, bei einer Umgebungstemperatur von 28 °Cund nüchtern zur Aufre chterhaltung seiner Lebensfunktion benötigt. Physikalisch handelt es sich dabei um Energie pro Zeiteinheit – also einer Leistung. Die reguläre Einheit wäre damit J / s bzw. W (Watt). Praktischerweise und zum besseren Vergleich bezieht man die Leistung noch auf die Körpermasse (J / s * kg).
Beim Erhaltungsumsatz werden die Nährstoffmengen gemessen, die für die Konstanthaltung der Körperfunktionen notwendig sind. Praktisch wird dieser Wert seltener verwendet, weil er von der Zusammensetzung der Nährstoffe abhängig ist.
Die exakten Angaben für jeden Energieumsatz müssen sich immer auf eine definierte Zeiteinheit oder auf eine bestimmte Tätigkeit beziehen. Die zeitbezogene Angabe ist aber üblicher. Die Einheit muß also mindestens die Energie und die basierte Zeit beinhalten.
Typische Einheiten sind:

kJ / d	**=**	**kJ * d^{-1}**	KiloJoule pro Tag
kJ / h	**=**	**kJ * h^{-1}**	KiloJoule pro Stunde
kJ / min	**=**	**kJ * min^{-1}**	KiloJoule pro Minute

Bei den Umrechnungen dieser Einheiten ineinander muß man unbedingt die ungünstigen Stunden / Minuten-Umrechnungen beachten! Es ergeben sich z.B. die folgenden Beziehungen:

1 kJ / min = 60 kJ / h
1 kJ / h = 24 kJ / d
1 kJ / min = 60 kJ / h = 1440 kJ / d

1 kJ / d = 0,0417 kJ / h
1 kJ / h = 0,017 kJ / min
1 kJ / d = 0,0417 kJ / h = 0,000695 kJ / min

Leistungsumsatz (LU)
In die Definition und die Bestimmung des Grundumsatz sind nur wenige – elementar notwendige Tätigkeiten – eingeschlossen. Jede weitere Tätigkeit verursacht laut Definition mehr und anderen Umsatz an Energie. Sie werden beim Leistungsumsatz betrachtet.
Am Einfachsten lässt sich der aktuelle Leistungsumsatz ermitteln, wenn man den Gesamtumsatz (GesU) misst und dann den Grundumsatz davon abzieht.

LU = GesU - GU

Anderes herum kann man bei bekanntem Grund- und Leistungsumsatz auch den aktuellen Gesamtumsatz berechnen.

GesU = GU + LU

Beachten muß man nur, dass die Zeiteinheiten – für die einzelnen Umsätze gelten – gleich sind.
Praktisch wird der Umsatz indirekt über den Sauerstoff-Verbrauch bzw. die Cohlendioxid-Bildung gemessen. In der medizinischen und sportmedizinischen Forschung benutzt man zumeist das sogenannte Fahrrad-Ergometer, um bestimmte Energieumsätze zu messen. Die Fahrrad-Ergometer sind wie Hobbytrainer aufgebaut. Über die Schwungrad-Bremse lässt sich die verrichtete Leistung des Probanden bestimmen. Der Probant atmet über Schläuche ein und aus. Die Luft wird analysiert und der Sauerstoff-Verbrauch und die Cohlendioxid-Bildung gemessen.
Bei der Betrachtung längerer Zeiteinheiten (z.B. Energieumsatz für einen Tag) unterscheidet man auch zwischen Arbeits- und Freizeitumsatz. Der Arbeitsumsatz **AU** wird während der regulären täglichen Arbeit (Beruf, ...) ermittelt. Der Freizeitumsatz **FU** bezieht sich auf die restliche Zeit und Tätigkeiten. Besonders der Arbeits- und der Freizeitumsatz sind stark von der verrichteten Tätigkeit abhängig.
Somit ergibt sich auch folgende Berechnungsgrundlage für den Gesamtenergieumsatz z.B. für einen Tag:

GesU = GU + AU + FU [kJ / d]

Exkurs: negativer Brennwert

In einiger populär(wissenschaftlich)er Literatur wird für einige – "besonders gesunde" - Lebensmittel behauptet, dass sie einen negativen Brennwert besitzen. Dies soll heißen, für ihre Verdauung muß mehr Energie aufgewendet werden, als verwertbare Energie in den Körper gelangt. Als Beispiel dient zumeist Gemüse. So etwas konnte bisher nicht nachgewiesen werden.
Auch für das theoretisch sehr einprägsame und eingängige Beispiel des kalten Wassers gilt dies nur beschränkt. Dabei nimmt ein Esser kaltes Wasser zu sich. Im Magen-Darm-Kanal wird nun das Wasser auf Körperinnen-Temperatur erwärmt. Logischerweise wird dazu Wärme aus dem Körper genutzt. Damit der Körper nun seine eigentliche Körperinnen-Temperatur behalten kann, muß er mehr Wärme produzieren. Das kalte Wasser hat also im Gegensatz zu anderen (Energie-liefernden) Nährstoffen Energie verbraucht.
Zwar muß Energie für das Aufwärmen des Wassers auf Körpertemperatur Wärmeenergie aus dem Körper genutzt werden. Aber nur ein Teil wird wirklich aus dem Körper abgezweigt. Der restliche – und deutlich größere – Teil stammt aus reduzierten Wärmeabgaben über die Haut (Thermoregulation). Wir produzieren ständig mehr Wärme, als unser Körper wirklich braucht. Diese wird über die Haut und die Ausatem-Luft abgegeben. Im Fall des kalten Wasssers wird dieses als Kühlmittel genutzt und die Kühlung über die Haut wird geringer (weniger Transpiration).

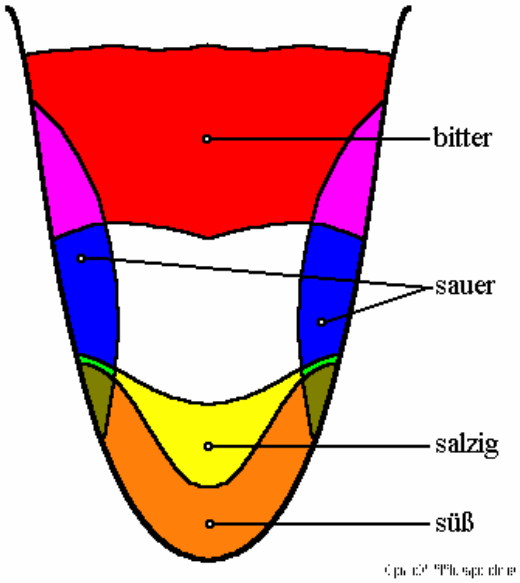
Aufgaben:

1. Bestimmen Sie die Umrechungszahlen!

ges. / geg.	kJ / d	kJ / h	kJ / min	J / d	J / h	J / min	J / s
kJ / d							
kJ / h							
kJ / min							
J / d							
J / h							
J / min							
J / s							

2.4. Ernährung und Sinne

Beim Essen werden alle Sinne angesprochen. Hier sind besonders der Tastsinn, der Sehsinn, der Temperatursinn und natürlich Geschmacks- und Geruchssinn zu nennen. Wir betasten unsere Nahrung mit den Händen, den Lippen, der Zunge und dem Gaumen in der Mundhöhle.
Aber auch die Geräusche beim Abbeißen oder das heiße Knistern von Fett beeinflussen unser Essverhalten. Somit gehört auch der akustische Sinn (Hörsinn) zu den angesprochenen Sinnen beim Essen. Zum Schluß sei auch der Schmerzsinn erwähnt, der bei zu großen Abweichungen vom "Nomalen" aktiviert wird. Das ist z.B. der Fall, wenn sehr scharfes Essen (Chili, …) oder extrem heißes gegessen wurde.
Die Wärme oder die Kälte betonen den Geschmack vieler Speisen. Ein lauwarmes, zu heißes oder zu kaltes Essen wird oft als unangenehm empfunden.
Mit den Augen nehmen wir nicht nur die Nahrung an sich wahr, sondern unser Appetit wird durch ein ansprechendes Angebot und eine passende Garnierung noch zusätzlich gesteigert.
Der dominierende Farbton einer Speise beeinflusst ganz entscheidend unseren Appetit. Das geht von der Ablehnung (Aversion) von blauen Lebensmiteln bis zur Suggestion von bestimmten Geschmäckern zu Farben. Grün und braun wird allgemein mit würzig und bitter assoziert. Dagegen bringen wir gelbe, orange und rote Lebensmittel eher mit einem süßen Geschmack in Zusammenhang.
Von herausragender Bedeutung für unsere Ernährung sind aber sicher unbestritten der Geruchs- und Geschmackssinn – unsere chemischen Sinne.
Den Geschmack einer Speise nehmen wir mit der Zunge wahr. Dazu ist es Bedingung, dass bestimmte Teile – bzw. Stoffe aus – der Nahrung abspaltbar sind und sich in Wasser lösen können. Auf der Zunge befinden sich kleine warzenähnliche Gebilde – die Geschmackspapillen. Mit ihrer Hilfe können wir verschiedene Geschmacksrichtungen der gelösten Moleküle feststellen. Geschmackspapillen mit ähnlichen Geschmacksrichtungen liegen in Gruppen auf der Zungenoberfläche (siehe Abb.). Einige neuere Erkenntnisse deuten aber darauf hin, dass die Regionen auf der Zunge wesentlich weiträumiger und ineinander verlaufend sind.
Die rund 9000 Geschmackspapillen bestehen wiederum aus mehreren Hunderten von Geschmacks-Sinneszellen. Die Geschmacks-Sinneszellen funktionieren nach dem Schlüssel-Schloß-Prinzip.



Eine Geschmacks-Sinneszelle reagiert immer nur auf einen bestimmten passenden Stoff. Die Erkennungsteile der Sinneszellen sind dabei so geformt, dass das Geschmacks-Molekül genau hinein passt. Sie verhalten sich wie Schlüssel und Schloß. Lagert sich ein passendes Molekül an einer Sinneszelle an, dann wird eine Erregung ausgelöst und zum Gehirn transportiert. Dort nehmen wir diese Erregung dann als einen bestimmten Geschmack wahr.
Früher gingen die Forscher davon aus, dass jeder Mensch eigentlich nur vier Geschmacksrichtungen: **sauer, süß, bitter und salzig** wahrnehmen kann. Heute weis man, dass es weitere Geschmacksrichtungen gibt. Vermutet werden insgesamt bis zu 10 verschiedene Richtungen. Bislang konnte man neben den vier klassischen Geschmäckern (süß, sauer, salzig, bitter) auch noch Geschmäcker für **umani** (schmeckt wie Glutamat; allg. Geschmacks-verstärkend) und **Glycyrrhizin** (schmeckt wie Lakritze) eindeutig nachweisen. Aktuell wird über eine weitere Geschmacks-Richtung diskutiert: **fett**. Ein eindeutiger Nachweis ist beim Menschen nocht nicht gelungen (aber bei Ratten).
Bekanntlich sind Geschmäcker sehr verschieden. Diese Volksweisheit hat auch in der Ernährungslehre viele Entsprechungen.

Der Stoff Methylmannopyranosid wird von manchen Menschen als süß und sauer zugleich geschmeckt. Andere Menschen schmecken ihn nur süß und wieder andere nur sauer. Es gibt z.B. einen Stoff (Phenyl-Thioharnstoff ... PTH), der von einigen Menschen als bitter geschmeckt wird, während andere ihn überhaupt nicht wahrnehmen können.
Alle anderen "Geschmäcker" sind eigentlich Gerüche, die durch die Nase wahrgenommen werden. Der Geruch einer Nahrung entsteht durch die flüchtigen (abgespalteten) Stoffe. In der Nasenschleimhaut befinden sich die Riech-Sinneszellen, die ebenfalls nach dem Schlüssel-Schloß-Prinzip die einzelnen Stoffe erkennen. Durch die Nasenöffnungen und beim Schlucken (es entsteht ein Unterdruck, der den Duft der Speise in den Nasenraum zieht) bekommen wir den Duft in die Nase – und glauben zu schmecken.
Besonders bei einem festen Schnupfen schmeckt uns das Essen weniger. Weil durch die verstopfte Nase keine Aromen, Düfte usw. aufgenommen werden können, wird der Appetit kaum angeregt. Es werden dann nur die (echten) Geschmacksrichtungen süß, sauer, salzig, bitter usw. wahrgenommen und das Essen schmeckt nicht so gut, wie bekannt und erwartet.
Weiterhin spielt das persönliche Geschmacksempfinden eine wichtige Rolle. Es ist sowieso von Mensch zu Mensch sehr verschieden und wird in der Familie oder in der Gesellschaft vorgeprägt. Z.B. schmecken Menschen aus Regionen in denen traditionell mit verschiedenen scharfen Gewürzen gekocht wird, diese Speisen als nicht so scharf, wie ein "normaler" Mitteleuropäer dies empfinden würde. Man denke in diesem Zusammenhang auch an andere Eßgewohnheiten in afrikanischen und asiatischen Ländern oder Naturvölkern.
Weltweit ist aber für alle Menschen typisch "Gutes schmeckt süß, Schlechtes schmeckt bitter."

Kontroll-Aufgaben:

1. *Erstellen Sie mit Hilfe des Kursleiters ein Lernsystem auf Karteikarten zum Thema: Nahrung, Ernährung, Ernährungslehre!*
2. *Was sind Lebensmittel?*
3. *Was versteht man unter Ernährung?*
4. *Nennen Sie die wichtigsten Inhaltsstoffgruppen von Nahrungsmitteln!*
5. *Nennen Sie die Verdauungsorgane in der richtigen Reihenfolge!*
6. *Geben Sie zu 3 Verdauungsorganen die Aufgaben/Funktionen an!*

2.4.1. Sensorik

Beispiele für Prüfungsmerkmale

Aussehen

Farbe

Geruch

Geschmack

Mundgefühl:

- Adstringenz (adstringierend = zusammenziehend)
- Schärfe / Brand
- Temperatur-Gefühl
- Festigkeit / Konsistenz
- Textur (Struktur)
- Schmelzfähigkeit
- Krümligkeit
- Kau-, Muskel- und Gelenk-Bewegungen
- Bißgeräusche

2.4.2. Versuche zu den Beziehungen von Sinnen und Ernährung

Kann man Früchte am Geschmack erkennen?

Materialien / Geräte:
verschiedene Früchte; 2 Teller; Löffel; Trinkgefäß; Wasser

Durchführung / Ablauf:
- immer 2 Schüler bilden eine Experimentiergruppe
- die verschiedenen Früchte werden in kleine Stücke geschnitten und je 2 Stücke zufällig auf dem Tellerrand verteilt (der Probierende Schüler darf die Reihenfolge und die Stücke nicht sehen!)
- dem Probierenden Schüler werden die Augen verbunden und eine Nasenklammer aufgesetzt
- die Fruchtstücke werden einzeln geschmeckt und der Geschmack und die erratene Fruchtart notiert
- nach jeder Probe sollte der Mund ausgespült werden
- der Versuch wird dann noch einmal ohne Nasenklammer wiederholt (Augen bleiben verbunden)

Auswertung / Ergebnisse:
- Welche Geschmäcker wurden jeweils beobachtet?
- Wieviele Früchte wurden mit aufgesetzter Nasenklammer richtig erkannt? (Angabe in Prozent!)
- Wieviele Früchte wurden ohne aufgesetzte Nasenklammer richtig erkannt? (Angabe in Prozent!)
- Vergleichen Sie die Ergebnisse!

Wie wird das schmecken?

Materialien / Geräte:
Probierbecher (Schnapsgläser, Reagenzgläser od.ä.); Lebensmittelfarben; Geschmacksstoffe, Aromen, …

Durchführung / Ablauf:
- immer 2 Schüler bilden eine Experimentiergruppe, einer bereitet die Lösungen vor, der andere probiert
- es werden für jede Farbezwei unterschiedlich konzentrierte Lösungen hergestellt (→ unterschiedliche Farbintensitäten)
- kombinieren Sie die Farblösungen nun mit unterschiedlichen Geschmacksstoffen und Intensitäten (optimalerweise auswürfeln!); dokumentieren Sie Farbe, Intensität und zugesetzte Geschmacksstoffe (sehr gut ist auch der Tausch zwischen zwei Gruppen)
- in die Probiergefäße abfüllen und verdecken (z.B. hinter schwarzem Papier)
- nun dem Probanten die einzelnen Lösungen zeigen und die Geschmacks-Erwartungen notieren
- dann die Lösungen probieren lassen und notieren, wie sie schmecken und wie stark die (eventuelle) Abweichung empfunden wird
- besorgen Sie sich die Beobachtungen (zu den Erwartungen) von den anderen Arbeitsgruppnen
- wenn die gleichen Stamm-Lösungen für alle Probanten verwendet wurden, dann können auch die restlichen Beobachtungen zur Auswertung benutzt werden

Auswertung / Ergebnisse:

- Welchen Geschmack, welche Geschmäcker wurden bei der Lösung erwartet?
- Wie genau wurde der Geschmack erkannt?
- Wie stark werden die Abweichungen beschrieben?

Untersuchung zur Geschmacksbeurteilung einer Süßstoff-Lösung

Materialien / Geräte:

verschieden starke (konzentrierte) Lösungen eines Süßstoffes (Saccharin); Probiergefäß oder Teelöffel; Wasser

Durchführung / Ablauf:

- die Lösung sind vom Kursleiter in groben Stufen erstellt und in zufälliger Reihenfolge angeordnet
- immer 2 Schüler bilden eine Experimentiergruppe
- von jeder Lösung werden einige Tropfen (immer gleiche Anzahl) auf den Löffel oder in das Probiergefäß gegeben
- nach jeder Probe den Löffel (Probegefäß) gründlich mit Wasser abspülen
- in einer Beobachtungstabelle werden die Nummer der Lösung und der Geschmack (z.B.: geschmacklos, wenig süß, süß, sehr süß, bitter, ...) notiert

Probe	Geschmack
1	
2	
...	
x	

- anschließend Sie eine gemeinsame Auswertungstabelle für alle Arbeitsgruppen erstellt

Stärke der Lösung	entspricht Probe	Geschmack				
		Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	...	Gruppe n

Auswertung / Ergebnisse:

- Welche Geschmäcker sind bei diesem Süßstoff zu beobachten?
- Ab welcher Lösungsstärke kann man den Süßstoff schmecken?
- Warum sind die Ergebnisse unter Umständen von Gruppe zu Gruppe verschieden?

2.5. Hunger, Durst und Appetit

"... Essen ist ein Trieb. Die Nahrungsaufnahme, die Auswahl der Speisen, der Appetit sind entwicklungsgeschichtlich älter als die Sexualität. Sie sind im Instinkt verankert und dem Verstand, der Ratio, auf Dauer nicht zugänglich und von ihm langfristig auch nicht steuerbar. Das Sexualverhalten des Menschen erscheint dagegen noch vergleichsweise rational und beeinflussbar. Essen und Trinken sind überlebenswichtige Grundbedürfnisse. ..." /14/

Hier wagen wir uns in Bereiche, die trotz intensiver Forschung noch lange nicht befriedigend geklärt sind. Vieles ist in diesem Bereich noch Theorie oder vorläufiges Wissen.
Hunger und Durst bezieht man im Allgemeinen auf den mengenmäßigen (quantitativen) Bedarf der Nahrungsaufnahme. Unserem Körper wird angezeigt (Wahrnehmung, Gefühl, Empfindung), wie dringend eine Nahrungsmenge ist. Beim Hunger geht es um den Bedarf an fester Nahrung, während der Bedarf an flüssigen Stoffen beim Durst im Vordergrund steht.
Der Appetit wiederum beschreibt den qualitativen Bereich – also die Art der Nahrung, die wir gerne zu uns nehmen würden. Wir haben eben Appetit auf eine bestimmte Speise od.ä. Der Appetit leitet sich aus vielen Körperinformationen ab. Da spielen die letzte Nahrungszusammensetzung, die innere Stimmung, der Bedarf des Körpers an bestimmten Stoffen usw. eine Rolle. Bei einer freien Wahl der Nahrungszusammensetzung wechseln Menschen zwischen kohlenhydratreicher (euphorisierend, anregend) und eiweißreicher Speise (eher deprimierend).
Für die Entstehung des Hungers gibt es verschiedene Theorien. Die meisten gehen von kurzfristigen Mechanismen aus. So könnte Hunger entstehen, wenn der Magen leer ist. Wird der Magen beim Essen gefüllt, entsteht das entgegengesetzte Sättigungsgefühl (**Magenfüllstands-Theorie**). Verschiedene Untersuchungen und Erkenntnisse aus anderen Wissenschaften stützen diese These. In unseren wilden Zeiten war Nahrung immer ein Mangel, dafür hatten wir reichlich Bewegung. Stand Nahrung zur Verfügung oder kam man an welcher vorbei, dann wurde sie gegessen und der Magen bis zum Anschlag gefüllt. In den letzten 100 bis 50 Jahren hat sich die Situation dagegen grundlegend geändert. Die Bewegung und Arbeit wird von Maschinen erledigt – wir selbst bewegen uns nur noch wenig. Nun steht aber Nahrung im Überfluss bereit. Unser Urtrieb sagt uns immer noch: "Hau rein, wer weiss, wann es wieder etwas gibt!". Bei Untersuchungen hat man festgestellt, dass es völlig egal ist, was wir essen, wir essen uns immer satt. Früher bestimmte schwerer verdauliche Nahrung, die länger im Magen verweilte, das Nahrungsangebot. Heute sind es schnell verdauliche, energiereiche Snacks. Schnell ist der Magen wieder leer und der "Hunger" meldet sich wieder. In den Wohlstandsländern kommt eine zeitliche Überorganisation als weiterer störender Faktor dazu. Wir verspüren meist schon viel früher "Hunger". Dieser Gewohnheitshunger ist aber bei der Betrachtung des Hungers und bei den Theorien zu seiner Entstehung nicht gemeint.
Gegen diese Theorie spricht, dass auch Personen einen Hunger verspüren, denen der Mager entfernt wurde.
Andere Wissenschaftler vertreten die Ansicht, dass der Blutspiegel bestimmter Stoffe (Konzentration im Blut) das auslösende Element ist. Sinkt dieser ab, dann haben wir Hunger, steigt er wieder, fühlen wir uns satt. Dafür spricht z.B., dass Diabetiker und Schwangere bei zu wenig Zucker im Blut oft einen ausgeprägten Heißhunger verspüren (**Blutzuckerspiegel-Theorie**). Mittlerweile mehren sich verschiedene wissenschaftlichen Argumente, die diese These stützen.
Eine andere Theorie geht davon aus, dass die Menge - genauer ein Defizit – an Aminosäuren Hunger erzeugt. Das Funktionsprinzip entspricht dem beim Blutzuckerspiegel.
Alle dieser Theorien können bestimmte Aspekte der kurzfristigen Regulierung unserer Nahrungsaufnahme erklären (Sitations-Hunger, Tages-Hunger). Für längerfristige Effekte muss man weitere Theorien mit heranziehen. In einer geht es darum, dass der Hunger durch die Erschöpfung der Fettspeicher entsteht (**Set-Point-Theorie**). Normalerweise geben die Fettzellen ständig ein Hormon (Leptin) ins Blut ab. Erschöpfen die Fettspeicher, dann sinkt der Leptin-Spiegel und wir versüren Hunger.
Bei den angesprochenen Fettspeichern handelt es sich vor allem um die Fetten in Geweben und um und an Organen. Nur dieses ist für den organismus nutzbar, Unser berühmtberüchtigter Bauchspeck gehört nicht dazu. Uns fehlt ein Enzym, um diese Fettspeicher im Bedarfsfall wieder verfügbar zu machen.

Unser Körper kann sich auf die jeweilige Ernährungssituation einstellen. In Zeiten mit reichlichem Nahrungsangebot wird die Nahrung nur verschwenderisch genutzt. Nur wenige Nährstoffe werden dem Darminhalt entnommen (auf niederen Ausnutzungsgrad gesetzt). Findet der Körper aber eher ärmliche Zustände vor, dann nutzt er die Nahrung viel intensiver aus (auf höheren Punkt gesetzt). Problematisch sind wechselnde Perioden reichlicher und sparsamer Nahrungsangebote (Jahreszeiten, sporadische Diäten, Fasten). Wenn der Körper merkt, dass nach einer Mangelphase reichlich Nahrung angeboten wird, dann versucht er für die nächste Mangelphase einen Speicher (Fettpolster) anzulegen. Dieser hilft dann die Hungerzeit besser zu überstehen. Kurzfristige Spontan-Diäten oder gar solche aus "Frauen"-Zeitschriften sind ein guter Beleg für das Funktionieren der Set-Point-Theorie. Bei fast allen Personen, die Reduktions-Diäten (Hungern oder einseitige Ernährung (Ananas-Diät, Kohl-Diät)) machen, kommt es kurzfristig zur Gewichtsabnahme. Danach stellt sich aber der sogenannte Jo-Jo-Effekt ein. In Zeiten eines ausgeglichenen Nahrungsangebots werden vermehrt wieder Stoffe aufgenommen und gespeichert. Statt Abzunehmen kommt es letztendlich zu einer Gewichtszunahme.
Diese Gewichtszunahme ist dann ein wichtiges Argument sich das nächte Heft dieser Zeitschrift zu kaufen und eine neue Super-Sensations-Diät auszuprobieren.
Die auf kurze Zeiten orientierten Hunger-Theorien können sicher einen wesentlichen Teil der Hunger-Entstehung erklären. Warum aber Menschen sehr unterschiedlich auf Nahrung reagieren und auch sehr unterschiedlich Hunger verspüren, können diese Theorien nicht erklären. Hier sind wahrscheinlich sehr langfristige Mechanismen am Werk.
Im Säuglings- und Kleinkindalter wird die Verdauung eines Menschen wahrscheinlich zudem voreingestellt (geprägt). Je nach der Nahrungssituation zu diesem Zeitpunkt ist der Mensch dann (durchschnittlich) eher ein guter oder schlechter Nahrungsverwerter. Zwar gibt es in der nachfolgenden Zeit noch einen gewissen Spielraum, aber die Grundtendenz ist festgelegt (**Prägung**). Besonders interessant ist in diesem Zusammenhang, dass Babys in der Lage sind, die notwendige Nahrungsmenge richtig "abzuschätzen" und die richtige Menge zu sich zu nehmen. Das Aufzwingen einer vorbestimmten Nahrungsmenge und eines fremdbestimmten Nahrungsaufnahme-Rhythmus ist für die natürliche Entwicklung einer selbstkontrollierten Hunger- und Sättigungsgefühls sehr ungünstig. In besonders drastischen Fällen versagt die Eigen-Kontrolle vollständig. Diese Personen nehmen dann später häufig ungezügelt Nahrung zu sich und nehmen extrem zu.
Keine der Theorien kann für sich die Entstehung des Hungers vollständig erklären. Heute geht man davon aus, dass mehrere (oder gar alle) Mechanismen bei der Entstehung des Hunger einen Beitrag spielen. Der kurzfristige Bestimmer und einfacheste Signalgeber ist sicher der Magenfüllstand.
In unserem Körper gibt es viele natürliche Regelkreise zur Aufrechterhaltung der einzelnen Werte (Pegel, Gehalt) an Stoffen und der Energie. Durch äußere Einflüsse werden die Pegel gestört. Zu den Störfaktoren zählen - außer der jeweiligen Aktivität (Bewegung, Atmen, Denken usw.) auch veränderliche Körperzustände (z.B. Krankheiten, Schwangerschaft, Depressionen, Süchte usw.).
Überangagierte Mütter mit ihren Vorstellungen von der notwendigen Nahrungsaufnahme ("... Noch ein Happ's für Papi! ...") machen den Regelkreis für ein Kleinkind unsinnig. Irgendwann wird der natürliche Regulationsmechanismus durch den künstlichen Mechanismus (Mutter) ersetzt (→ Prägung und gesellschaftliche Zwänge). Dieser kann die Aufgaben aber niemals für den Körper voll befriedigend erfüllen.

Vielfach wird eine schlechte Speicherfähigkeit für notwendige Stoffe als Argument für eine täglich optimierte Ernährung und Nahrungszusammensetzung propagiert. Interessant ist auch immer die Frage, wielange kann man denn unter extremen Bedingungen überleben? Ab wann treten gefährliche Mangelerscheinungen auf?
Schaut man sich die Reserven eines gesunden (Erwachsenen-)Körpers an, dann relativieren sich die Aussagen vie-

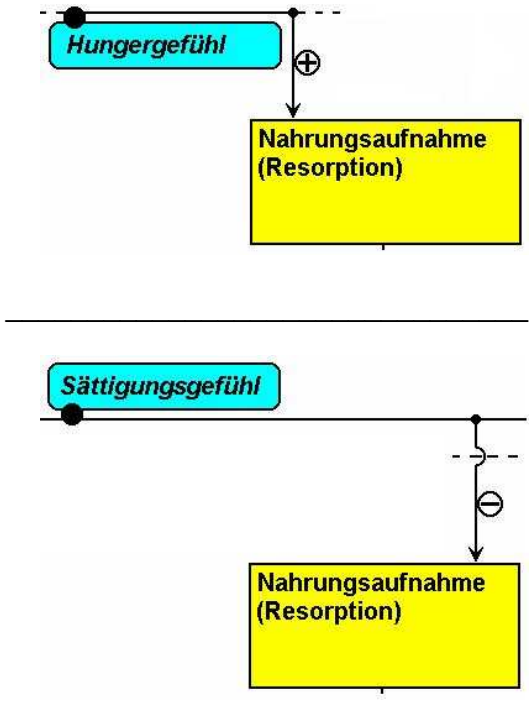
Stoff bzw. Stoffgruppe	Reserve
Kohlenhydrate	
Fette	
Eiweiße	6 – 8 Wochen
A (Retinole)	6 Monate – 2 Jahre
Vitamin B_1	4 – 10 Tage
B-Vitamine	3 – 4 Monate
Vitamin C	3 – 4 Monate
C (Ascorbinsäure	3 – 4 Monate
Vitamin K	1 – 1,5 Monate
Calcium	1 – 20 Jahre

ler selbsternannter Ernährungsexperten. (Auch einige akademische Experten stehen dem leider in nichts nach.)
Für Kinder und Säuglinge verkürzen sich die Zeiten deutlich, da der Stoffwechsel intensiver abläuft und auch die Speicher noch nicht so ausgeprägt sind.

Eisen	1 – 2 Jahre

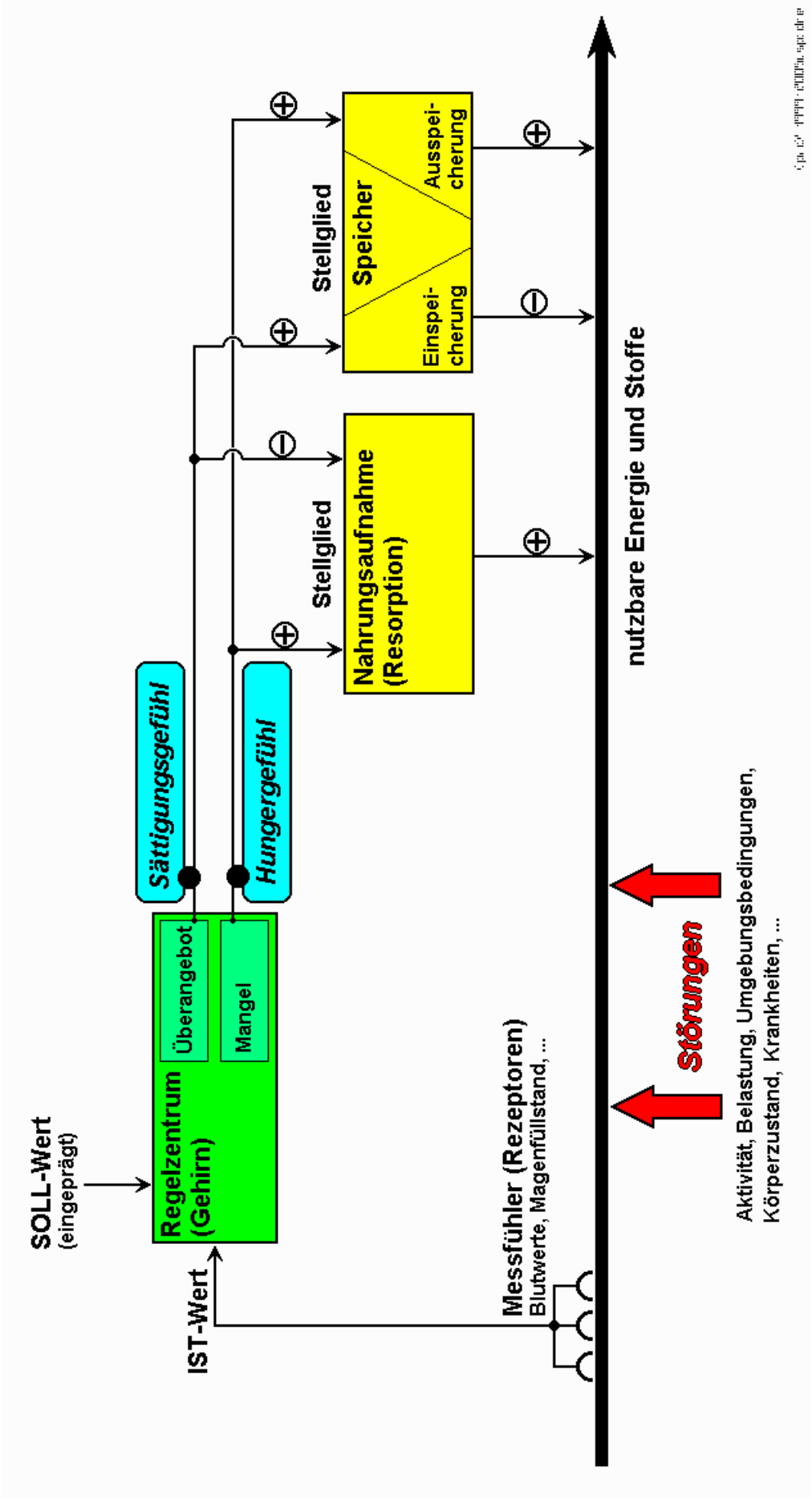
2.5.1. Regulation von Stoff- und Energie-Pegeln

Der Begriff Pegel meint ein bestimmtes Niveau (den Pegelstand) und ist mit den sogenannten Stoff- oder Energie-Spiegeln identisch. Gemeint sind bestimmte Mengen oder Konzentrationen von Stoffen z.B. im Blut oder in der Lymphe. Pegel wird meist als allgemeinerer Begriff benutzt. Bei allen Stoffen strebt der Organismus bestimmte Pegel (Stände) an
In den Blutgefäßen gibt es diverse Messfühler, die den aktuellen Pegel messen. Den Messwert (IST-Wert) senden die Messfühler über die Nervenfasern zum Gehirn. Dort wird der IST-Wert mit einem vorgegebenen SOLL-Wert verglichen. Als Resultat des Vergleichs verspüren wir z.B. Hunger oder Sättigung. Nun werden im Körper Prozesse eingeleitet, die den aktuellen IST-Pegel an den SOLL-Pegel heranführen sollen. Unser Körper kann die Nahrungsaufnahme erhöhen bzw. erniedrigen. Dabei kommt es letztendlich zur Erhöhung bzw. zur Absenkung des aktuellen Pegels. Hierbei handelt es sich um einen positiv gekoppelten Vorgang (Ursache und Wirkung sind gleichgerichtet).



In den nachfolgenden Schemata werden solche Vorgänge durch ein ⊕ gekennzeichnet. Ausgesprochen bedeutet es z.B. "**je größer** der Hunger, **umso größer** die Nahrungsaufnahme". Auch das Gegenteil stimmt: "**je kleiner** der Hunger, **umso kleiner** die Nahrungsaufnahme".
Bei negativ gekoppelten Vorgängen (Zeichen: ⊖) bewirkt die Ursache eine entgegengesetzte Wirkung. Als Beispiel kann die Reduktion der Nahrungsaufnahme dienen. "**Je größer** die Sättigung, **umso kleiner** wird die Nahrungsaufnahme (Resoption)." Natürlich gilt auch hier das Gegenteil: "**Je kleiner** (geringer) die Sättigung, **umso größer** wird die Nahrungsaufnahme (Resoption)."
Die genau quantitative Ausprägung betrachtet man in solchen Fluß-Diagrammen (Fluß-Schemata) nicht weiter. Man konzentriert sich auf die Richtung der Veränderung. Nur so sind komplexe Modelle und Schemata überhaupt handhabbar.
Neben der Kontrolle des Zuflusses an Energie und Stoffen versucht unser Körper auch durch eine gezielte Lagerhaltung den verfügbaren Stoff- und Energie-Pegel konstant zu halten. Die Stoffe in den Speichern (z.B.: Leberstärke, Muskelstärke, Fettzellen) sind direkt nicht verfügbar. Sie müssen erst durch bestimmte Prozesse so verändert werden, dass sie ins Blut gelangen und dort transportiert werden können. Dann gehören sie in den Bereich der verfügbaren Stoffen und stellen eventuell auch nutzbare Energie dar.
Prinzipiell läuft ein Regelkreis kontinuierlich, dass heißt ständig. Ständig wird gemessen, verglichen und korrigiert. Das ist sozusagen ein Lebenszeichen.

Vereinfachtes Schema der Regulation des Stoff- und Energiehaushaltes

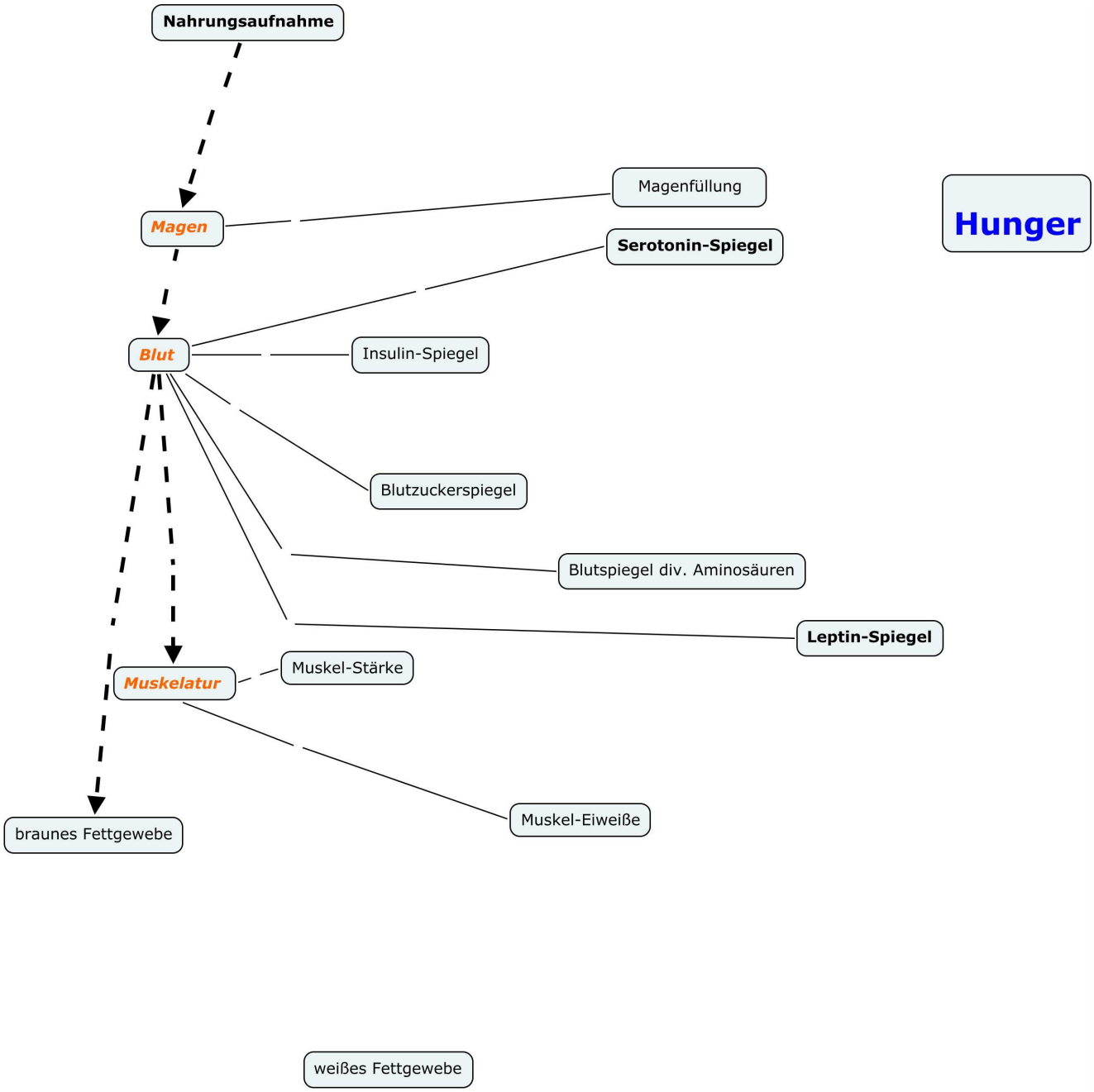


2.5.2. Vorschlag eines Modell's zur Hunger-Erklärung

Entwickeln wollen wir ein solches Schema in größeren Schritten. Die einzelnen Ebenen werden erläutert und am Ende (dieses Kapitels) steht ein komplexes Modell mit dem sich viele Problemstellungen im Zusammenhang mit dem Hunger, aber auch mit Diäten usw. erklären lassen. Es lohnt sich u.U. auch mal einen kurzen Blick auf das endresultat zu werfen um einen Überblick zu gewinnen.
Beachten Sie aber immer die Grenzen dieses Modells. Es fehlen quantitative Aussagen, viele Stoffe werden nicht betrachtet und bei vielen Verknüpfungen wurden Zwischenelemente einfach weggelassen.

2.5.2.1. Schritt 1: Mini-Detail-Modell der Ernährung

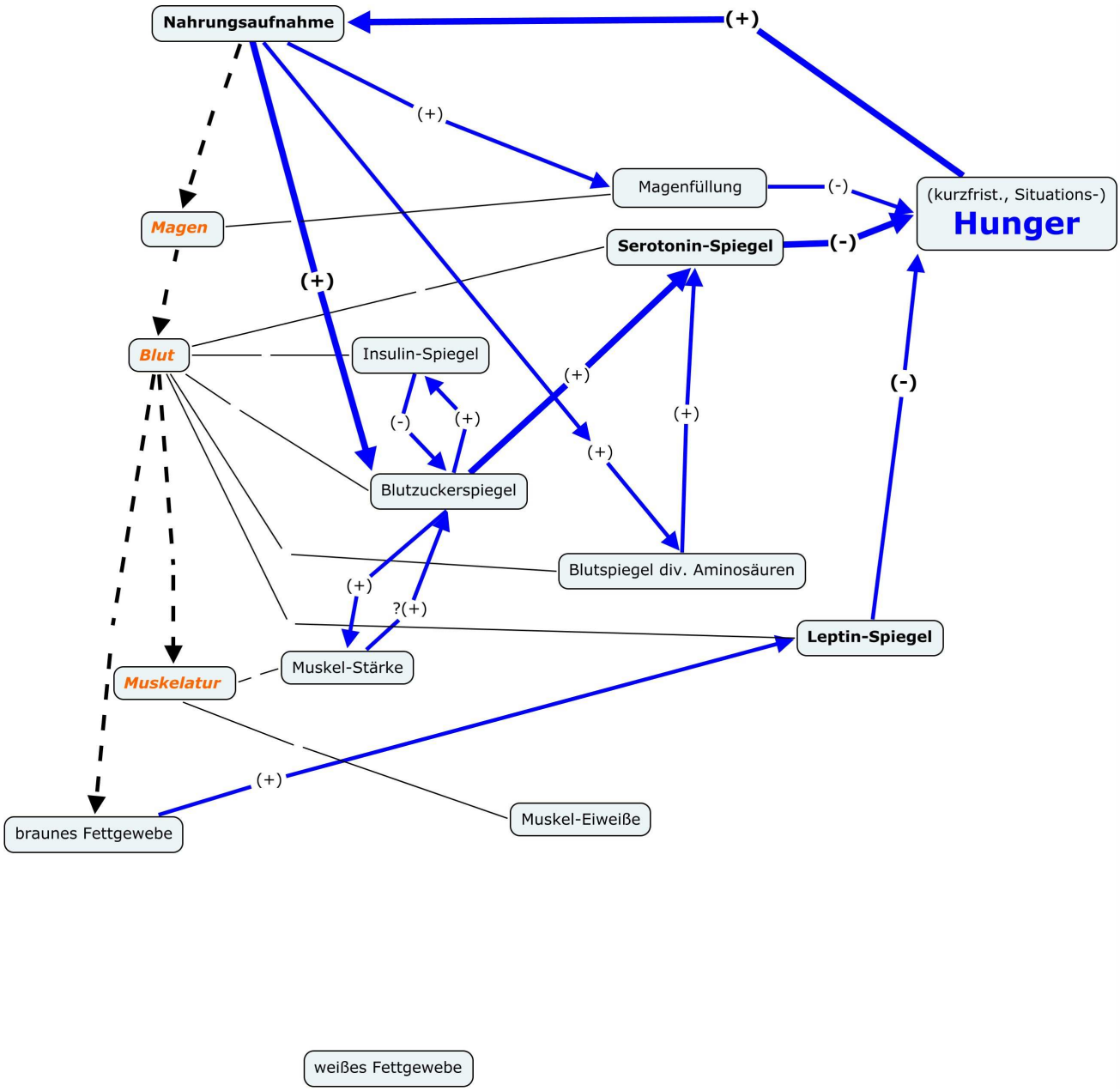
Für unser Hunger-Modell benötigen wir einen Teil, der die Stillung des Hungers durch Nahrungsaufnahme darstellt. Dazu nehmen wir sehr starke Vereinfachungen vor.
Die Nahrung wird über die Zwischenstufe Magen (ist natürlich so nicht exakt!; siehe auch: →) in das Blut. Über dieses werden die verschiedenen Stoffe verteilt, z.B. in die Muskelatur und zu den Fett-Depots.



Unser Körper verfügt nun über Unmengen von Sensoren (Rezeptoren, Sinneszellen) mit denen die verschiedensten Status-Informationen ermittelt werden und zumeist im Gehirn verarbeitet werden. Solche Status-Informationen (IST-Werte) sind z.B. die Magenfüllung oder der Blutzuckerspiegel. IST-Werte deshalb, weil sie den aktuellen Wert repräsentieren.
Nun ergänzen wir in einem nächsten Schritt die Beziehungen zwischen den Status-Informationen.

2.5.2.2. Schritt 2: einfaches Modell zur Entstehung des Hungers

Der Information "Serotonin" kommt nach derzeitigen Erkenntnissen eine besonders große Bedeutung bei der Erzeugung des Gefühls "Hunger" zu.
Bei einigen positiv gekoppelten Beziehungen befindet sich ein Fragezeichen vor dem Kopplungszeichen (+). Dies soll bedeuten, dass die Kopplung von bestimmten anderen Bedingungen abhängt. So wird z.B. die Muskelstärke den Blutzuckerspiegel nur erhöhen, wenn bei einem Mangel Muskelstärke zu Blutzucker (Glucose) abgebaut wird.



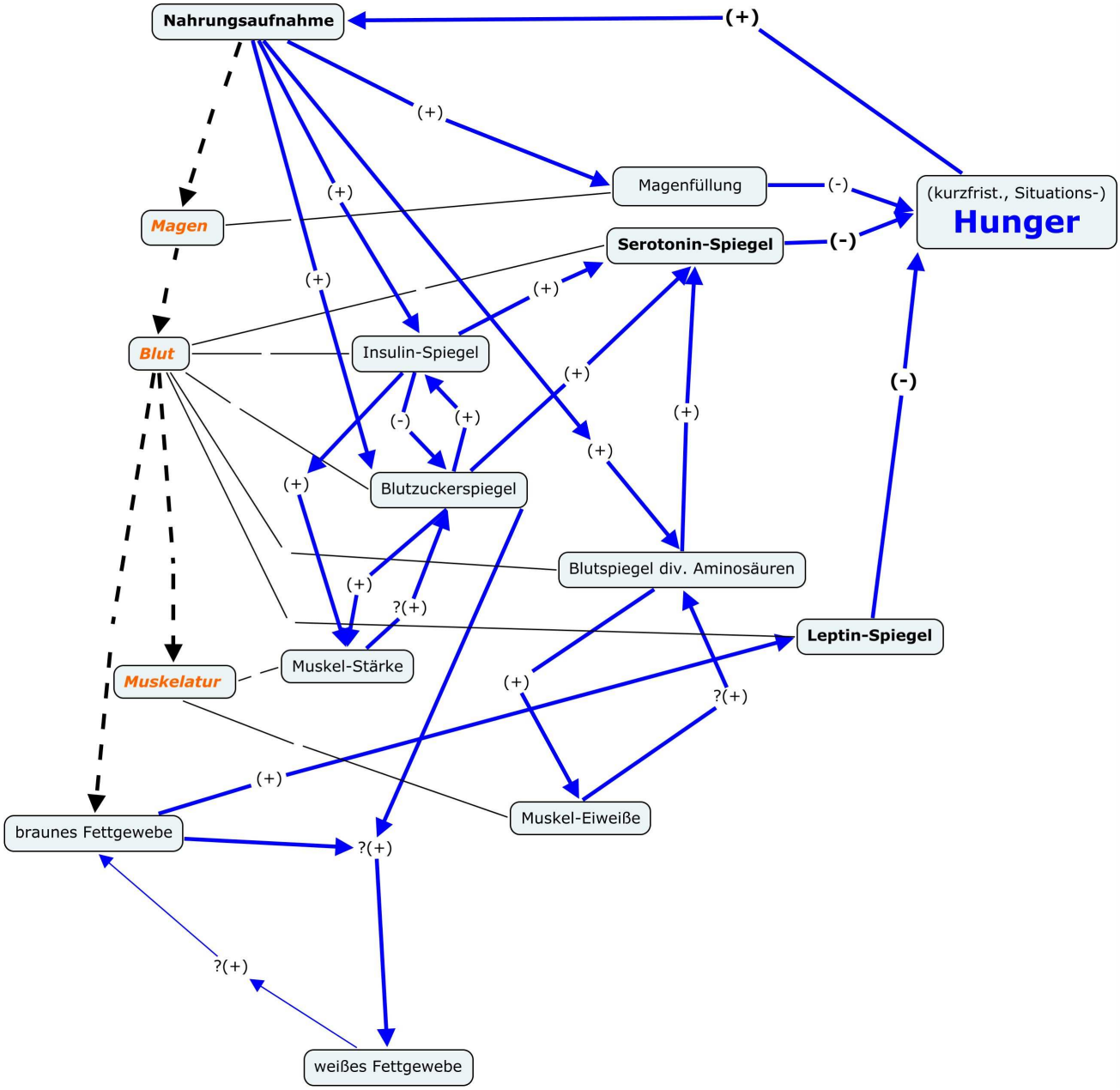
ergänzende Informationen zum Modell:
Serotonin, Insulin und Leptin sind Hormone. Hormone sind Informationsstoffe, die Zellen, Gewebe, Organe bzw. des Gesamtorganismus über Situationen im Körper informieren und dann bestimmte Aktivitäten auslösen. Insulin aktiviert z.B. die Reduzierung des Blutzuckers. Der Blutzucker wird z.B. in der Muskelatur in Muskelstärke umgewandelt. Die eigentliche Arbeit übernehmen dabei die verschiedensten Enzyme in unseren Zellen.
Aminosäuren sind die Grundbausteine der Eiweiße. Nur wenn Aminosäuren ausreichend vorhanden sind, können neue Eiweiße (z.B. in der Muskelatur) gebildet werden. Durch verschiedene Enzyme können die Eiweiße aber auch wieder zu Aminosäuren abgebaut werden.
Leptin wird von prallen Fettzellen ständig in Blut abgegeben. Erst wenn die Depots versiegen, reduziert sich der Leptin-Spiegel im Blut.

Der Hauptregel-Kreis – zumindestens nach dem aktuellen wissenschaftlichen Stand – ist im obigen Modell hervorgehoben.
Nun können wir mit unserem Modell erste Simulationen durchführen. Dabei ist immer zu prüfen, ob das Modell auch wirklich mit den reallen Bedingungen konform läuft. Man nennt dies Validierung (dt.: Wahrheitsprüfung) des Modells.

Aufgaben:

1. *Erläutern Sie die Beziehungen im Modell und unterlegen Sie die Beziehungen und deren Zusammenwirken durch vorhandenes Wissen z.B. aus der Biologie!*
2. *Wie würde unser Modell auf die Veränderung der (Erhöhung) Nahrungsaufnahme reagieren? Erläutern Sie, wie sich die anderen Modell-Komponenten beeinflusst werden!*
3. *Simulieren Sie mit dem Modell die Erhöhung der Nahrungsaufnahme! Können sich die Bedingungen wieder normalisieren?*

Mit einigen weiteren Ergänzungen läßt sich das Modell noch weiter aufwerten – es wird aber unübersichtlicher.

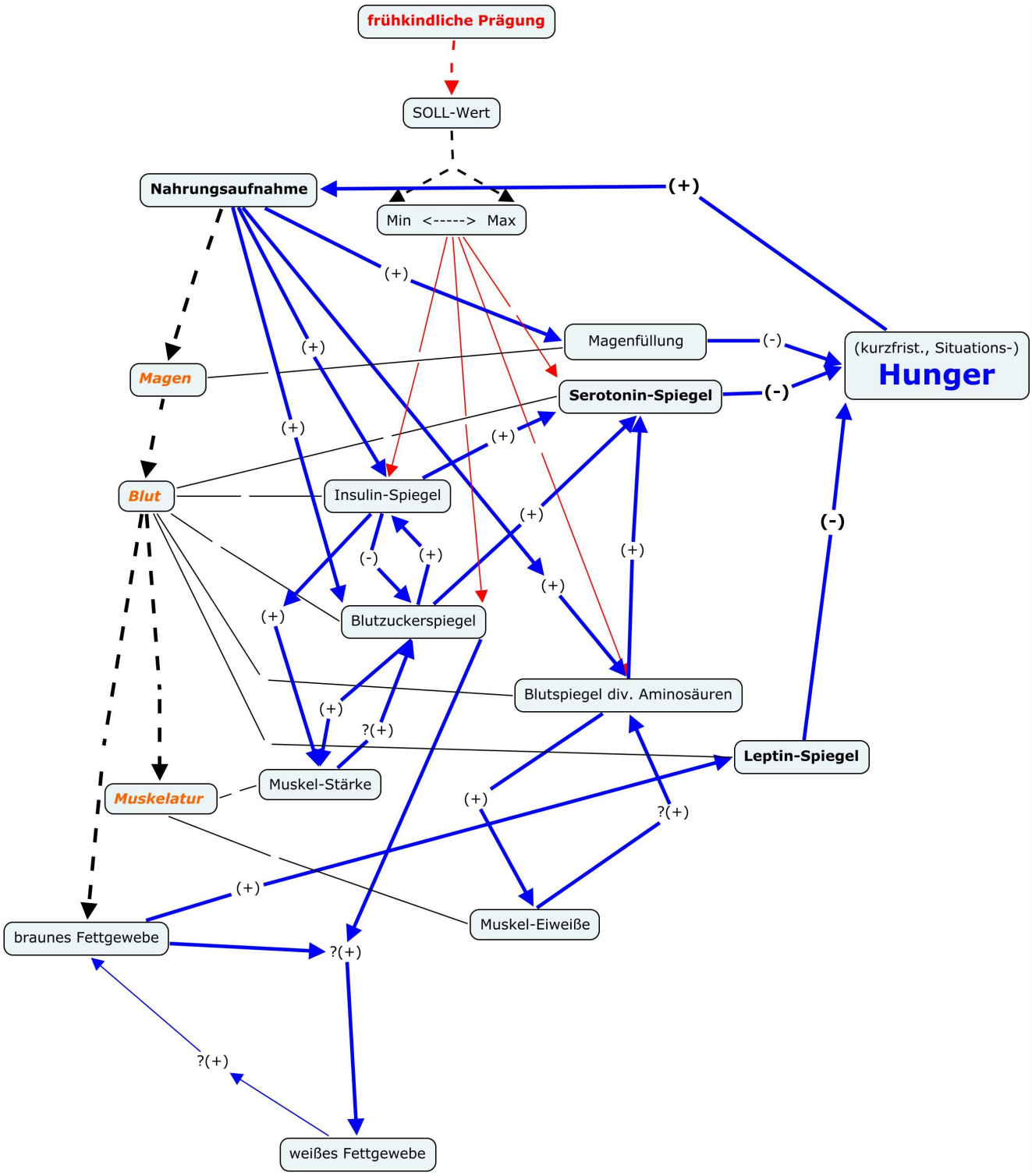


Aufgaben:

1. *Bei Diabetikern kommt es zuweilen zu Heißhunger-Attacken. Lassen sich diese mit unserem Modell erklären? Wenn ja wie, wenn nein, warum nicht! Erläutern Sie Ihre Position ausführlich!*
2. *Die ATKINS-Diät setzt auf Kohlenhydrat-arme Ernährung (Low-Carb-Prinzip). Fette und Eiweiße dürfen relativ unbegrenzt zu sich genommen werden. Läßt sich mit Hilfe unseres Modells bei dieser speziellen Ernährung eine Reduzierung des Hungers und damit ein diätischer Effekt erklären?*

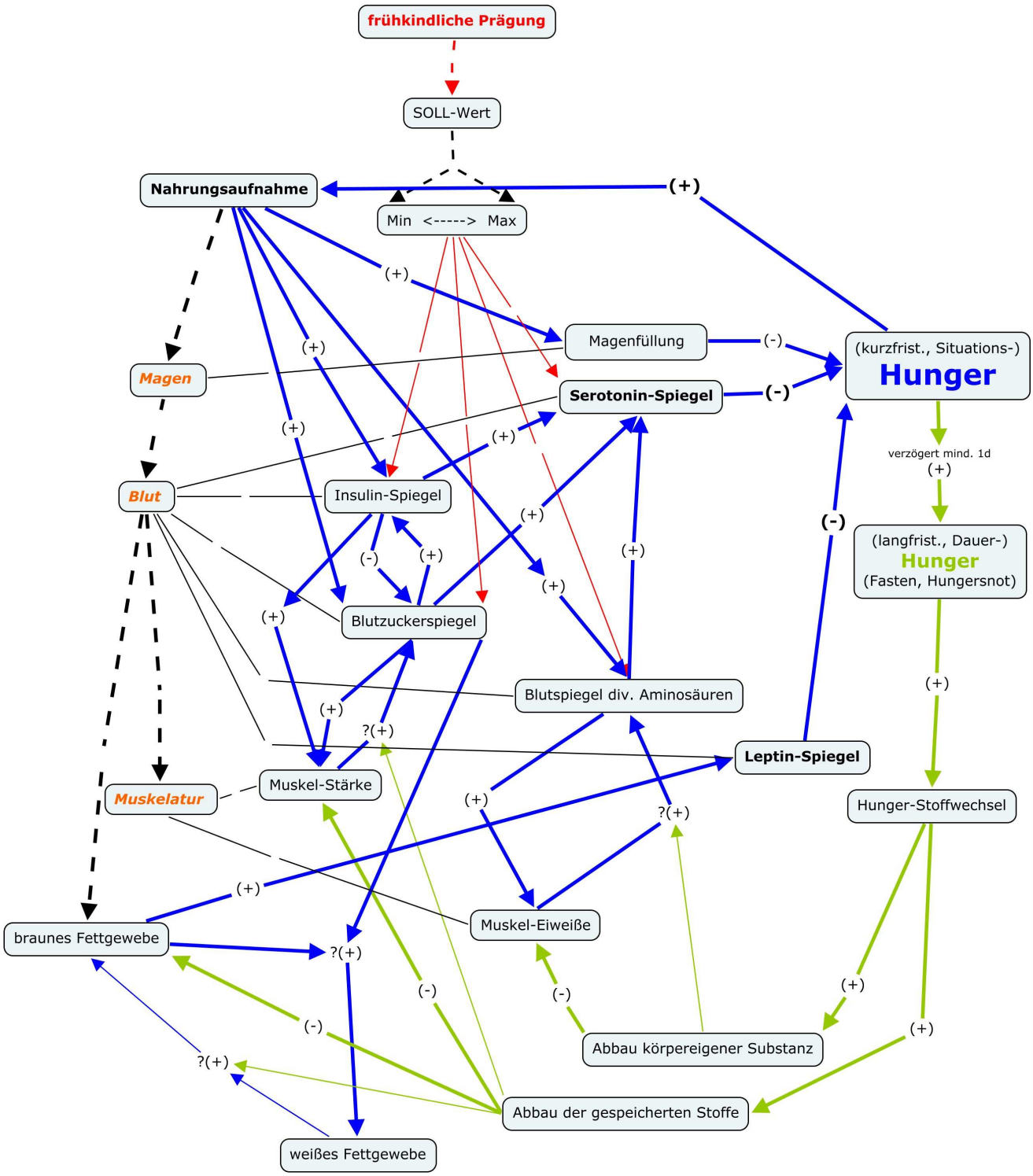
2.5.2.3. Schritt 3: Einbeziehung der Prägung

Wir hatten schon festgestellt, dass in der frühkindlichen Entwicklung wahrscheinlich eine Vorbestimmung des Ernährungstyps erfolgt. Meist werden dabei die SOLL-Werte der einzelnen Status-Informationen in bestimmte Richtungen verschoben. Nun bräuchten wir aber doch konkrete Daten über die jeweilige quantitative Veränderung oder Ausprägung des konkreten Wertes. Da uns diese fehlen, bleiben wir bei einer Pro-forma-Einarbeitung der Modell-Komponenten. Für bestimmte Simulationen lassen sich diese Beziehungen dann aber nutzen.



2.5.2.4. Schritt 4: Einbeziehung langfristiger Effekte

Um unser Modell zu vervollständigen, bauen wir nun die Details ein, die erst nach ein bis zwei Tagen wirken. Der Körper stellt sich dann bei einem echten Nahrungsmangel auf Hungerstoffwechsel um. Nun spielen neue Effekte eine Rolle, die mit grünen Beziehungs-Pfeilen gekennzeichnet sind. Mit einer dedarfsdeckenden Nahrungsaufnahme wird der Hungerstoffwechsel sofort wieder verlassen /abgeschaltet) und die normalen Vorgänge (blaue Pfeile) haben wieder den Vorrang.



Aufgaben:

1. Welche Veränderungen ergeben sich für den Serotonin-Spiegel, wenn der Hungerstoffwechsel "eingeschaltet" wird?
2. Wäre nicht die künstliche Erhöhung des Serotonin-Spiegels (z.B. durch Medikamente) die einfachste Möglichkeit den Hunger zu unterdrücken? Testen Sie diese Situation am Modell! Gibt es gewünschte und / oder unerwünschte Nebeneffekte? Diskutieren Sie Ihre "Simulationsergebnisse" mit denen anderer Kursteilnehmer!
3. Informieren Sie sich über die Bedeutung des Serotonin's im menschlichen Körper! Erstellen Sie eine Tabelle aus der für jedes Organsystem der Mangel bzw. Überschuß von Serotonin mit seinen Wirkungen (grob) hervorgeht! Bewerten Sie Ihre Simulationsergebnisse (von Aufgabe 2) unter den gewonnenen Erkenntnissen neu!
4. Diskutieren Sie über Sinn und / oder Unsinn von Appetitzüglern, die direkt den Serotonin-Spiegel beeinflussen!

für die gehobene Anspruchsebene:

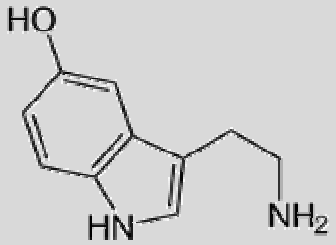
5. Führen Sie eine Pro-und-Kontra-Diskussion zum Thema "Serotonin-Appetitzügler" durch! (Situation: Pharmavertreter gegen Ernährungsberater/Arzt/aufgeklärter Verbraucher)

Exkurs: Serotonin

In der ersten Hälfte des 20. Jhd. mehrfach unabhängig voneinander isoliert (1930 ERSPAMER; 1948 RAPORT + GREEN + PAGE) und als Stoff identifiziert, der zur Kontraktion von Därmen bzw. Blutgefäßen führt.
weitere Namen Enteramin (ERSPAMER) bzw. die IUPAC-Namen: 3-(2-Aminoethyl)-1*H*-indol-5-ol oder 5-Hydroxytryptamin

weiß, kristallin, hygroskopisch
löslich in Wasser und Ethanol, schwach basisch, zeigt Fluoreszenz
(wird für Nachweis genutzt)

Gesundheitsschädlich
LD_{50} = 60 mg (Maus, peroral)
LD_{50} = 5 – 81 mg (Katze – Maus, intravenös)



Strukturformel von Serotonin
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

phylogenetisch ältester Neurotransmitter
in allen Tiergruppen vorkommend, weiterhin in höheren Pflanzen und Pilzen
reich an Serotonin sind Walnüsse, Kochbananen, Ananas, Bananen, Kiwi, Tomaten, Pflaumen, Kakao und in abgeleiteten Produkten (z.B. Schokolade)
in den Brennhaaren der Brennessel

beim Menschen derzeit 14 verschiedene Rezeptoren bekannt (jeweils mit eigenem Wirkungsspektrum)
auch gefunden wurde bestimmte Geschwüre (Krebs), bei dem die Zellen verstärkt Serotonin ausscheiden (nach Entfernen des kranken Gewebes Gefahr von Depressionen möglich)

Q:

75 % des oral aufgenommenen Serotonins gelangt in die Blutbahnen
vergleichbare Menge wird später über den Urin wieder abgegeben (als verschiedene Abbauprodukte)
normal aber vom Körper selbst produziert

im Herz-Kreislauf-System sowohl für Kontaktionen (vorrangig) als auch für die Entspannung von glatten Muskelzellen in den Blutgefäßen verantwortlich → dadurch meist Blutdruck-erhöhend
in den Nieren und Lunge Blutgefäße verengend; in der Skelett-Muskelatur erweiternd
an Wunden und betroffenen kleinen Blutgefäßen kommt es zur Verengung von Blutgefäßen (Vasokonstriktion); fördert die Zusammenballung der Thrombozyten und damit zum Wundverschluß (Blutgerinnung und Schorf-Bildung)

im Magen-Darm-Trakt für die Ausbildung der Peristaltik mit verantwortlich (Anregung der Darmbewegung (Darm-Motilität)), beiteiligt bei Übelkeit (Bauchschmerzen) und Erbrechen

im Auge reguliert es den Augen-Innendruck

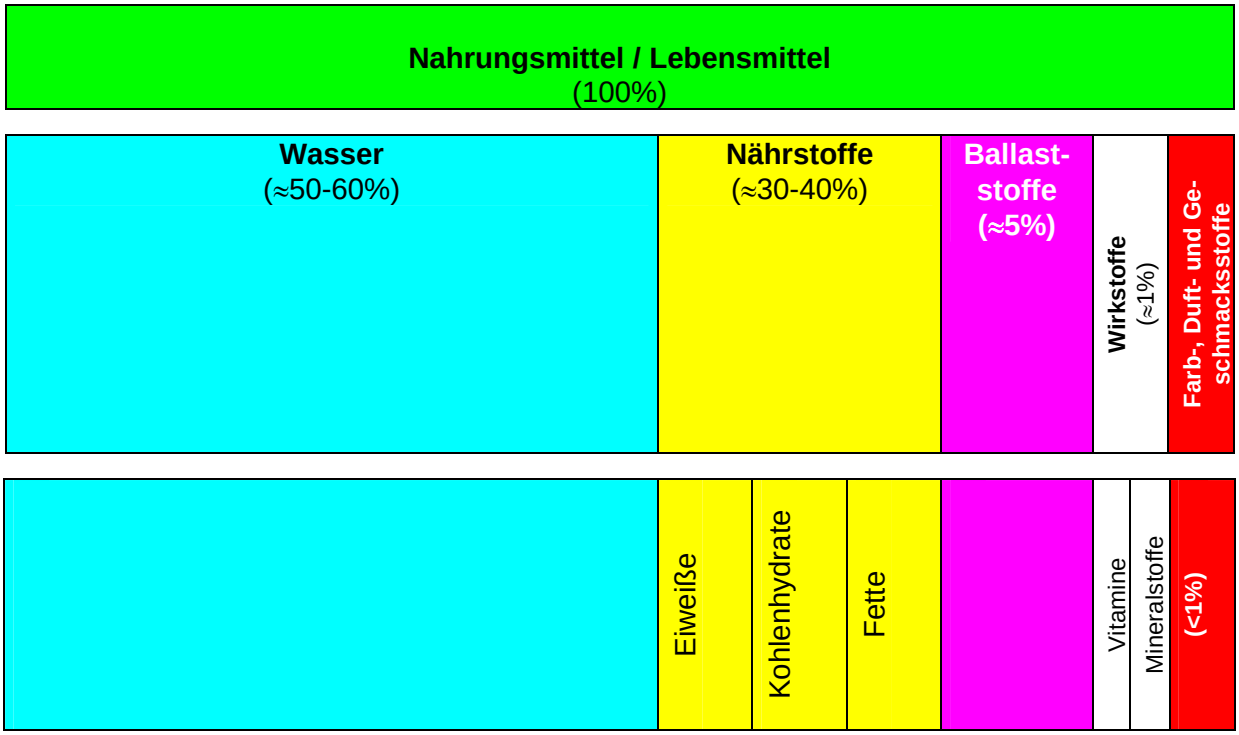
im Zentral-Nerven-System für die Steuerung oder Beeinflussung von Wahrnehmungen, der Sensorik, Appetit, Körpertemperatur, Schlaf, Schmerz-Empfinden und –Verarbeitung, Sexual-Verhalten und der Hormon-Produktion
bewirkt Zufiredenheit, Erfüllung, "Glückshormon"; besonders nach Genuß entsprechender Lebensmittel (typisch: Bananen, Schokolade, …)
Übermaß führt zu Halluzinationen und Aggressionen; bei Mangel Angstzustände und Depressionen möglich

Beeinflussung des Serotonin-Spiegels, der Serotonin-Rezeptor-Vorgänge und der Zell-internen Verarbeitung durch verschiedenste Medikamente

- Antidepressiva (Mittel gegen Depressionen)
- Neuraleptika (Mittel zur Dämpfung / Reduzierung der Nerven-Tätigkeit)
- Hypnotika (Schlafmittel)
- Tranzquilanzien (Transquilizer) (Mittel zu Behandlung von Angstzuständen)
- Appetit-Zügler
- Migränetherapeutika
- Antihypertensiva (Blutdruck-Senker)
- Blutgerinnungs-Hemmer
- Antiemetika (Mittel zur Underdrückung von Erbrechen (z.B. auch Reisekrankheit oder begleitend zur Chemo-Therapie bei Krebs))
- Prokinetika (Mittel zur Anregung der Darmtätigkeit (z.B. bei Bauchschmerzen, Verstopfung, Blähungen und Erbrechen))

3. Nahrungsmittel und ihre Inhaltsstoffe

Die Einteilung der Inhaltsstoffe eines Nahrungsmittel in die fünf Gruppen **Wasser, Nährstoffe, Ballaststoffe, Wirkstoffe** sowie **Farb-, Duft- und Geschmacksstoffe** reicht nur für sehr oberflächige Betrachtungen. Schauen wir uns an, wo wir für unsere Zwecke weiter sinnvoll unterteilen können. Das Wasser ist schon ein einzelner Stoff, so dass eine weitere Teilung entfällt.
Die weitaus größte Bedeutung für die Ernährung haben die Nährstoffe. Sie liefern die Energie und die Baustoffe für unser Überleben. Nährstoffe sind also die Stoffe, die ein Lebewesen für die Deckung seines Energie- und Baustoff-Bedarfs unbedingt benötigt.
Die Nährstoffe werden auf Grund ihres Baus in drei Gruppen geteilt. Wir unterscheiden Fette, Kohlenhydrate und Eiweiße. Sie sind chemisch sehr unterschiedliche Stoffe. Weiterhin sind ihre Eigenschaften und ihre Funktionen in unserem Körper sehr unterschiedlich. Hier ist eine weitere Unterteilung sinnvoll.
Bei den Ballaststoffen gibt es sicher viele verschiedene Stoffe, aber sie alle sind für unsere Ernährung nur insofern wichtig, dass sie Volumen schaffen. Sie machen die Nahrungsmenge groß und regen die Verdauungsorgane zur Arbeit an. Diese Funktionen erfüllen alle Ballaststoffe, so dass eine weitere Unterteilung nicht notwendig ist. Das Gleiche gilt für die Farb-, Duft- und Geschmacksstoffe. Sie sind zwar sehr verschieden gebaut, kommen aber immer nur in ganz kleinen Mengen vor.
Etwas anders verhält es sich mit den Wirkstoffen. Der Anteil der Wirkstoffe in den Nahrungsmitteln ist etwas höher als bei den Farb-, Duft- und Geschmacksstoffen. Bei den Wirkstoffen unterscheiden wir zwei große Gruppen - die Vitamine und die Mineralstoffe.
Somit ergibt sich für die Zwecke der Ernährungslehre die folgende mögliche Einteilung der Inhaltstoffe in Nahrungsmitteln:



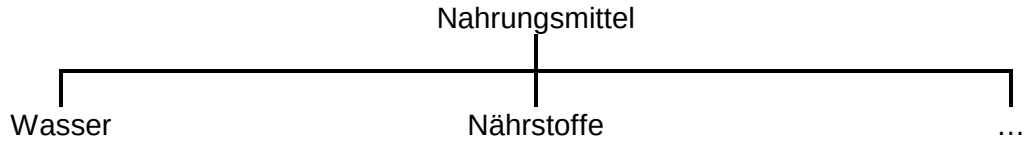
Aus praktischen und methodischen Gründen erweitern wir die Unterteilung der Inhaltsstoffe um die folgenden Stoffe und Stoffgruppen. Diese werden in gesonderten Abschnitten dieses Heftchens vorgestellt.

- Inhaltsstoffe mit Nährwert
  - Alkohole
- Alkaloide
- Zusatzstoffe
  - Konservierungsmittel
  - naturidentische und künstliche Aromen
  - Farbstoffe
  - Fettersatzstoffe und Fettsimulatoren
- unerwünschte Inhaltsstoffe
  - Schwermetalle
  - Radioaktive Stoffe
  - Insektizide, Herbizide, Futtermittelzusatzstoffe, Medikamente
- …

Einige dieser Stoffe und Stoffgruppen ließen sich vielleicht in anderen Bereichen einordnen. Der Übersicht halber scheint es mir aber besser, diese einzeln zu behandeln.

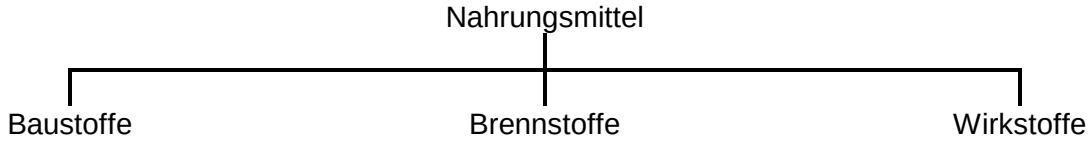
Aufgaben:

1. Erstellen Sie aus der Einteilung der Nahrungsmittel-Inhaltsstoffe ein hierarchisches Schema!

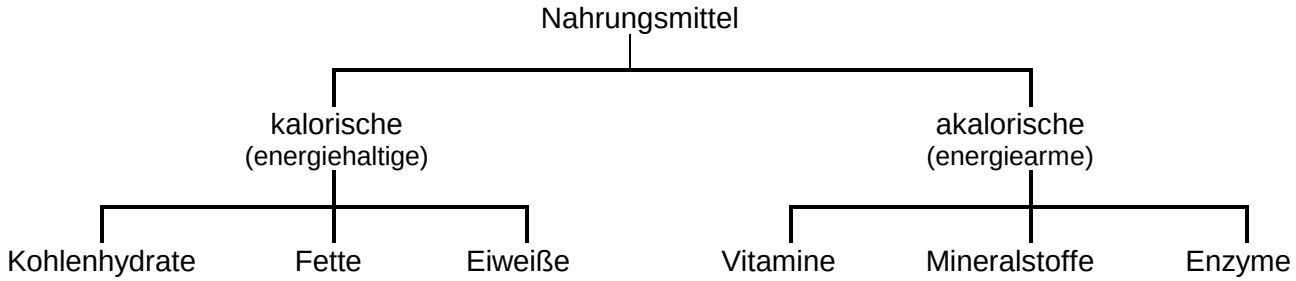


In der älteren Literatur findet man auch die folgenden Einteilungsmöglichkeiten von festen Nahrungsmittel:

Schema A:



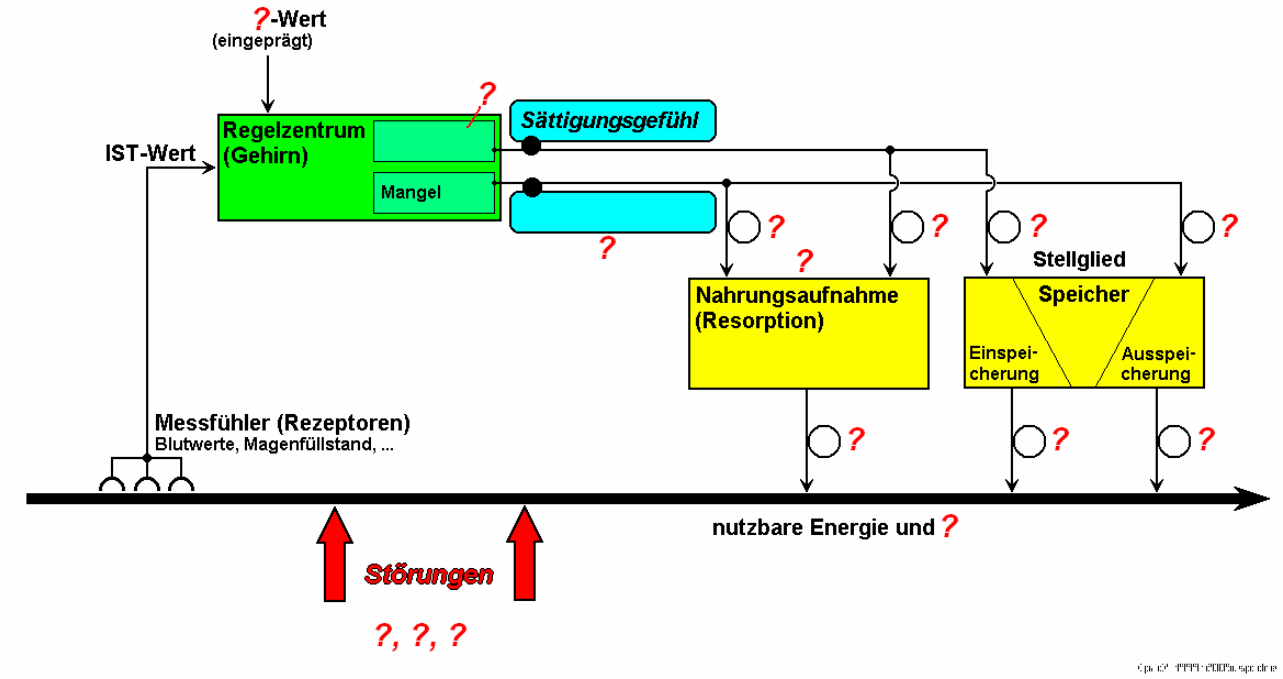
Schema B:



2. Welche Kriterien wurden zur Einteilung benutzt? Diskutieren Sie die Vor- und Nachteile der vorgestellten Schemata!

Beispiel-Aufgaben zur Wiederholung und zur Vorbereitung auf eine Klausur / Leistungskontrolle / Prüfung / ...

1. Welche Bedeutung hat eine gesunde Ernährung für den Menschen! Erläutern Sie kurz!
2. Aus welchen Wissenschaften kombiniert die Ernährungslehre Erkenntnisse und Methoden?
3. Erläutern Sie den Begriff Nahrungsmittel!
4. Ein Mitschüler ist beim Abzeichnen des Hunger-Regelkreislaufes nicht mitgekommen. Helfen Sie ihm und geben Sie für die Fehlstellen (?) die richtigen Eintragungen (Begriffe oder Zeichen) an!



3.1. Fette

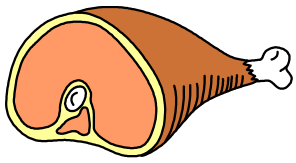
Den Fetten - wissenschaftlich Tri(acyl)glyceride - wird eine mehr negative Rolle in der Ernährung zugeordnet. Pseudo- und einfach gestrickte Populärwissenschafter haben in den Fetten das Böse gefunden. Dem ist natürlich nicht so. Genauer müsste man wohl eher sagen, dass unsere **zu** Fett-reiche Ernährung und die zu geringe Bewegung das eigentliche Problem sind.
Fette gehören neben anderen Verbindungen (z.B. Carinoide, Steroide, Phospholipide) zu den Lipiden. Unter Lipiden versteht man organische Verbindungen, die sich im Wesentlichen Wasser-abweisend verhalten und im Zellstoffwechsel über die Stoffwechsel-Schnittstelle Acetyl-Co-Enzym A hergestellt werden. Ein durch die Einzel-Gruppen durchgehendes Bauprinzip ist nicht vorhanden, wenn man einen gewissen Mangel an polaren Gruppen mal ausklammert.
Fette werden in Organismen für unterschiedliche, unverzichtbare Aufgaben genutzt. So sind alle Zellen und viele Zellbestandteile von Fett-ähnlichen Molekülen umgeben. Sie bilden eine abgrenzende Schicht um diese Teile. Man nennt diese dünnen Schichten auch Membranen (z.B.: Zellmembran, Hülle der Vakuole).
In Körper- und Zell-Flüssigkeiten (Blut, Lymphe, Zellplasma, …) verringert Fett den Gefrierpunkt. So ist z.B. ein Überleben auch unter 0 °C mö glich. Es gibt aber auch andere "Zusätze" zu Zellflüssigkeiten, die ein frühes Gefrieren verhindern.
Viele Organe sind von Fettschichten umgeben. Hier dient das Fett als Schutz vor mechanischen Belastungen.
Zum Anderen stellen Fette eine wichtige Energiereserve dar. In keinem anderen Stoff ist die Energie so konzentriert angehäuft. Fett wird deshalb von vielen Pflanzen und Tieren als Speicher angelegt. Die ölhaltigen Samen von Sonnenblume und Raps sind genau unter diesem Aspekt zu sehen, wie die Speckschwarten eines Schweins. Bei der Ausbildung von Unterhaut-Fettgewebe spielt natürlich auch die Wärmeisolation eine wichtige Rolle. Die herausragende Bedeutung der Fette wird im Volksmund auch durch solche Aussagen, wie "den Rahm abschöpfen" oder "das Fett abschöpfen" unterstrichen.
Die Fette werden in speziellen Muskelgeweben – aber auch in anderen Zellen – zur Energiegewinnung genutzt. Herzgewebe (bei Säugetieren) benötigt zur Erreichung der hohen Leistungsfähigkeit Fett(-säuren) als Energieträger. Andere Muskelatur-Arten verwenden Kohlenhydrate als Energiequelle. An der gesamten Energie-Bereitstellung im menschlichen Körper sind Fette mit rund 40 % beteiligt (zumindestens in den Industriestaaten).
In der Natur ist die Anlage von Fettschichten ein deutliches Zeichen für einen guten gesundheitlichen Zustand. Man spricht auch von Biologischer Fitness. Dies hat nichts mit der sportlichen Fitness zu tun. Außerdem darf man bei diesen Betrachtungen den Menschen nicht in den Vordergrund stellen, da er mit seiner Überfluß-Ernährung (erst seit rund 50 Jahren) eher unnatürlich ist. In der "normalen" Natur (mehrere Millionen, wenn nicht sogar Milliarden Jahre) ist der Mangel die Regel gewesen. Das Suchen (Sammeln, Jagen) von Nahrung war und ist aufwändig. Organismen, die hierbei Reserven anlegen können, sind meist erfolgreicher, kräftiger oder schneller. Somit sind sie den Anderen überlegen - sie sind eben (biologisch) fitter. Besondere Statusmerkmale (aufwendiges Federkleid, Geweih, Fettbuckel, …) unterstreichen diesen Erfolg.
Auch das erste Erscheinen der Menstruationsblutung wird im Wesentlichen vom Körperfettanteil bestimmt. Bei stark abgemagerten Mädchen (z.B. bei Magersucht) setzt deshalb die Regelblutung auch zeitweise oder dauernd aus. Ein geschwächter Organismus ist streng biologisch gesehen (im Sinne der Auslese) nicht fortpflanzungstauglich (= geringere Biologische Fitness).
Neben der Wärmeisolation haben Fette auch als elektrische Isolatoren um die Nerven herum eine große Bedeutung. Sie sind wesentlicher Bestandteil der SCHWANNschen Scheiden (Myelin-Schichten). Dies sind Zellen, die in regelmäßigen Abständen um die Nervenfaser (Neuriten) gelegt bzw. gewickelt sind und durch ihren isolierenden Charakter wesentlich zur schnellen Erregungsleitung beitragen.
Viele biologisch bedeutsame Stoffe sind von Fetten abgeleitet. Solche Abkömmlinge nennt man auch Lipoide ("Fettähnliche"). Die bekanntesten Lipoide sind z.B. Lecithin, Phospholipoide und diverse Wachse.

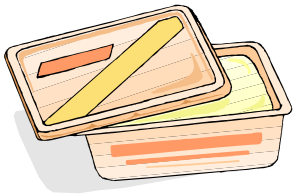
Aufgabe:

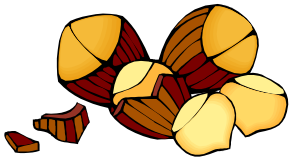
Ordnen Sie die Fette den Bau- und / oder den Betriebsstoffen zu! Begründen Sie Ihre Meinung!

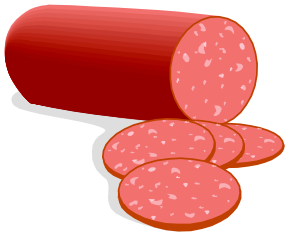
3.1.1. Fett-haltige Nahrungsmittel

Wenn man Fett-haltige Nahrungsmittel nennen soll, dann fallen einem sicher zuerst Fleisch, Schmalz und Speck ein. Neben diesen tierischen Fett-Quellen spielen die pflanzlichen eigentlich eine weit wichtigere Rolle. Ohne pflanzliche Fette ist auf längere Sicht keine gesunde Ernährung möglich. Auf tierische Fette können wir vollständig verzichten.

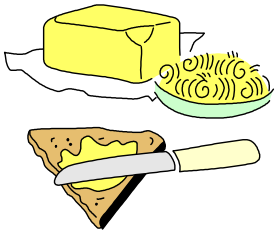


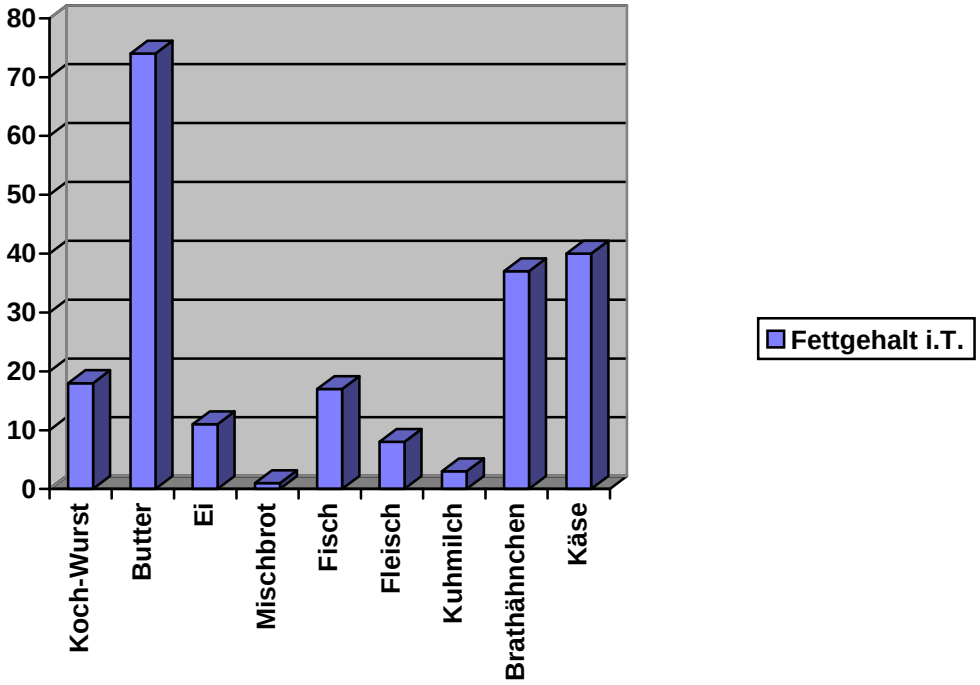






Bei den Pflanzen fallen uns besonders Raps, Sonnenblumen und Oliven ein, die reichlich Fett für unsere Ernährung liefern können. Bei uns wird zumeist das ausgepresste Öl genutzt. In den Erzeugerländern von Sonnenblumen und Oliven werden diese aber auch direkt gegessen oder verschiedenartig zubereitet.





Die Angaben des Fettgehaltes in Prozent beziehen sich auf das wasserfreie Nahrungsmittel – deshalb i.T. (in Trockensubstanz). In der Trockensubstanz ist der Fettgehalt recht konstant.

Würde man den Fettgehalt bezogen auf die wasserhaltige Masse messen, erhielte man sehr schwankende Werte. Dies kommt dadurch, dass Wasser einen sehr großen Anteil in den Nahrungsmitteln darstellt. Schon ein leichtes Eintrocknen verändert dann den Fettgehalt zu einem höheren Wert. Den höchsten Wert – den Wert für die Trockensubstanz - erhält man bei völliger Austrocknung. Für die Kaufpsychologie ist dies nicht gerade die beste Lösung (moderne Menschen tendieren zu fettarmen Lebensmitteln), aber dafür ist es ein reproduzierbares Ergebnis.
Interessant sind dazu auch neue Erkenntnisse, die den fehlenden Zusammenhang zwischen gesunder Ernährung und Fett-reduzierten (sogenannten Light-)Produkten belegen. Fett-reduzierten Produkten haftet nämlich der Mangel eines geringeren guten Geschmacks an. Das Ergebnis am Essenstisch sieht dann so aus: Statt einer Scheibe Käse (mit 45 % Fett i.T.) sollte man eigentlich eine Scheibe Light-Käse (30 % Fett i.T.) nehmen. Aber Light-Käse schmeckt nicht prägnant, wie der "normale". Dies liegt am geringeren Fettgehalt, der als Geschmacksträger im Light-Produkt ausfällt. Damit's nun genau so gut schmeckt, werden die Scheiben einfach doppelt genommen oder etwas mehr Fett (Butter) darunter gestrichen. Das Ergebnis ist dann eine insgesamt vermehrte Fettaufnahme mit dem guten – aber falschem - Gefühl sich gesund ernährt zu haben.

Aufgaben:

1. *Ermitteln Sie von fünf Lebensmitteln den Fettgehalt laut Verpackungsetikett!*
2. *Berechnen Sie den absoluten Fettgehalt für 100 g des Lebensmittels! (Sollte der absolute Fettgehalt angegeben worden sein, dann berechnen Sie den Fettgehalt in der Trockensubstanz!)*
3. *Sammeln Sie die Ergebnisse von anderen Kursteilnehmern! Stellen Sie die Ergebnisse von mindestens vier Kursteilnehmern graphisch dar! (Lebensmittel nach aufsteigenden Fettgehalt i.T. geordnet gegen absoluten Fettgehalt und Fettgehalt i.T.)*

3.1.1.1. makroskopische Einteilung der Fette

Makroskopisch nennen wir Eigenschaften oder Unterscheidungen, wenn sie ohne vergrößernde Geräte (z.B. Mikroskope) beobachtbar, messbar bzw. einteilbar sind. Farbe, Aggregatzustand, aber auch Herkunft oder Herstellung, sind typische makroskopische Eigenschaften. Mit ihnen lassen sich leicht Einteilungen vornehmen.
Sehr leicht lassen sich die Fette nach ihrem Aggregatzustand unterscheiden. Dazu muß bei 20 °C einfach nur die Ausprägung (gasförmig, flüssig, fest) beobachtet werden. Gasförmige Fette kommen nicht vor, so dass wir uns auf die Unterteilung der Fette nach flüssig und fest beschränken können. Die flüssigen Fette werden Öle genannt. Die bekanntesten Öle werden aus Rapssaat, Oliven, Sonnenblumenkernen, Fisch und der Leber verschiedener Fische hergestellt. Bei den festen Fetten wird der Vorsatz ***fest*** auch häufig weggelassen. Dies ist im normalen Gebrauch sicher in Ordnung, aber eben nicht ganz exakt. Typische Beispiele sind Kokosfett, Schweinefett, Gänsefett (Gänseschmalz) und Butter.
Manchmal werden Margarine und Butter auch zu einer extra Gruppe der weichen Fette zugeordnet. Dies läßt sich dann als Einteilung über die Schmelztemperatur (Schmelzbereich) benutzen. Die flüssigen Fette haben demnach eine Schmelztemperatur unter 20 °C, die festen Fetten über 30 °C. Im Grenzbereich zwischen 20 und 30 °C finden wir dann die weichen Fette. Diese werden auch als Butter bezeichnet. Typische Vertreter für Butter sind Kakao (Kakao-Butter) und Kakao-ähnliche Pflanzen sowie Mango.

Aufgabe:

1. Erstellen Sie für die verschiedenen Einteilungsmöglichkeiten Schemata nach folgendem Beispiel! (Der grau unterlegte Bereich kann entfallen!)

Oberbegriff, Überordnung	**Fette**
Einteilungskriterium	***Aggregatzustand***
Variante (Ausprägung) des Kriteriums	flüssig / fest
Unterordnung	**Öle** / **(feste) Fette**
Beispiel(e)	Rapsöl, Olivenöl, Fischöl, Lebertran / Kokosfett, Schweinefett, Entenfett, Butter

Für die Verwendung in der Küche usw. wird häufig nach der Herkunft der Fette unterschieden. Es werden tierische und pflanzliche Fette unterschieden. Den pflanzlichen Fetten wird zumeist eine gesündere Rolle in unserer Ernährung zugeordnet. Frucht-Fette stammen dabei aus den Früchten der betreffenden Pflanzen. Die bekanntesten sind Olivenöl (aus dem (samenumhüllenden) Fruchtfleisch der Olive) und Palmöl (Fruchtfleisch der Ölpalmensamen). Die Fruchtfleisch-Fette sind normalerweise flüssig – also eigentlich eher Fruchtfleisch-Öle.
Die Samen-Fette werden aus den eigentlichen Samen der Pflanzen der Pflanzen gewonnen. In diese Gruppe gehört die größte Zahl der pflanzlichen Fette – zumeist auch Öle. Erdnuß, Haselnuß und Walnuß besitzen als Samen eine Nuß. Aus den Kernen von Sonnenblumen, Kürbis, Ölpalme wird ebenfalls sehr verbreitet Öl gewonnen. Weitere Öle werden aus den Samen von Sesam, Baumwollsaat, Leinsamen, Sojabohnen und Raps gewonnen.
Von einigen Samen werden nur die Keimlinge zur Ölgewinnung genutzt. Die gewonnenen Keimöle sind besonders wertvoll.
Tierische Fette kennen wir von Säugetieren (z.B. Rind, Schwein, Schaf (Hammel), Robbe, Wal), von diversen Vögeln (z.B. Ente, Gans) und von Fischen (z.B. diverse Heringsartige).
Aggregatzustand und Herkunft fließen fast immer in den Namen des Fettes ein (z.B.: Rapsöl, Kokosfett, Fischöl, Gänsefett, ...). Bei den tierischen Fetten unterscheidet man auch nach Milch- bzw. Körperfetten.
Normalerweise stammen die Öle und Fette immer nur von einer Tier- oder Pflanzenart ab. Sie werden dann als reine Fette bezeichnet. (Trotzdem bestehen sie Art-abhängig aus verschiedenen Triglyceriden (s.a. → 3.1.2. Aufbau der Fette). In der Küche sind aber auch Gemische gebräuchlich. Salatöle werden z.B. aus verschiedenen pflanzlichen Ölen gemischt. Bekannt sind auch die verschiedenen Margarinen und die Kunstspeisefette. Sie sind nicht etwa künstlich (durch den Menschen) hergestellt worden, sondern nur aus verschiedenen natürlichen (tierischen und pflanzlichen) Ölen und Fetten gemischt worden. Der Verwendungszweck und die Qualität bestimmt dabei über Mischung bzw. Reinheit.
Aus dem Milchfett der Rinder wird Butter hergestellt. Dieses Fett hat in der heimischen Küche eine große Bedeutung. Wird das Wasser und die ebenfalls enthaltenden Eiweiße abgetrennt (Butter-Läutern), entsteht Butterschmalz. Butterschmalz ist wegen des wesentlich geringenen Wassergehalts viel länger haltbar als Butter und auch als Bratfett geeignet.
Für diätetische Zwecke wird auch mit künstlich hergestellten oder bearbeiteten Fetten (Designer-Lipide) experimentiert. Sie werden durch Umesterung (Austausch der Fettsäuren) und den Einbau von unverdaulichen Fettsäuren (z.B. Behensäure) hergestellt. Dadurch kann der nutzbare Energiegehalt auf rund 50% reduziert werden. Durch den Austausch oder den Einbau von mittellangen Fettsäuren (z.B. Caprylsäure, Laurinsäure) lässt sich der Energiegehalt auf rund 75 % drücken. Künstlich hergestellte Fette haben aber noch keinen großen Anwendungsbereich in der europäischen Ernährung gefunden. In den USA sind verschiedene Kunst-Fette recht weit verbreitet.
Desweiteren gibt es eine immer größer werdende Zahl von Fett-Simulatoren und Fett-Ersatzstoffen (z.B. Simplesse, Fibrim, Maltrin, N-Oil, Olestra). Sie sind aber keine Fette, so

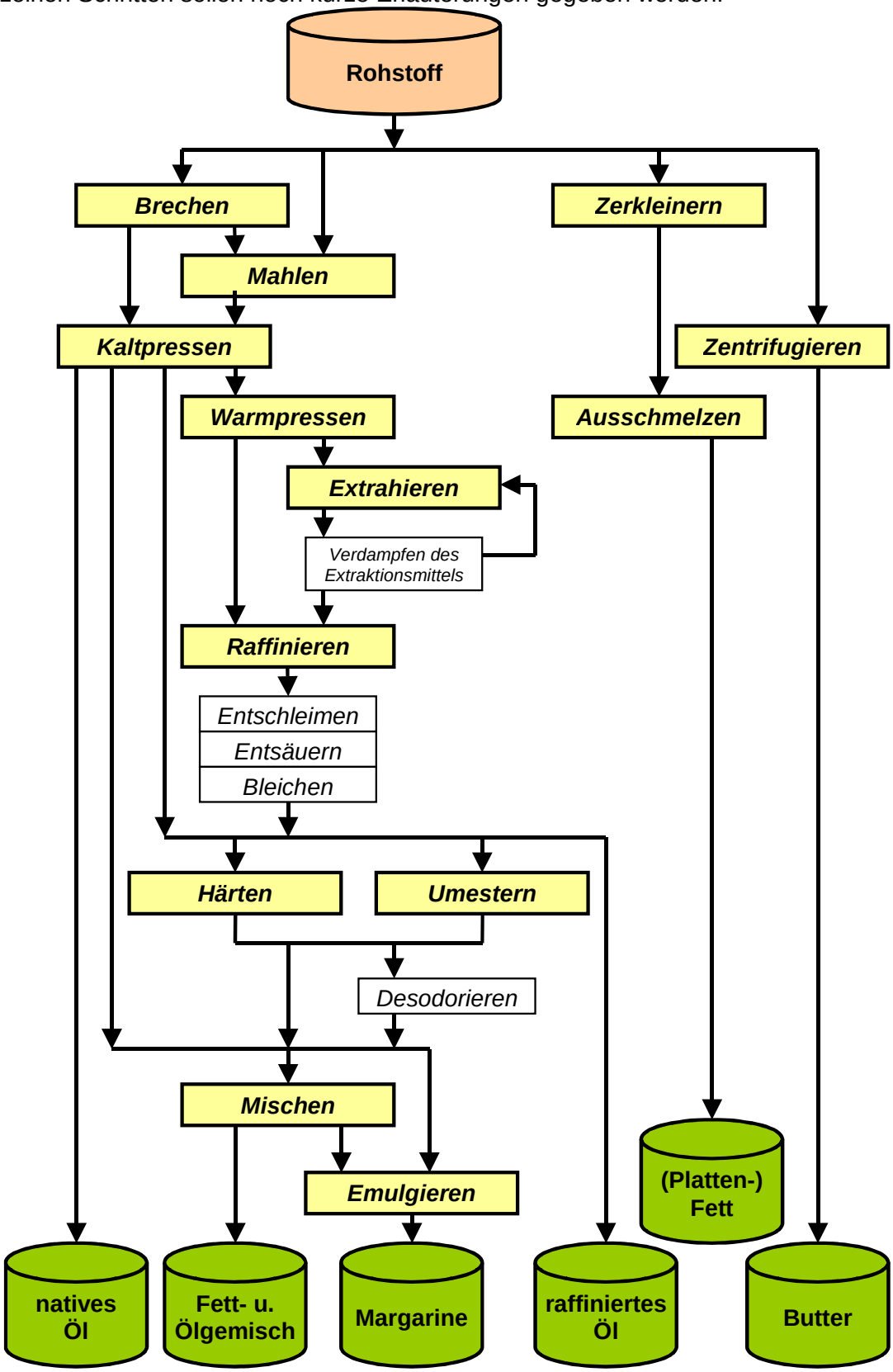
dass sie hier nicht weiter betrachtet werden. (siehe dazu → 3.10.x. Fettersatzstoffe und Fettsimulatoren)
Entgegen der landläufigen Meinung sind nicht alle Fette völlig wasserfrei. Butter und Margarine enthalten zwischen 5 und 20 % Wasser. Deshalb werden sie auch als wasserhaltige Fette bezeichnet. Sie lassen sich nur bis ungefähr 150 ℃ e rhitzen. Wasserfreie Fette (z.B.: Pflanzenöle, Schweine- und Butterschmalz) enthalten unter 1 % Wasser und lassen sich ohne weiteres bis auf 200 ℃ erhitzen.

Aufgabe:

Erstellen Sie ein komplexes Schema, in dem möglichst viele (aber wissenschaftlich sinnvolle) Unterscheidungsmöglichkeiten verwendet werden (s.a. obige Unterteilung). An jedem Zweig-Eende sollten dann auch zwei Beispiele stehen.

3.1.1.2. Gewinnung von Fetten und Ölen

Die Herstellung bzw. Gewinnung von Fetten und Ölen ist ein sehr vielgestaltiges Verfahren. Je nach Rohstoff müssen bestimmte Verfahrensschritte hinzugefügt werden oder können entfallen. Im folgenden Grob-Schema sind die wichtigsten technologischen Schritte zusammengestellt.
Zu einzelnen Schritten sollen noch kurze Erläuterungen gegeben werden:



3.1.2. Aufbau der Fette

Die Fette, die wir in Lebensmitteln vorfinden – auch wenn sie nur aus einer Quelle stammen (z.B. Sonnenblumenöl) – sind praktisch immer Gemische aus verschiedenen Fett-Molekülen.
Fett-Moleküle (Lipide, Triglyceride, Triacylglycerine) bestehen allgemein immer aus Glycerol- und Fettsäure-Resten (Molekülteilen). Bei echten Fetten (Neutralfetten) sind immer drei Fettsäuren an einem zentralen Glycerol-Molekül angebunden. Unechte Fette – sogenannte Lipoide (Fettähnliche) – enthalten nur ein bis zwei Fettsäuren. Als Ersatz für die dritte und ev. auch für die zweite Fettsäure sind dann andere Molekülreste gebunden.
Fettsäuren sind zumeist längerkettige (aliphatische) organische Säuren (Monocarbonsäuren). In der Natur werden für den Fettaufbau fast nur organische (Alkan- bzw. Alken-)Säuren mit gerader Cohlenstoff-Atom-Anzahl benutzt. Ursächlich dafür ist die Biosynthese der Fettsäuren aus Essigsäure-Bausteinen (C_2-Verbindung, Acetyl-Rest) in den Zellen der verschiedenen Organismen (→ 🕮 Ernährungslehre – Stoff- und Energiewechsel).
Einige typische Vertreter der Alkansäuren werden in der folgenden Tabelle vorgestellt:

Name	chemische Formel
Buttersäure	C_3H_7COOH
Caprylsäure	$C_7H_{15}COOH$
Palmitinsäure	$C_{15}H_{31}COOH$
Stearinsäure	$C_{17}H_{35}COOH$

Am Beispiel der Buttersäure – der kleinsten Fettsäure – wollen wir uns den Bau noch etwas genauer ansehen.
Buttersäure-Moleküle bestehen auf der einen Seite aus einer alkanartigen Cohlenstoff-Kette mit den anhängenden Wasserstoff-Atomen. Insgesamt wird dieser Teil auch als Alkyl-Rest (Acyl-Rest, beim Alkyl fehlt im Vergleich zum Alkan ein H; Alkyle haben eine freie Bindung) gekennzeichnet. Auf der anderen Seite befindet sich die funktionelle Gruppe der Alkansäuren – die Carboxyl-Gruppe (-COOH). Umgangssprachlich könnte man sie auch als Säure-Gruppe bezeichnen.

```
     H   H   H     O
     |   |   |    //
H - C - C - C - C
     |   |   |    \
     H   H   H     O - H

 CH3 -CH2 -CH2 - COOH
```

Alkyl-Rest – ***Carboxyl-Gruppe***

Säure-Rest – ***Säure-Gruppe***

Exkurs: Butan

Butan ist das Alkan (gesättigter Kohlenwasserstoff), der die gedachte Baubasis für die Butansäure (Buttersäure) darstellt:

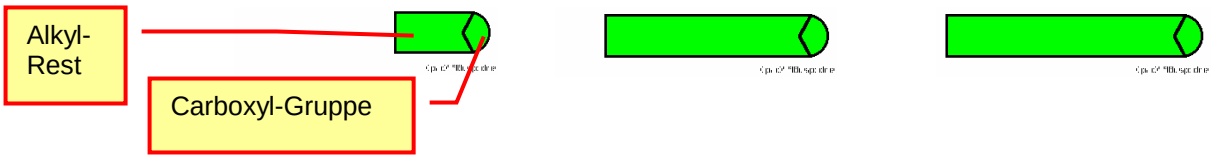
```
     H   H   H   H
     |   |   |   |
H - C - C - C - C - H
     |   |   |   |
     H   H   H   H
```

Alle Bindungen zwischen Cohlenstoff und Cohlenstoff sind Einfachbindungen. Insgesamt hat jedes C-Atom vier Bindungen zu irgendwelchen anderen Atomen.

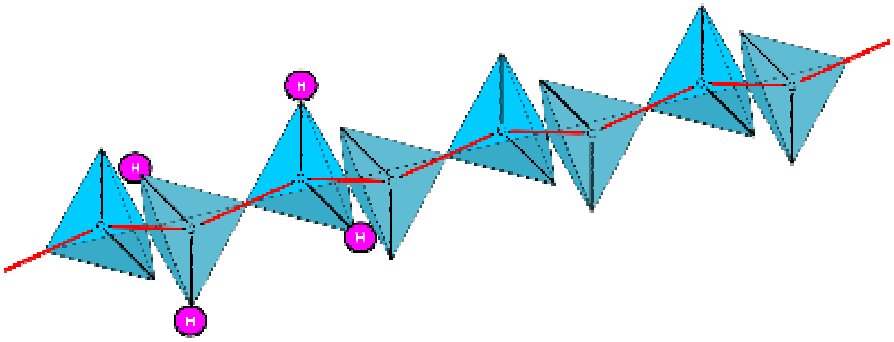
Die anderen Fettsäuren unterscheiden sich eigentlich nur in der Länge des Alkyl-Restes von der Buttersäure. Die Kettenverlängerung wird durch vermehrtes Auftreten der CH_2-Gruppe erreicht.

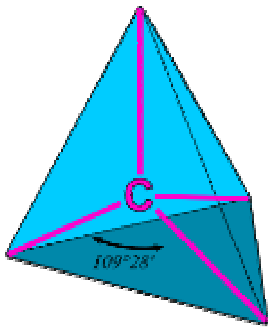
$$CH_3\ (-\ CH_2\ )_n-\ CH_2\ -\ COOH \qquad n = 1,3,5,7,9,...$$

Als stark vereinfachtes Modell verwenden wir zur Verdeutlichung der unterschiedlichen Kettenlängen:



Ganz so linear sind die Moleküle dann doch nicht gebaut. Die Bindungen an einem Cohlenstoff-Atom mit vier einzelnen Bindungen stehen im Raumwinkel von rund 109° zueinander. Es entsteht eine abgewinkelte Struktur, die an eine Zick-Zack-Linie erinnert.
Für jedes C-Atom ergibt sich eine Tetraeder-Struktur der Bindungspartner. Das C-Atom liegt dabei im Zentrum des Tetraeders (Dreieckspyramide).



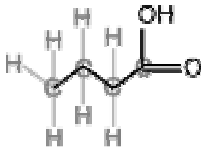


Cohlenstoff-Atom
im Tetraeder-Modell

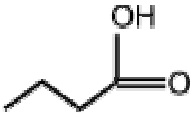
Ausschnitt aus einer Cohlenwasserstoff-Kette als Tetraeder-Modell
(H-Atome an einigen C-Atomen angedeutet, C-Rückrat rot gekennzeichnet)

In der organischen Chemie ist sich jeder Anwender von Strukturformeln bewusst, dass Cohlenstoff vierbindig ist und im Normalfall alle freien Bindungen mit Wasserstoff (H) abgesättigt sind. Um große Moleküle schneller und übersichtlicher darstellen zu können, hat man in der organischen Chemie noch eine weitere Struktur-Schreibung eingeführt – die Gitterstruktur-Formeln. In ihnen wird das Cohlenstoffgerüst als Zick-Zick-Muster gezeichnet. Jeder Knick entspricht einem C-Atom. Funktionelle Gruppen werden vollständig gezeichnet. Die restlichen (einfachen) Bindungen zu Wasserstoff entfallen einfach.

Beispiel: Butansäure (Buttersäure)



Gitterstruktur-Formel
mit zukünftig entfallenen Details



Gitterstruktur-Formel

In diesem Script werden wir auch diese Strukturfomel-Schreibung mit benutzen. Desweiteren werden wir aber auch eine Mischform verwenden, in der sowohl das Cohlenstoff-Gerüst als auch die funktionellen Gruppen gezeichnet werden. Es entfallen nur die einfachen Wasserstoff-Bindungen. Reaktionsstellen werden desöfteren rot hervorgehoben.
Neben den Alkansäuren sind auch Alkensäuren in den Fetten vorhanden. Diese sogenannten ungesättigten Fettsäuren besitzen eine oder mehrere Doppelbindungen zwischen den C-Atomen. Fettsäuren mit mehreren Doppelbindungen im Alkyl-Rest heißen mehrfach ungesättigte Fettsäuren (Alkdiẻn-, Alktriẻn- usw. -säuren).

$CH_3 (- CH_2)_n - CH = CH (- CH_2)_m - COOH$ $\quad n = 1,3,5,7,9,...$ $\quad m = 8$

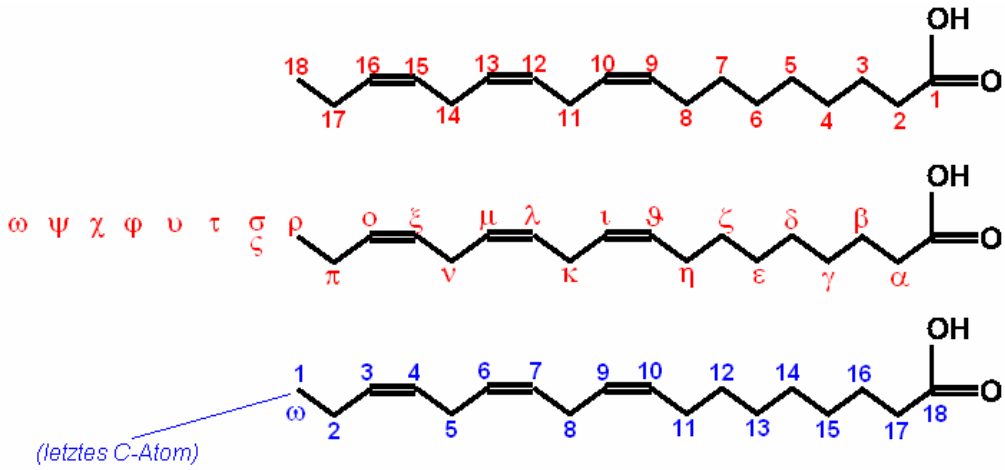
Alkylen-Rest – ***Carboxyl-Gruppe***

Die auffälligste Veränderung im Molekülbau ist dabei ein entstehender Knick genau an der Doppelbindung. Dieser ergibt sich aus einer veränderten Lage der Bindungen zueinander. Zwischen den Bindungen liegt jetzt ein Winkel von rund 120 °. Die Gitterstruktur-Darstellung einer Alkensäure läßt die Lage der Doppelbindung sehr gut erkennen.

cis-Ölsäure
Z-Form (**z**usammengesetzt)

trans-Ölsäure
E-Form (**e**ntgegengesetzt)

Je nach Lage und Art der Anhänge an den Doppelbindungen unterscheidet man cis- und trans-Fettsäuren. Entgegen Einfachbindungen sind Doppelbindungen nicht mehr frei beweglich. Es ergeben sich feste Strukturen. Liegen die längeren Ketten auf der gleichen Seite, dann spricht man von einer cis-Stellung. Die trans-Stellung ist durch eine diagonale Stellung der längeren Ketten gekennzeichnet. In natürlichen Fetten kommen fast nur cis-Fettsäuren vor.
Die Anwesenheit von trans-Fettsäuren in Lebensmitteln deutet zumeist auf chemische Beeinflussung (z.B. Margarine-Härtung) oder Bakterien-Wirkung (z.B. Milchprodukte) hin.
In natürlichen Fettsäuren findet man die erste Doppelbindung erst am 9. Cohlenstoff-Atom des Moleküls. Gezählt wird ab dem höchstoxidierten C-Atom, dass ist in den Fettsäuren die Carboxyl-Gruppe. Weitere Doppelbindungen treten dann alternierend an den Positionen 12, 15 und 18 auf. Es sind aber auch Fettsäuren mit noch anderen Positionen für die Doppelbindungen bekannt.



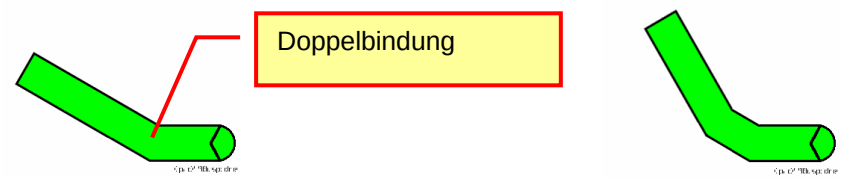
In der Literatur findet man auch ältere Nummerierungsformen. Bei einer werden griechische Kleinbuchstaben für Positionsangaben benutzt. Die erste Nachfolge-Position (hinter dem höchstoxidierten C-Atom) bekommt die Bezeichnung α. Weitere Positionen werden dann in Folge des griechischen Alphabetes vergeben. Natürliche Fettsäuren haben also ihre erste Doppelbindung an der ϑ-Position (theta). Bei den ω-Fettsäuren (omega) betrachtet man das letzte C-Atom der Kette als Position ω (letzter Buchstabe des griech. Alphabets). Die Positionsangabe erfolgt dann durch rückgezählte Positionsnummern. Das Omega wird dabei vorangestellt. Also lässt sich obiges Beispiel auf folgende Möglichkeiten benennen:

Exkurs: griechische Klein-Buchstaben

α	alpha	ι	jota	ρ	rho
β	beta	κ *x*	kappa	σ ς	sigma
γ	gamma	λ	lambda	τ	tau
δ	delta	μ	my	υ *v*	ypsilon
ε	epsilon	ν	ny	ϕ	phi
ζ	zeta	ξ	xi	χ	chi
η	eta	ο	omikron	ψ	psi
ϑ	theta	π	pi	ω	omega
		ϖ		θ	

IUPAC-Nomenklatur (seit 1980 verbindlich)	all-cis-9,12,15-Octadecatriensäure all-cis-Octadeca-9,12,15-triensäure	trivial: α-Linolensäure Kürzel: αLnn
veraltet:		
	Omega 3,6,9- säure	

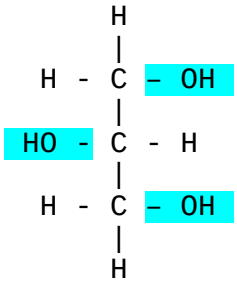
In den unten abgebildeten Modellen wird die Wirkung einer Doppelbindung auf den Molekülbau verdeutlicht. Je mehr Doppelbindungen im Molekül sind, umso mehr Knicke hat das Molekül.

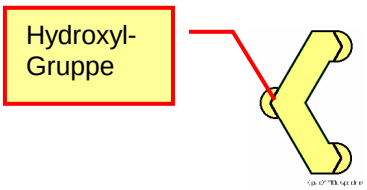


In natürlich vorkomenden Fettsäuren finden wir immer die cis-Stellung. Dadurch ergeben sich auch die deutlichen "Knicke" im Molekül.
Die wichtigsten fettbildenden, ungesättigten Fettsäuren sind:

Name	chemische Formel	Anzahl der Doppelbindungen
Ölsäure	$C_{17}H_{33}COOH$	1
Linolsäure	$C_{17}H_{31}COOH$	2
Linolensäure	$C_{17}H_{29}COOH$	3
Arachidonsäure	$C_{19}H_{31}COOH$	4
Eicosapentaensäure	$C_{19}H_{29}COOH$	5
Erucasäure	$C_{21}H_{41}COOH$	1

Das zentrale Glycerol-Molekül ist ein dreiwertiger Alkohol, d.h. es besitzt in seinem Molekül drei Hydroxyl-Gruppen (-OH). Diese nennen viele umgangssprachlich Alkohol-Gruppe.
Früher wurde Glycerol auch als Glyzerin (Glycerin) bezeichnet. Um aber mehr Betonung auf den alkoholischen Charakter zu legen, nennt man es heute mehr und mehr Glycerol. Glyzerin ist eine Trivial-Bezeichnung, die in der Chemie und umgebenen Bereich zur einfacheren Benennung verwendet wird. Viele Trivial-Bezeichungen ergeben sich aus historischen Gegebenheiten und sind oft von naturwissenschaftlich falschen Vorstellungen geprägt. Der exakte chemische Name lautet 1,2,3-Propantriol (auch: Propan-1,2,3-triol).

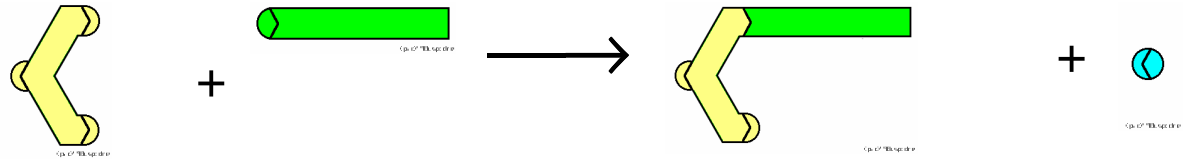




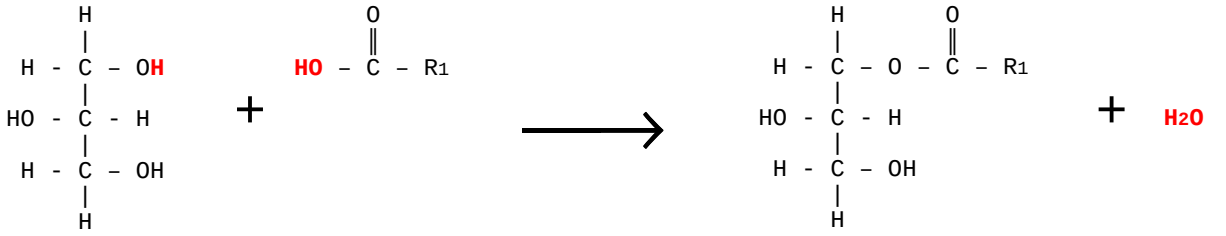
Das nebenstehende Modell verdeutlicht die wesentlichen Details des Molekül-Baus für unsere Zwecke.

3.1.2.1. Bildung von Fetten (Triglyceriden)

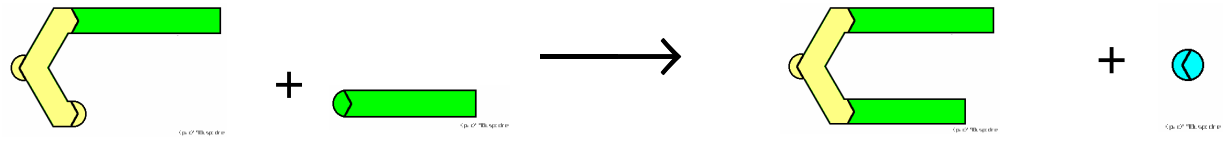
An den Alkohol-Enden des Glycerol-Moleküls können die Fettsäuren ankoppeln. Bei dieser Reaktion wird jeweils ein Molekül Wasser abgespalten. Chemisch ist dies eine Veresterung.
Betrachten wir die eintretenden Reaktionen als chemische Gleichung einmal am Modell sowie mit Strukturformeln:



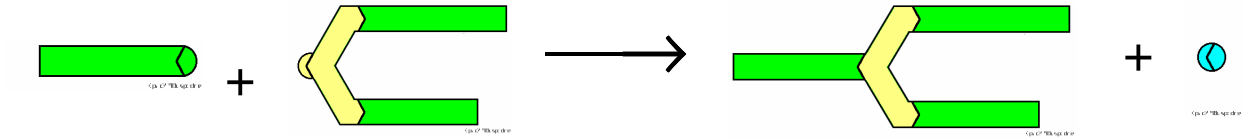
Glycerol + ***Fettsäure*** ⟶ ***Monoglycerid*** + ***Wasser***



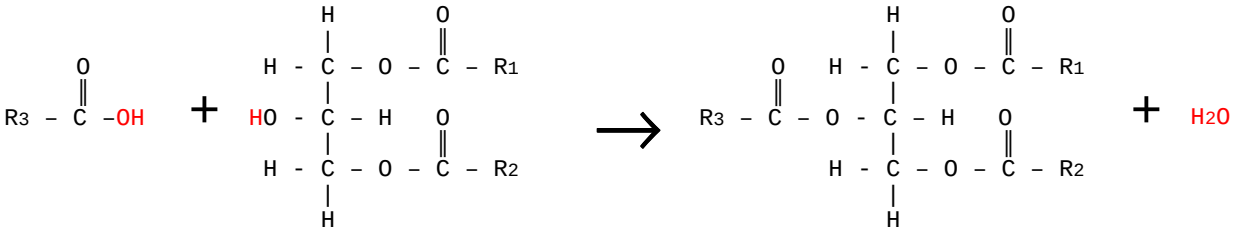
Auf das Aufschreiben der vollständigen Alkyl-Kette verzichtet man normalerweise. Stattdessen wird ein **R** für den Rest geschrieben. Verschiedene Reste werden durchnummeriert, durchbuchstabiert oder durch Hochstriche gekennzeichnet.
Bei der Reaktion entsteht ein Monoglycerid (früher auch: Monolipin) – also ein Glycerol-Molekül mit einem Anhang. An welcher Position die erste Reaktion erfolgt ist purer Zufall. Von der Wahrscheinlichkeit her wird es aber zuerst eine endständige Hydroxyl-Gruppe betreffen. Die Endständigen Positionen werden α bzw. α' genannt. Die mittlere heißt β.
Chemisch kann man die Glycerid-Bildung nicht nur als Veresterung sehen (Alkohol + Säure reagieren zu Ester und Wasser), sondern auch sehr allgemein als Substitution (Austausch von Atomen oder Atomgruppen in organischen Molekülen). Eine Charakterisierung als Kondensation (Substitution unter Bildung (Abspaltung) eines kleinen Moleküls) ist ebenfalls möglich.
Die Hinreaktion wird durch die Verwendung von Säuren (z.B. konzentrierte Schwefelsäure)als Katalysator beschleunigt. Die Protonen sorgen für zusätzliche Polaritäten und die Schwefel entzieht dem Gleichgewicht das Wasser. Dieses fehlt dann für eine Rückreaktion.
Bei weiteren Reaktionen mit anderen oder den gleichen Fettsäuren entstehen schrittweise Di- und Triglyceride (Di- und Trilipine).



Monoglycerid + ***Fettsäure*** ⟶ ***Diglycerid*** + ***Wasser***



Fettsäure + Diglycerid ⟶ Triglycerid + Wasser



Das Reaktionsprodukt (Tri(acyl)glycerid) entspricht dem fertigen Fett-Molekül (Neutralfett).
Die natürlich vorkommenden Fette (z.B. Olivenöl, Sonnenblumenöl, Schweineschmalz, Kokosfett) sind immer Gemische verschiedener Triglyceride. In diesen ist der Anteil – als auch die Stellung der Fettsäuren am Glycerol – variabel.

Die exakte Benennung der Triglyceride ist z.T. sehr aufwändig. Entsprechend der IUPAC-Nomenklatur sind sie als Ester zu bezeichnen. In der Lebensmittelchemie gibt es parallel laufende Trivialbezeichnungen. Hier werden die Triglyceride durch die Endung **–in** gekennzeichnet. Diese wird an die Fettsäure-Namensstämme (ohne –säure) angehängt. Mehrere Fettsäuren werden nach Kettenlänge, Sättigung und Sättigungsgrad geordnet.

Der besprochene Aufbau von Fetten stellt nur die Endreaktionen dar. In den Zellen müssen auch die Baubestandteile (Glycerol und Fettsäuren) produziert und viele Fette später noch weiter umgewandelt (z.B. zu Phospho-Lipiden) werden. Alle aufbauenden Prozesse im Fett-Stoffwechsel nennen wir Lipogenese (lipos: Fett; geneses: Entwicklung, Reife).

Aufgaben:

1. *Stellen Sie die Gleichungen für die Bildung eines Triglycerids nur aus Buttersäure als Fettsäure auf!*
2. *Fassen Sie die drei Einzelgleichungen zu einer Gesamtgleichung zusammen! (Stoffe, die auf beiden Seiten auftauchen, werden rausgestrichen!)*

für die gehobene Anspruchebene:

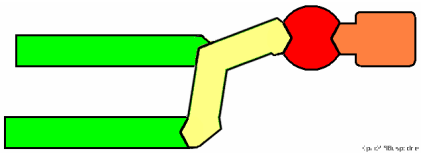
3. *Stellen Sie die Gleichungen der Veresterungen für die nachfolgenden Ausgangsstoff-Kombinationen auf!*
   a) Ethanol + Phosphorsäure b) Ethanol + Essigsäure c) Glycerol + Schwefelsäure
4. *Klären Sie den Aufbau der folgenden Triglyceride:*
   a) Trilinolenin b) Distearo-olein c) Palmito-dilinolenin
   d) Stearo-linolo-arachnidin e) Mystino-arachino-linolenin

Exkurs: weitere Einteilungsmöglichkeiten

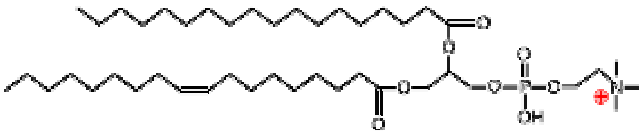
nach dem Anteil verschiedener Fettsäuren in einem Triglycerid:
reinsäurig:
- einsäurige Triglyceride: enthalten nur eine Art Fettsäure im Molekül

gemischtsäurig:
- zweisäurige Triglyceride: enthalten zwei verschiedene Fettsäuren im Molekül (mind. eine FS ist also doppelt)
- dreisäurige Triglyceride: enthalten drei verschiedene Fettsäuren in einem Molekül Glycerid

3.1.2.2. Bildung von Lipoiden

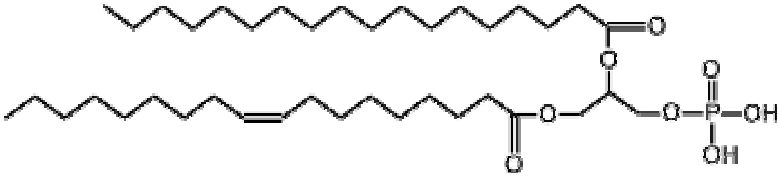


Molekül-Modell von Lecithin

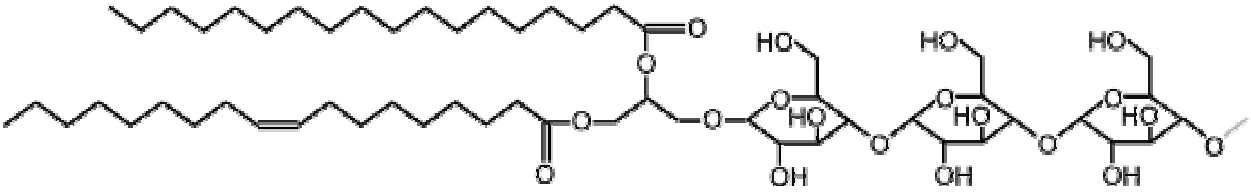


Gitterstruktur-Formel eines Lecithin's

In der belebten Natur spielen auch andere Triglyceride eine wichtige Rolle. Neben zwei Fettsäuren ist bei ihnen ein anderes Molekül an das Glycerol gebunden. Man spricht dann von **Lipoide**n - fettähnlichen Stoffen. Ein Beispiel ist das Lecithin. Nebenstehendes Modell zeigt ein Lecithin, das neben einer gesättigten und einer ungesättigten Fettsäure noch Phosphorsäure (im Modell **rot** gekennzeichnet) und Cholin (im Modell **orange**) enthalten.
Lecithin gilt als die "Kitsubstanz" in den Biomembranen (z.B. Zellmembran).
In der Lebensmittel-Industrie wird es vorrangig als Emulgator (E 322) verwendet. Man findet Lecithin in Backwaren, Milchprodukten (z.B. Margarine), Schokoladenerzeugnissen, Fixprodukten (Instant-Erzeugnisse) und Futtermitteln.
Außerhalb des Lebensmittelbereiches verwendet man Lecithin in der Kosmetik-Industrie und bei der Produktion von Pflanzenschutzmitteln.
Ist nur Phosphorsäure angeestert, dann spricht man von Phospholipiden (auch: Phosphatide). Diese sind ein wichtiger Bestandteil der Biomembranen (z.B. Zellmembran). Sie sind durch das Vorhandensein von zwei scheinbar gegensätzlichen Eigenschaften in einem Molekül gekennzeichnet. Auf der einen Seite sind sie – typisch für Fette – natürlich fettlöslich. Auf der anderen Seite sind sie dagegen wasserlöslich. In den Zellen stellen Phosphatide die Transportform von Fettsäuren und Fetten dar.



In wieder anderen Lipoiden ist als dritter Stoff (neben den zwei Fettsäuren) ein Kohlenhydrat gebunden. Die resultierende Stoffgruppe sind die Glykolipide. Auch diese findet man in den Biomembranen. Allerdings übernehmen sie hier mehr Rezeptor-Funktionen ("Antennen", Sinnesfunktionen).



Einzelne Lipoide werden weiter hinten bei den Fett-verwandten Stoffen (→ 3.1.6. Fett-verwandte Stoffe) etwas ausführlicher vorgestellt.

Aufgaben:

1. *Stellen Sie die Gleichungen für die Bildung eines Triglyceris nur aus Buttersäure als Fettsäure und einmal Phosphorsäure auf! Zu welcher Gruppe von Lipiden | Lipoiden gehört dieses Triglycerid? Begründen Sie Ihre Aussage!*
2. *Fassen Sie die drei Einzelgleichungen zu einer Gesamtgleichung zusammen! (Stoffe, die auf beiden Seiten auftauchen, werden rausgestrichen!)*
3. *Skizzieren Sie sich die Strukturformel von Lecithin ab und kennzeichnen Sie durch farbiges Einkreisen die Bauelemente! Kennzeichnen Sie mit anderen Farben die fett-freundlichen und die eher wasserfreundlichen Molekülregionen! Leiten Sie dies aus den bekannten Baustein-Eigenschaften ab!*

für die gehobene Anspruchebene:

4. *Warum eignen sich Phospholipide besonders gut zum Aufbau einer Biomembran (Doppelmembran (z.B. Zellmembran))?*

3.1.2.0.1 Übersicht über die fettbildenden Fettsäuren

gesättigte Fettsäure

exakter chemischer Name	**Trivialname**	Anzahl C-Atome	Anzahl Doppelbin-dungen	Position(en) der Doppel-bindung(en)	**Kurzbezeichnung**	
Butansäure	Buttersäure	4	0	-	***4:0***	
Pentansäure	Valeriansäure	5	0	-		
Hexansäure	Capronsäure	6	0	-	***6:0***	
Heptansäure	Oenanthylsäure	7	0	-		
Octansäure	Caprylsäure	8	0	-	***8:0***	
Decansäure	Caprinsäure	10	0	-	***10:0***	
Dodecansäure	Laurinsäure	12	0	-	***12:0***	
Tetradecansäure	Myristinsäure	14	0	-	***14:0***	
Hexadecansäure	Palmitinsäure	16	0	-	***16:0***	
Octadecansäure	Stearinsäure	18	0	-	***18:0***	
Eicosansäure	Arachinsäure	20	0	-	***20:0***	
Docosansäure	Behensäure	22	0	-	***22:0***	
Tetracosansäure	Lignocerinsäure	24	0	-	***24:0***	
Hexacosansäure	Cerotinsäure	26	0	-	***26:0***	
Octacosansäure	Montansäure	28	0	-	***28:0***	
Triacontansäure	Melissinsäure	30	0	-	***30:0***	

ungesättigte Fettsäure

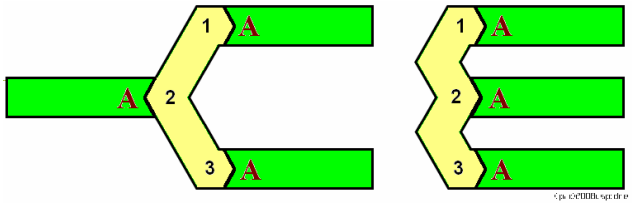
exakter chemischer Name	Trivialname	Anzahl C-Atome	Anzahl Doppelbin-dungen	Position(en) der Doppel-bindung(en)	Kurzbezeichnung	
5-Dodecensäure	Lauroleïnsäure	12	1	5	***12:1 (5)***	
9-Tetradecensäure	Myristoleïnsäure	14	1	9	***14:1 (9)***	
9-Hexadecensäure	Palmitoleïnsäure	16	1	9	***16:1 (9)***	
9-Octadecensäure	Ölsäure	18	1	9	***18:1 (9)***	
9-Eicosensäure	Gadoleïnsäure	20	1	9	***20:1 (9)***	
13-Dodecensäure	Erucasäure	22	1	13	***22:1 (13)***	
9,12-Octadecadiensäure	Linolsäure	18	2	9, 12	***18:2 (9, 12)*** ***18:2, Omega-6***	essentiell
9,12,15-Octadecatriensäure	α-Linolensäure	18	3	9, 12, 15	***18:3 (9, 12, 15)*** ***18:3, Omega-3***	essentiell
6,9,12- Octadecatriensäure	γ-Linolensäure	18	3	6, 9, 12	***18:3 (6, 9, 12)*** ***18:3, Omega-6***	essentiell
5,8,11,14-Eicosatetraensäure	Arachnidonsäure	20	4	5, 8, 11, 14	***20:4 (5, 8, 11, 14)*** ***20:4, Omega-6***	essentiell
5,8,11,14,17-Eicosapentaensäure		20	5	5, 8, 11, 14, 17	***20:5 (5, 8, 11, 14, 17)*** ***20:5, Omega-3***	
4,7,10,13,16,19-Docosahexaensäure		22	6	4, 7, 10, 13, 16, 19	***22:6 (4, 7, 10, 13, 16, 19)*** ***22:6, Omega-3***	

3.1.2.1. Vielfalt der Fette

(Makroskopische) Einteilungsmöglichkeiten für Fette sind die Herkunft, Farbe, Geschmack oder der Aggregatzustand. Viele Fette sind Gemische aus verschiedenen Fett-Molekülen. Die unterschiedlichen Moleküle ergeben sich durch die verschiedenen Fettsäuren, die jeweils an den Hydroxyl-Gruppen angebunden werden können. Somit ergeben sich - neben der Einteilung über die gesättigten und ungesättigten Fettsäuren - noch weitere submikroskopische Einteilungs- und Unterscheidungsmöglichkeiten für Fette.
In natürliche Fetten kommen immer nur wenige verschiedene Fett-Moleküle vor. Oft ist dies sogar nur eine Art. Die Fett-Moleküle sind für das Fett charakteristisch und bestimmen letztendlich den typischen Geschmack. Dazu kommen noch natürliche Farb- und Geschmacksstoffe.
Bei künstlicher Herstellung oder Manipulation (Veränderung) der Moleküle nehmen die Variationsmöglichkeiten normalerweise zu. Betrachten wir einige Fälle um den Sachverhalt deutlicher darzustellen.

Fett-Moleküle mit einer Fettsäure

Sind die Bindungsstellen am Glycerol alle mit der gleichen Fettsäure **A** beladen, dann kann nur ein Fett entstehen. Das Fett könnte den Code **AAA** bekommen. Dieser Code soll bedeuten, dass an allen drei Bindungsstellen (1,2 u. 3) jeweils die Fettsäure A angelagert ist.



In der Chemie bezeichnet man die äußeren Bindungsstellen (1 u. 3) mit α und α'. Die mittlere (2) erhält die Kennzeichnung β. Dabei ist es unerheblich, ob man das E- oder Y-Modell für ein Fett-Molekül benutzt.

Fett-Moleküle mit zwei Fettsäuren

In unserem nächsten Beispiel sollen die Fettsäuren A und B angebunden sein (→ gemischtsäuriges Triglycerid). Hierfür ergeben sich folgende Codes – je nachdem welche Fettsäure zufällig an welche Andockstelle bindet:

AAB **ABA** **BAA** **ABB** **BAB** **BBA**

und auch die Sonderfälle (einsäurige Triglyceride):

AAA **BBB**

sind möglich.
Es sind also theoretisch acht (= 2^3) Möglichkeiten des Molekülbaus denkbar.
Betrachtet man den ersten und den dritten Fall aber genauer, dann stellt man fest, dass sie nur spiegelbildlich sind. Da sich die Moleküle in ihrer Originalumgebung aber frei bewegen, besteht praktisch also kein Unterschied. Insgesamt ergeben sich somit nur vier verschiedene Molekülarten (**AAB**, **ABA**, **ABB** u. **BAB**) bei zwei verschieden Fettsäuren zuzüglich der zwei Sonderfälle (**AAA** u. **BBB**). Damit sind also sechs verschiedene Fette (Triglyceride) möglich, wenn nur zwei Fettsäuren zur Auswahl stehen.

Fett-Moleküle mit drei Fettsäuren

Schauen wir uns noch ein weiteres Beispiel an. Hier sollen drei verschiedene Fettsäuren (A, B und C) angelagert werden können. Es ergeben sich nun insgesamt die folgenden 27 (= 3^3) Varianten:

AAA	**AAB**	**AAC**	**ABA**	**ABB**	**ABC**
ACA	**ACB**	**ACC**	**BAA**	**BAB**	**BAC**
BBA	**BBB**	**BBC**	**BCA**	**BCB**	**BCC**
CAA	**CAB**	**CAC**	**CBA**	**CBB**	**CBC**
CCA	**CCB**	**CCC**			

von denen nur:

AAA	**AAB**	**AAC**	**ABA**	**ABB**	**ABC**
ACA	**ACB**	**ACC**	**BAA**	**BAB**	**BAC**
BBA	**BBB**	**BBC**	**BCA**	**BCB**	**BCC**
CAA	**CAB**	**CAC**	**CBA**	**CBB**	**CBC**
CCA	**CCB**	**CCC**			

wirklich unterschiedliche Moleküle darstellen. Mit drei verschiedenen Fettsäuren sind somit theoretisch 18 verschiedene Fet-Moleküle bildbar.
In den Zellen sorgen Enzyme für immer ähnliche bzw. gleiche Kombinationen der Fettsäuren am Glycerol. So werden charakteristische Fett-Moleküle (Triglyceride) gebildet, die in der Mischung dann das typische tierische oder pflanzliche Fett ergeben. Geschmack und Konsistenz werden entscheidend davon beeinflusst.

Aufgaben:

1. *In einem Becherglas mit reichlich Glycerol- und Fettsäure-Molekülen (Fettsäuren X, Y und Z) herrschen solche Bedingungen, dass Fette gebildet werden können. Wieviele verschiedene Fett-Moleküle könnten im Becherglas entstehen? Begründen Sie ihre Meinung!*
2. *In welchen Verhältnis entstehen die verschiedenen Triglyceride?*

Für Freaks:

3. *Wieviele Fett-Moleküle könnten bei Vorhandensein von 4 Fettsäuren gebildet werden?*

Die Öle alter Raps-Sorten enthielten bzw. enthalten sehr große Mengen an Erucasäure. Diese verleiht dem Öl einen aufdringlichen – und als unangenehm empfundenen – Geschmack. Ein hoher Erucasäure-Anteil ist auch gesundheitlich bedenklich. Moderne Sorten wurden weitgehend Erucasäure-frei gezüchtet. Statt der Erucasäure sind in den Fetten nun Linol- und Ölsäure eingebaut. Deshalb wird heute auch vermehrt Raps-Öl im Lebensmittelhandel angeboten und uns als sehr gesund angepriesen. Trotz alledem ist der Geschmack von Raps-Öl sehr prägnant und wird nicht von Jedem als angenehm wahrgenommen.

prozentuale Verteilung der Fettsäuren in Fetten

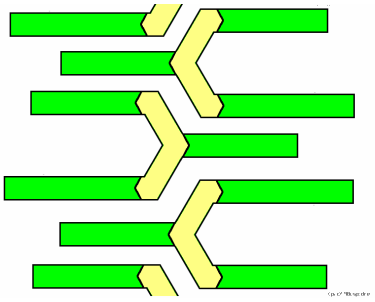
Fettsäuren	gesättigte								ungesättigte						
Fett	Buttersäure C4		Laurinsäure C12	Myristinsäure C14	Palmitinsäure C16	Stearinsäure C18		andere (od. gesamt)		Ölsäure C18:1	Linolsäure C18:2	Linolensäure C18:3	andere (od. gesamt)	gesamt einfach ungesättigt	gesamt mehrfach ungesättigt
Walöl					18	1		10		32	5		16		
Olivenöl				2	11-15	2				71-74	7-8	1	1-2		
Oliven-Trester-Öl (Fritieröl)					11					69	11-12	1			
Sonnenblumenöl				<1	5-6	2		1		25-27	62-65	<1			
Leinöl					7	3				18	14	58			
Walnussöl								*9*						*17*	*66*
Sesamöl					9			*14*		38	43	1		*37*	*40*
Mandelöl					6					64	24	<1			
Maisöl					10					30	54	1			
Haselnussöl					5					80	10	<1			
Färberdistelöl				<1	7					13-14	73	<1			
Rapsöl					4					60	18	8			
Rapsöl (high oleic)					3					70	16	2			
Palmöl				1	42-43					38	9				
Sojaöl				<1	10-11					22	53	6			
Reisöl (Rice bran oil)				<1	18					38	31	<1			
Schweineschmalz				2	27	14				45	8		4		
Butter	3		3	9	27	10		9		30	4	1	4		
Rindertalg					30	20		4		39	3		4		
Kokosfett			48	15	9	3		17		6	2				
Biskin								12						21	59
Mazola Olivenöl								12						36	43
HOSO				<1	3					76-77	13	<1			
Palmolein				1	39					41-42	11	<1			

Datenquellen: *unklare (widersprüchliche) Werte kursiv*
www.tomchemie.de/kennzahlenvonfetten.htm
williswissensweb.hompage.t-online.de/Chemie1(Lebensmittel/SFettkennzahlen.html

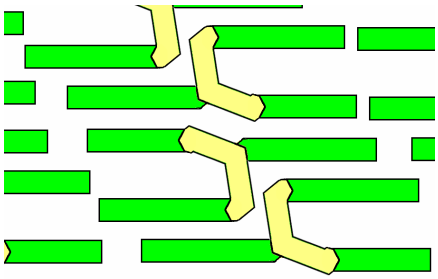
3.1.3. Eigenschaften der Fette

3.1.3.1. Allgemeine (physikalische und chemische) Eigenschaften von Fetten

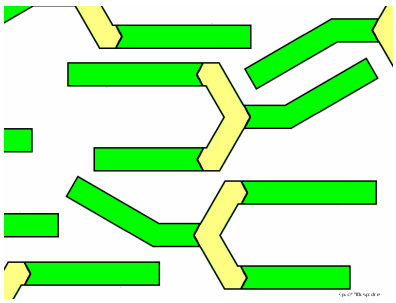
Bei den Fetten unterscheidet man je nach **Aggregatzustand** die festen Fette und die flüssigen (fetten) Öle. Maßstab hierbei ist hier – wie üblich – der Charakter des Stoffes bei Zimmertemperatur (25 ℃).
Der feste Zustand ergibt sich durch die geordnete Lage der einzelnen Fett-Moleküle zueinander. Es entsteht ein kristallartiges Gebilde. Die Moleküle liegen in der recht energiearmen und stabilen Stimmgabel- bzw. Y-Form vor. Von Chemikern wird sie auch als β-Modifikation bezeichnet. Zwischen den Molekül-Resten herrschen relativ große Anziehungskräfte (VAN-DER-WAALS-Kräfte). Die Moleküle können sich deshalb kaum bewegen - sie liegen fest aneinander. Um den Stoff beweglicher – also flüssig – zu machen, muss Energie, z.B. in Form von Wärme zugeführt werden. Dann überwiegt die Bewegungs-Energie (kinetische Energie) die zwischenmolekularen Anziehungskräfte.
Besonders dicht – und damit besonders fest aneinander – liegen die Fett-Moleküle in echten Fett-Kristallen. Hier wird eine leicht verdrehte Lage des Glycerols diskutiert (β'-Modifikation). Diese ist möglich, da alle Bindungen in dieser Region Einfachbindungen sind. Sie sind allgemein frei drehbar. Die Molekülreste ordnen sich so an, dass eine möglichst energiearme Konstellation erreicht wird.



Stimmgabel- od. Y-Form (β-Modifikation)



Stuhl-Form (β'-Modifikation)



Für die **Fließeigenschaft** von Ölen gibt es zwei mögliche Ursachen. Zum Ersten kann dies durch kurzkettige Fettsäuren bedingt sein, die nicht genügend Haftflächen untereinander besitzen und sich dadurch nicht so stark anziehen können. Die zweite Ursache kann der Anteil an ungesättigten Fettsäuren sein. Durch den geknickten Molekülbau können auch hier nicht die notwendigen dichten Packungen von Molekülen entstehen. Die relativ schwachen Anziehungskräfte (VAN-DER-WAALS-Kräfte) bedingen den flüssigen Zustand.
Die wohl einprägsamste Eigenschaft der Fette ist ihre **Unlöslichkeit in Wasser**. Diese beruht auf den wasserabweisenden Ketten der Fettsäuren. Man bezeichnet dies auch als wasserfeindlich bzw. hydrophob (hydro = Wasser; phobus = Feind). Das reine Glycerol ist noch in Wasser lösbar. Hierfür sorgen die alkoholischen Reste im Molekül. Durch die Veresterung von Glycerol und Fettsäuren werden diese wasserliebenden Molekül-Teile immer mehr von den wasserabweisenden Teilen abgeschirmt. Wasserliebende Teile werden auch wasserfreundlich bzw. hydrophil (hydro = Wasser; philus = Freund) genannt.
Die Fette sind letztendlich nicht mehr wasserlöslich. Dafür lösen sie sich in anderen - ebenfalls wasserfeindlichen Lösungsmitteln - wie Benzin, Benzen (Benzol), verschiedenen Ethern und Tetra(-chlorcohlenstoff). Solche Stoffe (Lösungsmittel; aber auch nur bestimmte Molekül-Regionen usw.) nennen wir auch fettfreundlich (lipophil, lyophil). Die Fett-freundlichen Eigenschaften beruhen im Wesentlichen auf den exponierten, unpolaren Alkyl-Resten der Fettsäuren.
Einige wenige Lösungsmittel sind durch ihren speziellen Bau sogar in der Lage, sowohl Fette als auch Wasser zu lösen. Man denke nur an Alkohol und das Aceton (Hauptbestandteil in Nagellack-Entfernern).

Stoffe oder Molekülbereiche die sich gut in Fetten oder unpolaren Lösungsmitteln lösen, werden lipohil (fettfreundlich) genannt. Lipophobe Stoffe oder Molekülbereiche sind dementsprechend fettfeindlich – also hydrophil.

Aufgaben:

1. *Stellen Sie Thesen (Voraussagen mit Begründung) auf, wie der Molekülbau von Alkohol und Aceton aussehen müsste!*
2. *Suchen Sie sich aus dem Tafelwerk oder anderen geeigneten Quellen die Strukturformeln für Alkohol (Ethanol) und Aceton heraus!*
3. *Prüfen Sie Ihre Thesen an den realen Strukturen!*

Das Mischen von Öl und Wasser ergibt ein bekanntes Bild. Das Öl (meist leicht gelblich oder grünlich) setzt sich deutlich auf dem Wasser ab. Es entstehen zwei Phasen. Phasen sind Bereiche mit gleichmäßigen / gleichartigen (homogenen) Eigenschaften, die sich hinsichtlich einer oder mehrerer Eigenschaften deutlich von ihrer Umgebung abgrenzen. An der Phasengrenze kommt es zur sprunghaften Veränderung einer oder mehrerer Eigenschaften.

Besonders deutlich wird die gegenseitige Unlöslichkeit, wenn man die Phasen mit Farbstoffen versetzt. So kann man die wässrige Phase durch – den nur in Wasser löslichen Farbstoff – Methylblau markieren. Für die Fett-Phase bietet sich der Farbstoff Sudan-III an. Er löst sich nur unpolaren Stoffen. Mit Hilfe der Farbstoffe ist nun auch deutlich zu erkennen, welcher Stoff sich auf Grund seiner geringeren Dichte oben absetzt.

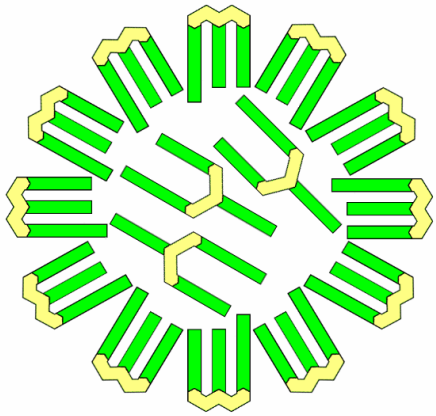
Durch leichtes Schütteln kann nun versucht werden, die Phasen zu vermischen. Dabei entstehen Blasen, die jeweils im anderen Stoff nahe der Grenzfläche schwimmen.

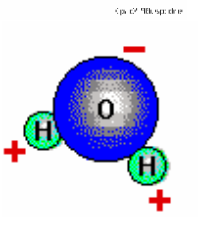
Die angefärbten Phasen erleichtern dabei die Erkennung, welcher Stoff die Blase bildet und welcher Stoff in der Umgebung vorliegt.

Versucht man Öl und Wasser durch intensives Schütteln vollständig zu vermischen, dann entsteht eine trübe Mischung von kremiger Konsistenz.

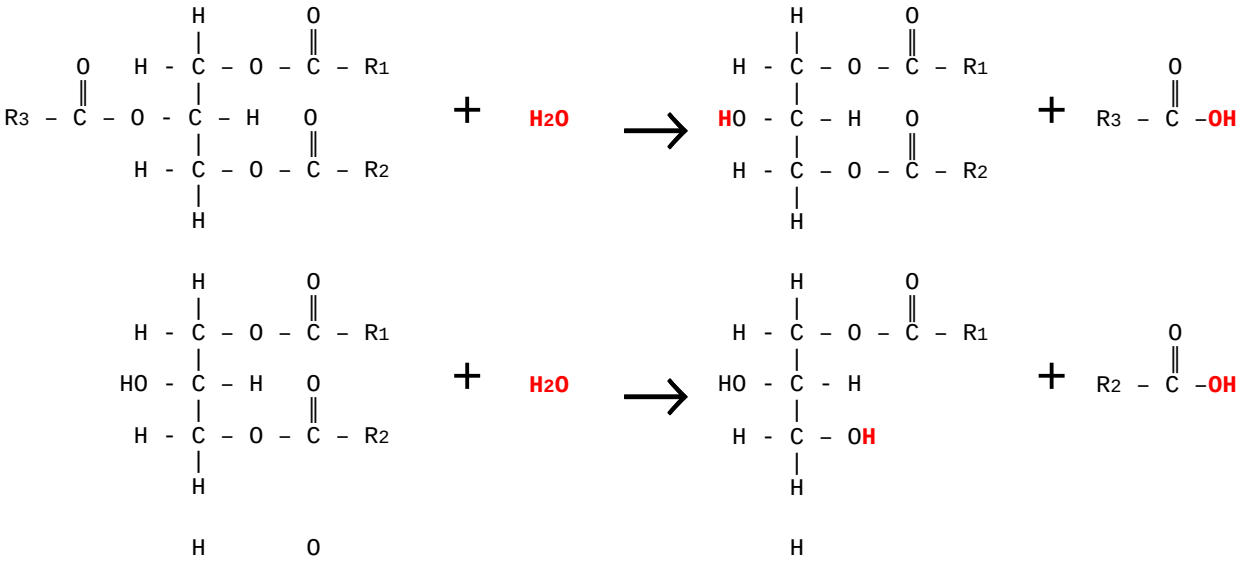
Die trübe Mischflüssigkeit nennt man **Emulsion**. Sie ist die Verteilung kleiner oder kleinster Tröpfchen des einen Stoffes in einem anderen. Die Tröpfchen können sich durch die ihnen eigene O-

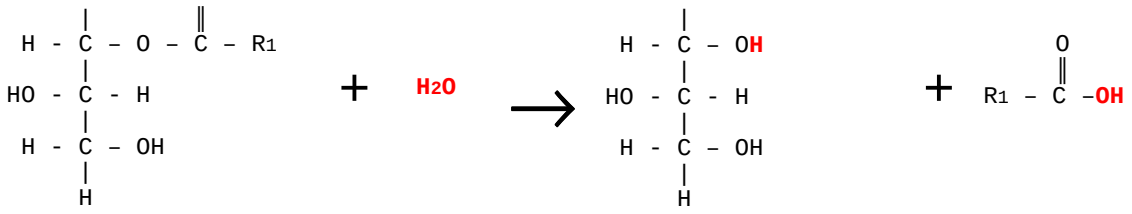
berflächenspannung stabilisieren.
Bei Fetten ist dies besonders dadurch möglich, dass die Moleküle sich intern verdrehen.
Alle wasserfeindlichen (fettfreundlichen) Molekül-Teile lagern sich auf einer Seite an.
Dadurch wird auf der anderen Seite der wasserfreundliche (fettfeindliche) Teil (Glycerol) frei. Die Moleküle ähneln jetzt dem Buchstaben **E**, wobei der senkrechte Strich den Glycerol-Teil darstellt. Die drei waagerechten Striche entsprechen den Fettsäuren. Die so verdrehten Fett-Moleküle lieben auf der einen Seite Wasser, auf der anderen Seite Fett. Durch das Schütteln ordnen sich die Moleküle nun so an, das "Gleich und Gleich" beieinander sind.
(Sprichwort: "Gleich und Gleich gesellt sich gern"; Chemische Lösungsregel: "Gleiches löst sich immer in Gleichem").



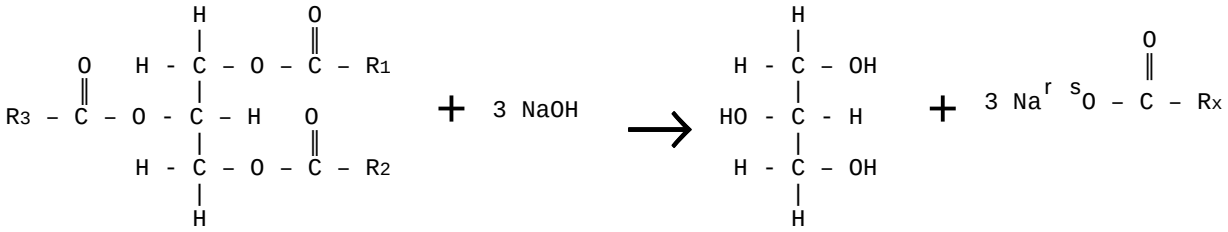


Wasser ist ein polarer Stoff. Die Moleküle enthalten teilweise positiv geladene Regionen an den Wasserstoff-Atomen und eine teilweise negativ geladene Region am Sauerstoff-Atom. Polare und VAN-DER-WAALS-Kräfte sind zueinander nicht kompatibel. (Genaueres zu Wasser finden Sie im Abschnitt → 3.7. Wasser)
Im Inneren des Tröpfchens bleiben die Fett-Moleküle unverändert in ihrer **Y**-Form (Stimmgabel-Form).
Je nach Wasser- und Fett-Anteil unterscheidet man **Fett-in-Wasser-Emulsion**en bzw. **Wasser-in-Fett-Emulsion**en. Obige Abbildung steht für eine Fett-in-Wasser-Emulsion.
Kleine Tröpfchen sind bei Emulsionen die stabilsten Gebilde. Im Inneren sind sie z.B. fettliebend, nach außen wasserfreundlich und damit in Wasser "löslich".
Emulsionen sind nur begrenzt beständig. In der **stabilen Emulsion** bewegen sich die Tröpfchen verlangsamt. Durch die wirkende Erdanziehungskraft wandert der leichtere Stoff langsam nach oben. Man spricht von **Verrahmung**. Treffen sich mehrere Tröpfchen, fließen sie zusammen (**Aggregation**). Die Tröpfchen wachsen dabei zu Tropfen, nehmen immer neue Tröpfchen in sich auf, bis schließlich alle Tröpfchen wieder vereint sind (**Koaleszenz**). Im Extremfall kommt es zum Brechen der Emulsion – es bilden sich (weitgehend) die ursprünglichen Phasen zurück.
Bei einem erhöhten Wasseranteil im Fett kommt es zu einer deutlichen Hydrolyse des Fettes. Dabei zerfällt das Fett in seine Baubestandteile Glycerol und Fettsäuren. In den Zellen wird dieser Vorgang bei Bedarf durchgeführt und von Enzymen gefördert.





Die Hydrolyse wird im basischen Milieu (z.B. Natronlauge) gefördert. Dies wird vor allem bei chemisch-technischen und technologisch bedingten Abbau-Vorgängen genutzt. Als Reaktionsprodukte werden dann u.U. auch Salze der Fettsäuren gebildet – sogenannte Seifen.



Fett | Natronlauge | Glycerol | Seife(n) (Na-Salze der Fettsäuren

Enthielt das Fett-Molekül nur Stearinsäure als Fettsäure-Komponente, dann entsteht ausschließlich die Seife Natriumstearat. Die basische Hydrolyse eines Fettes, welches nur Ölsäure enthält, ergibt mit Kaliumhydroxid (Kalilauge) das Salz (/die Seife) Kaliumoleat.

In der Seifen-Industrie werden Abfallfette oder andere billige Fett-Quellen zur Seifen-Produktion verwendet. Unter hohem Druck werden die Fette ausgelöst und mit Wasser hydrolysiert. Durch Einsatz von Katalysatoren (z.B. MnO, CuO) wird die Ausbeute zusätzlich erhöht. Die Fettsäuren werden dann mit heißer Kali- oder Natronlauge bzw. einer Soda-Lösung als Salze ausgefällt.

Früher wurden die Fette gleich mit Soda (Na_2CO_3) ausgekocht.

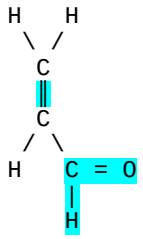
In lebenden Zellen werden Glycerol und Fettsäuren aus der Hydrolyse in verschiedene Stoffwechsel-Prozesse eingeschleust. Dazu gehören z.B. die Energie-gewinnenden Vorgänge der Zellatmung (Eintrittspunkte: Glycerol als Triose-Phosphat in die Glycolyse; Fettsäuren als Acetyl-Coenzym A (aktivierte Essigsäure) in den Zitronensäure-Zyklus). Weiterhin werden in assimilatorischen Vorgängen körpereigene Fette (Lipide) und Lipoide (Fett-ähnliche Stoffe) synthetisiert.

In unpolaren Lösungsmitteln, wie Benzin und Tetra(chlorkohlenstoff), lösen sich Fette meist sehr gut. Zwischen den Lösungsmittel- und den Fett-Molekülen können sich recht starke VAN-DER-WAALS-Kräfte aufbauen, die für eine gute Vermengung ineinander verantwortlich sind.

Für alle Fette sind relativ hohe (im Vergleich zu Wasser) Siedetemperaturen charakteristisch. Diese liegen im Allgemeinen zwischen 180 und 350 °C . Dies liegt an den relativ großen Molekülen, für die eine größere Energiemenge notwendig ist, um sie in der bzw. in die gasförmige(n) Phase zu bewegen. Weiterhin sorgen die VAN-DER-WAALS-Kräfte über die ganze Breite der Fettsäure-Moleküle für einen guten Zusammenhalt, der eben durch Energie-Zufuhr gebrochen werden muss.

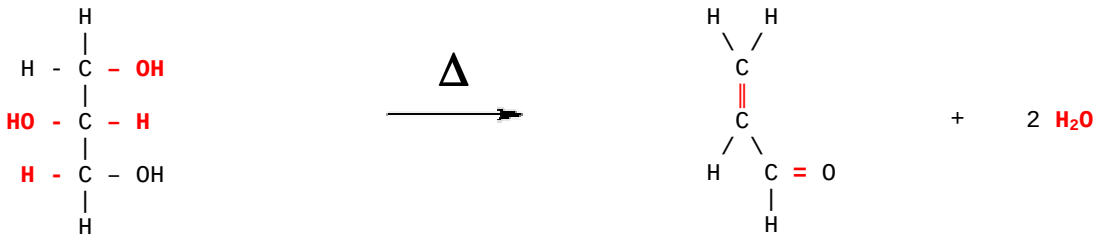
Viele Fette beginnen bei hohen Temperaturen an zu "Rauchen". Sie befinden sich an der Grenze zur eigenen Zersetzung und zum Verbrennen. Der **Rauchpunkt** (Temperatur, bei der sich das Fett unter Rauchentwicklung zersetzt (bei Erhitzung an der Luft)) ist für die unterschiedlichen Fette charakteristisch (typisch 200 – 230 °C).

Fettverderb: Angebrannte und verrauchte Fette sind verdorben. Sie geben einen beißenden Geruch ab und der Rauchpunkt liegt deutlich unter dem unverdorbener Fette (ungefähr bei 170 °C) .



Der beizende Geruch (nach Frittenbude, "MacDonalds"-Geruch) stammt vom Acrolein (exakter: Propenal). Es entsteht, wenn Glycerol-Moleküle zu hoch oder zu lange erhitzt werden. Acrolein ist giftig, Tränen- und Schleimhaut-reizend. Es steht unter Verdacht, Krebs verursachen zu können.

Acrolein kann auch keine Fettsäuren mehr binden. Es kommt wegen der nun freien (, überzähligen) Fettsäuren zu einer Versäuerung des Fettes (sinkender pH-Wert).



Glycerol Acroleïn

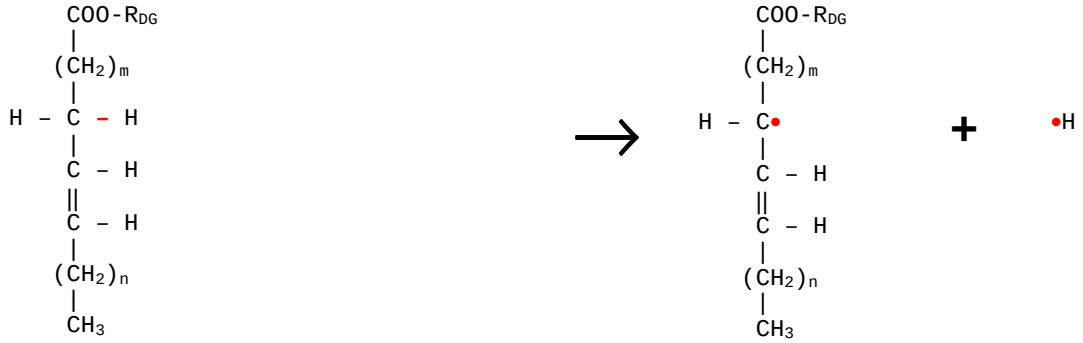
Fettsäure-Moleküle können durch Hitze oder Bakterien zu kleineren Molekülen umgewandelt werden. Dabei entsteht z.B. Buttersäure. Deren Geruch ist sehr stark und unangenehm (ranzig). Menschen können schon wenige Moleküle wahrnehmen.
Auch reine Fette, die aus irgendwelchen Gründen Anteile an freier Buttersäure enthalten, werden als verdorben (ranzig) empfunden.
Sehr heiße Fette können sich entzünden und mit leuchtender und mehr oder weniger rußender Flamme abbrennen.
Während der vollständigen **Verbrennung** bei ausreichend vorhandenem Sauerstoff entstehen nur Cohlendioxid und Wasser.

$$C_3H_5O_3\text{-}(OC\text{-}C_3H_7)_3 + 18\,½\,O_2 \longrightarrow 15\,CO_2 + 13\,H_2O$$

Erst bei Sauerstoffmangel erhöht sich der Ruß-Anteil (Ruß ist reiner Cohlenstoff). Meist entsteht dann auch noch das giftige Cohlenmonoxid. (Anteile von CO_2, CO und C in der folgenden Gleichung willkürlich gewählt. Es muß aber wenigstens 1x Cohlenmonoxid oder 1x Cohlenstoff bei einer unvollständigen Verbrennung entstehen! Gewöhnlich sind die Anteile natürlich größer.)

$$C_3H_5O_3\text{-}(OC\text{-}C_3H_7)_3 + 11\,O_2 \longrightarrow 5\,CO_2 + 5\,CO + 5\,C + 13\,H_2O$$

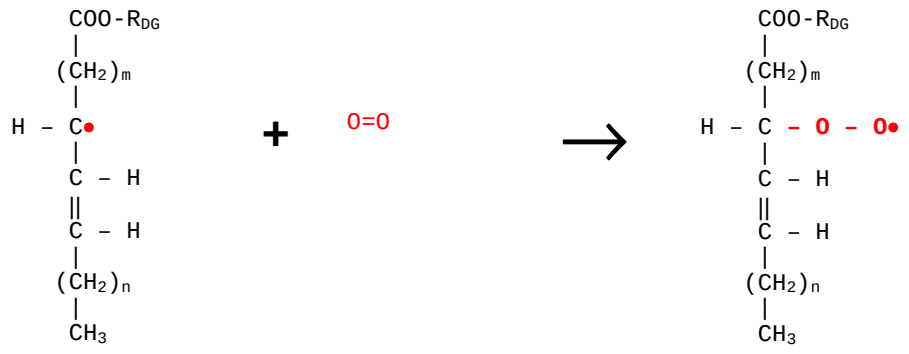
Fette können selbst auch als Lösungsmittel dienen. Interessant ist vor allem die Fähigkeit ätherische Öle (Duft- und Aromastoffe) und einige Vitamine zu lösen. Im Prinzip können Fette nur unpolare Stoffe lösen. Dazu gehören Benzin, Tetra(chlorcohlenstoff) usw. Dies ist dann bedeutsam wenn z.B. Lebensmittel mit solchen Stoffen in Kontakt kommen.
Fett mit ungesättigten Fettsäuren neigen zu einer starken **Autooxidation**. Diese ist umso stärker, je mehr Doppelbindungen enthalten sind. Besonders in der unmittelbaren Umgebung von Doppelbindungen sind die C-H-Bindungen leicht zu spalten. Die benachbarten C-Atome an einer Doppelbindung nennt man allylständige Cohlenstoff-Atome. Es reichen dafür dann schon relativ geringe Energie-Mengen, wie sie beim Erhitzen oder auch durch UV-Strahlung (Licht) wirken.



Fett-Molekül: unges. Fettsäure an einem Diglycerid-Rest Fett-Radikal Wasserstoff-Radikal

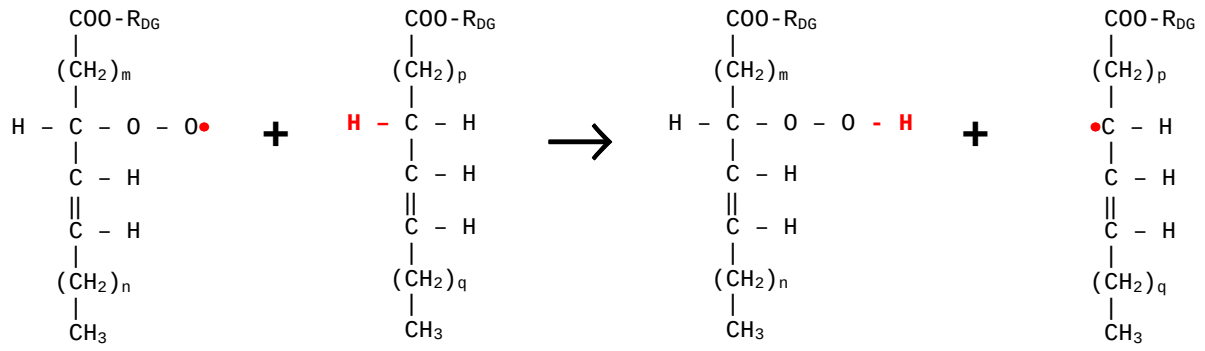
Die Radikale sind sehr reaktionsfreudig. So kann z.B. das Wasserstoff-Radikal an einer Doppelbindung zu deren Zerstörung führen. Das so entstandene Fett-Radikal entspricht sachlich dem oben gezeigten (nur eben ohne Doppelbindung).

Bei einer Autooxidation reagiert Sauerstoff mit dem Radikal unter Bildung von einem Peroxid-Radikal.



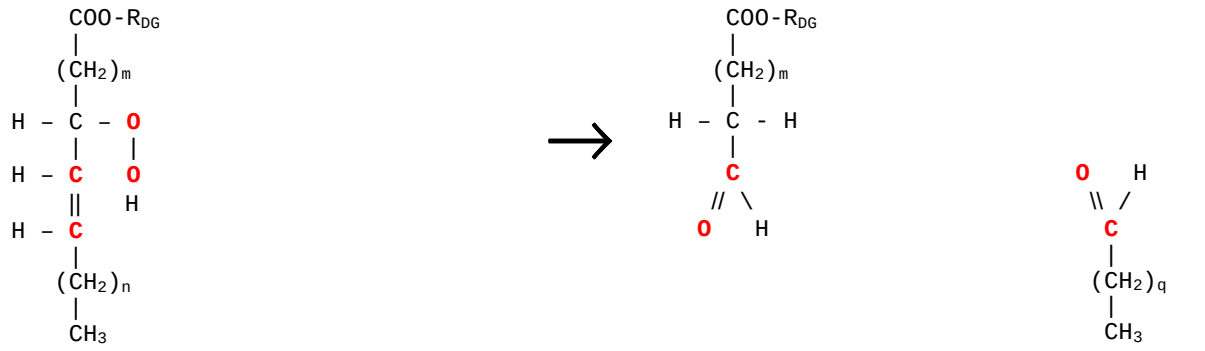
Fett-Radikal Peroxid-Radikal

Die Peroxid-Radikale sind nun reaktionsfreudiger. Es kann mit nebenliegenden (vollkommen intakten) Fettsäuren oder mit einem Wasserstoff-Radikal reagieren. Weiterhin ist auch Zerfall der Fettsäure möglich (Aldehyd-Bildung).



Peroxid-Radikal intaktes Fett-Molekül Hydroperoxid Fett-Radikal

Reagiert das Peroxid intramolekular mit einer Doppel-Bindung, dann entstehen zwei Carbonyl-Gruppen. Die eine endständig am Fettsäure-Rest (des Beispiel-Fettes) und eine weitere an einem abgespaltenen – ehemaligen – Fettsäure-Rest. Das frei werdende Molekül ist dann meist ein Alkanal (Aldehyd) oder auch ein Alkenal, wenn noch mindestens eine Doppel-Bindungen enthalten ist.

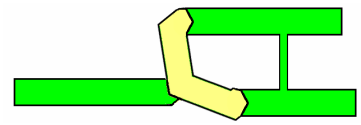


Hydroperoxid aldehydisches Fett Aldehyd

Da der Reaktionsmechanismus radikalisch (unter Bildung und Weitergabe von Radikalen) abläuft, kommt es u.a. zu Kettenbrüchen (Aldehyd-Bildung) und Vernetzungen der Fettsäuren untereinander. Radikalische Reaktionen sind dadurch charakterisiert, dass sie sehr lange durch Übertragung von Radikalen von einem Molekül zum nächsten weiterreagieren können (Kettenreaktion). Erst wenn zwei Radikale miteinander reagieren, dann bricht die Kettenreaktion ab.

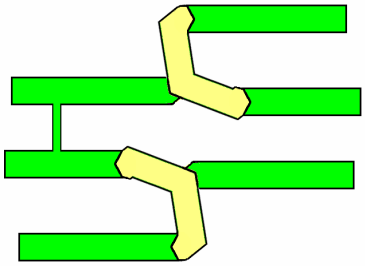
Durch Autooxidation kommt es wegen des Wegfalls der Doppelbindung – und der ev. auftretenden Vernetzung (inter- und intramolekulare Brücken) zwischen den Fettsäuren – zur Fetthärtung. Unter Einfluß von hohen Temperaturen oder Strahlungs-Energie (UV-Licht) kann es auch zur Dimerisierung von Fetten kommen. Dabei reagieren die Fettsäure-Reste entweder intern (intramolekular) oder extern (mit einem weiteren Fett-Molekül). Der genaue Mechanismus dieser Reaktionen ist noch nicht vollständig geklärt.

intramolekulare Dimerisierung



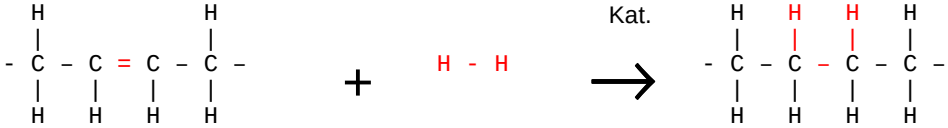
dimere Fettsäuren (Fettsäure-Dimer)

intermolekulare Dimerisierung



dimeres Fett (Fett-Dimer)

Alle beschriebenen veränderten Fette sind nicht mehr für die menschliche Ernährung geeignet. Eine weitere Möglichkeit der **Fetthärtung** ist die Hydrierung von ungesättigten Ölen. Sie beruhen auf der Umwandlung der Doppel- in Einfachbindungen. Nur wird hier eben Wasserstoff unter Anwesenheit eines Katalysators benutzt.



Werden bei ungesättigten Fettsäuren die Doppelbindungen in einfache umgewandelt bleiben die Fette aber weiterhin für die Ernährung nutzbar. Sie verlieren ev. nur ihre Essenziellität.

Aufgaben:

1. *Stellen Sie die chemische Gleichung für die Umwandlung von Glycerol in Acrolein (in einem Schritt) auf!*
2. *Skizzieren Sie die Anordnung der Fettmoleküle (um ein Wasser-Tröpfchen) in einer Wasser-in-Fett-Emulsion!*
3. *Stellen Sie die chemischen Gleichungen für die Hydrolyse eines Fettes auf!*
4. *Warum ist die Hydrolyse von Fetten eigentlich im Lebensmittel-Bereich nicht gewünscht? Eigentlich sind doch Glycerol und Fettsäuren in monomerer Form viel besser resorbierbar (in unserem Darm aufnehmbar).*

für die gehobene Anspruchsebene:

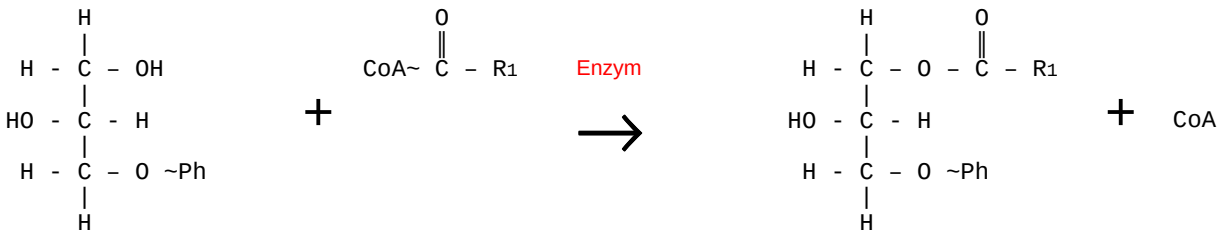
5. *Stellen Sie die chemische Gleichung für die vollständige Verbrennung von einem Fett mit drei Stearinsäure-Resten auf!*

3.1.3.1.1. Reaktionen im Fett-Stoffwechsel

Was in der Chemie recht einfach erscheint, läuft in biologischen System meist deutlich komplizierter ab. Dies liegt vorrangig an den recht eingeschränkten Reaktionsbedingungen. Die Temperatur liegt im Bereich der Körper-Temperatur und auch andere Parameter, wie pH-Wert, Wasser-Anteil usw. usf. können innerhalb einer Zelle nur geringfügig variieren. Nur mit Hilfe von Enzymen (Biokatalysatoren) können die Reaktionen bei Zell-typischen Bedingungen ablaufen. Die Natur hat in der Evolution dabei spezielle Wege für Synthese und Zerlegung von Stoffen – hier eben die Fette – entwickelt, die aus menschlich-logischer Sicht nicht immer nachvollziehbar sind.
Die nachfolgenden Vorgänge der Fett-Bildung (Lipogenese) in Organismen könnte man sicher auch bei den biologischen Eigenschaften (→) einordnen. Da wir aber hier vorrangig den Vergleich zum chemischen Pandong betrachten, soll die Lipogenese hier dargestellt werden.

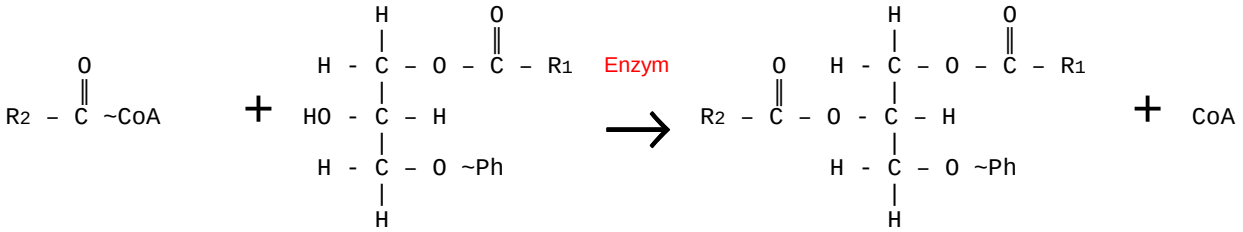
Fett-Bildung / Lipogenese

Die Synthese von Fetten (Triglyceriden) läuft in den Zellen prinzipiell, wie die rein chemisch betrachtete im vorigen Abschnitt. Der zelluläre Stoffwechsel wird in jedem Reaktionsschritt von einem (anderen) Enzym (→ 🕮 Ernährungslehre – Stoff- und Energiewechsel) unterstützt, um die Reaktion auch unter den zellulären Bedingungen zu ermöglichen.
Ausgangspunkt für die Fett-Synthese ist ein aktiviertes Glycerol-Molekül (Glycerol-3-phosphat), was aus der Glycolyse (→ 🕮 Ernährungslehre – Stoff- und Energiewechsel) abgezweigt wird. Die Glycolyse ist der Zerlegungungs-Vorgang von Glucose (Traubenzucker, Blutzucker) zum Zwecke der Energie-Gewinnung. Durch den Phosphat-Rest (Säure-Rest-Ion der Phosphorsäure) ist das Glycerol deutlich Energie-reicher – also aktiviert.
Auch die Fettsäure muss aktiviert sein. Hier ist es allerdings ein Coenzym (notwendiger Baustein für ein arbeitsfähiges Enzym), das diese Aktivierung repräsentiert. Das Coenzym heißt A und wird zumeist in abgekürzter Form in chemischen Gleichungen geführt: CoA od. Co A
Die aktivierenden Bausteine werden zur Abgrenzung häufig statt mit einem Bindungsstrich mit einer Tilde (~, Wellenlinie) angebunden.



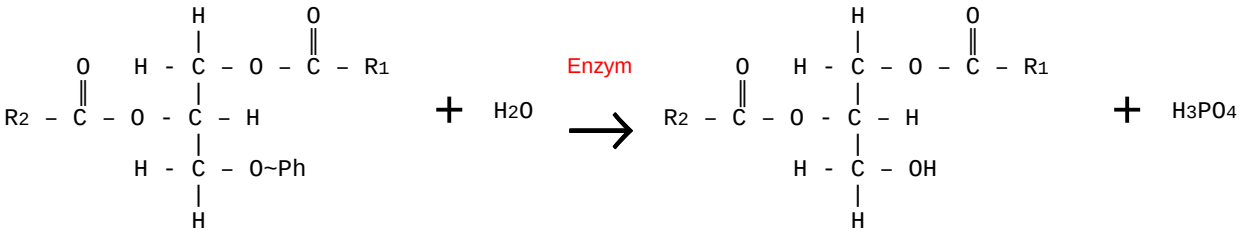
Glycerol-3-phosphat **Coenzym-gebundene Fettsäure** **Monoglyceridphosphat** **Coenzym A**

Der zweite Substitutionsschritt läuft völlig analog ab. Eine weitere Coenzym-gebundene Fettsäure wird an der mittleren freien Hydroxyl-Gruppe gebunden.



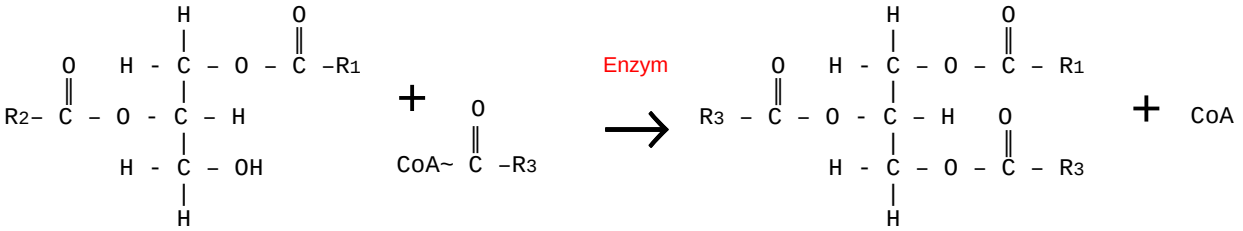
Coenzym-gebundene Fettsäure **Monoglyceridphosphat** **Diglyceridphosphat** **Coenzym A**

Am gebildeten Diglycerid ist nun keine frei Hydroxyl-Gruppe mehr vorhanden. Sie ist noch vom Phosphat-Rest "blockiert". Im nächsten Schritt wird der Phosphat-Rest abgespalten.



Diglyceridphosphat **Wasser** **Diglycerid** **Phosphorsäure**

Im letzten Synthese-Schritt wird nun die dritte Coenzym-gebundene Fettsäure an der freien Hydroxyl-Gruppe des Diglycerids verestert.



Diglycerid **Coenzym-gebundene Fettsäure** **Triglycerid** **Coenzym A**

Aufgaben:

1. *Stellen Sie die chemischen Gleichungen für die Biosynthese eines Triglycerids aus Buttersäure auf!*
2.

3.1.3.2. Biologische Eigenschaften der Fette und ihre Bedeutung

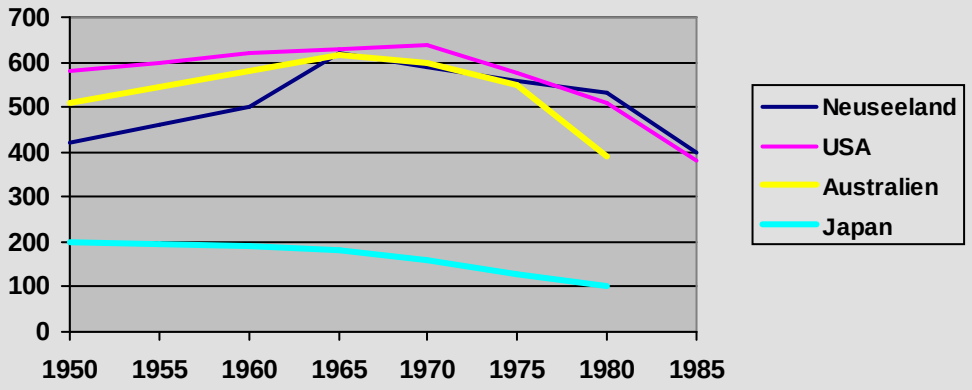
Fette sind die Stoffe mit der höchsten Energiedichte. In einem Gramm speichern Fette rund 39 kJ (physiologische Verbrennungswärme). Dies ist der doppelte Betrag im Vergleich zu Kohlenhydraten und Proteinen. Deshalb werden Fette in Lebewesen oder Überdauungsorganen (Samen) so häufig als Speichermaterial verwendet. Weitere Vorteile hierfür sind die Wasserunlöslichkeit und die Unabhängigkeit vom Gefrierpunkt. Es ist egal ob Fette im flüssigen oder festen Zustand vorliegen. Dadurch sind Fette sehr beständige und praktische **Speicherstoffe**.
Nun in wenigen Fällen wird Fett direkt zur Energiefreisetzung genutzt. In unserem Körper nutzen vor allem das Herz und die Leber Fette und Fettsäuren als **Energiequelle**. Ansonsten sind es vor allem die Buttersäure-Bakterien, die Fette direkt zur Energiegewinnung nutzen. Vor allem die Fettsäuren werden in kleine Einheiten zerlegt. Diese Einheiten bestehen aus zwei Cohlenstoff-Atomen und heißen Essigsäure. In Zellen kommt diese Essigsäure hauptsächlich gebunden an einem Co-Enzym (Co-Enzym A) vor. Man spricht deshalb auch von Co-Enzym-gebundener Essigsäure (Acetyl-CoA). Das Abfallprodukt dieser Prozesse ist die Buttersäure mit ihrem sprichwörtlichen unangenehmen, ranzigen Geruch. Diese Bakterien kommen beim Menschen auch in den Talkdrüsen vor, wo sie mit anderen Bakterien-Abgasen einen wesentlichen Teil des Körpergeruchs verursachen.
In den meisten Zellen können Fette nicht direkt als Energielieferant dienen. Sie (vor allem das Glycerol) müssen entweder in einfache Kohlenhydrate und die Fettsäuren in eine spezielle Form der Essigsäure (Acetyl-CoA, Co-Enzym-gebundene Essigsäure (am **Co**enzym **A** gebundenen)) umgewandelt werden.
Im festen und flüssigen Zustand bieten sie einen guten mechanischen Schutz und die **Wärmeisolation** von Fettschichten ist sprichwörtlich. In der menschlichen Haut ist das isolierende Fett vor allem im Unterhaut-Fettgewebe angelegt.
In allen Zellen sind Fette und ihre Abkömmlinge wichtige **Baustoff**e. Sie sind unverzichtbarer Bestandteil aller Membranen (Hüllen) um die Zellen und vieler ihrer Organellen. Hierbei sind auch die ungesättigten Fettsäuren von größter Bedeutung. Sie sind unbedingt notwendig. Leider können sie von den Zellen in unserem Körper nur zum Teil hergestellt werden. Wir sind auf die Zufuhr durch eine passende Ernährung angewiesen. Die mehrfach ungesättigten Fettsäuren werden auch als essentielle Fettsäuren bezeichnet. Essentiell bedeutet in diesem Zusammenhang, dass diese Fettsäuren für die gesunde Lebensführung unbedingt notwendig sind und unbedingt über die Nahrung aufgenommen werden müssen. Die wichtigste Quelle für essentielle Fettsäuren sind pflanzliche Lebensmittel. Ihre Fette - oder besser Öle - sind meist stark mit ungesättigten Fettsäuren angereichert. Aber auch in vielen Fisch-Arten findet man essentielle Fette (Fisch-Öle mit den sogenannten Omega-3-Fettsäuren).
Von großer Bedeutung sind Fette in speziellen Hüllen der Nervenfasern. Die sogenannten SCHWANNschen Zellen (SCHWANNsche Scheiden) dienen der **elektrische**n **Isolation** und sorgen auch für eine schnellere Erregungs-Leitung (saltatorische Erregungsleitung) (→(🕮 Biologie – Neurophysiologie).

Fett	**Gehalt Linolsäure [%]**			
Baumwollsaatöl	33 – 58			
Butter	2 – 3			
Erdnussöl (afrikanisch)	13 – 26			
Erdnussöl (argentinisch)	38 – 40			
Haushaltsmargarine	6 – 25			
Kokosfett	1 – 3			
Maiskeimöl	34 – 62			
Olivenöl	4 – 20			
Palmkernfett	1			
Palmöl	6 – 12			
Pflanzenmargarine	25 – 35			
Rapsöl (Erucasäure-arm)	18 – 24			
Rindertalk	1 – 5			
Schweineschmalz	3 – 16			
Sojaöl	35 – 65			
Sonnenblumenöl	55 – 65			
Weizenkeimöl	44 – 65			

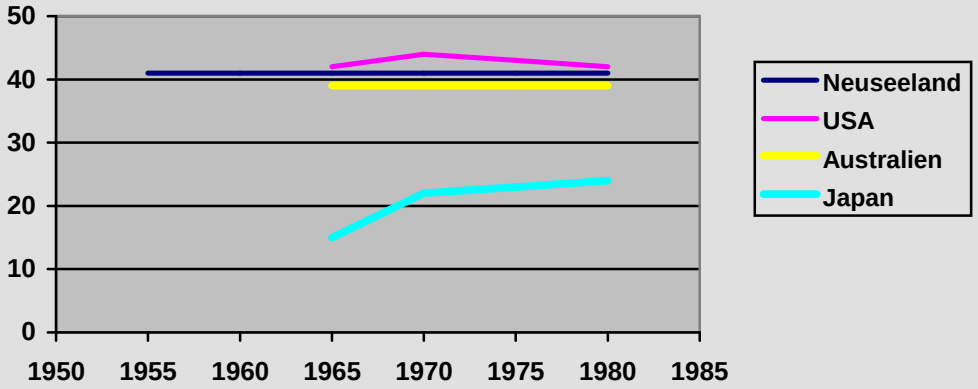
Exkurs: Cholesterol (Cholesterin)

Neben den Fettsäuren ist das Cholesterol (früher und populär oft als Cholesterin benannt) der wichtigste Baustoff der Zellmembranen. Im Körper gibt es einen relativ stabilen Cholesterol-Spiegel. Er setzt sich aus dem selbstproduzierten (1000 bis 1500 mg/d) und dem mit der Nahrung aufgenommenen (300 bis 800 mg/d) Cholesterol zusammen. Selbst bei übermäßigem Angebot von Cholesterol in der Nahrung kann der Körper die aufgenommene Menge auf 300 mg/d einschränken. Die Eigenproduktion ist vom Bedarf im Körper abhängig.
Das Märchen vom gefährlichen Cholesterol in Eiern und fetthaltigen Nahrungsmitteln stammt aus wissenschaftlich unhaltbaren Versuchen (Fütterung von Kaninchen mit Eiern und Hirn) und fehlerhaften bzw. gefälschten Studien (Korrektur und Verschleierung der Originaldaten mit statistischen Methoden). Durch unüberprüfte Übernahme der "Ergebnisse" solcher Studien und nach der Methode "Oft gehört - gern geglaubt" ((popularistischer Effekt) Befürworter wurden (in diesem Beispiel) mehr als sechsmal so häufig zitiert als Gegner) kamen die Falschaussagen in die Öffentlichkeit.
Heute gibt es keine gesicherten wissenschaftlichen Beweise für eine gesündere Ernährung durch Cholesterol-arme Nahrung.
Wissenschaftlich belegt ist dagegen, dass ein niedriger Cholesterol-Spiegel auch einen niedrigeren Serotonin-Spiegel bewirkt. Serotonin ist ein Botenstoff, der vorrangig im Gehirn wirkt. Viel Serotonin wirkt ausgleichend, zu wenig wirkt depressiv und verhindert die Unterdrückung von aggressiven Verhalten. Besonders bei Selbstmördern wurde häufig ein geringerer Cholesterol- bzw. Serotonin-Pegel festgestellt.

Todesfälle durch koronare Herzerkrankungen (auf 100000 Einwohner)



Anteil von Fett an der Nahrungsenergie (in Prozent)



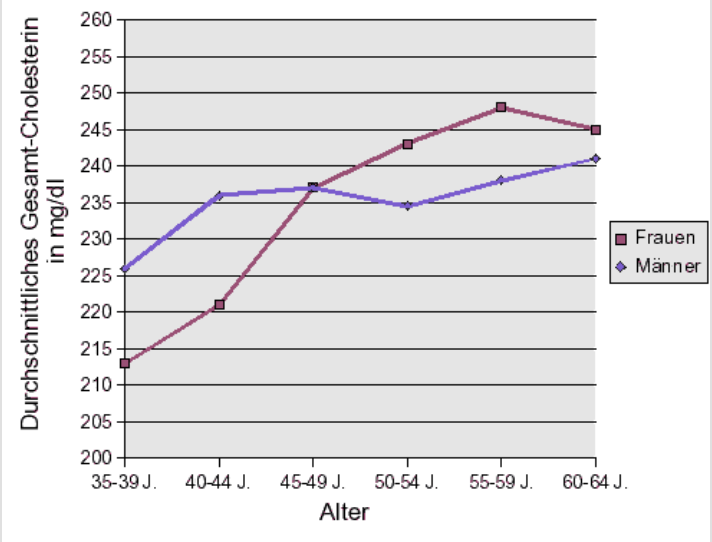
Q: /14/ (leicht verändert)

Mensch produziert 90 % allein; Gesamtgehalt beim Menschen um 140 g; 95 % davon intracellulär; Rest im Wesentlichen im Blut (→ Chylomikronen und ähnliche Lipoproteine(VLDL, LDL, HDL))

Gesamt-Cholestrol-Spiegel im Blut
bei 35 – 65-Jährigen durchschnittlich 236 mg / dl (= 6,1 mmol / l); nimmt im Alter zu; bei Männern geringe Steigung; bei jungen Frauen deutlich unter den männlichen Vergleichswerten, im höheren Alter über den Werten der Männer; deutliche Erhöhung in der Schwangerschaft

1 mg/dl = 0,02586 mmol/l
1 mmol/l = 38,67 mg/dl

beim Transport von Cholesterol im Blut sind zwei Lipoproteine wesentlich beteiligt, genauer untersucht und bei Blut-Untersuchungen im Labor erfasst



Gesamt-Cholestrol-Werte in Deutschland
(freiwillige Gesundheitsvorsorge-Untersuchung)
Q: de.wikipedia.org (Phrood) nach
http://bibd.uni-giessen.de/gdoc/1999/uni/d990002.pdf

LDL (Low Density Lipoprotein)
bei 35 – 65jährigen Frauen durchschnittlich 164 mg / dl und bei Männer bei 168 mg / dl
Absinken nach dem 55. Lebensjahr beobachtet (beide Geschlechter) , in dieser Form verbleibt Cholesterol mehrere Tage im Blut
erhöhte LDL-Werte werden als negativ betrachtet ("schlechtes od. böses Cholesterin")
HDL (High Density Lipoprotein); verantwortlich für Transport vom Gewebe zur Leber
zwischen den Geschlechtern stärkere Unterschiede; bei 35 – 65jährigen Frauen durchschnittlich 45 mg / dl und bei Männer bei 37 mg / dl
hoher HDL-Wert wird positiv interpretiert ("gutes Cholesterin"); weil Cholesterol zum Abbau in die Leber transportiert wird und somit kein arterielles Plaque entstehen könne; Plaque für Arteriosklerose (Arterien-Verkalkung (führt ev. zu Infakten, Thrombosen usw.) verantwortlich
praktisch wird der Quotient aus LDL- und HDL-Wert genutzt;
Frauen (obige Altersgruppe) durchschnittlich 3,9 Männer 4,9
Quotient aus Gesamt-Chlolesterol und HDL liegt bei Frauen um die 5,7 und für Männer bei 7,0
Quotient korrelliert stärker als Einzelwert mit den Risikofaktoren für koronale Herz-Krankheiten (KHK); aber kein gesicherter Zusammenhang

keine Korrelation zwischen Body-Mass-Index und Cholesterol-Spiegel
nach Untersuchungen der letzten 30 Jahre ist für Arteriosklerose vor allem chemisch verändertes (oxidiertes) Cholesterol verantwortlich

Cholesterol-Wege im Körper

1. ***Aufnahme mit Nahrung*** → **Darm**
2. **Leber → Galle → Darm → Blut** (in Chylomikronen) → **Leber (enterohepatischer Kreislauf)**
3. **im Blut: VLDL** (Leber → Gewebe) → **LDL** (Leber → Blut → Gewebe(→ Steroide, Membranen)) → **HDL** (Gewebe → Leber)
4. **Galle** (→ Gallensäuren) → **Darm** → ***Abgabe mit dem Kot***
5. **Haut** (Talg-Drüsen) → Talg (*Abgabe mit abgestoßenen Haut-Teilen*)

Die moderne Lebensmittel-Technologie hat verschiedene Methoden entwickelt, um "überschüssiges" Cholestrol aus Lebensmitteln zu entfernen bzw. den Gehalt deutlich zu senken.
So kann man heute mit Mikroorganismen oder isolierten Enzymen Cholesterol abbauen. Diese biologischen Verfahren gelten als sehr unbedenklich und effektiv. Bei den chemischen Verfahren ist vor allem die Komplex-Bildung zu nennen. Mit bestimmten Komplex-Bildner verbindet sich das Cholesterol zu großen (z.B. ausfallenden oder abfiltrierbaren) Komplexen (z.B. Flocken). Bei anderen physikalisch-chemischen Verfahren wird die Adsorption (Anlagerung) an Aktivkohle oder Silicagel ausgenutzt. Rein

physikalisch funktionieren Destillation, Auskristallisierung und Extraktionen. Sehr modern ist die Hochdruck-Extraktion mit Cohlendioxid.

weitere Ausführungen zum Stoff Cholesterol findet man unter: → 3.1.6.4.1. Sterine

Aufgaben:

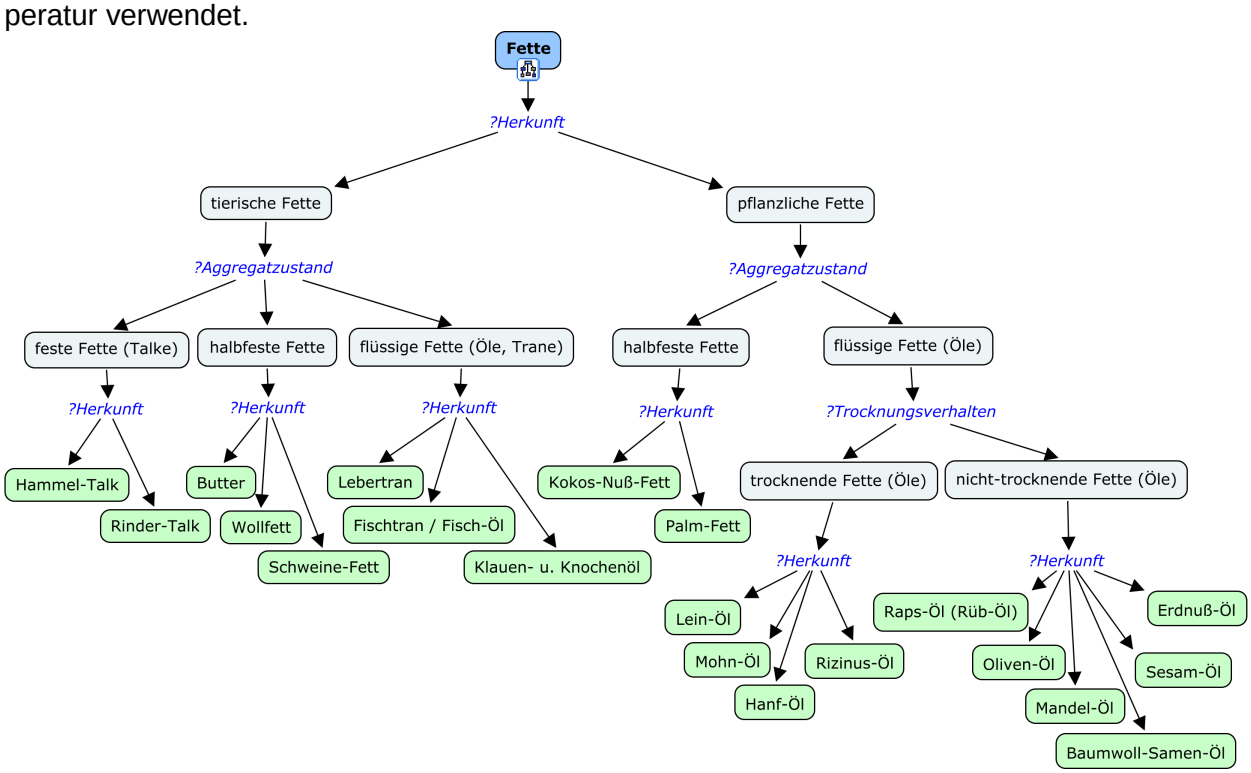
1. *Werten Sie das Diagramm (Todesfälle ...) aus! (Machen Sie Aussagen zu den Grundtendenzen in den einzelnen Ländern und für alle Länder zusammen)*
2. *Werten Sie das Diagramm (Anteile ...) aus! (Machen Sie Aussagen zu den Grundtendenzen in den einzelnen Ländern und für alle Länder zusammen)*
3. *Interpretieren Sie beide Diagramme gemeinsam!*

Weitere Ausführungen zur Fett-Resorbtion (bei der Verdauung), dem Transport von Fetten, Fettsäuren, Glycerol und Fett-verwandten Stoffen (z.B. Lecethin) findet der Leser im Teil-Skript Stoff- und Energiewechsel (🕮 Ernährungslehre – Stoff- und Energiewechsel). Im Teil-Skript (🕮 Ernährungslehre – Gesunde Ernährung) geht es auch um Erkrankungen, die mit Fetten in Beziehung stehen.

3.1.3.3. Technologische Eigenschaften der Fette und ihre Nutzung

Unter den technologischen Eigenschaften wollen wir die nutzbaren und die genutzten Eigenschaften der Stoffe betrachten. Als Nutzungsbereich soll vor allem die Ernährung, die Zubereitung und Verarbeitung von Nahrungsmitteln betrachtet werden. Oft ist es schwer, eine einzelne Eigenschaft für eine bestimmte Nutzung verantwortlich zu machen. Hier wird dann meist von der Haupteigenschaft ausgegangen.

Schmelztemperatur: Die Schmelztemperaturen reiner Fette varieren von ungefähr -20 bis +50 ℃. Besonders für die Einteilung und indirekt für d ie Verwendung wird gerne die Schmelztemperatur verwendet.



Siedetemperatur: Die relativ hohen Siedetemperaturen machen Fette zum idealen Wärmeüberträgern bei der Zubereitung. Beim Braten, Frittieren usw. werden die Nahrungsmittel sehr hohen Temperaturen ausgesetzt. Die Poren - z.B. bei Fleisch - schließen sich sofort – besser gesagt, die äußeren Schichten gerinnen und verhärten. Es bildet sich eine mehr oder weniger undurchlässige Kruste. Dadurch werden die wertvollen Inhaltsstoffe vor dem Austreten bewahrt. Durch das gemeinschaftliche hohe Erhitzen mit anderen Stoffen (z.B. Kohlenhydrate, Eiweiße) kommt es zu weiteren chemischen Reaktionen, in deren Folge viele Farb- und Geschmacksstoffe entstehen. Die Kruste ist ein wesentlicher Geschmacksgeber (Röststoffe) vieler Speisen. Auch innerhalb der Moleküle – hier vorrangig an den Doppelbindungen der so wichtigen essentiellen Fettsäuren (→ **Fetthärtung**) – kann es zu chemischen Veränderungen kommen. Sie reichen von Hydrierungen über Oxidationen bis zur Bildung mesomerer Verbindungen (trans-Fettsäuren) (→ 3.1.3.1. Allgemeine (physikalische und chemische) Eigenschaften von Fetten).

Nicht alle diese Stoffe sind unbedingt gesundheitlich unbedenklich. Aber da sie meist nur in extrem geringen Mengen vorkommen, überwiegen die Geschmack-bestimmenden Verwendungszwecke.

Beim Erhitzen in fettiger Umgebung werden zum Anderen durch die hohen Temperaturen die Eiweiße schneller denaturiert (geronnen). Die Garzeiten sinken und letztendlich andere Inhaltsstoffe nicht so stark zerstört. Hohe Temperaturen (beim Frittieren rund 180℃) können aber auch viele gewünschte Stoffe (z.B. Vitamine) zerstören. Ein Kompromiß zwischen beiden Effekten wird meist durch eine optimale Zubereitungszeit und geeignete Gar-Temperaturen erzielt.

Durch das Braten, Fritieren usw. in Fett steigt der Fettgehalt der zubereiteten Lebensmittel beachtlich.

Lebensmittel	Fettgehalt in m% (roh)	Fettgehalt in m%, (frittiert)
Kartoffelchips	0,1	40
Pommes Frites	0,1	13
Barsch	1,2	13
Huhn	4	10
Berliner	5	22

Datenquellen: http://www.uni-giessen.de/fbr09/food/download/-Lebensmittellehre/MKE04/MKE04_04.pdf)

Fette, die z.B. relativ viel Eiweiß enthalten (Butter, verschiedene Margarinen und Halbfettmargarinen) dürfen sowieso nicht so hoch erhitzt werden. Bei ihnen verbrennen dann die verschiedenen Inhaltsstoffe. Meist sind solche Fette nicht zum Braten, Frittieren usw. geeignet. Im Fall der Butter ergibt sich durch gezieltes Erhitzen die sogenannte braune Butter, die wegen der Würze und des Geschmackes bei vielen Speisen beliebt ist.

Auf Grund verschiedener Baumerkmale und Zusammensetzung sind die verschiedenen Öle und Fette ganz unterschiedlich z.B. zum Frittieren geeignet.

Als Maß wird die relative Frittierbeständigkeit verwendet.

Fett	relative Fritierbeständigkeit (RFB)
Sonnenblumenöl	1,0
Sojaöl	1,0
Erdnussöl	1,2
Palmöl	1,5
Schweineschmalz	2,0
Sojaöl, gehärtet	2,3
Kokosfett	2,4
Erdnussöl, gehärtet	4,4

Datenquellen: http://www.uni-giessen.de/fbr09/food/download/-Lebensmittellehre/MKE04/MKE04_04.pdf)

Neigung zum Rauchen: Wie schon erwähnt (→ 3.1.3.1. Allgemeine (physikalische und chemische) Eigenschaften von Fetten), neigen die Fette bei höheren Temperaturen zum Rauchen. Der Rauchpunkt (Qualmpunkt) ist dabei die Temperatur, bei der sich ein Fett an der Luft unter Rauchbildung zersetzt.

Bei höheren Temperaturen zerfallen die Fette in ihre Bestandteile. Die freigesetzten Fettsäuren bewirken das **Sauerwerden** des Fettes. Das Glycerol wird chemisch zum Acrolein umgewandet. Dieses macht den beißenden, ranzigen Geruch und Geschmack aus. Acrolein ist giftig, schleimhaut- und tränenreizend sowie cancerogen (Krebs-verursachend).

Alte und zu lange bzw. zu hoch erhitzte Fette enthalten durch Fettsäurespaltung freie Buttersäure. Solche Fette werden als ranzig (Buttersäure-Geruch) wahrgenommen. Sie sind für die menschliche Ernährung unbrauchbar **(Ranzigwerden)**.

Fett	Rauchpunkt [℃]
Margarine	130
Oliven-Öl	138
Schmalz	160
Butter	175 / 130
Kokos-Fett	200
Mais-Öl	200
Rinder-Talk	210
Sonnenblumen-Öl	225

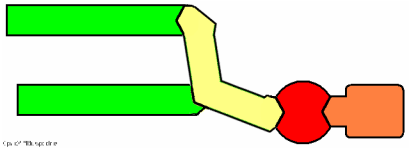
Datenquellen: /21, S. 391/

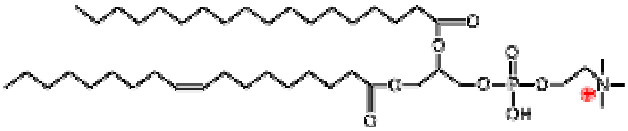
Brennbarkeit: Bei höheren Temperaturen oder direkten Flammenkontakt entzünden sich Fette. Können Fette mit ausreichend Sauerstoff abbrennen, besteht keine direkte Gefahr. Fette wurden früher vielfach als Brennmaterial verwendet (Öllampen, Talklichter). Viele Stoffe, die bei unvollständiger Fettverbrennung entstehen können, stehen im Verdacht Krebsauslöser zu sein. Von vielen ist dies mittlerweile auch schon nachgewiesen worden. Besonders groß ist die Gefahr, wenn die Flammen auch noch direkten Kontakt zum Nahrungsmittel haben. Die gesundheitsgefährlichen Stoffe können dann vom Lebensmittel aufgenommen werden.
Fettbrände stellen eine große Gefahr dar. Sie sind von sehr hohen Temperaturen begleitet. Da Fette auch auf der menschlichen Haut haften, können sie sehr schwere Hautverbrennungen bewirken. Ein einfaches Löschen mit Wasser ist problematisch! Bei den hohen Verbrennungstemperaturen würde das Wasser sofort an der Oberfläche verdampfen und dabei verspritzen. Mitgerissenes heißes Fett erzeugt eine neue Gefahrenquelle. Die fein verteilten Fettröpfchen bilden einen leicht entzündlichen Fettnebel.
Fettbrände lassen sich am effektivsten durch Ersticken (Sand, Löschdecke, Handtücher) löschen. Brände ohne Personenbeteiligung lassen sich auch mit Cohlensäure-Schnee- und Trockenpulver-Feuerlöschen bekämpfen.
Dichte: Durch ihre geringere Dichte schwimmen Fette im festen und im flüssigen Zustand auf dem Wasser. Von Brühen oder Soßen kann man sie dadurch leicht entfernen (abschöpfen). Auf einigen Nahrungsmitteln (Sülze, Pastete) bilden sie so aber auch eine schützende Deckschicht, die den Verderb des empfindlicheren Inhaltes hinauszögert.
Wasserunlöslichkeit: Neben der Dichte bewirkt die Wasserunlöslichkeit das Absetzen des Fettes auf dem Wasser. Setzt man Fett als Wärmeüberträger z.B. beim Braten ein, dann kann der wenige austretende Bratensaft (Krustenbildung) nicht im Fett gelöst werden. Es kommt nicht zum Auslaugen des Lebensmittels.
Nachteilig wirkt sich die Wasserunlöslichkeit von Fetten aber bei Reinigungsprozessen aus. Man ist hierbei auf warmes Wasser und Reinigungsmittel oder gar spezielle Lösungsmittel angewiesen.
Eine ganz spezielle Art der Ausnutzung der Wasserunlöslichkeit von Fetten finden wir bei der Herstellung von Blätterteig-Gebäck (Feuilletage). Besonders deutlich wird dies beim deutschen Blätterteig.
Ein Grundteig aus Mehl und anderen Zutaten wird ausgerollt und teilweise mit Ziehfett belegt. Dann wird der freie Teigbereich über die beschichteten Teigstellen geschlagen (touriert) und erneut gerollt. Dieses Übereinanderschlagen und Ausrollen wird u.U. mehrfach durchgeführt, so das am Ende dünne Schichten von Grundteig und Ziehfett übereinander liegen.

Blätterteiggebäck
Q: de.wikipedia.org (BMK)

Als Ziehfette werden feste bzw. harte Fette verwendet. Die Bandbreite reicht von Butter bis zu hochwertigen Spezialfetten. Die mögliche und empfohlenen Schichtzahlen reichen von 144 (bei der empfindlichen Butter) bis zu 729 (bei Spezialfetten) und richtet sich nach dem Verwendungszweck.

Beim französischen Blätterteig wird der Grundteig in das Ziehfett eingeschlagen. Ohne Zwischenlage kommt der holländische Blätterteig (Blitz-Blätterteig) aus. Bei ihm wird reichlich (grob geteiltes / gehacktes) Fett im eigentlichen Teig verwendet.
Während des Back-Vorgangs bildet sich reichlich Wasserdampf, der aus dem Grundteig aufsteigt. Da die Fettschichten wie Dampfsperren wirken, drückt der Wasserdampf die einzelnen Teigschichten auseinander.
Emulgierbarkeit: Die Fähigkeit Emulsionen zu bilden, wurde schon oben aufgezeigt (→ 3.1.3.1. Allgemeine (physikalische und chemische) Eigenschaften von Fetten). Der Nachteil einer einfachen Emulsion aus Fetten und Wasser ist ihre Unbeständigkeit. Um eine Emulsion zu stabilisieren, benötigt man einen Emulgator. Dieser wirkt wie ein Klebstoff.
Lecithin (Lezithin) ist ein häufig verwendeter Emulgator. Es ist ein Lipoid – also Fett-ähnlich aufgebaut. Die mittlere und eine äußeren Kontaktstelle des Glycerols sind mit Fettsäuren besetzt. An der andere Seite ist eine andere Molekül-Gruppierung (Phosphorsäure (im Modell: **rot**) + Cholin (imModell: **orange**)) verestert worden. Diese Molekül-Gruppe ist sehr wasserfreundlich. Sie verstärkt den wasserfreundlichen Effekt des Glycerols weiter. Durch das Lecithin verstärkt (stabilisiert) die Haftung zwischen Wasser und Fett. Neben Lecithin lassen sich aber auch viele Eiweiße (z.B. Eigelb) oder Senf als Emulgatoren einsetzen.


Modell des Lecithin

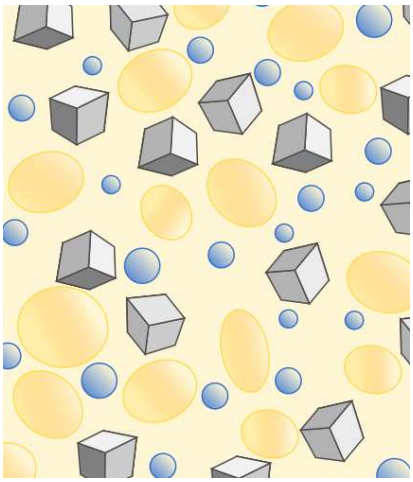

Gitter-Struktur eines Lecithin's

Das Eigelb war ursprünglich auch namensgebend für das Lecithin (lecithine = altgriech.: Eidotter).
Emulgatoren verbinden also zwei gegensätzliche (antagonistische) Löslichkeits-Merkmale (Löslichkeit in Wasser bzw. in Fett). Man spricht deshalb auch von einem Lösungsvermittler.
Es gibt sie je nach Fettgehalt als **Fett-in-Wasser-Emulsionen** (fettarm) bzw. **Wasser-in-Fett-Emulsionen** (fettreich). Butter und Margarine sind typische Wasser-in-Fett-Emulsionen.
Je nach angestrebtem Emulsions-Typ kommen unterschiedliche Emulgatoren zur Anwendung. Als Merkmal wird der sogenannte HLB-Wert (hydrophilic lipophilic balance) nach GRIFFIN verwendet. Der Wert beschreibt die verteilung der hydrophilen und hydrophoben (lipophilen) Anteile im Emulgator.
Die HLB-Werte liegen zwischen 1 und 20 (GRIFFIN-Skala)
Eine Substanz mit dem höchsten möglichen Wert von 20 besteht aus Molekülen mit nur hydrophilen Teilen. Diese Obergrenze ist ein von GRIFFIN frei gewählter Wert.
Der Wert 1 für die HLB dagegen bedeutet, dass der Stoff ausschließlich lipophil (Fett-freundlich) ist.

HLB-Wert	Mischbarkeit mit Wasser	Verwendung	
1,5 – 3,0	unlöslich	Entschäumer	
3 – 8	milchig beim Einrühren	für W/O-Emulsionen	
7 – 9		Netzmittel	
8 – 18	stabile (milchige) Emulsion	für O/W-Emulsionen	
13 – 15	klare Emulsion / Lösung	waschaktive Substanzen	
12 – 18	klare Emulsion / Lösung	Lösungsvermittler	

Stoff / Stoffgruppe	HLB-Wert	Verwendung / Vorkommen / Funktion
Phospholipide	5	Zell-Membranen
Lysophosphatide	12 – 16	wichtig für die Informationsübertragung innerhalb der Zelle
Waschmittel	13 – 15	in Reinigungsmitteln

Emulsionen übernehmen in der Ernährung und in der Lebensmittel-Herstellung oft die Rolle von reinen Fetten. Aus praktischen Gründen unterscheidet man deshalb Emulsions-Fette (z.B. Butter, Margarine, Sahne, Buttercreme) und Reinfette (z.B. Oliven-Öl, Palm-Fett, Schweine-Schmalz).
Im Nahrungsmittelbereich ist Majonäse (Mayonnaise) eine typische Emulsion. Der Zusatz von Säuren bei der Majonäse-Herstellung stabilisiert den hydrophilen Teil des Emulgators und verstärkt die Anziehungskräfte zwischen Emulgator und der wässrigen Phase. Als Nebeneffekt verflüssigen sich die Emulsionen aber auch.
Eine weitere künstliche Emulsion ist die Vinaigrette (engl.: French Dressing). Neben Essig und diversen Kräutern od. anderen Zutaten, ist in einer Vinaigrete ungefähr die dreifache Menge Öl enthalten. Öl und Essig werden zu einer Emulsion (Wasser-in-Öl-Emulsion) verschlagen. Zur Stabilisierung werden als Emulgatoren Senf oder hartgekochtes Eigelb verwendet.
Milch ist eine natürlich vorkommende Emulsion (Fett-in-Wasser). Als Emulgator fungiert das Kasein (ein Eiweiß). Beim Erhitzen der Milch über 80℃ gerinnt das Kasein und verliert dadurch seine emulgierenden Fähigkeiten. Das Fett setzt sich auf der Oberfläche als Milchhaut ab. Der bei höheren Temperaturen gebildete Wasserdampf in der Milch kann nun nicht mehr so einfach entweichen, staut sich auf und lässt die Milch überkochen.
Emulsionen lassen sich aber auch gut nach ihrer Konsitenz einteilen. **Feste Emulsionen** sind z.B. Butter und Margarine. In Butter ist typischerweise rund 80 % Fett enthalten. Der Rest sind Wasser und verschiedene andere Milch-Bestandteile. Oft werden sie aber auch den halbfesten bzw. plastischen Emulsionen zugeordnet. **Flüssige Emulsionen** sind z.B. Milch, Salatsoßen oder – die schon besprochene – Vinaigrette. Sie sind bei Zimmer-Temperatur leicht bis bis wenig zäh-flüssig.
Während bei Emulsionen mindestens zwei ineinander unlösliche, flüssige Bestandteile miteinander vermengt werden, wird bei einer **Dispersion** mindestens ein fester Bestandteil verwendet.
Der Begriff Dispersion wird fachlich exakt als Oberbegriff für alle heterogenen Stoffgemische verwendet. Ein fester Stoff mit einer Flüssigkeit gemischt, heißt Suspension. Im üblichen Gebrauch wird eine Suspension eher mit flüssig bis zähflüssig (cremig) assoziert. Für festere Gemenge verwendet man meist den Begriff Dispersion.
Mürbeteig ist so eine Dispersion von Zucker, Mehl (Stärke) und Wasser in Fett.
Fetthärtung: Eine Möglichkeit der Fetthärtung ist die Hydrierung von ungesättigten Ölen. Sie beruht auf der Umwandlung der Doppel- in Einfachbindungen. Unter Anwesenheit eines Katalysators wird Wasserstoff addiert (Hydrierung).


Mürbeteig (schematisch)

Die ungesättigten Fettsäuren werden also in gesättigte umgewandelt – die Fette bleiben weiterhin für die Ernährung nutzbar. Der flüssige Charakter von Fetten mit ungesättigten Fettsäuren geht mit den hydrierten Doppelbindungen verloren.
Besonders für die Margarine-Produktion werden heute minder harte, billige Fette gebraucht. Durch Härtung (katalytische Hydrierung) werden aus flüssigen Ölen – mit einem hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren – feste Fette hergestellt. Leider gehen dabei viele der psysiologisch so bedeutsamen Doppelbindungen verloren.
Kaiser NAPOLEON III stellte den französischen Chemiker Hipplyte MÈGE-MOURIÈS vor die Aufgabe einen Butter-Ersatz für sein Volk zu entwickeln. Dieser entwickelte das Rezept für Margarine. Sie enthält neben emulgierten Ölen vor allem noch einige Sauermilch-Produkte. Um sich unabhängig vom Import teurer Hartfette (wie z.B. Palm- oder Kokosfett) zu machen, suchte W. NORMANN in Deutschland nach einem wirtschaftlichen Verfahren zur Nutzung von tierischen und pflanzlichen Ölen. 1903 meldete er die Fetthärtung durch Hydrierung als Patent an.
Bis 1980 mußte in Deutschland der Margarine – leicht nachweisbare – Stärke zugesetzt werden, damit eine Unterscheidung von Butter einfach möglich ist. Heute wird nur noch Halbfett-Margarine mit Stärke versetzt.

Lichtempfindlichkeit: Fette sind sehr empfindlich hinsichtlich der Veränderung von Eigenschaften durch Licht. Dabei greift das Licht (besonders UV-Licht) nicht direkt das Fett-Molekül an, sondern der aus der Umgebung stammende Sauerstoff wird aktiviert (radikalisch gemacht). Dieser kann dann vorrangig mit den Doppelbindungen in ungesättigten Fettsäuren reagieren.

Als Produkte entstehen gefährliche Peroxide, die wiederum sehr reaktionsfähig sind.
Für eine optimale Lagerung von Ölen bieten sich deshalb braune Flaschen an, die wenig Luft-überstand haben sollten. Gut eigenen sich auch Metall-Behälter mit kleinen Gieß-Öffnungen.
Lösungsmittel: In Fetten lösen sich vorrangig Fett-ähnliche Stoffe. Dies sind z.B. Lecithin und andere Lipoide, Fettsäuren, ätherische Öle, viele Geschmacks- und Gewürzstoffe und Vitamine. Bei den Gewürzen sindes z.B. Paprika, Curry und Kurkuma, die kräftige Fett-lösliche Farbstoffe enthalten.
Um verschiedene Inhaltsstoffe aus Lebensmitteln für die menschliche Ernährung verfügbar zu machen, müssen sie durch Fette herausgelöst werden. Sind in den Lebensmitteln zu wenige eigene Fette vorhanden (z.B. bei Obst und Gemüse), dann sollte bei Zubereitung Öl oder Fett als Lösungsmittel zugesetzt werden (pflanzliche Öle mit ungesättigten Fettsäuren bevorzugen!). Das Öl macht z.B. einen Salat zusätzlich leichter bekömmlich. Ein Mohrrüben-Rohkost-Salat ohne Fett-Begleitung nutz hinsichtlich der "Vitamin A"-Versorgung reichlich wenig. Also sollten auch Rohkost-Salate mit Öl (vorrangig pflanzlichen Ölen mit ungesätigten Fettsäuren) angemacht werden.
Auch bei der Herstellung von Gewürz- oder Kräuterölen macht man sich das Lösungsvermögen der Fette für bestimmte Stoffe zu nutze. Die zumeist nur Fett-löslichen ätherischen Öle (Geschmacks- und Geruchsstoffe der Gewürze und Kräuter) werden so extrahiert.
Nicht zu unterschätzen ist auch der Eigengeschmack von Fetten. So schmeckt z.B. in Lammfett gebratenes Scheinefleisch nach Lamm. Die Fett-Maserung von Fleisch ist ein wichtiges Qualitäts-Merkmal.
Gerade beim Braten und Grillen, wenn das Fett im fertigen Produkt verbleibt, ist ein gut durchwachsenes Stück Fleisch als Ausgangsmaterial besonders wichtig.

durchwachsenes Rind-Fleisch
Q: de.wikipedia.org (USGov-USDA (AlbertCahalan))

Bedingt durch bestimmte Eigenschaftskombinationen ergeben sich für viele Fette typische Verwendungen in der Küche. Siehe dazu auch auf den nachfolgenden Seiten die entsprechenden Tabellen mit vielen Beispielen.
Insgesamt spielt es nicht unbedingt eine herausragende Rolle, ob das reine Fett (z.B. Butter, Butterschmalz) verwendet wird oder der pflanzliche bzw. tierische Rohstoff (z.B. Milch). Oft ergibt sich hier für Energie-Bewußte eine gute Wahl-Möglichkeit, ohne auf die tragenden physiologischen und technologischen Eigenschaften zu verzichten.

Fettverderb: Der Fettverderb beinhaltet verschiedene Veränderungen der Fett-Eigenschaften, einige haben wir schon erwähnt (Rauchen der Fette, chemische Veränderungen (→3.1.3.1. Allgemeine (physikalische und chemische) Eigenschaften von Fetten), …). Er basiert somit meist nicht auf eine einzelstehende Eigenschaft, sondern vielfach auf die Kombination verschiedener Faktoren.
Für den Gebrauch als Lebensmittel eignen sich nur solche Fette, die höchstens geringfügig verändert (verdorben) sind. Im Allgemeinen kann man davon ausgehen, wenn das Fett andersartig riecht, sich deutlich verfärbt oder andere atypische Veränderungen aufweist, dann ist es schon verdorben und nicht mehr für die menschliche Ernährung geeignet.

	(Ver-)Brennen der Fette cis-trans-Umwandlungen an Doppelbindungen
135 – 240	Rauchen der Fette
170	Rauchen Acrylein-Bildung
50 – 100	Gerinnung enthaltener Proteine Hydrolyse Autooxidation an Doppelbindungen

Aufgaben:

1. *Da Fetten ein negatives Image anhängt, ist ein Austausch gegen andere Stoffe ev. sinnvoll. Prüfen Sie welche technologischen Eigenschaften sich durch andere Stoffe realisieren lassen! Wägen Sie Aufwand und Nutzen sowie eventuelle Gefährdungen ab!*
2. *Lecithin wird in der Nahrungsmittelherstellung als Emulgator und als Dispersionsmittel verwendet. Erklären Sie diese Verwendungszwecke für Lecithin! Begründen Sie die besondere Eignung dieser Substanz (bzw. ähnlicher Substanzen) für die Lebensmittel-Herstellung!*
3. *Warum verwendet man für eine Lagerung von essentiellen Fetten am Besten braune oder Metall-Flaschen mit geringem Luftüberstand und einen kühlen Platz? Begründen Sie ausführlich!*

Fett / Öl	Quelle / Herkunft	Verwendung	Bemerkungen
Butter	Kuhmilch	Streichfett, zum Dünsten und Verfeinern, für Teige und Massen Butterschmalz: zum Braten und Verfeinern	
Rinder-(nieren)-Fett	Rinderniere	Yorkshire- und eng. Christmas-Pudding	
Rinderfett	Knochenmark	für Suppen und Brühen, Klößchen, Risotto, zum Konservieren von Rinderfleisch, für Margarine	schwer verdaulich
Kalbs(nieren)-fett	Kalbsnieren	zum Schmoren von weißem Gemüse, für Fettmischungen	
Kalbsfett	Knochenmark	für Pastetchenfüllungen, selbstständige Gerichte	
Schweinefett	Unterhaut	Schmalz: selbstständige Gerichte, zum Braten und Schmoren, für geriebenen Teig, Streichfett (Rücken-)Speck: zum Spicken, Lardieren und Bardieren, für Wurst	
Gänsefett	Haut,	zum Schmoren von Kohlgemüse, für Risotto und Pasteten, zu Abdecken von Terrinen, Streichfett	
Entenfett	Haut,	zum Schmoren von Kohlgemüse, für Risotto, zu Abdecken von Terrinen, Streichfett	
Lebertran Fischleberöl	Fischleber	Gewinnung von Vitaminkonzentraten, für Margarine und Kunstspeisefette	
Tran, Walöl	Unterhaut	für Margarine und Kunstspeisefette	heute untergeordnete Bedeutung

Fett / Öl	Quelle / Herkunft	Verwendung	Bemerkungen
Sonnenblumenöl	Samen	kalte Küche (z.B.: Salate), für Margarine	
Rapsöl	Samen	kalte Küche, für Margarine, Brat- und Backfett	
Sojaöl	Samen	kalte Küche (z.B.: Salate), Speiseöl, Brat- und Backfett	
Olivenöl	Fruchtfleisch	kalte und warme Küche, zum Marinieren und Einlegen	
Sesamöl	Samen	kalte und warme Küche, zum Dünsten	typisch für asiatische Küche
Maiskeimöl	Keimlinge	kalte Küche (z.B.: Salate)	
Distelöl Safloröl	Samen (Färberdistel)	kalte Küche (z.B.: Salate), diätetische Margarine	
Kokosfett	Fruchtfleisch (Kopra)	zum Frittieren, für Margarine und Speisefette	
Lein(samen)-öl	Samen	kalte und diätetische Küche	
Weizenkeimöl	Keimlinge	kalte Küche	
Erdnußöl	Samen	warme Küche, zum Frittieren, für Margarine und Speisefette Erdnußbutter: Brotaufstrich	Erdnußfett: gehärtetes Öl
Kürbiskernöl	Samen	kalte Küche (z.B.: Salate), für Sulzgerichte	
Palmöl Palmfett	Fruchtfleisch	für Margarine, zum Anfärben, zur Herstellung von rotem Farbstoff (Karotine), Brat- und Backfett	
Palmkernfett	Samen	für Margarine, zum Frittieren	
Traubenkernöl	Samen (Weintraube)	kalte und warme Küche (z.B.: Salate, zum Braten)	
Haselnußöl	Samen	kalte Küche	
Baumwoll(saat)-öl		Speiseöl, Back- und Bratfett, für Margarine	
Walnußöl	Samen	Salatöl	

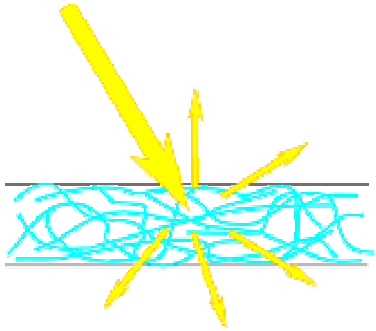
3.1.4. Nachweise und Prüfverfahren für Fette

Der Nachweis von Fetten ist mit der Fettfleckprobe recht einfach durchzuführen. Dieser Test beruht auf die Schwerflüchtigkeit von Fetten. Dies bedeutet, sie verdunsten nur sehr schlecht. Fette hinterlassen auf Papier oder Textilien dauerhafte und durchscheinende Flecken.

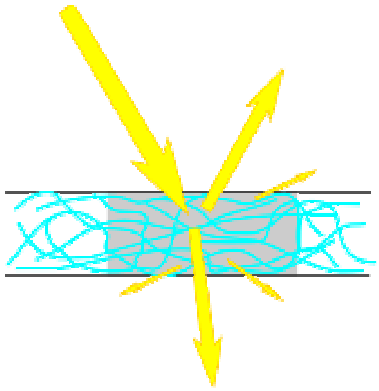
Für den Test überführt man einen Tropfen der zu testenden Flüssigkeit auf das Filterpapier. Feste Proben werden direkt auf dem Papier ausgepreßt. Nun wartet man etwas. Trocknet die Probe weg, kann man nicht von einem Fettanteil ausgehen. Bleibt aber ein Fleck, der sogar das Papier durchscheinend macht, dann enthielt die Probe Fett. Als Zeitgeber - um zu wissen, wann man ablesen darf - hat sich ein Wassertropfen bewährt. Wenn dieser weggetrocknet ist, hat die Probe auch ausreichend Zeit gehabt. Man kann aber auch willkürlich eine Zeitspanne z.B. 5 oder 15 min festlegen. Wasser bietet sich aber auch als Blindprobe an. Der Test beruht im Wesentlichen auf zwei Eigenschaften. Zum Einen gehört hierzu die schon erwähnte Schwerflüchtigkeit. Der Fleck bleibt langfristig erhalten, da Fett bei Zimmertemperatur im Prinzip nicht verdampfen (verdunsten).

Zum Anderen verändern sich die optischen Eigenschaften an der Auftragestelle. Papier zeigt – bedingt durch die faserige Innenstruktur eine sehr diffuse Lichtreflexion. Es erscheint uns weiss. Der Fett-Fleck bewirkt eine starke Totalreflexion. Das Licht wird durch das Papier geleitet, aber auch gebrochen. Als Ergebnis haben wir einen durchscheinenden Effekt.

An der Auftragestelle kann man durch das Papier hindurch große Buchstaben einer darunterliegenden testseite lesen.



diffuse Reflexion an Papier



Totalreflexion und diffuse Reflexion an einem Fett-Fleck

Als **Arbeitsschritte für** diesen **Test** ergeben sich:

1. *Kennzeichnen der späteren Auftragungspunkte auf dem Filterpapier mit Bleistift*
2. *Beschriftung der Punkte bzw. Filterpapiere mit "**Wasser**" und "**Probe**" (bzw.: Wasser, Probe1, Probe2, ...)*
3. *Aufbringen von 1 – 2 Tropfen der Proben (und des Wassers oder anderer Blindproben)*
4. *Abwarten, bis Wasser verdunstet ist*
5. *Beobachtungen notieren, eventuell Flecken auf Filterpapier mit Bleistift umranden*

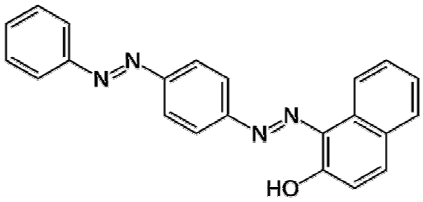
Die gesamte Fettfleckprobe noch einmal als Übersicht:

Nachweis von Fett mit der Fettfleck-Probe:

	Nachweismittel	***Bedingungen***	***Beobachtungen***	***Ergebnis***
Probe +	**Filterpapier**	*Abtrocknen eines Wasserfleckes abwarten*	**bleibender, durchscheinender Fleck**	wahrscheinlich **Fett vorhanden**
(auftropfen oder zerdrücken)	***(weiß, undurchsichtig)***	*(entsp. Blindprobe)*	anderer Fleck	**kein Fett vorhanden**

Beachten Sie, dass der Begriff "Probe" in der Praxis in zweierlei Bezug benutzt wird. So versteht man zum Einen eine bestimmte Untersuchungsmethode / einen Nachweis bzw. Test als Probe. Als Beispiel hatten wir gerade die Fettfleck-Probe. Zum Anderen wird ein Stück oder das gesamte Untersuchungs-Material als Probe – besser noch – als Stoff-Probe bezeichnet. Man zieht z.B. eine Probe. Das soll heißen, von einem Untersuchungs-Objekt wird ein Teil zum Untersuchen entnommen.

Etwas Unsicherheit bleibt natürlich bei einem solchen Test. Auch andere Stoffe verdunsten sehr schwer und würden einen bleibenden Fleck hinterlassen. Deshalb ist die Fettfleck-Probe parteilos eher ein Hinweis als ein Nachweis! Wenn allerdings kein dauerhafter, durchscheinender Fleck erhalten bleibt, dann können wir sehr sicher sein, dass auch wirklich kein Fett enthalten war (Ausschluß-Test). Etwas sicherer kann man Fett mit dem Farbstoff Sudan-III nachweisen.
Übliche Farbstoff-Test's (- wie Sie diese in der Schul-Chemie bisher kennen gelernt haben -) beruhen fast immer auf der Veränderung der Struktur der Farbstoffs. Dies kann durch chemische Reaktion mit dem Proben-Material passieren oder durch Veränderung / Verschiebung von Ladungen oder Doppelbindungen usw. Praktisch entsteht dadurch ein anderer Stoff mit anderen Eigenschaften – z.B. eben einer anderen Farbe.
Im Fall des Sudan-III (auch Sudan-Rot) wird aber lediglich die Löslichkeit des Farbstoffes in Fetten genutzt. D.h. hier kommt es zu <u>keinem</u> Farbumschlag, sondern nur zu einer Aufkonzentrierung des Farbstoffes in den Fett-haltigen Lebensmitteln oder deren Fett-Bestandteilen (z.B. Fett-Tröpfchen der Milch).
Sudan-III konnte bis 1995 in der EU noch als Färbemittel für Lebensmittel(-Fette) verwendet werden. Wegen seiner kanzerogenen und gesundheitsschädigenden Wirkung (Bildung von Aminen) ist der Gebrauch im Lebensmittel-Bereich aber nun ausgeschlossen.



Strukturformel von Sudan-III
Q: de.wikipedia.org (Jürgen Martens)

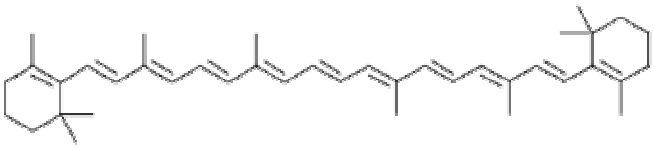
<u>Nachweis von Fett mit Sudan-III-Lösung:</u>

	Nachweismittel	***Bedingungen***	***Beobachtungen***	***Ergebnis***
Probe +	Spatelspitze **Sudan-III-Pulver** (od. 3 Tr. Sudan-III-Lsg.)		**Orange- bis Rot-färbung** (des Probenmaterials)	**Fett**
	rot *(rot orange (alkoh. Lsg.))*		anders (keine Farbannahme)	kein Fett

Diese Probe ist ebenfalls leicht durchzuführen und gibt uns aber eine deutlich höhere Sicherheit für das Ergebnis. Sehr sinnvoll ist der direkte Vergleich mit einer nicht behandelten Probe (ohne Sudan-III). So lassen sich auch kleinere Farbveränderungen deutlich erkennen.
Die Sudan-III-Probe kann auch mit dünnen, festen oder flüssigen Proben auf einem Objektträger durchgeführt werden. Die Beobachtungen können dann unter dem Mikroskop gemacht werden. Für Vorproben bieten sich Milch und / oder Mandelsplitter an.
Für feste Proben wird auch die Verwendung von Sudan-III-Papier empfohlen. Hierbei wird die Probe auf dem Papier zerdrückt und sofort und nach rund 10 min wiederholt beobachtet.
Weiterhin geeignet wären auch andere lipotrope Farbstoffe, wie Alkannarot, Scharlach R, Lackrot A und Nilblausulfat.
Die meisten lipophoben Farbstoffe lassen sich auch zum Anfärben von mikroskopischen Präparaten benutzen. Die Fett-haltigen Bestandteile treten dann farbig hervor. (Sudan-III wird auch zum Anfärben von Zellwänden und der Cuticula verwendet.)

Mit dem – nur Wasser-löslichen – Farbstoff Methylenblau lassen sich unterschiedliche Phasen usw. gut im Kontrast färben. Eine sogenannte Kontrast-Färbung lässt sich mit Methylenblau für die wässrige Phase und dem nur Fett-löslichem Sudan-III (od. auch Sudan-Rot) für die Fett-Phase realisieren. Diesen Kontrast kann man gut zur makroskopischen und mikroskopischen Untersuchung von Emulsionen nutzen.

Für einen Schnelltest mit Küchenmaterialien nutzt man die Eigenschaft der Fette aus, dass sie bestimmte Farbstoffe aus anderen Lebensmitteln bzw. Gewürzen gut lösen und in sich aufnehmen (absorbieren) können. Ein solcher Farbstoff ist z.B. das Carotin aus Mohrrübe oder Paprika.



Strukturformel von β-Carotin
Q: de.wikipedia.org (Slashme)

Nachweis von Fett mit Carotin (Paprika-Pulver):

	Nachweismittel	***Bedingungen***	***Beobachtungen***	***Ergebnis***
Probe +	Spatelspitze **Paprika-Pulver** ***(dunkelrot, braun)***		**Orange- bis Rot-färbung** (des Probenmaterials)	**Fett**
			anders	kein Fett

Alternativ lassen sich Curry oder Kurkuma einsetzen. Aus ihnen werden dann gelbe Farbstoffe herausgelöst.

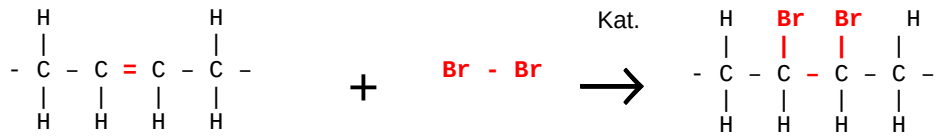
Wenn Lebensmittel oder andere zu testende Materialien schon selbst gefärbt sind, dann sollte immer eine Vergleichs-Probe mit Wasser oder dem verwendeten Lösungsmittel daneben gestellt werden. So kann man auch feine Farb-Unterschiede oder schleichende Veränderungen gut erkennen.

Eine Unterscheidung von Mineralölen und Lebensmittel-Fetten gestaltet sich mit den bisher genannten Tests eher schwierig. Eine Möglichkeit zur Untersuchung ist das unterschiedliche Verhalten im ultravioletten Licht (UV-Licht). Da Mineralöle – bedingt durch ihre Herkunft und Herstellung – immer auch Aromaten enthalten – zeigen diese im UV-Licht Fluoreszenz-Erscheinungen. Die Fluoreszenz-Farbe richtet sich nach dem verwendeten UV-Licht (z.B. Geldschein-Tester) und vorrangig nach den enthaltenen Aromaten bzw. anderen Zusätzen.

Die besprochenen Tests sagen nur etwas über die An- oder Abwesenheit von Fetten aus. Es handelt sich also um **qualitative Tests**. Teilweise lassen sie sich auch für semiquantitative Aussagen gebrauchen. In solchen fällen können grobe Aussagen zum vorhandenen Fett-Gehalt machen (z.B.: viel .. wenig; mehr .. weniger usw. usf.). Semiquantitative Tests reichen meist schon für einen Vergleich verschiedener Proben aus.

Für viele Anwendungen (amtliche Lebensmittel-Untersuchungen usw.) ist es aber nötig, genaue quantitative Aussagen zu machen.

Der Gehalt an Doppelbindungen läßt sich z.B. mit Brom-Wasser bestimmen. Dabei wird die Fähigkeit von Brom ausgenutzt, an den Doppelbindungen anzukoppeln. Chemisch handelt es sich um eine Addition.



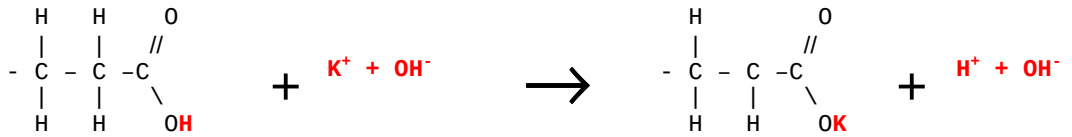
meist farblos (rot)braun meist farblos

Beim Zutropfen der braunen Brom-Lösung kommt es solange zur Entfärbung, wie noch Doppelbindungen vorhanden sind. Bei vergleichbaren Probenmengen und mittels Zählen der Tropfen verbrauchter Brom-Lösung ist eine Gegenüberstellung der Proben zueinander möglich.
Eine vollquantitative Analyse setzt auch die Kenntnis des Brom-Gehalts (im Brom-Wasser) und des Fettgehalts in der Probe voraus.

<u>Nachweis von Doppelbindungen mit Brom-Wasser (semiquantitativ):</u>

	Nachweismittel	***Bedingungen***	***Beobachtungen***	***Ergebnis***
Probe +	**Brom-Wasser (tropfenweise)** ***(braun)***	schütteln **(Tropfen zählen)**	**Entfärbung**	**Doppelbindung**
			anders	keine Doppelbindungen

Zur Bestimmung der exakten Menge (vollquantitativ) an ungesättigten Fettsäuren (genauer der Menge an Doppelbindungen) benutzt man die Jod-Zahl (alt: JZ; neu: IZ). Auch hier wird die Anlagerungfähigkeit der Halogene an Doppelbindungen ausgenutzt. Die Iod-Zahl gibt an, wie viel Halogen [in g] werden von 100 g Fett gebunden. Bei den Iod-Zahl-Verfahren wird eigentlich auch Brom addiert. Dabei wird mit einem definierten Überschuss gearbeitet und nachträglich die nicht verbrauchte Menge an Brom mit Iod reduziert. Z.Z. wird das Verfahren nach WIJS sehr häufig genutzt. Andere Iod-Zahlen, die nach alternativen Verfahren (KAUFMANN, HANUŠ, ROSEMUND, …) bestimmt werden, weichen aber z.T. voneinander ab.
Die Säure-Zahl (SZ) (oder auch Neutralisations-Zahl (NZ)) ist ein Maß für die freien Fettsäuren in der Fett-Probe. Sie gibt an, wie viel Kaliumhydroxid [in mg] zur Neutralisation der in einem Gramm Fett enthaltenen Fettsäuren bebraucht wird. Je frischer das Fett ist, umso geringer ist die Säure-Zahl. Zur Bestimmung wird der Probe Kaliumhydroxid (mit bekannter Konzentration) zugesetzt bis diese neutralisiert ist. Zum Erkennen des Neutralisationspunktes verwendet man z.B. einen Farbindikator.



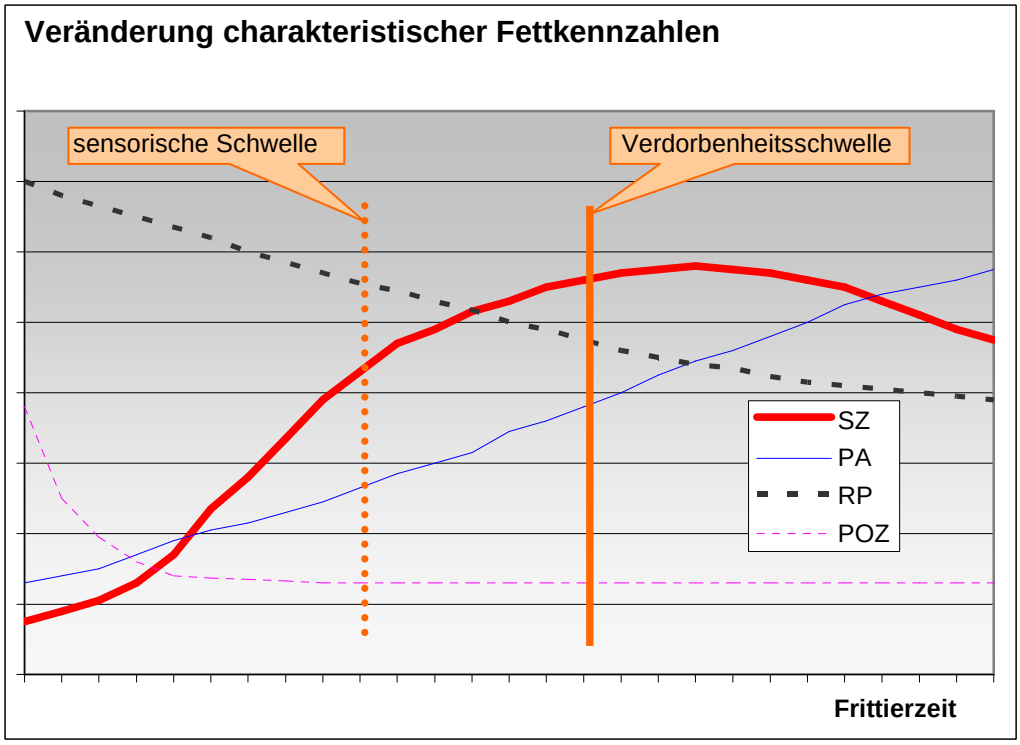
Fettsäure (Säure) | Kaliumhydroxid (Base) | Kali-Seife (Salz) | Wasser (Wasser)

Beim Benutzen eines Fettes steigt die Säure-Zahl normalerweise. Später (mit Beginn des merklichen Fettverderbs) sinkt sie dann wieder. Hierfür sind vor allem die Bildung von Epoxiden sowie Decarboxilierungs-Vorgänge verantwortlich.
Mit der Verseifungs-Zahl (VZ) bestimmt man, wie viele Fettsäuren insgesamt im Fett vorhanden sind (frei, als auch verestert). Dazu wird die Probe mit Kaliumhydroxid einer Verseifung unterzogen.
Die etwas weniger benutzte Ester-Zahl (EZ) ist die Differenz zwischen Verseifungs-Zahl (VZ) und Säure-Zahl (SZ).

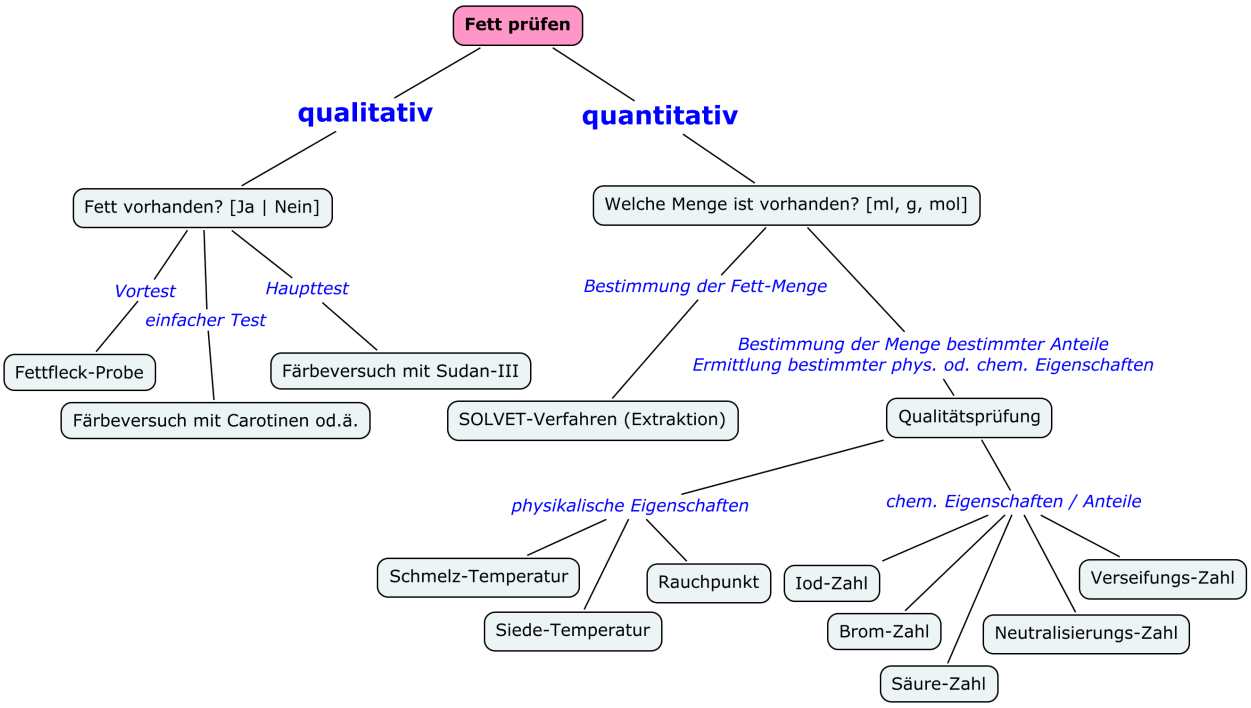
$$EZ = VZ - SZ$$

Ein Fett mit einer Säurezahl bis 0,5 gilt als völlig in Ordnung. Bei Werten im Bereich von 0,9 bis 2,1 ist das Fett noch nutzbar. Steigt der Wert über 3,1, dann ist das Fett verdorben.

Mit der Hydroxyl-Zahl (Hydroxid-Zahl) werden die acylierbaren Hydroxyl-Gruppen ermittelt. Praktisch ist es die Masse [in mg] Kaliumhydroxid, die 1 g Probensubstanz bei der Acytylierung äquivalent ist.
Weiterhin wird zur Qualitätsbestimmung noch die Peroxid-Zahl (POZ) benutzt. Je verbrauchter ein Fett ist, umso geringer wird die Peroxid-Zahl.
Zu Vergleichszwecken kann man auch die Rauchpunkte eines Fettes verfolgen. Mit steigender Fritierzeit sinkt der Rauchpunkt immer mehr.



grobe Übersicht über mögliche Fett-Untersuchungen:



Praktikums-Aufgaben:

Praktikum "Prüfung auf Fett-Gehalt" (30 - 45 min)

Prüfen Sie Salatöl, 2 vorgebene Proben und 2 selbstmitgebrachte Lebensmittel-Proben (vorrangig flüssig) auf ihren Fett-Gehalt (qualitativ)! Gut geeignet sind die folgenden Lebensmittel (kein Muss, nur Empfehlung!):

Milch, Sahne, Majonäse, Quark, Frischkäse, Marmelade, Säfte, Avocado, Streichwurst, lockere Creme aus Riegeln oder Torten, …

Bereiten Sie das Protokoll soweit vor, dass Sie sofort mit den praktischen Arbeiten beginnen können!

Hinweise zum Protokoll:
Die folgenden Fragen und Problemstellungen sollten in den Vorbetrachtungen abgearbeit werden:
1. Welche Test's sind für einen qualitativen Fett-Nachweis geeignet? Welche Aussage-Güte ist zu erwarten?
2. Wie funktionieren die einzelnen Test's?
3. Wieviele Einzel-Test's müssen Sie durchführen (Blindproben nicht vergessen!)?
4. Wieviele Thesen sind notwendig? Wie lauten die experimentellen Thesen?

Praktikum "Löslichkeit und Mischbarkeit von Wasser und Fett" (45 min)

Untersuchen Sie die Mischbarkeit | Löslichkeit sowie die Stabilität der Mischung (über 20 – 25 min) von Öl in Wasser

a) bei einfachem Mischen | Zusammengießen

b) bei leichtem Schütteln

c) bei kräftigem Schütteln!

Hinweise zum Protokoll:
Die folgenden Fragen und Problemstellungen sollten in den Vorbetrachtungen abgearbeit werden:
1. Was versteht man unter Löslichkeit / Mischbarkeit von Stoffen?
2. Wie ist es um die Löslichkeit von Öl in Wasser oder andersherum bestellt? Warum ist das so?
3. Welche Beobachtungen erwarten Sie, wenn Sie die Versuche durchführen (Voraussage)? Warum müsste es gerade so sein (Begründung)?
4. Wieviele Thesen sind notwendig? Wie lauten die experimentellen Thesen?

Kennzahlen ausgewählter Fette

Fett	Schmelz-Punkt [°C]	Iod-Zahl (nach ???)	Versei-fungs-Zahl	Anteil ges. FS [%]	% einf. unges. FS [%]	Anteil mehrf. unges. FS [%]	
flüssige Fette / Öle							
Baumwollsaatöl				31	19	50	
Erdnussöl *) **)	-2 … 3	86 – 99	185 – 197	19 17	39 56	42 42	
Heringsöl				22	56	22	
Leinöl	-27 … -16	164 – 195 (180)	188 – 195				
Maiskeimöl				13	34	53	
Olivenöl	-2 … 9	78 – 90 (80)	187 – 196	15	76	9	
Palmöl	22 … 40	34 – 59	196 – 206				
Rapsöl	-10 … 10	94 – 105	167 – 179	8	61	35	
Sojaöl	-18 … -8	125 – 134	190 – 193	15	21	64	
Sesamöl	-6 … -4	103 – 115	186 – 195				
Sonnenblumenöl	-18 … 11	130		13	23	64	
feste Fette							
Butterfett	26 … 39	26 – 46 (35)	220 – 233	64	33	3	
Hammeltalk	45 … 50						
Kokosfett	20 … 28	8 – 10 (7)	246 – 269	91	7	2	
Palmfett		10 – 17	241 – 269				
Rindertalg	39 … 50	32 – 35	190 – 200	52	44	4	
Schweineschmalz	26 … 39	46 – 77 (65)	193 – 200	41	49	10	
Walöl	<0						

*) Argentinien **) Afrika

3.1.5. Ergänzende Experimente zu und mit Fetten

Extraktion von Fetten aus Lebensmitteln

Materialien / Geräte:

SOXLETH-Apperat; Lebensmittelproben (feste Proben, z.B. Kartoffelchips, Pommes frites, Käse, …)

Durchführung / Ablauf:

- Probe einwiegen
- Probe im Trockenschrank trocknen (30 min bei 150 ℃ oder 3 h bei 105 ℃)
- getrocknete Probe erneut wiegen
- getrocknete Probe in Fritte geben und SOXLETH-Apperat mit Leichtbenzin befüllen
- 30 min extrahieren lassen
- Probe nochmals "trocknen" (vom Lösungsmittel Leichtbenzin)
- Probe nun nochmals wiegen
- Wasser-, Trockensubstanz- und Fettgehalt berechnen (Prinzip ➔ 3.7.3. Nachweise für Wasser)

Zusatzuntersuchung:

- einige ml des Extraktes können vorsichtig offen (unterm Abzug) erwärmt werden oder einige Zeit (1 d) unterm Abzug ablüften lassen
- mit dem Rückstand die Fettfleck-Probe machen oder alternativ dazu Untersuchung mit UV-Licht

Hinweise:

- Lichtbenzin ist leicht entzündlich

Löslichkeit von Fetten in verschiedenen Lösungsmitteln

Materialien / Geräte:

Reagenzgläser; Reagenzglasständer; verschiedene Lösungsmittel (Wasser, Alkohol, Benzin, Tetrachlorcohlenstoff (Tetra) (Vorsicht! Gift!), Wasser mit Spülmittel, ...); Fett oder Öl

Durchführung / Ablauf:

- jeweils ein Lösungsmittel 3cm hoch (entspricht rund 3 ml) in Reagenzglas füllen
- jeweils 3 Tropfen Öl oder Spatelspitze Fett zugeben und umschütteln

Zusatzuntersuchung:

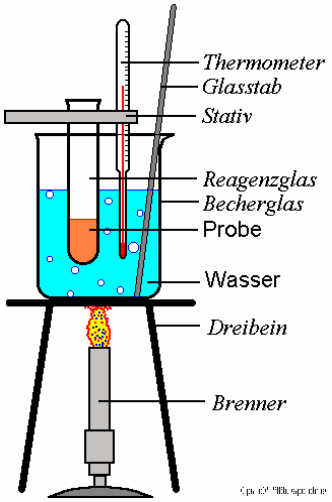
- die Löslichkeit kann auch in Abhängigkeit von der Temperatur untersucht werden (unter Erwärmung auf z.B. 60 od. 80 ℃ und nachfolgender Abk ühlung auf Zimmertemperatur)

Bestimmung der Schmelz- und Siedetemperatur eines Fettes

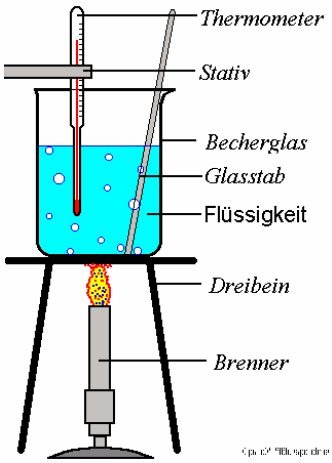
Materialien / Geräte:

Becherglas (250 - 400 ml); Wasser; Glasstab; Brenner; Dreibein mit Drahtnetz; Stativ mit Reagenzglashalter; Probe; Thermometer
Becherglas (200 - 250 ml)

Durchführung / Ablauf:



Schmelzpunkt-Bestimmung



Siedepunkt-Bestimmung

- Aufbau laut Skizzen
- langsam erwärmen unter ständigem Rühren

Hinweise:

- ev. muss von einer Eismischung (Wasser, Eis, Salz) ausgegangen werden um den Schmelz- bzw. Erstarrungspunkt flüssiger Öle zu bestimmen
- bei der Siedepunktbestimmung Brandschutz beachten (Löschdecke, Deckel für Probegefäß, Feuerlöscher)!

Verseifung eines Fettes

Grundlagen / Prinzipien:

Die Bildungreaktion eines Fettes aus Glycerol und Fettsäuren ist umkehrbar. Dabei muß das fett mit Wasser hydrolysiert werden. Die Reaktion wird durch Verwendung einer Base oder anderer Mineralien (z.B. Asche) gut katalysiert. Im Ergebnis entstehen Salze der Fettsäuren – die sogenannten Seifen.

Materialien / Geräte:

Fett od. Öl; Base (z.B.: Natriumhydroxid, 60%ige Kaliumhydroxid), Pflanzen- od. Zigarettenasche od. Soda od. Pottasche; ev. Ethanol (Brennspiritus)

Durchführung / Ablauf:

- 1 g Fett und 1 g Wasser od. Base (= 1 ml) in Reagenzglas zusammengeben; ev. noch Ethanol als Lösungsvermittler zugeben
- ev. Asche od. Soda od. Pottasche hinzugeben
- mehrfach vorsichtig aufkochen od. 10 min in siedendes Wasser halten
- abkühlen lassen und dann mit 3 – 5 ml Wasser die Seifen auswaschen

(- Verseifung ist abgeschlossen, wenn eine kleine Probe der Seife in destilliertem Wasser eine klare Lösung gibt)

Hydrolyse eines Fettes (Freisetzung der Fettsäuren)

Grundlagen / Prinzipien:

Die Bildungreaktion eines Fettes aus Glycerol und Fettsäuren ist umkehrbar. Dabei muß das fett mit Wasser hydrolysiert werden. Die Reaktion wird durch Verwendung einer Base oder anderer Mineralien (z.B. Asche) gut katalysiert. Im Ergebnis entstehen Salze der Fettsäuren – die sogenannten Seifen. Mit einer starken Säure lassen sich die reinen Fettsäuren ausfällen und mit einem organischen Lösungsmittel extrahieren.

Materialien / Geräte:

Fett od. Öl; Base (z.B.: Natriumhydroxid, Kaliumhydroxid), Pflanzen- od. Zigarettenasche od. Soda od. Pottasche; ev. Ethanol (Brennspiritus); Salzsäure, Trichlorethan

Durchführung / Ablauf:

- 1 g Fett und 1 g Wasser od. Base (= 1 ml) in Reagenzglas zusammengeben; ev. noch Ethanol als Lösungsvermittler zugeben
- ev. Asche od. Soda od. Pottasche hinzugeben
- mehrfach vorsichtig aufkochen od. 10 min in siedendes Wasser halten
- abkühlen lassen und dann mit gleicher Menge Salzsäure die Fettsäuren ausfällen und ev. mit Trichlorethan extrahieren

Nachweiß ungesättigter Fettsäuren mit BAEYERs Reagenz (I)

Grundlagen / Prinzipien:

$$/ \quad -CH=CH- + \underset{\text{violett}}{MnO_4^-} + H_2O \longrightarrow \underset{\text{farblos}}{Mn(OH)_2} + -HCOH-HCOH- /$$

(mögliche Zwischenprodukte auch braun)

(Achtung! Reaktion ist wenig spezifisch!)

Materialien / Geräte:

Reagenzglas, Brenner, BAEYERs Reagenz (Natriumcarbonat-Lösung mit 2% Kaliumpermanganat)

Durchführung / Ablauf:

- Probe (50 mg /Spatelspitze oder 2 Tropfen)
- leicht erwärmen
- Tropfenweise bis zur bleibenden Violettfärbung BAEYERs Reagenz zusetzen (für semiquantitative Vergleiche die Tropfen zählen)

alternativ:

Materialien / Geräte:

Reagenzglas, Brenner, 5 %ige Natriumcarbonat-Lösung; 2% Kaliumpermanganat-Lösung (frisch)

Durchführung / Ablauf:

- Probe (50 mg /Spatelspitze oder 2 Tropfen) unter Erwärmen mit 5 ml Natriumcarbonat-Lösung emulgieren (kräftig schütteln)
- tropfenweise Kaliumpermanganat-Lösung zugeben, bis Violettfärbung erhalten bleibt (für semiquantitative Vergleiche die Tropfen zählen)

Herstellung einer Emulsion

Grundlagen / Prinzipien:

siehe auch Abschnitt 3.1.3.1.
Öl oder erwärmtes Fett dient als nichtwässrige Phase, Milch oder Wasser dienen als wässrige Phase, das Eigelb und Senf (für Majonäse-Herstellung) bzw. Gallensaft oder Seifenlösung sind mögliche Emulgatoren

Materialien / Geräte:

Öl, Milch (Wasser), Eigelb und Senf (Lecithin, Gallensaft, Seifenlösung), Reagenzglas

Durchführung / Ablauf:

Majonäse:
- 2 ml Öl, 1 ml Milch, 1 ml Eigelb und Senf in ein Reagenzglas füllen
- kräftig schütteln
- eventuell Tropfen unter Mikroskop betrachten

ungenießbare Emulsion
- 2 ml Öl, 2 ml Wasser, wenige Tropfen Gallensaft oder Seifenlösung bzw. Spatelspitze Lecithin in ein Reagenzglas füllen
- kräftig schütteln
- eventuell Tropfen unter Mikroskop betrachten (Fett eventuell noch mit Sudan-III anfärben)

Nachweiß ungesättigter Fettsäuren nach BAEYER (II)

Grundlagen / Prinzipien:

$$/ \quad -CH=CH- + \underset{\text{violett}}{MnO_4^-} + H_2O \longrightarrow \underset{\text{braun}}{MnO_2} + -HCOH-HCOH- \quad /$$

(mögliche Folgeprodukte auch farblos)

(Achtung! Reaktion ist wenig spezifisch!)

Materialien / Geräte:

Reagenzglas, Aceton (Wassergehalt 5%), 2%ige Kaliumpermanganat-Lösung

Durchführung / Ablauf:

- Probe (50 mg /Spatelspitze oder 2 Tropfen) in 2 ml Aceton auflösen
- Tropfenweise bis zur Entfärbung (Braun-Färbung) Kaliumpermanganat-Lösung zusetzen
- Test gilt als erfolgreich, wenn mehr als 2 Tropfen Kaliumpermanganat-Lösung entfärbt werden

Überprüfung von (Fittier-)Fetten auf Verderbheit (MERCK FRITEST ®)

Materialien / Geräte:

MERCK Frittest-Set; verschiedene Fettproben (z.B. aus Frittösen, Lageröle, …)

Durchführung / Ablauf:

- nach Anleitung des Set's

Überprüfung von (Fittier-)Fetten auf Verderbheit (MERCK OXIFRIT ®)

Materialien / Geräte:
MERCK Oxifrit-Set; verschiedene Fettproben (z.B. aus Frittösen, Lageröle, …)

Durchführung / Ablauf:
- nach Anleitung des Set's

Säure-Zahl eines Fettes

Grundlagen / Prinzipien:
Die in älteren (verdorbenen) Fett werden durch Hydrolyse vermehrt Säuren frei. Die Fettsäuren sind sehr schwache Säuren, die mit starken Basen aber gut titriert werden können.
Die Säure-Zahl sollte nicht größer als 2,0 sein.

Materialien / Geräte:
Fett-Probe(n); Ethanol (Brennspiritus), alternativ Ether; Indikator (Phenolphthaleïn); Bürette; Kalilauge (Kaliumhydroxid); ERLENMEYER-Kolben; Magnetrührer

Durchführung / Ablauf:
- Bürette mit genormter Kalilauge (z.B.: 0,1 M) befüllen
- 1 g Probe in 2 ml Ethanol auflösen und 3 – 5 Tropfen Indikator zusetzen
- unter ständigem Rühren bis zur anhaltenden Rosafärbung titrieren

Berechnung:

$$m_{KOH} = V_{KOH} \cdot 56 g/mol \cdot c_{KOH}$$

$$SZ = m_{KOH}[mg] = 5{,}61 \frac{V_{KOH}}{m_{Probe}}$$

Bestimmung der Iod-Zahl eines Fettes

Grundlagen / Prinzipien:
Die Iod-Zahl sollte zwischen 82 und 90 liegen.

Materialien / Geräte:
Chloroform, Iodmonobromid, Stärke-Lösung, Natriumthiosulfat, geeichte 10%ige Kaliumiodid-Lösung

Durchführung / Ablauf:
- 100 g Probewerden in Chloroform gelöst, dann werden 25 ml Iodmonobromid zugesetzt
- unter Zusatz von Stärke-Lösung, 10 ml 10%iger Kaliumiodid-Lösung und 100 ml Wasser wird mit 0,1N-Natriumthiosulfat titriert

Berechnung:

$$IZ = 1{,}269 \frac{V_{HV} - V_{BV}}{m_{Probe}}$$

V_{HV} .. Verbrauch [ml] 0,1N Natriumthiosulfat-Lsg. im Hauptversuch
V_{BV} .. Verbrauch [ml] 0,1N Natriumthiosulfat-Lsg. im Blindversuch
m_{Probe} .. Einwaage der Probe (100 g)
1,269 = Masse von 0,1 mol Iod

Nachweis von (freiem) Glycerol in einem Fett

Grundlagen / Prinzipien:

Neben den Neutralfetten (Triglyceriden) befinden sich auch fettlösliche Substanzen im Öl / Fett. Hierzu gehört u.a. auch das Glycerol. Dieses läßt sich indirekt durch Bildung von stechend riechendem Acroleïn (Achtung: reizend) nachweisen.

Materialien / Geräte:

Kaliumhydrogensulfat

Durchführung / Ablauf:

- eine Probe Glycerol (zum Vergleich) und die Ölproben werden mit einer Spatelspitze Kaliumhydrogensulfat versetzt
- vorsichtig erhitzen und den Geruch testen

Halbquantitative Bestimmung ungesättigter Fettsäuren mit Brom-Wasser

Grundlagen / Prinzipien:

Brom reagiert unter Aufspaltung und Anlagerung mit Doppelbindungen. Das Brom-Wasser verliert durch das fehlende Brom an Farbe (rotbraun --> farblos bis gelblich)
Die Anzahl entfärbter Brom-Wasser-Tropfen kann als Maß für die Doppelbindungen verwendet werden.

Materialien / Geräte:

Brom-Wasser (Vorsicht! Gift!); verschiedene Öle und Fette; Tetrachlorcohlenstoff (Tetra) (Vorsicht! Gift!); Reagenzgläser, Tropfpipette oder Bürette

Durchführung / Ablauf:

- jeweils 10ml Tetrachlorcohlenstoff mit 10 Tropfen Probe mischen (Fette eventuell vorher im Wasserbad schmelzen
- solange Brom-Wasser zutropfen bis dauerhaft keine Entfärbung auftritt

Schneller Oxidations-Test (I)

Materialien / Geräte:

Arbeits-Reagenz: 10 Teile 0,5 M Kaliumhydroxid in Benzylalkohol mit 100 Teilen Petroleumbenzin mischen
Fett-Proben (z.B. Frittier-Fett (alt))

Durchführung / Ablauf:

- 1 g Probe mit 20 ml Arbeits-Reagenz versetzen
- schütteln, bis das Fett vollständig gelöst ist
- 30 – 60 min ruhen lassen
- Beurteilung der abgesetzten Phase:

fast hell	→ SZ = 0,5	→ ok.
hell- bis mittelbraun	→ SZ = 0,9 – 2,1	→ noch nutzbar, muss bald ausgetauscht werden
dunkelbraun	→ SZ > 3,1	→ verdorben

Hinweise:

- Kaliumhydroxid ist ätzend; Benzylalkohol und Petroleumbenzin sind gesundheitsschädlich; Petroleumbenzin zusätzlich noch leicht entzündlich und umweltgefährlich

Schneller Oxidations-Test (II)

Materialien / Geräte:

Arbeits-Reagenz: Alkoholgemisch: 1 Teil Benzylalkohol und 3 Teile 1-Propanol; 2%ige alkalische Lösung des Alkoholgemisches

Durchführung / Ablauf:

- 1,5 ml Probe mit 3,5 ml der Arbeits-Reagenz
- 0,14 ml eines 0,1 %igen Gemisches aus Bromthymolblau und 2,6-Dichlorphenolindophenol in Dioxan mit 1 % Triethanolamin und 1 % Eisessig und 0,25 ml Wasser
- Beurteilung der Farbbildung:

blau	→ frisch, unbelastet, ok.
grünblau	→ noch gut
grün	→ an der Grenze
oliv	→ verdorben

Kontrast-Färbung mit Sudan-Rot und Methylenblau

Grundlagen / Prinzipien:

Sudan-Rot (Sudan-III) ist ausschließlich Fett-löslich; Methylenblau löst sich nur in Wasser

Materialien / Geräte:

kleine Reagensgläser (besser noch Sprungdeckel-Dosen), alte sehr feine Damen-Strumpfhose, Haushalts-Gummi's, Sudan-Rot (fest, kristallin), Methylenblau (fest, kristallin),

Vorbereitung:

- in die trockenen Reagenzgläser werden geringe Mengen der Farbstoffe gefüllt
- über die Öffnung wird ein Stück Damen-Strumpfhose gespannt (ev. doppelt verwenden) und mit Haushalts-Gummi's fixiert
- die gebauten Farbstoff-Streuer beschriften

Durchführung / Ablauf:

- auf die Untersuchungs-Objekte jeweils nur wenig von jedem Farbstoff streuen
- kurz einwirken lassen (Farbstoffe müssen sich erst lösen)

Tip und Q: Dr. E. NITSCHE (Uni Frankfurt)

Zusatzuntersuchung:

- unter dem Mikroskop lassen sich auch Mikroregionen erkennen und unterscheiden; z.B. Fett-Tröpfchen in Milch usw.

Herstellung einer Margarine

Versuch möglichst in einer Küche, einem Küchenlabor od.ä. durchführen!!!

Grundlagen / Prinzipien:

Margarinen sind Emulsionen aus meist pflanzlichen Fetten und Milchprodukten (Milch, Buttermilch, Joghurt). Feste und flüssige Fette werden je nach gewünschter Endkonsistenz gemischt. Zum Teil werden (in der Industrie) die flüssigen Fette auch gehärtet (die Doppelbindungen aufgespalten und mit Wasserstoff belegt). Dabei geht aber der essentielle Charakter der Fettsäuren verloren.

Materialien / Geräte:

Palmin, Speiseöl, Milch (oder andere flüssige Milchprodukte), Eigelb, Salz; ev. Möhrensaft
Porzelangefäß (100 - 200 ml) (Tasse; kleine, hohe Schale), Plastikwanne mit Eiswasser, Rührstab (Schneebesen)

Durchführung / Ablauf:

- 25g Palmin in der leichten Wärme schmelzen
- 1 Eßl. Öl, 1 Teel. Milch (oder anderes flüssiges Milchprodukt), 1 Teel. Eigelb und eine Prise Salz zugeben; ev. 3 – 4 Tropfen Möhrensaft zugeben
- Gefäß in Plastikwanne mit Eiswasser stellen
- kräftig rühren bis streichfähige Masse entsteht

(Es darf verkostet werden! *Frische Brötchen gehören zur Pflichtversorgung durch die Experimentatoren!!!*)

Herstellung von Butter

Grundlagen / Prinzipien:

Schon im alten Testatment ist die Herstellung von Butter durch Stoßen von Milch erwähnt.

Materialien / Geräte:

Frischmilch (3,5 % Fett), (Frische) Süße Sahne (Schlagsahne) (30 % Fett), Handrührgerät

Durchführung / Ablauf:

- Frischmilch mit etwas Sahne mischen, um natürliche Verhältnisse herzustellen
- Frischmilch bei 9 – 13 ℃ stehen lassen 1 – 2 Tag e
- Rahm abschöpfen

- Sahne mit Handrührgerät schlagen (bis butterartige Masse entsteht)
- Butter und Buttermilch mit einem Feinsieb trennen
- die Butterklumpen mit Wasser waschen
- Butterklumpen in Küchenhandtuch trocknen und in einer gekühlten Schale leicht kneten

Zusatzuntersuchung:

- Masse kann mit wenig Salz gewürzt werden
- es darf gekostet werden (die Versorgung des Kurses mit Brötchen od. frischem Brot gehört zur Pflicht der Kursteilnehmer)

Prüfen von Milch auf Fettgehalt

Materialien / Geräte:

verschiedene Milchproben (Frischmilch, fettarme und fettreiche Milch, Molke, …) Sudan(III)-Pulver; Mikroskop mit Zubehör

Durchführung / Ablauf:

- ev. vorher Milch / Blindprobe mikroskopieren
- Probe mit Spatelspitze des Farbstoffes (Sudan(III)) versetzen
- 1 – 2 Tropfen auf Objektträger geben und mit Deckgläschen abdecken
- mikroskopieren

Zusatzuntersuchung:

- mit Zählkammer die Fett-Tröpfchen zählen

3.1.6. Fett-verwandte Stoffe

In diesem Abschnitt betrachten wir einzelne – z.T. willkürlich – ausgewählte Stoffe, die recht eng mit den Fetten verbunden sind. Dazu zählen wir hier sowohl Lipoide als auch Stoffe, die häufig mit Fetten assoziiert werden bzw. sind.
In mancher Literatur werden verschiedene Stoffgruppen (Phospholipide, Fettsäuren, Steroide, Gallensäuren usw. usf.) zu den Lipiden gezählt. Dieser Zuordnung folgen wir hier nicht!

3.1.6.1. weitere Lipiode

wir unterscheiden nicht hydrolysierbare und hydrolysierbare Lipide

zu den nicht hydrolysierbaren Lipiden gehören:
- Carotinoide
- Steroide
- (freie) Fettsäuren

zu den hydrolysierbaren Lipiden werden neben den Tri(acyl)glyceriden (Fette, Neutralfette) noch:
- Phospholipide
- Wachse
- Glycolipide

gezählt.
insgesamt also sieben Stoffgruppen

3.1.6.1.1. Phospholipoide (Phospholipide)

Lecithin (Lezithin)

Kephalin
im Vergleich zu Lecithin Cholin durch die N-Base Colamin oder Aminosäure Seringetauscht

3.1.6.1.2. Wachse

Versterungsprodukt einer höheren Fettsäure mit einem (höheren) einwertigen Alkohol
auf Blättern und Früchten verschieder Pflanzen; Reservestoff einiger Meeressäuger
nicht löslich in Wasser
wenig löslich in Alkohol
löslich in Ether, Chloroform, Tetra(chlorcohlenstoff)

Verseifung mit härterem Angriff als bei Fetten möglich

Bienenwachs
enthält vorrangig Triacontylpalmitat (Myricylpalmitat; $C_{15}H_{31}COOC_{30}H_{61}$)

Walrat
reich an Hexadecylpalmitat (Cetylpalmitat; $C_{15}H_{31}COOC_{16}H_{31}$)

chinesisches Wachs
wachsartiger Hauptbestandteil: Hexacosylhexacosanoat (Cerylcerotat; $C_{25}H_{51}COOC_{26}H_{53}$)

Bürzeldrüsen"fett" der Vögel
eigentlich hauptsächlich Wachse, enthalten Ester des Octadecanols mit verschieden (langkettigen) Fettsäuren

ernährungsphysiologisch haben Wachse aber eine sehr geringe oder gar keine Bedeutung

3.1.6.3. Seifen

moderne Tenside haben nur noch eine entfernte Strukturelle Ähnlichkeit mit (Fett-)Seifen
neben einem Alkyl-Rest – der lipophile Eigenschaften besitzt – enthält das Molekül als stark polaren und damit hydrophilen Teil oftmals Sulfo-Gruppen ($-SO_3H$) oder Benzensulfonate ($-C_6H_4-SO_3H$)
Das Wirkprinzip ist aber immer gleich. Die Tenside setzen die Oberflächenspannung des Wassers herab (Netzmittel). Das Wasser und die Tenside können sich nun zwischen Schmutz (z.B. Fett) und dem zu reinigenden Trägermaterial setzen / zwängen. Nach und nach umschließen die Tenside den Schmutz und sorgen für eine Lösung (Emulsion) in der Reinigungslösung.
Zur Enthärtung der Wassers werden Phosphate in die Waschmittel gegeben. Diese sorgen u.a. für eine Eutrophierung (Überdüngung) von Gewässern.
Moderne Waschmittel müssen zu über 80% biologisch abbaubar sein. Trotzdem sollte wegen der Eutrophierungs-Gefahr sehr sparsam mit Tensiden usw. umgegangen werden. Viel hilft sowieso nicht viel. Das richtige Maß schont Umwelt und Geldbeutel.

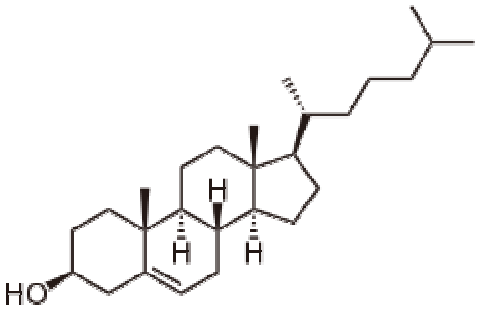
3.1.6.4. Steroide

3.1.6.4.1. Sterole (Sterine)

Cholestrol (Cholestrin)

wahrscheinlich eines der Moleküle, die sich evolutionär kaum verändert haben und sehr alt sind; im Reich der Tiere vorkommend; Pflanzen und Pilze haben andere – funktionell ähnliche – Stoffe in den Zellmembranen

Eigenschaften:
nicht Wasser-löslich; weiß, fest, fast geruchlos



Struktur-Formel von Cholesterol
Q: de.wikipedia.org (BorisTM)

Bedeutung:
wichtiger Bestandteil der Zellmembran; verkittet die Phospholipide und sorgt so mit für die Stabilität der Membran
Ausgangstoff für diverse Biosynthesen; z.B. Steroid-Hormone und Gallensäuren, aber auch eine Vorstufe für das Vitamin D
wirkt in der Zellmembran bei der Einschleusung von Signalstoffen mit
Mensch produziert 90 % allein; Gesamtgehalt bem Menschen um 140 g; 95 % davon intracellulär; Rest im Wesentlichen im Blut (→ Chylomikronen und ähnliche Lipoproteine)
1 g Tagesbedarf (50 % aus eigener Biosynthese und 50 % durch Resorption im Darm)

bestehen aus Cholesterol (Cholesterin) und einer Fettsäure, Kittsubstanz in den Biomembranen, liegen zwischen den Phospholipiden

Nachweis mittels SALKOWSKI-Probe; bei dieser entsteht durch Lösen der Sterine in Chloroform eine kirschrote Färbung

weitere Verwandte mit leicht geändertem Alkohol-Körper (statt Cholesterol nun Spongosterol (Spongostrin) bei Schwämmen oder Cantharidol (Cantharidin) aus der (A) Spanischen Fliege (*(a) Lytta vesicatoria*)
Sapotoxine in Kröten- oder Schlangengiften, Giftstoffe des Aalblutes und der Schnecke (g) *Aplysia*

Ergosterin

Provitamin D

3.1.6.4.2. Gallensäuren

Cholsäure
Chenodesoxycholsäure
Lithocholsäure
DEsoxycholsäure

3.1.6.4.3. Hormone der Nebennierenrinde

3.1.6.4.4. Sexualhormone

3.1.6.5. Sphingosinlipoide

Zentral-Molekül ist nicht Glycerol sondern der zweiwertige Amino-Alkohol Sphingosin

Sphingomyelin
in den Markscheiden (SCHWANNsche Zellen) der Mark-haltigen Nervenfasern

Bau: Fettsäure – Sphingosin – Phosphorsäure – Cholin

Cerebroside
in der weißen Substanz der Nervengewebe
statt Phosphorsäure sind Galaktose od. Glucose enthalten

Bau: Fettsäure – Sphingosin - Monosaccharid

3.1.6.6. Lipoproteine

3.1.6.7. Carotinoide

60 gelbe, orange bis rote Farbstoffe bekannt
nur von Pflanzen hergestellt

Provitamin(e) A

3.1.6.8. Ätherische Öle

3.1.7. Fett-Ersatz- und Austauschstoffe

chemisch geringe od. gar keine Ähnlichkeit mit natürlichen Fetten (Triglyceriden)

Gefahr bei verstärktem Einsatz, dass Fett-lösliche Vitamine (vorrangig A, E und D) nicht mehr ausreichend resorbiert werden

Einsatzziel ist Reduzierung der Energiezufuhr und letztendlich Gewichtsabnahme
Körper merkt aber scheinbar den "Betrug"
es kommt zu Hunger-Gefühlen, da Teile der Hunger-Entstehung auch über Fett und deren Anteile in der Nahrung funktionieren
alternativer Ansatz ist z.B. ATKINS-Diät, bei der Fette und Eiweiße im relativ freiem Rahmen gegessenwerden dürfen

3.1.7.1. Fett-Ersatzstoffe

synthetisch hergestellte Kunst-Fette, auch Designer-Fette, maßgeschneiderte Lipide, zumeist mit Ziel der Gewichtsreduzierung / Energiereduktion
häufig Saccharose-Polyester od. Saccharose-Derivate
allg. kein physiologischer Brennwert, unverdaulich und meist unverändert wieder abgegeben

Olestra

seit 1960 im Handel (nicht in der EU), von Procter & Gamble (z.B. in Kartoffel-Chips, Snacks, …)

Nebenwirkung Durchfall und Stuhlinkontinenz (umgangsprachlich: Arschlecken), auch Blähungen und Bauchkrämpfe werden beschrieben, da Parafine sich unverdaut an den Darmwänden absetzen und bei Körperinnen-Temperatur flüssig sind → Halten des Kotes schwierig
selten auch Tenesmen (schmerzhafte Stuhlgänge)

Herstellung aus echten Fetten. Zuerst wird mit Methanol umgeestert. Die Methanol-Fettsäure-Ester werden danach mit Saccharose umgesetzt (Umesterung). Das Produkt ist ein Gemisch aus Okta-Estern (8x verestert; 76 %), Hepta-Estern (7x verestert; 24 %) und geringen (je rund 0,2 %) von Hexa- und Penta-Estern (6x bzw. 5x verestert).
In der freien Natur kommt es zum Abbau durch Mikroorganismen. Die Halbwertszeit schwankt zwischen 10 und 88 Tagen.

neben den nachfolgend kurz beschriebenen Fett-Ersatzstoffen werden noch EPG (Propylenglycol mit Fettsäuren verestert) und DDM bzw. TATCA (Polycarbonsäuren mit Fettsäuren verestert) gehandelt

Salatrim

bisher als einziges Produkt in der EU zugelassen, hat verringerten Brennwert von 5 kcal/g
Triglycerid aus lang- und kurzkettigen Fettsäuren

Caprenin

nur USA
Triglycerid aus lang- und mittelkettigen Fettsäuren; hat verringerten Brennwert von 5 kcal/g

Paraffine

Jojoba-Öl

3.1.7.2. Fett-Austauschstoffe

natürliche Basis, oft Kohlenhydrate oder Eiweiße,
begrenzt Hitze-stabil (bis rund 65 ℃)
geschmacklich ähneln sie Fette, aber Unterschiede feststellbar, aus als Fett-Simulatoren bezeichnet
vorrangig für Light-Produkte, Majonäsen, Süßspeisen, Eiscreme
z.T. verdaulich, aber mit wesentlich geringerem physiologischem Brennwert als Fette

Eiweiß-basierte Fett-Ersatzstoffe

z.T. problematisch für Eiweiß-Allergiker
wegen schwerverdaulicher Bestandteile kann es zur Veränderung der Darmflora kommen, ev, verbunden mit Blähungen
Neben Simplesse sind noch Diary-Low Finesse bzw. NutriFat, PC und Trailblazer im Handel (nicht EU).

Simplesse

??? auf Eiweiß-Basis (Molken-Eiweiß)
??? feinst zerkleinertes Hühner-Eiweiß

Zusatz zu Majonäsen, Eiscreme und Milchprodukten

Kohlenhydrat-basierte Fett-Ersatzstoffe

technologische Eignung durch hohen Cellulose- oder Stärke-Anteil; es wird die Quellfähigkeit dieser Kohlenhydrate genutzt, dadurch erreicht man cremige Konsitenzen
bei Kohenhydrat-basierten Fett-Ersatzstoffen kommt es durch den erhöhten Wasser-Anteil im Produkt oft zu Problemen mit der Haltbarkeit

Neben den nachfolgend kurz dargestellten KH-basierten Fett-Ersatzstoffen sind noch NutriFat (Mischprodukt) und Avicel (mikrokristalline Cellulose) im Umlauf (nicht EU).

häufig Durchfall als Nebenwirkung

Hydrokolloide

verschiedene Quellen: Alginate, Gummi arabicum, Guar und Carragen
mit Wasser ergeben sich zähfließende Flüsigkeiten oder halbfeste bis feste Gele
große Quellfähigkeit und hohes Wasser-Bindungsvermögen

Carragen

andere Namen: Karragheen, Fucelleran
aus Rot-Algen, Extraktion durch heißes Wasser
für Fett-arme Fleisch-Produkte, Trockenmilch- und Dauermilch-Produkte, wärmebehandelte Sahne, Puddig- und Dessert-Pulver, Eiscreme, spezielle Süßigkeiten (Gelee-Produkte) Ketschup und Soßen
im Lebensmittel-Einsatz nur Mischungen mit sehr langen Makro-Molekülen
ADI-Wert: 75 mg/kg [Körpergewicht] (ADI: Acceptable Daily Intake (täglich akzeptable Zufuhr ohne gesundheitliche Bedenken)

Innulin

Kohlenhydrat, aus der Chicoreewurzel
auch Raftline

Litesse

künstliche Glucose-Polymere; Polydextrose

Maltrin

auf Stärke-Basis, Mais-Produkt
Maltodextrin
in Brotaufstrichen, Dips, Salatdressing's und gefrorenen Milchdesserts

Paselli SA 2

auf KH-Basis, aus Kartoffel-Stärke gewonnen

kann teilweise Fette in Backwaren, leichten Mayonnaisen, Salatdressings, Eiscremes und Schmelzkäse ersetzen

N-Oil

Tapiokadextrin

Hemicellulosen

Ballaststoff
aus Soja: Fibrin
aus Zuckerrübe: Fibrex

β-Glucane

auch Oatrim
aus Hafer

spezielle Quellen und Internet-Links zu diesem Abschnitt:

- ADAM; ARNALD; FORTH: Pharmakologische Bewertung von Adipositas-Therapeutika
  http://www.aerzteblatt.de/v4/archiv/pdf.asp?id=20507
  bzw.: Dt Ärztebl 1999; 96: A-3243–3247 [Heft 50]

3.1.8. ausgewählte Fett-haltige Lebensmittel im Einzelnen

3.1.8.1. Butter

geschütztes Lebensmittel-Produkt

Butter-Klärung

Butter-Schmalz

Verhalten von Butter beim Erhitzen

Materialien / Geräte:

Butter, Pfanne od. Becherglas, ev. Thermometer, Metall-Löffel; ev. Brot zum Neutralisieren oder als Probenträger; Salz

Durchführung / Ablauf:

- Butter langsam in der Pfanne od. einem Becherglas erwärmen (nicht über den Rauchpunkt hinweg!)
- Veränderungen beobachten und ev. Temperatur messen (innerhalb des geschmolzenen Fettes)
- ab und zu mit dem Metall-Löfel eine kleine Probe entnehmen und kosten; ev. vorher auf Brot geben

Zusatzuntersuchung:

- gleichen Versuch mit etwas Salz in der Schmelze wiederholen

3.1.8.2. Speisefette und Speiseöle

Beschreibung	Bedeutung	Bemerkungen
"praktisch wasserfrei"	< 0,05% Wasser	
Cholesterinfrei	<5 mg/100 g Cholesterol	
nativ	keine thermische Vorbehandlung; mechanisch schonendes Pressen ohne Wärmezufuhr; keine Zusatzstoffe	
nicht raffiniert	nur Dampfwäsche; keine Raffination; keine Zusatzstoffe	
raffiniert	raffiniert	

Qualitätsmerkmale:

- Farbe
- Sensorik
- Konsistenz (Schmelzpunkt, Viskosität, Brechungsindex)
- Identität; Inhaltsstoffe
- oxidative Primärbelastung
- Kontamination (Pestizide, Schwermetalle)

Beispiel-Aufgaben zur Wiederholung und zur Vorbereitung auf eine Klausur | Leistungskontrolle | Prüfung | ...

1. Welche Bedeutung haben Fette für den Menschen! Erläutern Sie diese kurz!
2. Stellen Sie anhand von chemischen Gleichungen mit Strukturformeln die Bildung eines Fettes dar! Benennen Sie alle reagierenden Stoffe!
3. Stellen Sie die chemische Gleichung für die Bildung eines Diglycerid's aus einem Monoglycerid auf! Kennzeichnen Sie die Reaktionsorte! Ordnen Sie die Reaktion einem Reaktionstyp zu und begründen Sie ihre Zuordnung!
4. Stellen Sie anhand von chemischen Gleichungen mit Strukturformeln die Zerlegung eines Fettes in seine Grundbausteine dar! Benennen Sie alle reagierenden Stoffe!
5. Nennen Sie 5 physikalische od. chemische Eigenschaften der Fette!
6. Erklären Sie folgende Phänomene!
   a) Fette mit kurzen Fettsäuren haben kleinere Siedepunkte als solche mit langen Fettsäuren.
   b) Fette mit ungesättigten Fettsäuren haben höhere Schmelzpunkte als solche mit gesättigten Fettsäuren.
7. Was ist eine Emulsion? Welche Arten gibt es? Auf Grund welcher Eigenschaften entstehen Emulsionen? Erläutern Sie zusammenhängend!
8. Nennen Sie 3 technologische Eigenschaften der Fette und erläutern Sie diese!
9. Von einem Ernährungswissenschaftler stammt folgende Aussage:
   "Da Fette Ursache sehr vieler Zivilisationskrankheiten sind, müssen sie aus der menschlichen Ernährung verbannt werden."
   Bewerten Sie diese Aussage und begründen Sie Ihre Meinung!
10. Geben Sie als "Ernährungsberater" einer übergewichtigen Person fünf Ratschläge | Empfehlungen zu einem sinnvollen Umgang mit Fetten in seiner Ernährung! Begründen Sie jeweils Ihre Ratschläge und Empfehlungen!
11. Von einem Ernährungswissenschaftler stammt das folgende Zitat:
    "Fette sind sehr wichtige Bestandteile der täglichen Nahrung. Auf sie zu verzichten ist populistischer Schwachsinn. Man kann sie in beliebiger Menge zu sich nehmen."
    Bewerten Sie diese Aussage und begründen Sie Ihre Meinung!
12. Ein Ernährungsberater gibt seinen Patienten | Kunden die Empfehlungen, dass sie zum Abbau ihrer Fettleibigkeit viel Sport treiben sollen und absolut kein Fett mehr essen sollen.
    Bewerten Sie die Empfehlungen und begründen Sie Ihre Meinung!
13. Mit welchen Methoden kann man Fette nachweisen bzw. einen recht guten Hinweis auf Fette erhalten? Erläutern Sie kurz, wie diese Methoden funktionieren!

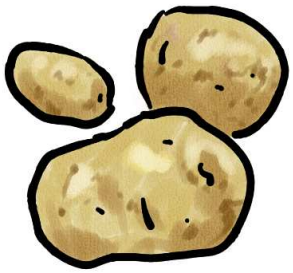
3.2. Kohlenhydrate

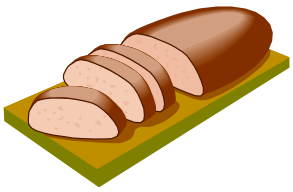
Kohlenhydrate werden umgangssprachlich einfach **Zucker** - wissenschaftlich exakt als **Saccharide** bezeichnet. In der Namensgebung kann man die Kohlenhydrate meist an ihrer charakteristischen Endung **-ose** erkennen. Typische Beispiele hierfür sind Glucose (Traubenzucker), Fructose (Fruchtzucker), Lactose (Milchzucker), Saccharose (Rüben- oder Rohrzucker) oder Cellulose (Zellstoff).
Die herausragende Funktion der Kohlenhydrate liegt im Bereich Betriebsstoffe. Sie sind die Treibstoffe - das Benzin - für die Lebewesen und ihre Zellen. Insgesamt darf man aber die Rolle der Kohlenhydrate nicht auf die Betriebsstoffe reduzieren. Auch als Baustoffe - besonders in Pflanzen – erfüllen sie wichtige Aufgaben (z.B. Cellulose in den Zellwänden). Trotzalledem sind Kohlenhydrate eigentlich keine essentiellen Nährstoffe. Wir könnten gut auf sie verzichten, da in unserer Leber ein Mechanismus zur Neuproduktion von Glucose (Gluconeogenese) vorhanden ist. Sie gehören aber zu den Energie-liefernden Nährstoffen, so dass vielleicht die Einordnung als fakultativ oder semi-essentiell die Bedeutung in der Ernährung genauer trifft.
Bestimmte Kohlenhydrate kommen in allen Organismen vor. Einer der wichtigsten Vertreter - der Traubenzucker - könnte sogar als allgemeingültiges Zahlungsmittel zwischen den einzelnen Zellen, Organen und Organismen betrachtet werden. Anders als bei Fetten und Eiweißen kann man bei Kohlenhydraten die Quelle (Pflanze, Tier oder Mensch) nur selten exakt bestimmen. Die Grenzen zwischen körpereigenen und körperfremden Kohlenhydraten verschwimmen sehr stark. Alle benötigten längerkettigen Kohlenhydrate können im Körper bzw. in den Zellen selbst gebildet werden.
Heterotrophe Organismen (z.B. Tiere und Pilze) können nur fertige Kohlenhydrate umwandeln. Zur Neuproduktion – der als Bauelement notwendigen einfachen Kohlenhydrate (Einfachzucker, Monosaccharide) – sind nur autotrophe Organismen (z.B. Blaualgen und Pflanzen) fähig. Der dazu notwendige Stoffwechselvorgang ist die Photosynthese (bzw. die Chemosynthese) (→ 3.2.1.1. Die Herkunft der Kohlenhydrate).

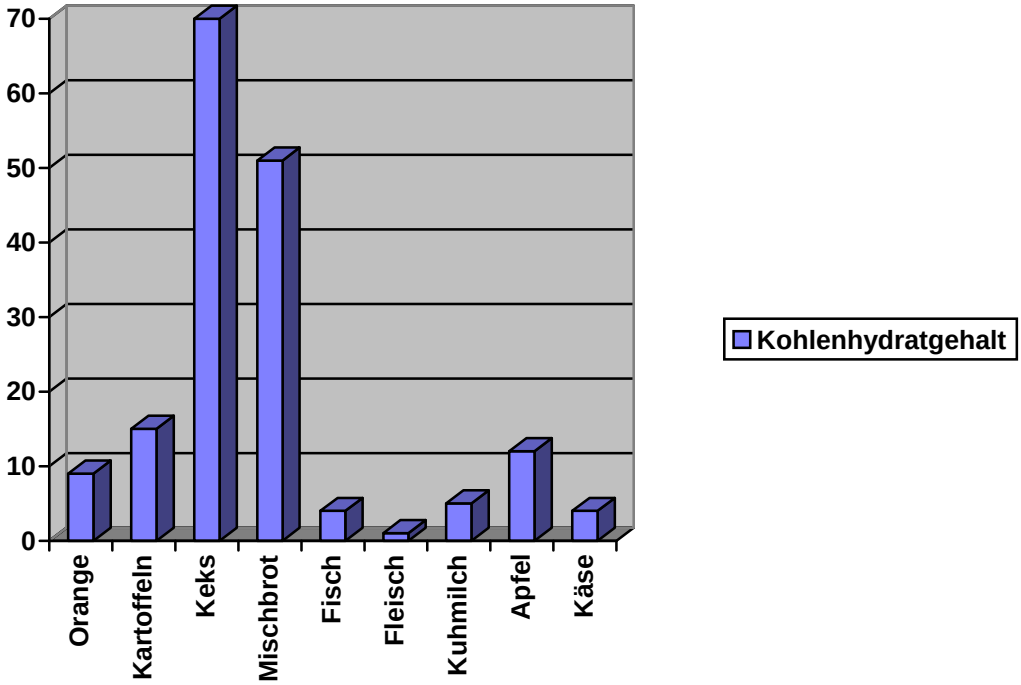
3.2.1. Kohlenhydrathaltige Nahrungsmittel

In der Natur können die Kohlenhydrate in den verschiedensten Teilen der Lebewesen stecken. Kohlenhydrate kommen vor allem in Früchten, Kartoffeln, Hülsenfrüchten und Getreidekörnern vor. Honig stammt aus den Nektarsäften der Blüten. Sago wird aus dem Mark von Palmen gewonnen. Die wichtigsten Quellen für die Herstellung von Kristallzucker - dem beliebtesten Süßmittel in den Industriestaaten - sind Zuckerrüben und Zuckerrohr. Die Namen der Pflanzen deuten direkt auf die eigentlichen Zuckerspeicherorgane. Die Rübe der Zuckerrübe kann einen Zuckeranteil um die 18 % beinhalten. In den Stengeln des mais- und schilfähnlichen Zuckerrohres findet man ungefähr 9 - 16 % Zucker.

Honig ist mit seinen rund 80 % Zuckergehalt aber unangefochtener Anführer unter den natürlichen Kohlenhydratquellen.
Der durchschnittliche Gehalt an Kohlenhydraten in unseren Lebensmitteln liegt zwischen 3 und 15 %.







In unserer Ernährung spielen aber immer mehr künstliche Kohlenhydratquellen eine Rolle. Die Zucker selbst sind zwar natürlich entstanden (→ Photosynthese und nachgelagerte Stoffwechselvorgänge (Glykogen-Auf- und Abbau)), aber die Herstellung neuer Lebensmittel (Riegel, Snacks, …) mit Kohlenhydraten steigt überproportional. Kohlenhydrate werden als billige Ausgangsstoffe mit hohem Akzeptanzwert auch gerne als Streckungsmittel usw. zugesetzt.
Das riesige Süßwaren- und Getränkeangebot wird zu einem immer größeren Ernährungsproblem. Das Problem liegt in der psychischen Wirkung von Kohlenhydraten. Sie wirken euphorisierend. Man ist zufriedener, glücklicher - Kohlenhydrate sind leicht verdaulich und schmecken eben gut. Praktisch ist Süße ein Zeichen für schnell verfügbare Energie (Millionen von Jahre Evolution sind da nicht spurlos an uns vorbeigegangen.). Nicht umsonst spricht man davon, das süße Leben zu genießen.

Aufgaben:

1. *Ermitteln Sie von fünf Lebensmitteln den Kohlenhydratgehalt laut Verpackungsetikett!*
2. *Informieren Sie sich über den Prokopf-Verbrauch von Kohlenhydraten in Deutschland!*
3. *Vergleichen Sie den deutschen Prokopf-Verbrauch mit Angaben zu anderen Ländern! Ziehen Sie dazu mindestens die USA, ein afrikanisches, ein südamerikanisches und ein asiatisches in den Vergleich ein!*

3.2.1.1. Die Herkunft der Kohlenhydrate

Bei allen Bildungen von immer längeren Kohlenhydraten bleibt natürlich die Frage, wo kommen die Bauteile - die Einfachzucker - her. Pflanzen sind die einzigen Lebewesen, die zur Produktion neuer Einfachzucker in der Lage sind. Der zentrale Prozeß ist die Photosynthese. Wegen ihrer herausragenden Bedeutung - sie ist auch die primäre Quelle für Fette, Eiweiße, Vitamine usw. - soll die Photosynthese hier noch einmal kurz wiederholt werden.
Die Photosynthese gliedert sich in die Licht- und Dunkelreaktionen. Bei den Lichtreaktionen werden Wasser-Moleküle in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Dies passiert am Chlorophyll (grüner Pflanzen-Farbstoff). Damit das Chlorophyll diese chemisch schwere Arbeit erledigen kann, ist Energie in Form von Licht notwendig. Der Wasserstoff wird sofort an Transportstoffe gebunden. Er ist in der abgespalteten Form sehr reaktionsfreudig und würde sofort wieder mit dem Sauerstoff reagieren. Dies entspräche einer Knallgas-Reaktion mit den bekannten Folgen.

Lichtreaktionen:

$12\ H_2O$	$\longrightarrow$	24 <H>	+	$6\ O_2 \uparrow$
Wasser	$\longrightarrow$	*an Transport-stoffe gebundener* ***Wasserstoff***	**+**	*freiwerdender* ***Sauerstoff***

Der an die Transportstoffe gebundene Wasserstoff wird nun in den komplizierten Dunkelreaktionen mit Cohlendioxid zusammengebracht. Dabei entsteht Traubenzucker.

Dunkelreaktionen:

24 <H>	+	$6\ CO_2$	$\longrightarrow$	$C_6H_{12}O_6$	+	$6\ H_2O$
an Transport-stoffe gebundener ***Wasserstoff***	**+**	***Cohlen-dioxid***	$\longrightarrow$	***Traubenzucker***	**+**	***Wasser***

Addiert man die Reaktionsgleichungen von Licht- und Dunkelreaktionen, dann erhält man die Summengleichung für die Photosynthese:

$6\ H_2O$	+	$6\ CO_2$	$\longrightarrow$	$C_6H_{12}O_6$	+	$6\ O_2$
Wasser	**+**	***Cohlen-dioxid***	$\longrightarrow$	***Traubenzucker***	**+**	***Wasser***

Aus dem Traubenzucker werden später andere Kohlenhydrate gebildet und gespeichert. Bei Bedarf werden diese für die Energiefreisetzung oder die Bildung anderer Stoffe (Fette, Eiweiße, Vitamine usw.) verwendet.

3.2.2. Aufbau und Einteilung der Kohlenhydrate

Der Name Kohlenhydrate wurde früher von der scheinbaren allgemeingültigen Formel $C_n(H_2O)_n$ für zuckerähnliche Stoffe abgeleitet. Nach dieser Formel kommen Wasser und Cohlenstoff im gleichen Verhältnis vor. Für Wasser existiert in der Chemie die Bezeichnung Hydro. Aus der Cohlenstoff-Wasser-Verbindung (Cohlenstoff-Hydrat) wurde dann schnell Cohlenhydrat. Die Benennung der zuckerähnlichen Stoffe als Hydrat täuscht aber über die chemische Natur hinweg. Wasser kommt so in den Molekülen gar nicht vor. Sachlich sind Kohlenhydrate primäre Oxidationsprodukten von Polyalkoholen.
Außerdem stimmt die allgemeine Formel nicht immer. Für größere Moleküle gilt $C_n(H_2O)_m$. Dabei ist m immer kleiner als n.
Mit den immer größer werdenden Kenntnissen über die Kohlenhydrate haben sich immer mehr Möglichkeiten ergeben, sie zu unterteilen.
Klassisch ist die Einteilung nach der Anzahl von Bauelementen (Monomeren). Dabei geht man von der Kenntnis aus, dass größere Kohlenhydrate in kleinere zerlegt werden können. Auf der Ebene der sogenannten Einfachzucker (Monosaccharide, Glykosen) ist damit aber Schluss. Die Monosaccharide gelten als die Bauelemente (Monomere) längerkettiger Kohlenhydrate. Sind zwei Monomere im Kohlenhydrat-Molekül enthalten, dann werden sie zu den Zweifachzuckern (Disacchariden) gezählt. Mit drei Monomeren sind es Dreifachzucker (Trisaccharide) usw. usf. Da aber praktisch kaum stabile Kohlenhydrate mit vier bis 20 (z.T. sogar bis 100) Monomeren vorkommen, werden diese der Einfachheit wegen zu den Mehrfachzuckern (Oligosaccharide) zusammengefasst. (Sachlich exakt müssten alle Kohlenhydrate mit mehr als einem monomer zu den Oligosacchariden gezählt werden.) Erst ab 100 (500) Bauelementen kommen wieder definierte Kohlenhydrate vor, die Vielfachzucker (Polysaccharide, Glykane) genannt werden.
Die Monomere unterscheiden sich sehr stark, so dass auf dieser Ebene mehrere detaillierte Unterteilungen vorgenommen werden.
In einer Einteilungsvariante unterteilt man nach der Anzahl nachgewiesener Cohlenstoff-Atome je Molekül (Monomer). Besonders wichtig sind aus dieser Einteilung die Pentosen - mit 5 C-Atomen - und die Hexosen (mit 6 C-Aomen). Typische Vertreter der Pentosen mit biologischer Bedeutung sind die Ribose ($C_5H_{10}O_5$) und die Desoxyribose ($C_5H_{10}O_4$). Beide Zucker kommen in den Erbsubstanzen (DNS / RNS) vor.
In der Natur (Stoffwechsel von Pflanzen- oder Tierzellen) spielen weiterhin Triosen (C_3), Tetrosen (C_4) und Heptosen (C_7) in wichtige Rolle. Biosen (C_2) werden höchstens theoretisch betrachtet.
Bei den Hexosen sind Fructose (Fruchtzucker) und die Glucose (Rüben- oder Rohrzucker) die bekanntesten Vertreter. Ihre Formel lautet jeweils: $C_6H_{12}O_6$. Sie unterscheiden sich in ihrem internen Bau.

```
  H   O                                          H
   \ //      Aldehyd-                            |
    C         Gruppe                       H - C - OH
    |                                            |
H - C - OH                     Keto-           C = O
    |                          Gruppe            |
H - C - OH                                   H - C - OH
    |                                            |
H - C - OH                                   H - C - OH
    |                                            |
H - C - OH                                   H - C - OH
    |                                            |
H - C - OH                                   H - C - OH
    |                                            |
    H                                            H

 Glucose       (Aldose)        (Ketose)     Fructose
```

Alle Kohlenhydrate mit einer Aldehyd-Gruppe (-CHO) nennt man auch Aldosen (aldose Kohlenhydrate). Diesen gegenüber stehen die Ketosen (ketose Kohlenhydrate) mit der Keto(n)-Gruppe (-CO-). In allen Kohlenhydrat-Gruppen (Hexosen, Pentosen, ...) kommen Aldosen und Ketosen vor.
Es gibt also z.B. bei den Pentosen sowohl Aldosen (z.B. Ribose) als auch Ketosen (z.B. Xylulose).
Um eine schnellere Beschreibung und Klassifizierung vorzunehmen werden verschiedene Einteilungsmerkmale in den Gruppen-Bezeichnungen zusammengefasst. So sind die Aldohexosen sowohl Aldosen als auch Hexosen. Entsprechend werden Ketosen und Pentosen zu den Ketopentosen zusammengefasst usw. usf.
Natürlich lassen sich Kohlenhydrate auch nach anderen – z.T. trivialen – Kriterien einteilen. So gibt es Kohlenhydrate, die nur in Tieren vorkommen, wie z.B. das Glykogen (Leberstärke). Andere sind rein pflanzlich. Zu diesen gehören z.B. Amylose (löslische Stärke) und das Amylopektin (nichtlösliche Stärke). Der überwiegende Teil der Kohlenhydrate ist universell und kommt in allen Organismengruppen vor (Glucose, Ribose).

Aufgabe:

1. *Erstellen Sie für die verschiedenen Einteilungsmöglichkeiten Schemata nach folgendem Beispiel! (Der grau unterlegte Bereich kann entfallen!)*

Oberbegriff, Überordnung	**Kohlenhydrate**
Einteilungskriterium	***Herkunft***
Variante (Ausprägung) des Kriteriums	Tiere / Pflanzen
Unterordnung	**tierische** / **pflanzliche**
Beispiel(e)	Glykogen / Amylose

3.2.3. Eigenschaften der Kohlenhydrate

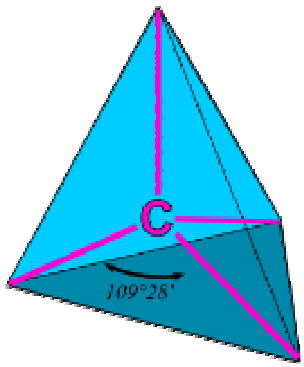
3.2.3.1. physikalische und chemische Eigenschaften von Kohlenhydraten

Alle Kohlenhydrate sind farblos oder weiß. Die Kleineren von ihnen sind in Wasser löslich. Erst bei sehr großen Molekülen kann das Wasser sie nicht mehr tragen. Nur wenige Kohlenhydrate sind völlig in Wasser unlöslich.
Chemisch sind Kohlenhydrate eher träge. Obwohl sie viele freie abstehende Hydroxyl-Gruppen Durch chemische Reaktionen müsste sich die Aldehyd-Gruppe im Traubenzucker leicht nachweisen lassen. Bei einigen Tests (z.B. FEHLINGsche Probe (siehe auch: 3.2.5. Nachweise für Kohlenhydrate)) klappt dies auch. Andere Tests, wie z.B. der Nachweis mit SCHIFFs-Reagenz (fuchsinschweflige Säure) versagen aber. Aufgrund dieses seltsamen Verhaltens untersuchte man den Bau der Moleküle genauer.
Dabei fand man erstaunliche Eigenschaften des Traubenzuckers und er anderen Kohlenhydrate heraus.
Viele andere Hexosen (z.B. Altrose, Mannose, Idose, Galactose, Talose) haben die Summenformel $C_6H_{12}O_6$. Sie alle sind auch alle Aldosen. Wo liegen dann aber die Unterschiede?
Die unterschiedlichen Kohlenhydrate ergeben sich aus unterschiedlichen Stellungen der OH-Gruppen im Molekül.

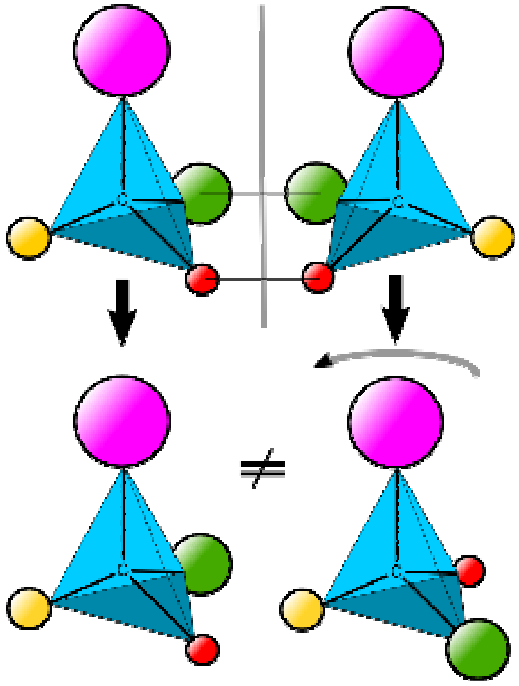
```
   H   O            H   O            H   O            H   O
    \ //             \ //             \ //             \ //
     C                C                C                C
     |                |                |                |
 H - C*- OH      HO - C*- H       H - C*- OH      HO - C*- H
     |                |                |                |
HO - C*- H       HO - C*- H      HO - C*- H       HO - C*- H
     |                |                |                |
 H - C*- OH       H - C*- OH      HO - C*- H       HO - C*- H
     |                |                |                |
 H - C*- OH       H - C*- OH       H - C*- OH       H - C*- OH
     |                |                |                |
 H - C - OH       H - C - OH       H - C - OH       H - C - OH
     |                |                |                |
     H                H                H                H

  Glucose          Mannose          Talose         Galactose
```

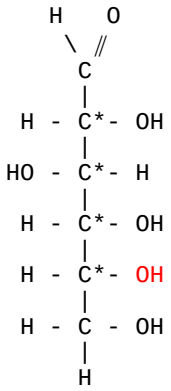
Aber wieso sind diese Kohlenhydrate verschieden. Lassen sich nicht die einzelnen Anordnungen durch Drehen an den Einfachbindungen ineinander überführen? - Leider nein!
Die Darstellung auf einem Blatt Papier (in der Ebene) erzeugt einen Fehler. Der Bindungswinkel ist nicht 90° sondern liegt im Raum bei rund 109°. Die räumliche Struktur entspricht einem Tetraeder, in dessen Zentrum das C-Atom liegt und die Ecken die Bindungspartner darstellen.
Die mit dem * gekennzeichneten C-Atome besitzen eine weitere wichtige Eigenschaft. Betrachtet man jedes dieser C-Atome als Zentrum, dann hängen an jeder Seite unterschiedliche Reste. Man nennt diese C-Atome deshalb auch asymetrische (stereogene, chirale) Atome.



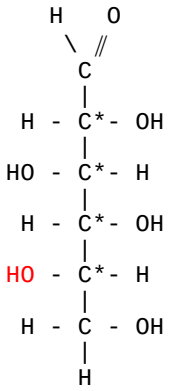
Untersuchung von Glucose mit polarisiertem Licht (Lichtwellen schwingen nur in einer Ebene) bestätigen diese Aussage. Man stellt dann fest, dass die Schwingungsebene durch die Glucose-Lösung verändert wird. Ursache dafür sind unsymetrische Moleküle.
Beim genauen Betrachten ergeben sich zwei verschiedene räumliche Anordnungen der Bindungspartner am asymetrischen C-Atom. Beide lassen sich nicht durch Drehung ineinander überführen. Dafür muss man spiegeln (oberes Päarchen). Wir sprechen deshalb auch von Spiegel-Isomerie. Die beiden verschiedenen Stoffe (sie unterscheiden sich in mindestens einer Eigenschaft) werden auch Antipoden oder Enantiomere genannt. Enantiomerie ist das Fachwort für Spiegel(bild)-Isomerie.



Das untere Päarchen stellt den Versuch dar das rechte Objekt passend zu drehen. Obwohl gelb und violett übereinstimmen, finden wir bei rot und grün keine Übereinstimmung.
Bei den Kohlenhydraten ergeben sich nun folgende Festlegungen für die Stoffunterscheidung und Benennung:
Zuerst wird die gesamte Struktur als Kette von oben nach unten gezeichnet (normalerweise sollte das höchstoxidierte C-Atom möglichst weit oben gelegen). Dann benötigt man eine Kennzeichnung aller asymetrischen C-Atome. Diese Aufgabe ist relativ leicht, da man nur die Reste miteinander vergleichen muss.
Ausgehend vom höchst oxidierten C-Atom (also, dass mit der Aldehyd- oder Keto-Gruppe) wird dann das am weitesten entfernte asymetrische C-Atom gesucht. Die Lage der Hydroxyl-Gruppe auf der rechten Seite dieses C-Atoms besagt, dass es sich um die D-Form (dexter; lat.: rechts) eines Zuckers handelt. Liegt die OH-Gruppe auf der linken Seite, dann ist es die L-Form (laevus; lat.: links). Die Lage der anderen OH-Gruppen an asymetrischen C-Atomen bestimmen die Art des Zuckers (Mannose, Galactose, …). Die hier vorgestellte Kennzeichnung und Benennung stammt von FISCHER. Sie wird auch als FISCHER-Projektion bezeichnet. Dabei stellt man sich vor, dass das Molekül ausgestreckt auf ein Blatt Papier gedrückt wird.



D-Glucose
[α]=+52,5°
D(+)-Glucose



L-Glucose
[α]= -52,5°
L(-)-Glucose

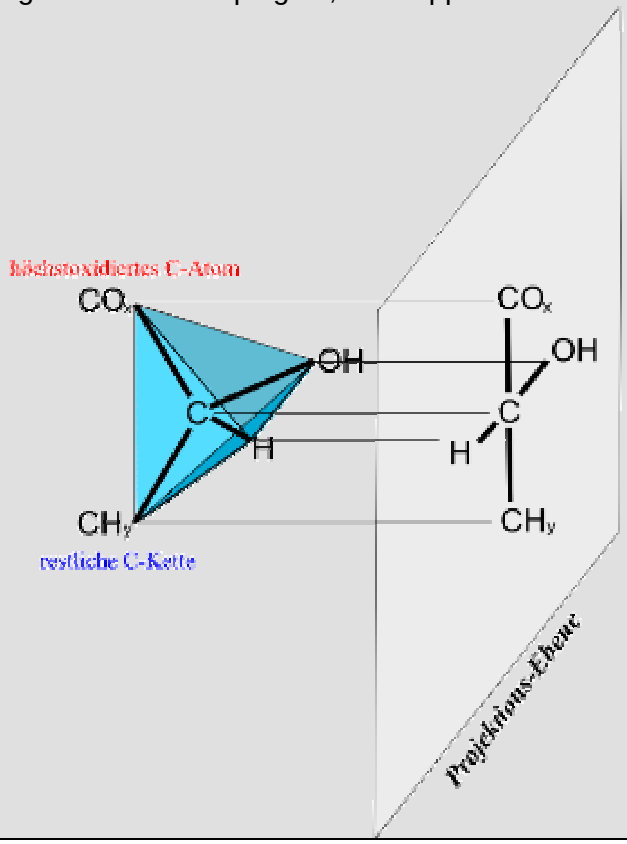
Die FISCHER-Projektion für D- und L-Glucose ist aus den obigen Abbildungen zu entnehmen. Für die Lage der OH-Gruppen hat sich die Eselsbrücke: tah-tüh-tatah für die D-Glucose und die tah-tüh-tah-tüh für die L-Form eingebürgert.
Die Anordnung der untersten OH-Gruppe ist egal, da dieses C-Atom frei drehbar und nicht asymetrisch ist.
Der optische Drehsinn (Die optische Aktivität) wird in Klammern vor dem Namen angegeben.
Neben der Drehsinn- sowie der D-/L-Charakterisierung von optisch aktiven Substanzen gibt es noch eine weitere Namenskonvention nach CAHN, INGOLD und PRELOG (kurz: CIP). Diese beschreibt die Lage der Substituenten nach Größe und Lage zueinander. Zur Benennung der beiden Antipoden werden die Buchstaben R und S benutzt. R (von lat.: rectus) steht dabei für eine Anordnung der Substituenten in Uhrzeigersinn (rechts herum). Dem entsprechend beschreibt S (von lat.: sinister) die Anordnung der Anhänge entgegen des Uhrzeigersinns (links herum).

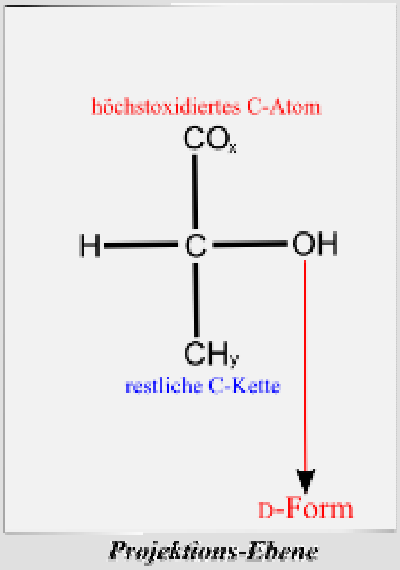
Exkurs: FISCHER-Projektion

Die von dem Chemiker Emil FISCHER vorgeschlagene Methode zur ebenen Darstellung optisch aktiver Moleküle orientiert sich an folgenden Regeln / Schritten:

1. Die Cohlenstoff-Kette wird lang ausgestreckt von oben nach unten gezeichnet. Das höchstoxidierte C-Atom (in der Abb.: CO_x; bzw. die Kette mit Selbigen) liegt dabei oben. (Der Rest der C-Kette (in der Abb.: CH_y) zeigt dementsprechend nach unten. Geht man von tetraederförmigen Raumstrukturen an den C-Atomen aus, dann bildet die C-Kette das Rückrat. Die restlichen Substituenten liegen waagerecht nach vorne bzw. nach hinten.)
2. Nun wird die Struktur auf die Projektionsebene abgebildet.
3. Eine D-Form liegt vor, wenn am untersten asymetrischen C-Atom der größte Substituent (in der Abb.: -OH) auf der rechten Seite (lat.: dexter) liegt (siehe Abb.). Liegt der größte Substituent auf der linken Seite lat.: laevus), dann handelt es sich um die L-Form (nicht dargestellt).

Bei weiteren Betrachtungen und Manipulationen dürfen die Substituenten nur in der Ebene bewegt werden. Ein Spiegeln, Umklappen oder Wechseln der Substituenten ist <u>nicht</u> zulässig.



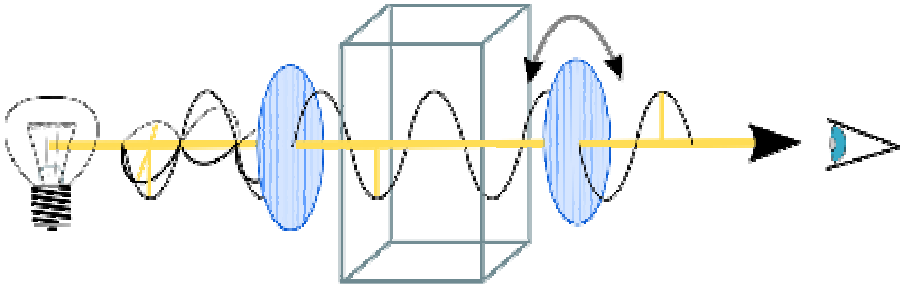


Aufgaben:

1. *Bauen Sie mit Hilfe von Molekülbaukästen zwei optisch aktive Moleküle auf! Versuchen Sie die Moleküle durch Drehungen an den Bindungen ineinander zu überführen!*

Die Feststellung der optischen Aktivität erfolgt im Polarimeter. Polarimeter bestehen aus einer Lichtquelle und einem Probengefäß. In Strahlungsrichtung liegt vor und hinter dem Probengefäß ein Polarisationsfilter. Dieses sorgt dafür, dass nur noch Licht, welches in einer Ebene schwingt, durchgelassen wird. (An einigen Stellen ist die Schwingungsrichtung angedeutet.)

Der erste Polarisationsfilter ist fest eingebaut, der zweite kann gedreht werden und hat eine Winkel-Skala (360° oder +/- 180°). Bei optisch nicht aktiven Substanzen – wie das gewöhnliche Wasser – müssen beide Filter gleich eingestellt sein.



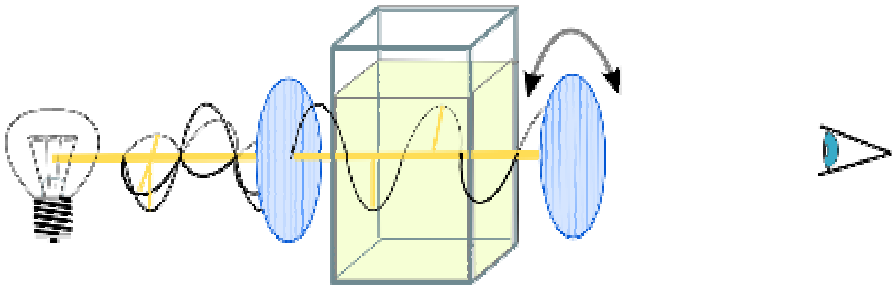
Das heißt, an der Skala muss 0° eingestellt sein. Alternativ können auch 180° anliegen, da der Filter auch in dieser Position das Licht der vorgegebenen Ebene passieren lässt.

Trifft das (polarisiertes) Licht auf eine gelöste Substanz mit asymetrischen Molekülbau, dann wird das Licht (die Schwingungsebene) verändert. Molekül-Lage und Schwingungsebene müssen zueinander passen. Anders gelegene Moleküle beeinflussen die Schwingungsebene nicht.

Da aber immer viele Moleküle im Licht-Strahl liegen, sind auch immer mindestens eins oder mehrere dazwischen, welche die Schwingungsebene drehen können.

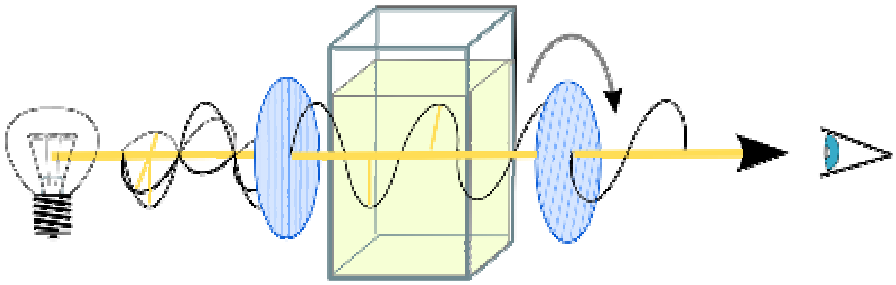
Hier wird auch deutlich, dass der gemessene Drehwinkel von der Schichtdicke unserer Probe abhängig ist und später für tabellarische Zwecke normiert werden muss.

Wird der bewegliche Polarisationsfilter nicht gedreht, verschluckt dieser die "falsch" schwingenden Lichtstrahlen. Praktisch kommt es zur Verdunklung. Der Beobachter kann nichts feststellen (sehen / messen).



Der Filter wird nun langsam gedreht, bis wieder Licht durch den Filter dringt – die Schwingungsebene ist gefunden.

Muss der zweite Filter nach rechts (in Uhrzeigersinn) gedreht werden (siehe auch nebenstehende Abb.), dann spricht man von einer rechtsdrehenden Probe. Bei Drehung der Skala entgegen dem Uhrzeigersinn ist die optische Aktivität auf linksdrehend festgelegt.



Neben der Schichtdicke ist der gemessene Drehsinn α noch von der Konzentration der Lösung und von der verwendeten Lichtfrequenz abhängig. Die Abhängigkeit bezüglich der Lichtfrequenz (Lichtfarbe) ergibt sich aus der notwendigen Passung der Lichtwelle zur räumlichen Molekülstruktur.

In der Praxis misst man selten das sichtbare Maximum für den Durchlass, wie wir es beschrieben haben. Besser zu beobachten ist die vollständige Auslöschung des Lichts durch den Filter. Der Auslöschungswinkel weicht immer um 90° vom Durchlasswinkel ab und kann anschließend einfach berechnet werden.

Aus diversen Strukturuntersuchungen (IR-Spetroskopie, NMR-Spektroskopie) konnte man die Strukturen der verschiedenen D-Monosaccharide aufklären. Auf der nächsten Seite sind die wichtigsten Vertreter als Stammbaum jeweils in FISCHER-Projektion dargestellt.

Exkurs: Drehsinn und Spezifischer Drehwert

$$[\alpha]_D^{25} = \frac{\alpha}{l \cdot c}$$

gemessen bei 589 nm und 25°C
a..gemessener Drehwert; l…Länge der Messzelle [dm], c..Konzentration [g/ml]

Aufgaben:

1. *Erklären Sie, warum der gemessene Drehsinn im Polarimeter auch von der Konzentration der Probenlösung abhängig ist!*
2. *Überlegen Sie sich, welche Untersuchungsmöglichkeiten sich für Lebensmittel (Lösungen) mittels Polarimeter ergeben!*
3. *Prüfen Sie die Formlen ausgewählter Fette auf das Vorhandensein von asymetrischen C-Atomen!*

für die gehoben Anspruchsebene:

4. *Berechnen Sie den Spezifischen Drehsinn für eine Stoffprobe mit einer Konzentration von 0,15 g/ml in einer 10 cm-Küvette und einem gemessenen Drehwert von 6,65°!*

Das unterschiedliche Verhalten gegenüber den Nachweismitteln (nach FEHLING, TOLLENS, SCHIFF) können wir mit den asymetrischen C-Atomen und den daraus resultierenden optischen Eigenschaften aber nicht erklären. Einen wichtigen Hinweis zur Lösung des Problems gab folgendes Experiment:

Eine frisch hergestellte Glucose-Lösung wird einige Zeit im Polarimeter beobachtet.

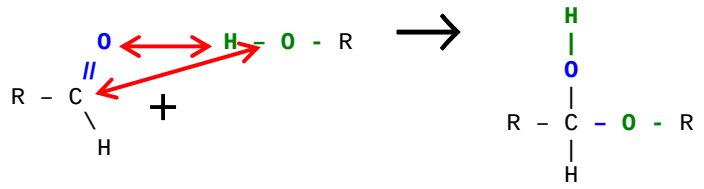
Eigentlich erwartet man, dass nun ein bestimmter Drehwinkel gemessen wird. Bei der Auswertung der Messwerte stellte man aber fest, dass diese beachtlich schwankten. Nach einer bestimmten Zeit pegelt sich das Messergebnis aber auf einen konstanten Wert ein. Da keine Messfehler vorlagen und der Effekt reproduzierbar ist, musste die Ursache woanders gesucht werden.

Wenn sich Traubenzucker-Moleküle in wässrigen Lösungen frei bewegen können, dann bilden sie molekülinterne Ringe. Irgendwann reagiert die Aldehyd-Gruppe mit einer Hydroxyl-Gruppe. Die resultierende Struktur heißt Halbacetal. Sie ist durch die Ether-Struktur (C – O – C), sowie einer freien (neu entstandenen) Hydroxyl-Gruppe (– OH) gekennzeichnet.

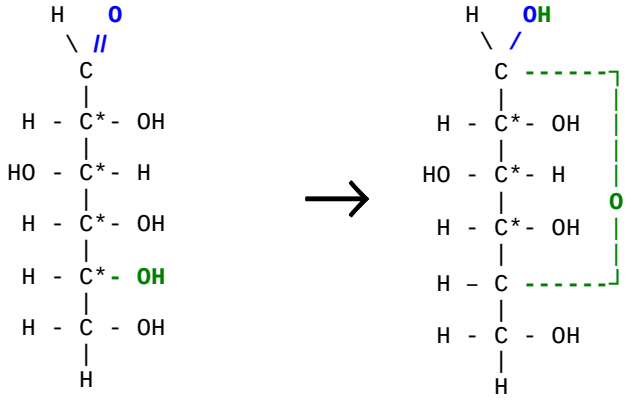
Der Ringschluß läßt auch die reaktionsfähige Aldehyd-Gruppe "verschwinden". Sie wird bei vielen Nachweisen eigentlich benötigt.

Der relativ feste und stabile Ring, kann nur durch starke Nachweismittel bzw. entsprechende Umgebungsbedingungen aufgebrochen werden.

Der Ring besteht aus fünf Cohlenstoff- und einem Sauerstoff-Atom. Beim genaueren Hinsehen stellen wir auch fest, dass sich das erste C-Atom nun zu einem asymetrischen gewandelt hat. Es hat vier verschiedene Reste.



Aldehyd Alkohol Halbacetal



Genauer müsste man also sagen, es entstehen zwei verschiedene Reaktionsprodukte. So unwesentlich der Unterschied am ersten C-Atom auch scheint, die unterschiedliche Position der OH-Gruppe bestimmt über wichtige Stoffeigenschaften (siehe Tetraeder-Modell).

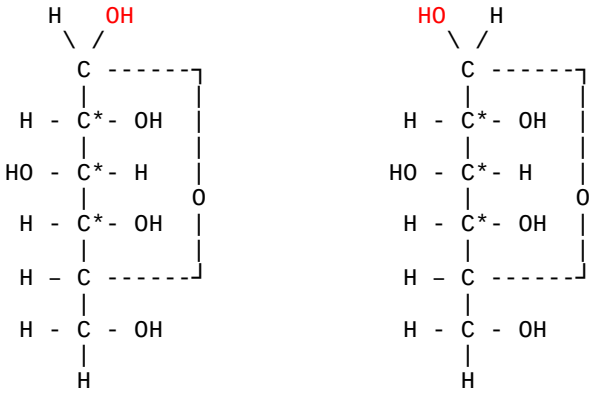
In der FISCHER-Projektion werden α-ständige OH-Gruppen rechts und β-ständige links geschrieben.

Der kleine Unterschied ist verantwortlich für so völlig verschiedene Stoffbildungen, wie Cellulose und Stärke.

Die aus der Aldehyd-Gruppe entstandene neue Hydroxyl-Gruppe wird – auf Grund ihrer erhöhten Reaktionsfähigkeit – als glycosidische Hydroxyl-Gruppe bezeichnet.

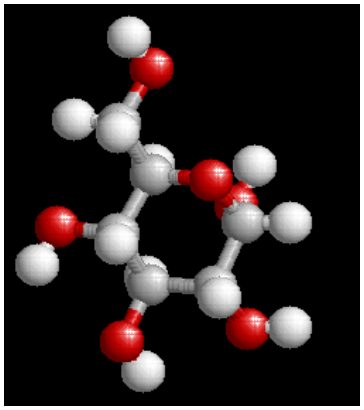
Alle anderen Hydroxyl-Gruppen werden alkoholisch genannt

Die FISCHER-Projektion ist insgesamt sehr unübersichtlich. Auch werden die realen Molekül-Strukturen kaum passend abgebildet.

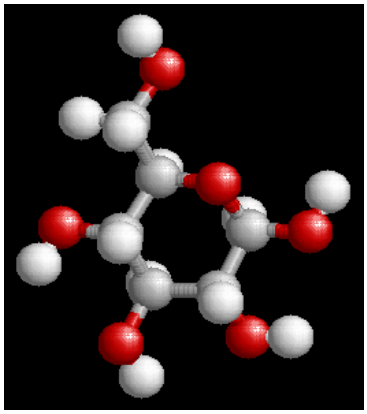


α-D(+)-Glucose
[α]=+111°

β-D(+)-Glucose
[α]=+19°

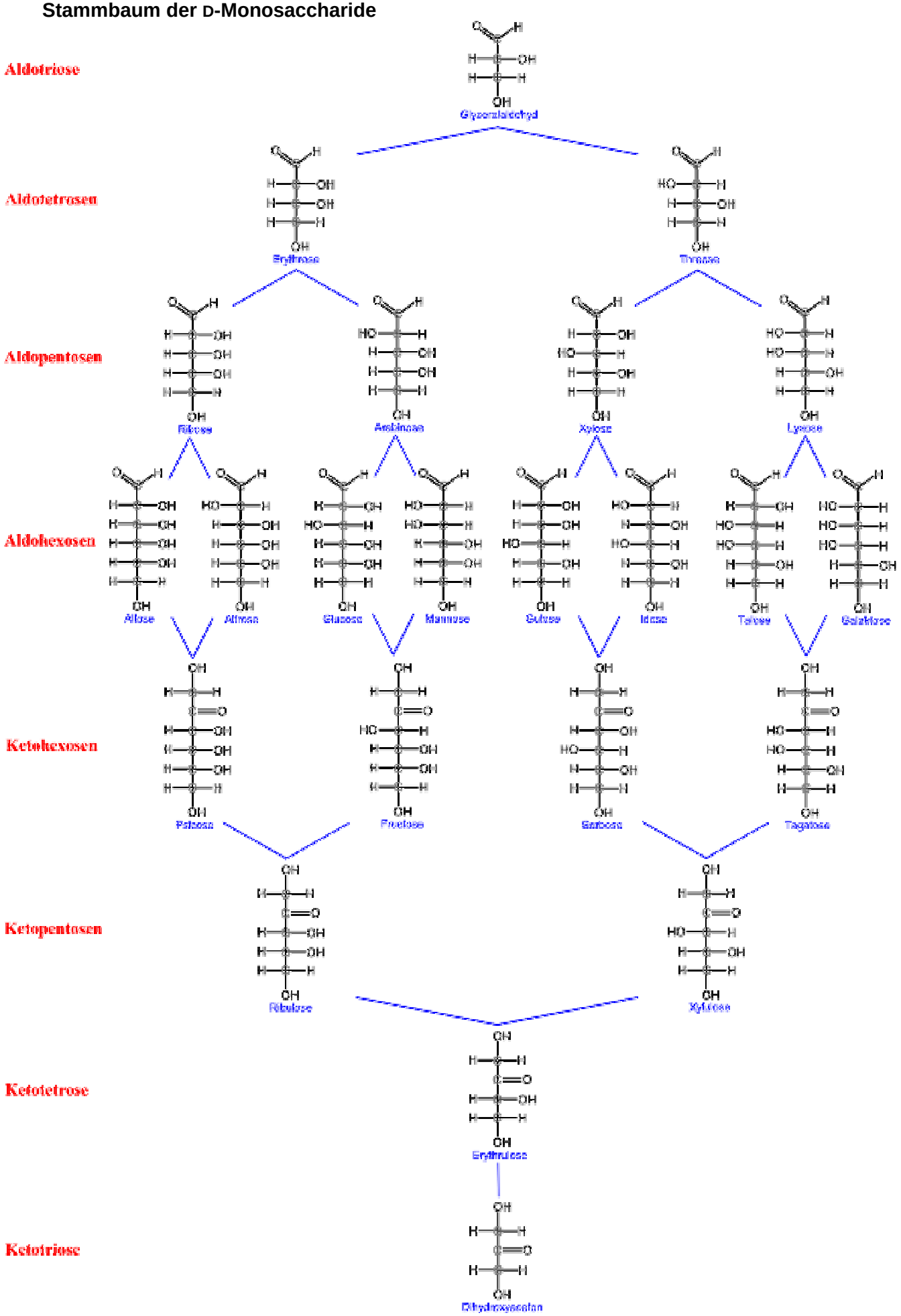


α-D(+)-Glucose
(Kugel-Stab-Modell)



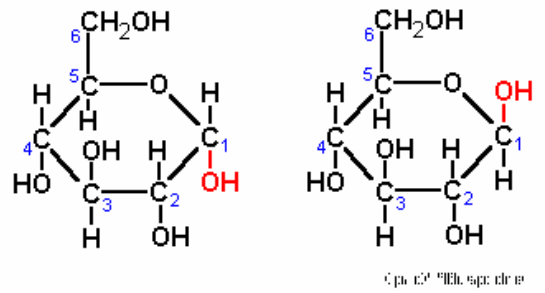
β-D(+)-Glucose
(Kugel-Stab-Modell)

Stammbaum der D-Monosaccharide



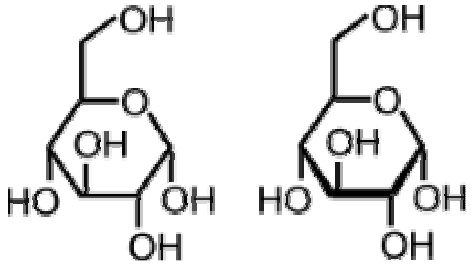
HAWORTH schlug deshalb eine andere Schreibweise der Ringe und Molekülstrukturen vor. In seiner Projektion werden die Ringe eben gezeichnet.
Das höchstoxidierte C-Atom liegt rechts bzw. auch mal links (z.B. in Reaktionsgleichungen). Das Sauerstoff-Atom stellt man sich räumlich nach hinten (aus der Papierebene) rausgeklappt vor. Dementsprechend werden die C-Atome 2 und 3 des Cohlenstoff-Gerüstes nach vorne gedacht. In modernen, ausführlichen Struktur- oder Gitterstruktur-Formeln wird die räumliche Lage durch dickere (nach vorne) oder dünnere – z.T. gestrichelte – Linien angedeutet.

ausführliche Strukturformeln



α-D(+)-Glucose β-D(+)-Glucose

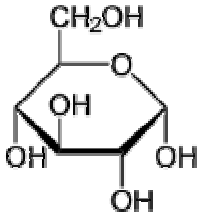
Gitterstrukturformeln



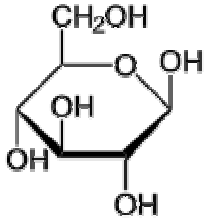
α-D(+)-Glucose

!!! viele der nachfolgenden Strukturformeln stammen aus wikipedia (de.wikipedia.org) und sind als Lizenzfrei oder public domain gekennzeichnet, weshalb hier auf eine individuelle Kennzeichnung verzichtet wird, Urheber dieser Gitterstruktur-Formeln ist zumeist NEUROtiker

Die beiden Ring-Varianten werden auch als Anomere bezeichnet. Anomere sind also Kohlenhydrate, die sich nur in der Lage der glycosidischen Hydroxyl-Gruppe unterscheiden.
Anomere sind chemisch gesehen spezielle Epimere und Isomere.
Die neu gebildete Hydroxyl-Gruppe am anomeren Zentrum (hier das C_1-Atom) wird auch als anomere Hydroxyl-Gruppe bezeichnet.

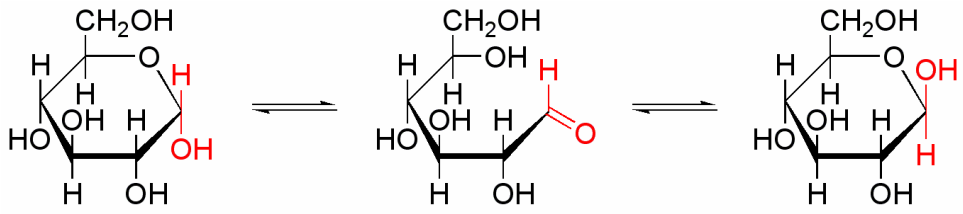


α-D(+)-Glucopyranose



β-D(+)-Glucopyranose

Ketten- und Ring-Form bilden in Lösung ein Gleichgewicht (0,003 : 99,997). Bei den Ring-Formen ist im Gleichgewicht die β-Form etwas bevorteilt (energetisch günstiger gebaut; 63,6%; Hydroxyl-Gruppe steht equatorial). In der α-Form steht die anomere Hydroxyl-Gruppe axial (nach unten).
Viele Kohlenhydrat-Nachweise beruhen auf dem Nachweis der Aldehyd-Gruppe. Durch Zugabe von Basen (z.B. Natriumhydroxid bei der FEHLINGschen Probe) wird die Ketten-Form (al-Form, Oxo-Form) bevorteilt. Nur dadurch sind dann genügend Carbonyl-Gruppen als Reduktions-Mittel vorhanden, um z.B. die Cu^{2+}-Ionen zu Cu^{+} zu reduzieren. Bei Aldehyd-Nachweisen im saurem Milleu (z.B. SCHIFFsche Probe) sinkt der Anteil der Ketten-Form weit unter die Nachweis-Grenze (< 0,001%).
Die Summenformel des Moleküls bleibt gleich, es ändert sich aber seine Struktur. Man spricht hier von Tautomerie (Sonderfall der Isomerie). Die Ring-Ketten-Tautomerie ist ein charakteristisches Merkmal vieler Monosaccharide.
Da sich die Gleichgewichte Kette-Ring sowie α- und β-Form immer erst einstellen müssen, kann man einen stabilen Drehwert erst nach einer längeren Zeit beobachten. Davor schwankt der Messwert stark und pegelt sich dann nach und nach bei 53° ein. Der Prozess wird **Mutarotation** genannt.
Die Umwandlung der Drehwinkel-bestimmenden Formen ineinander erfolgt immer über die Kettenform.



α-Glucose
Ring-Form
α-D(+)-Glucopyranose

Ketten-Form
D(+)-Glucose

β-Glucose
Ring-Form
β-D(+)-Glucopyranose

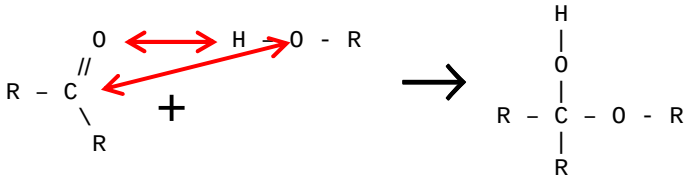
Q: de.wikipedia.org (Calvero); leicht geänd. Drews

Die Kohlenhydrate mit 6er Ringen werden wegen der Ähnlichkeit des Ringkörpers zum Pyran (früher auch Pentaphan) auch als **Pyranosen** bezeichnet.
Die beiden Glucose-Anomere heißen dementsprechend (s.o.):

α-D(+)-Glucopyranose
β-D(+)-Glucopyranose

Pyran Furan

Bei den Ketosen heißen die Ringstrukturen abgeleitet Halbketale.



Keton Alkohol Halbketal

Aufgaben:

1. *Besorgen Sie sich eine Kopie des Stammbaum der D-Monosaccharide! Kennzeichnen Sie darin alle asymetrischen C-Atome mit einem Bleistift-Punkt!*
2. *Erstellen Sie sich auf einem Extrablatt den Stammbaum der L-Monosaccharide!*
3. *In einer wässrigen Glucose-Lösung befinden sich 1000 Moleküle Glucose. Wieviele Moleküle davon liegen in der α-Form vor? Begründen Sie Ihren Rechenweg!*
4. *Gegeben ist eine 4M wässrige Glucose-Lösung. Berechnen Sie die Konzentrationen aller möglichen Molekül-Formen!*

Neben den besprochenen heterocyclischen 6er Ringen kommen auch 5er Ringe vor.
Der gebildete 5er Ring sieht dem Furan sehr ähnlich (siehe auch Abb. weiter vorn), so dass hier der Begriff der Furanosen benutzt wird. Der Anteil von Furan-Formen ist in einer Glucose-Lösung sehr gering.
Die beiden Glucose-Anomere mit einem 5er Ring heißen dementsprechend:

α-D(+)-Glucofuranose
β-D(+)-Glucofuranose

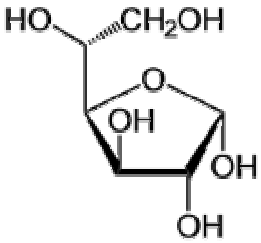
```
   H    OH
    \  /
     C ------┐
 H - -*- OH  |
     |       O
HO - C*- H   |
     |       |
 H – C ------┘
     |
 H – C – OH
     |
 H - C – OH–
     |
     H
```

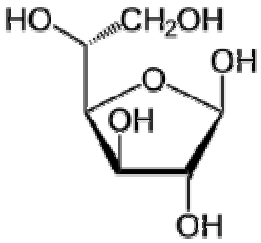
α-D(+)-Glucofuranose
[α]=+°

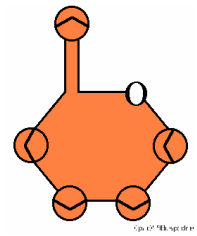
```
   HO    H
    \  /
     C ------┐
 H - C*- H   |
     |       O
HO - C*- H   |
     |       |
 H – C ------┘
     |
 H – C*- OH
     |
 H - C - OH
     |
     H
```

β-D(+)-Glucofuranose
[α]=+°

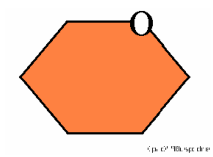
In diesem Skript werden wir oft für die Glucose (- in der überwiegenden Pyranose-Form -) extrem vereinfachte Modelle benutzen. Es sollen jeweils immer nur die wesentlichen Abschnitte des Moleküls andeuten.



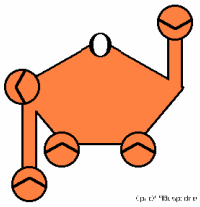




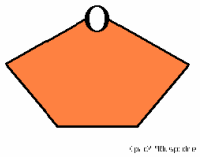
Im linken Modell stehen die Kreise für die Hydroxyl-Gruppen. Werden diese gar nicht gebraucht, um irgendwelche Sachverhalte zu besprechen, dann werden auch sie weggelassen. So ergibt sich ein sehr einfaches – Symbol (siehe rechte Abbildung), dass Sie vielleicht auch in anderen Literatur gefunden haben. Manchmal wird in den Modellen sogar noch auf den Ring-Sauerstoff verzichtet. Übrig bleibt dann ein Sechseck als allgemeines Zeichen für ein Monosaccharid(-Baustein).



Im Prinzip neigen alle Monosaccharide in Lösung zur Ringbildung. Im Falle der Fructose (Fruchtzucker) entsteht eine Furan-Struktur – also eine fünfzählige heterocyclische Struktur.

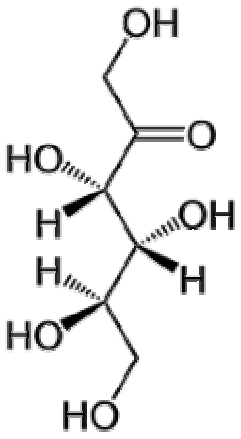


Die ablaufenden Vorgänge der Ringbildung und Ringauflösung unterscheiden sich prinzipiell nicht von den bei der Glucose. Herausragendes Strukturmerkmal ist die schon erwähnte Furan-ähnliche Ringstruktur. In Modellen wird dieser oft auf den 5er Ring reduziert.



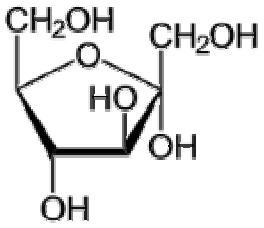
Dabei darf man natürlich nicht vergessen, dass Fructose auch in der Ring-Form eine Hexose (exakt: Hexulose) bleibt.
Bei der Fructose tauchen neben den hier häufiger vorkommenden Furanose auch die Pyranose-Formen auf.

Keilstrich-Formel
(Gitterstruktur-Formel)

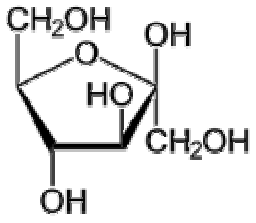


D-Fructose

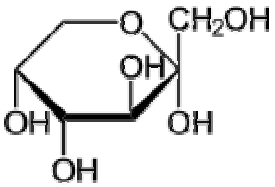
HAWORTH-Projektion / -Formel



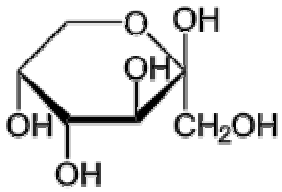
α-D-Fructofuranose



ß-D-Fructofuranose



α-D-Fructopyranose



β-D-Fructopyranose

Durch Verwendung bestimmter Zusätze oder anderer Lösungsmittel kann man die Gleichgewichte der einzelnen Molekül-Strukturen zueinander verschieben. So gelingt das Auskristallisieren von α-D-Glucose aus einer wässrigen Ethanol-Lösung. Unter basischen Bedingungen verschiebt sich das Ring-Kette-Gleichgewicht zu den Ketten hin. Dadurch stehen mehr freie Aldehydgruppen für Reaktionen zur Verfügung. Im sauren Milieu dagegen ist die Ringbildung bevorteilt und fast alle Moleküle liegen in der Ringform vor. Aldehyd-Gruppen sind dann kaum noch nachweisbar.

Aufgaben:

1. *Skizzieren Sie die Formel für Fructose in der FISCHER-Projektion!*
2. *Stellen Sie für eine weitere Hexose (außer Glucose und Fructose) die möglichen Strukturen dar! Benutzen Sie sowohl die FISCHER- als auch die HAWORTH-Projektion! Kennzeichnen Sie zwischen welchen Molekülen Gleichgewichte in einer wässrigen Lösung existieren!*

für die gehobene Anspruchsebene:

3. *Zeichnen Sie die ausführliche Strukturformeln und die Gitterstrukturformeln für die L-Glucopuranose!*

Prozentuale Gleichgewichtszusammensetzung von Aldosen in wässriger Lösung

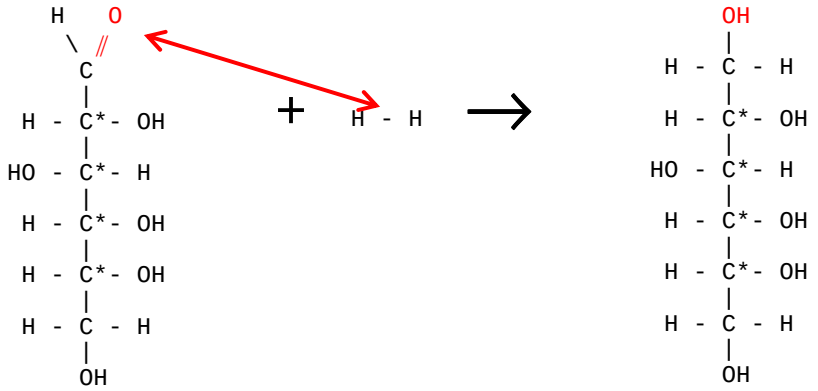
Monosaccharid	α-Pyranose	β-Pyranose	α-Furanose	β-Furanose
Allose	18	70	5	7
Altrose	27	40	20	13
Arabinose	61	35	2	2
Galaktose	27	73	<1	<1
Glucose	36	64	<1	<1
Gulose	22	78	<1	<1
Idose	31	37	16	16
Lyxose	71	29	<1	<1
Mannose	67	33	<1	<1
Ribose	21,5	58,5	6,5	13,5
Talose	40	29	20	11
Xylose	35	65	<1	<1

Daten-Q: http://www.dcb-server.unibe.ch/groups/hunziker/teaching/carbohyd/kap_02/209konfo.html

Monosaccharid	α-Pyranose	β-Pyranose	α-Furanose	β-Furanose
Fructose	3 *3*	57 *65*	9 *6*	31 *25*

einzelne chemische Eigenschaften von Monosacharide

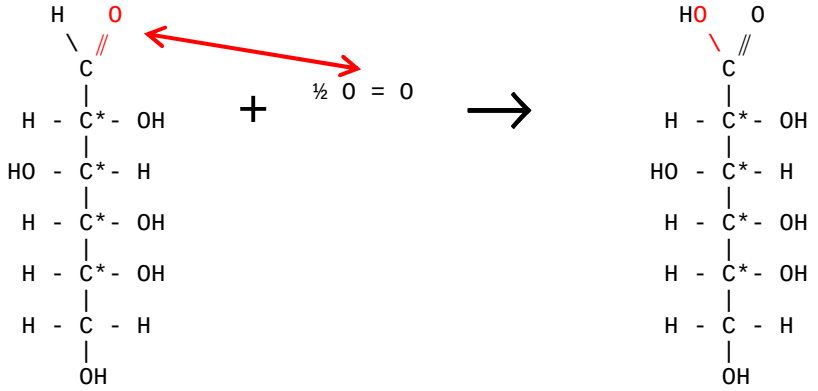
Aus der organischen Chemie ist vielleicht noch bekannt, dass Aldehyd-Gruppen sowohl reduziert als auch oxidiert werden können. In Kohlenhydraten ist diese Fähigkeit prinzipiell erhalten. Voraussetzung ist natürlich, die Gruppe ist frei und nicht in eine andere Bindung einbezogen (z.B. in einer glycosidischen Bindung).



D-Glucose

D-Sorbit
(Zuckeralkohol)

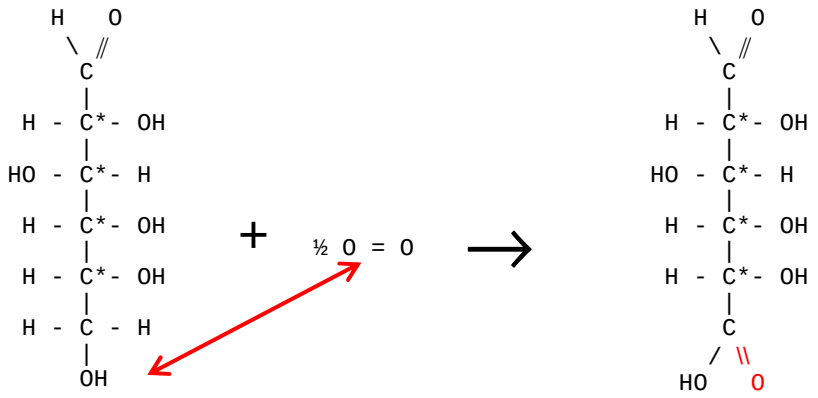
Der in der obigen Gleichung aufgezeigte Wasserstoff reagiert natürlich nicht einfach so mit Glucose. Gemeint ist die reine Anwesenheit und die prinzipielle Reaktion. In biologischen Systemen werden die Reaktionen über Enzyme realisiert, die z.B. Wasserstoff in enzymgebundener Form (z.B. $NADH_2^+$) zugeführt bekommen. Ähnlich verhält es sich mit dem Sauerstoff in den folgenden Formeln.
Bei Verwendung von Galactose als Ausgangsstoff erhält man Dulcit als Zuckeralkohol – bei Mannose ist es Mannit.
Die Zuckeralkohole sind für die diabetische und diätische Ernährung sehr interessant, da diese nicht in die regulären Abbauprozesse einfließen können und somit keinen physiologischen Energiewert besitzen. Zuckeralkohole (besonders Sorbit) sind sehr begärte Zuckeraustauschstoffe.
Eine Oxidation der Aldehyd-Gruppe läßt eine Hydroxy-Carbonsäure entstehen.



D-Glucose

D-Gluconsäure
(Onsäure)

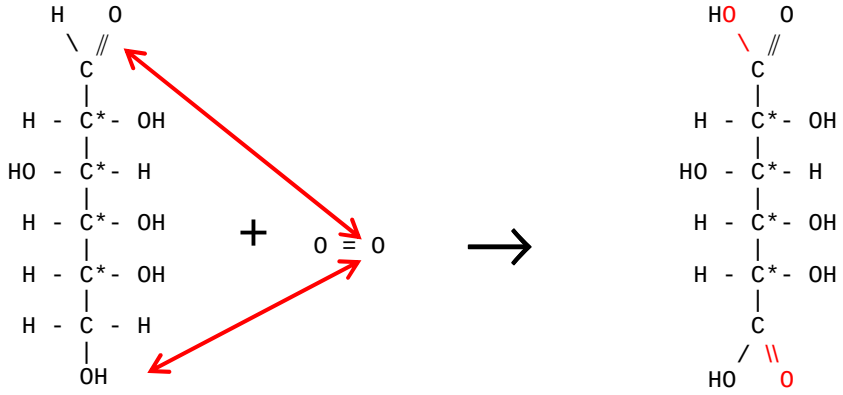
Mit der Oxidation der Aldehyd-Gruppe sind die Oxidations-Möglichkeiten aber nicht ausgereizt. Wird die (primäre) Hydroxyl-Gruppe am sechsten C-Atom oxidiert, dann entsteht eine sogenannte Uronsäure (enthält –OH -, –CHO -, und –COOH -Gruppe(n)).



D-Glucose

D-Glucuronsäure
(Uronsäure)

Auch eine doppelte Oxidation ist möglich. Am ersten und sechsten Cohlenstoff-Atom entstehen Säure-Gruppen (Carboxyl-Gruppen).



D-Glucose

D-Glucarsäure
(Hydroxydicarbonsäure)

Bei allen Kohlenhydraten ist eine vollständige Oxidation – im Sinne einer Verbrennung - möglich. Bei ausreichendem Sauerstoffangebot entstehen dann nur noch Cohlendioxid und Wasser.

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \longrightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O \qquad ;\ \Delta_R G = -218\ \text{kJ/mol}$$

Aufgaben:

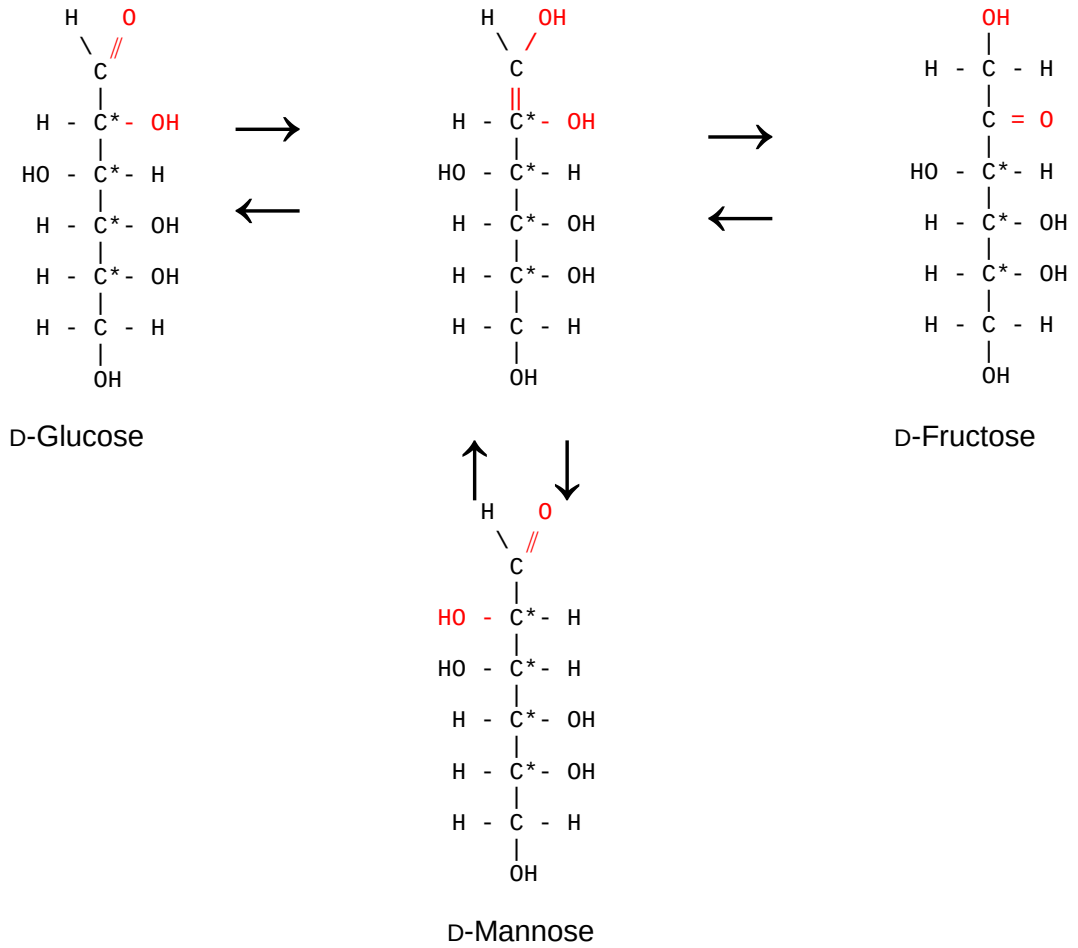
1. *Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die vollständige Verbrennung von Saccharose auf!*

für die gehobene Anspruchsebene:

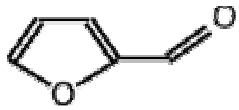
2. *Überlegen Sie sich, welche Oxidationsmöglichkeiten bei Fruchtzucker vorhanden sind! Stellen Sie passende Gleichungen auf! Benennen Sie die gebildeten Stoffe!*

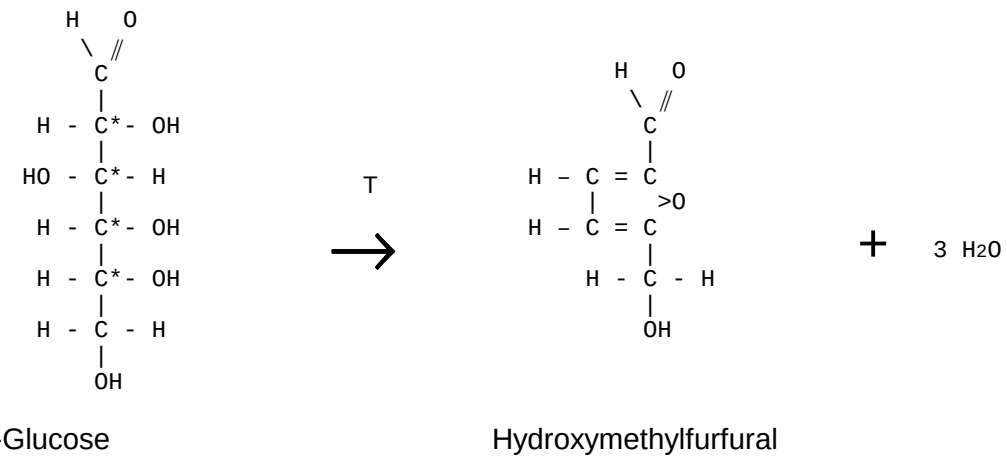
Die funktionellen Gruppen in Glucose-Molekülen können sich unter basischen Bedingungen innerhalb des Moleküls umlagern. Damit ist eine einfache Umwandlung in Fructose und Mannose möglich.

Endio-Form



In saurem Milieu und unter Erwärmung kommt es bei Glucose zu einer molekülinternen Wasserabspaltung. Es entsteht eine heterocyclische Verbindung, deren Ringkörper an Furfural erinnert.
Furfurale sind allgemein giftig und reizend. Sie haben aromatische Gerüche. Die bräunlichen Öle riechen karamell- bis brotartig.

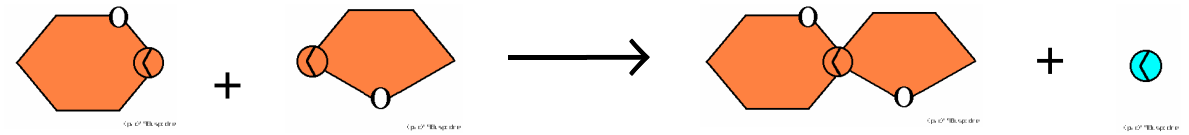

Furfural



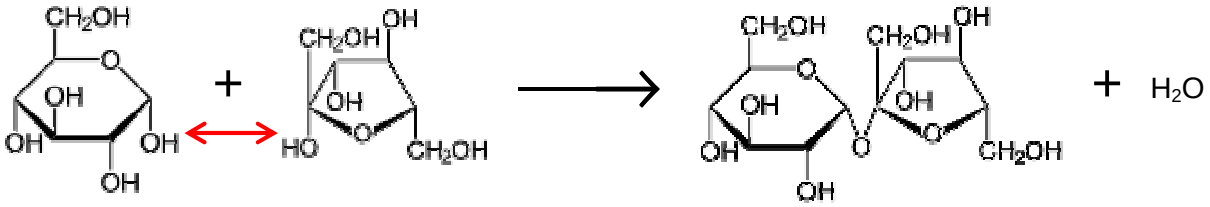
Das Reaktionsprodukt aus der Dehydratisierung von Glucose heißt exakt Hydroxymethylfurfural. Wird dieses in einem glucosehaltigen Lebensmittel nachgewiesen, dann ist dies ein Zeichen für eine Erhitzung bei der Zubereitung.

Bildung von zusammengesetzten Zuckern

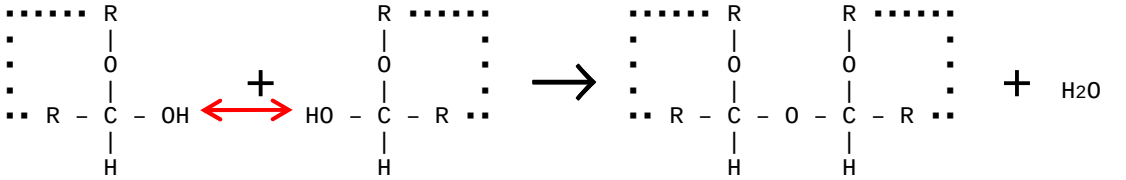
Die Vielzahl funktioneller Gruppen legt den Verdacht nahe, dass Monosaccharide sehr reaktive Verbindungen seien. Dies ist nicht so. Zwar sind viele Reaktionen und Reaktionsarten möglich, aber vielfach werden spezielle Bedingen (saures / basisches Milieu) oder Enzyme / Katalysatoren benötigt. Einige der wichtigsten Reaktionen wollen wir hier vorstellen.
Besonders reaktiv sind die glycosidischen Hydroxyl-Gruppen. Aus den Reaktionen mit anderen Monosacchariden leiten sich die längerkettigen Kohlenhydrate ab.



Traubenzucker + ***Fruchtzucker*** ⟶ ***Rübenzucker*** + ***Wasser***
α-D-Glucose + *β-D-Fructose* ⟶ *Saccharose* + *Wasser*
Glucose-α(1→2)β-fructose

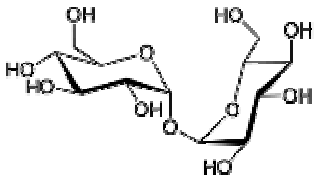


Schauen wir uns die reagierenden Molekülteile noch etwas genauer an:



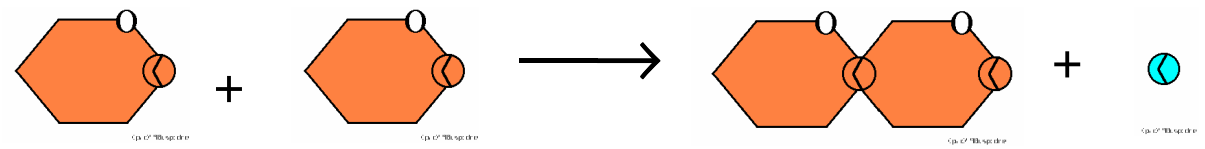
(Glucose) (Fructose) (Saccharose) Wasser
Vollacetal

Das Reaktionsprodukt gehört zu den Vollacetalen. Es existieren keine weiter reaktionsfähigen funktionellen Gruppen. Zwischen den verschiedenen Resten kommen nur noch Sauerstoff-Brücken (Ether-Gruppen) vor.
Da im besprochenen Fall von beiden Ausgangsmolekülen die glycosidischen Hydroxyl-Gruppen reagieren, können sich diese auch nicht mehr zurück zu Aldehydgruppen wandeln. Somit sind auch keine Aldehyd-typischen Reaktionen – wie z.B. die Nachweise – möglich. Wir sprechen von einem **nichtreduzierend**en Disaccharid. Im Endprodukt ist das Cohlenstoff-Atom 1 (von Glucose) mit dem zweiten Cohlenstoff-Atom von Fructose über die Sauerstoff-Brücke verbunden.
Wir sprechen auch von einer 1,2 (sprich: eins zwei) glykosidischen Bindung (Dicarbonyl-Bindung). Manchmal findet man auch die Benennung als Disaccharid des Trehalose-Typs. Trehalose ist ein Disaccharid, dass in den Kokons verschiedener Insekten beobachtet wurde. Bei ihm sind 2 α-D-Glucose-Moleküle 1,1-glycosidisch verknüpft.

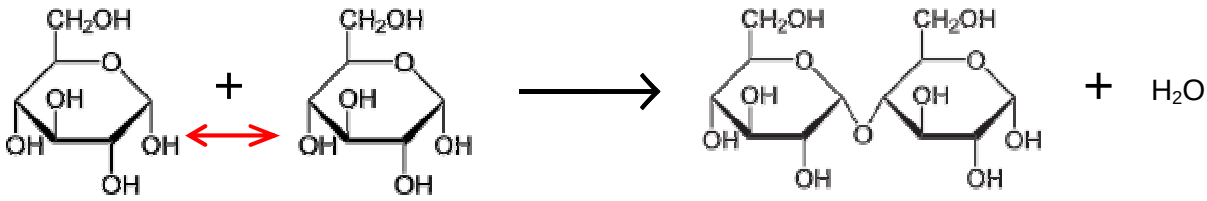


Trehalose

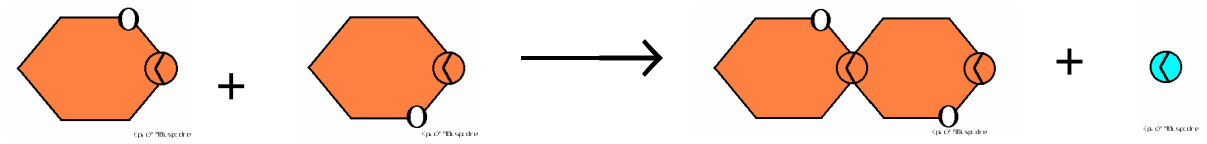
Nichtreduzierende Saccharide können auch nicht mehr aktiv weiterreagieren, da bei ihnen keine freie glykosidische Hydroxyl-Gruppe mehr da ist. Eine gleichwertige Verknüpfung ist die 1,1 glycosidische Bindung, wenn z.B. zwei Aldosen entsprechend miteinander reagieren.
Mittels der gewonnenen Kenntnisse wird nun auch die systematische Benennung der Saccharose als Glucose-α(1→2)β-fructose nachvollziehbar.
Nun kann man sich natürlich ernsthaft fragen, wieso von Glucose die α-Form und von Fructose die β-Form? Was ist mit den anderen möglichen Ringstrukturen und Kombinationsmöglichkeiten? Diese reagieren nicht zu Saccharose, weil die Bildung in der Natur von Zellen mit spezifischen Enzymen erledigt wird. Diese lassen nur den beschriebenen Weg zu. Außerdem würde eine andere Kombination ein anderes Disaccharid ergeben. Auch hierfür gibt es in der Natur Zellen (Mikroorganismen) mit passenden Enzymen.
Reagieren zwei α-D-Glucose-Moleküle miteinander (unter passender Enzym-Anwesenheit), dann reagiert die eine glycosidische OH-Gruppe mit einer ("normalen") Hydroxyl-Gruppe am vierten C-Atom der zweiten Glucose.
Auf den ersten Blick handelt es sich auch um den gleichen chemischen Vorgang – die Bildung eines Vollacetals.



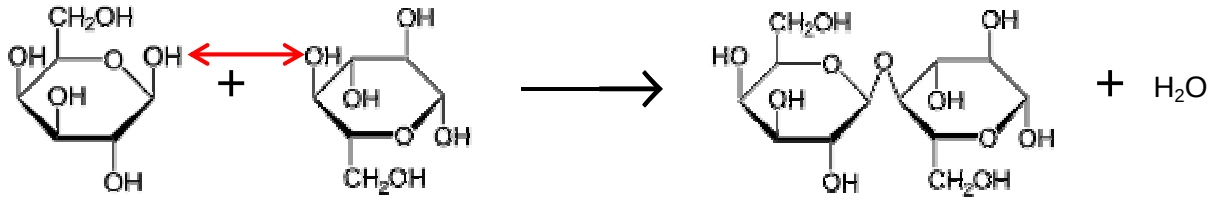
Traubenzucker **+** ***Traubenzucker*** ⟶ ***Malzzucker*** **+** ***Wasser***
α-D-Glucose + *D-Glucose* ⟶ *Maltose* + *Wasser*
Glucose-α(1→4)-Glucose



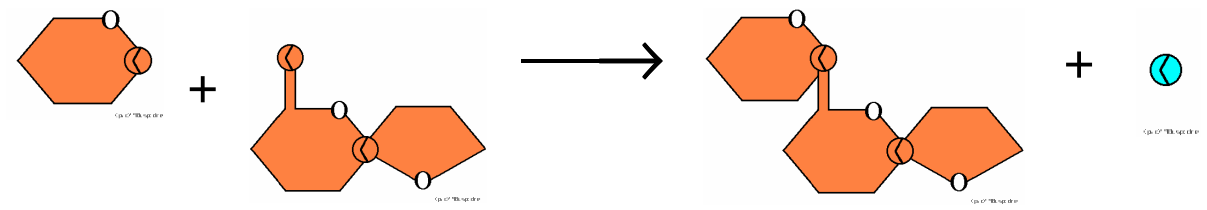
Im Detail stellt man aber fest, dass die glycosidische Hydroxyl-Gruppe des zweiten Glucose-Moleküls unberührt bleibt. Diese kann in Lösung aufreißen und eine reduzierende Aldehyd-Gruppe entstehen lassen. Saccharide mit einer freien Aldehyd-Gruppe werden deshalb auch als reduzierende Zucker bezeichnet. Sie sind weiterhin reaktionsfähig.
Die Maltose ist, wie die Trehalose bei der Saccharose namensgebend für den Bautyp (Maltose-Typ, α(1→4)-Bindung).
Ein anderer wichtiger Zweifachzucker ist der Milchzucker (Lactose). Er entsteht aus je einem Molekül Schleimzucker (Galactose) und Traubenzucker (Glucose). Beachten Sie bitte unbedingt, dass wir hier zwar die gleichen Symbole für den Traubenzucker und den Schleimzucker (als Hexapyranosen) verwenden, dies aber verschiedene Zucker sind (siehe Stammbaum der Monosaccharide)!



Schleimzucker + ***Traubenzucker*** ⟶ ***Milchzucker*** + ***Wasser***
β-D-Galactose + *β-D-Glucose* ⟶ *Lactose* + *Wasser*
Galactose-β(1→4)β-Glucose



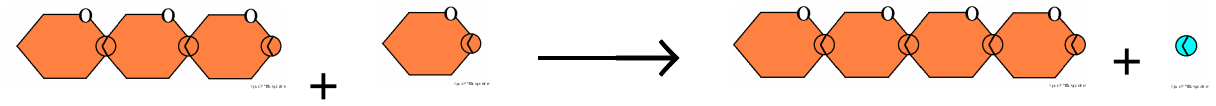
Lactose ist ebenfalls ein Disaccharid vom Maltose-Typ.
Weitere Bindungsvrarianten sind der Cellobiose-Typ (β(1→4)-Bindung), Brachiose-Typ (α(1→6)-Bindung) und der Gentobiose-Typ (β(1→6)-Bindung). Bei den Disacchariden spielen diese Verknüpfungen eine untergeordnete Rolle. Wichtiger sind sie dann bei den längerkettiger Saccharide.
Dreifachzucker (Trisaccharide) und **Vierfachzucker** (Tetrasaccharide) spielen mit ihren 3 oder 4 Bausteinen nur eine unwesentliche Rolle in der Ernährungslehre. Sie werden deshalb mit anderen Kohlenhydraten, die ebenfalls nur wenige Bausteine (bis maximal 20) enthalten, zu den **Mehrfachzucker**n (Oligosacchariden) gezählt. Selten werden bei den Mehrfachzuckern noch die Pentasaccharide und die Hexasaccharide usw. unterschieden.
Zu den etwas häufigen Dreifachzuckern gehört die Raffinose. Die Saccharose ist gewissermaßen um einen Galaktose-Baustein ergänzt. Die Galactose ist a(1→6)-glycosidisch am Glucose-Teil gebunden (entspricht Brachiose-Typ). Der systematische Name der Raffinose lautet deshalb auch Galaktose-α(1→)6-Glucose-α(1→2)-Fructose.



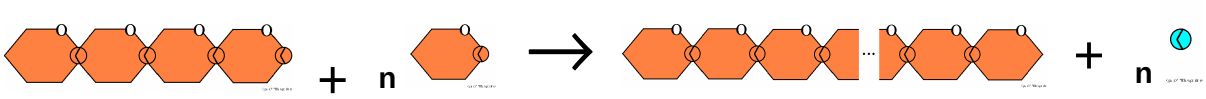
Traubenzucker + ***Rübenzucker*** ⟶ ***Raffinose*** + ***Wasser***
α-D-Glucose + *Saccharose* ⟶ *Raffinose* + *Wasser*
Galactose-β(1→4)β-Glucose-α(1→2)β-fructose

Raffinose ist eines der kleinsten Speicher-Kohlenhydrate. Es entspricht in der Funktion vielfach der Stärke. Besonders Erbsen und Bohnen enthalten viel davon (5 – 15 % in der Trockenmasse). In anderen Pflanzen ersetzt die Raffinose die Saccharose als Transport-Substanz. Hier sind vorrangig Kürbisgewächse und Linden als Beispiele zu nennen.
Alle Kohlenhydrate mit noch mehr Bausteinen, werden den **Vielfachzucker**n (Polysacchariden) zugeordnet.
Dabei läuft die Verlängerung der Kette in den besprochenen Reaktionsschemen ab.

Disaccharid + ***Monosaccharid*** ⟶ ***Trisaccharid*** + ***Wasser***



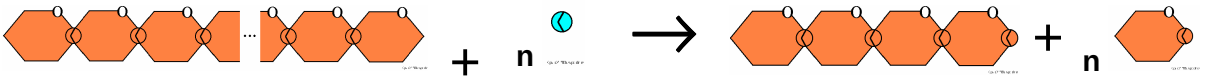
Trisaccharid + Monosaccharid ⟶ Tetrasaccharid + Wasser



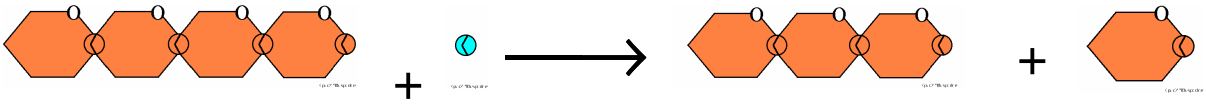
Tetrasaccharid + n Monosaccharide ⟶ Oligo- bzw. Polysaccharid + Wasser

Zerlegung von zusammengesetzten Zuckern

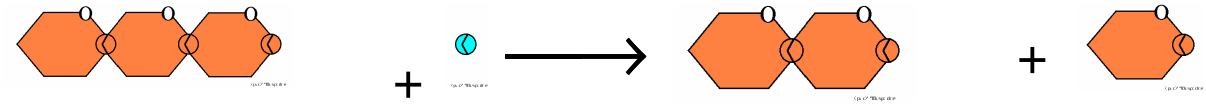
Ab den Disacchariden sind Kohlenhydrate durch Säurehydrolyse in kleinere Baugruppen (mindestens Monosaccharid-Größe) spaltbar. Die Spaltung sind Hydrolysen, d.h. bei Anwesenheit und unter Verbrauch von Wasser werden die Ausgangsstoffe zerlegt. Im Prinzip laufen die besprochenen Reaktionen in umgekehrter Reihenfolge rückwärts ab. Die Reaktionen werden zusätzlich durch Amylasen (Stärke-abbauende Enzyme) katalysiert.
In Wasser - und noch besser bei Vorhandensein von Säuren und / oder Enzymen (z.B. α-Amylase (z.B. Ptyalin)) - vollzieht sich die Hydrolyse der längerkettigen Kohlenhydrate. Dabei werden letztendlich Einfachzucker-Reste abgespalten. Hydrolyse heißt der Vorgang deshalb, weil mittels Wasser (lat. hydro) die Stärke scheinbar aufgelöst (lat. lysis) wird. Praktisch ist hier nicht das physikalische Lösen sondern der Abbau der Stärke gemeint. Man bezeichnet den Vorgang deshalb im Deutschen besser auch als Stärke-Abbau.
Die Vielfachzucker werden schrittweise in kleinere Einheiten zerlegt. Am Ende werden die Vielfachzucker vollständig in Einfachzucker zerlegt.



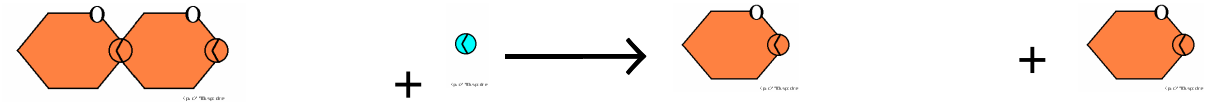
Oligo- bzw. Polysaccharid + Wasser ⟶ Tetrasaccharid + n Monosaccharide



Tetrasaccharid + Wasser ⟶ Trisaccharid + Monosaccharid

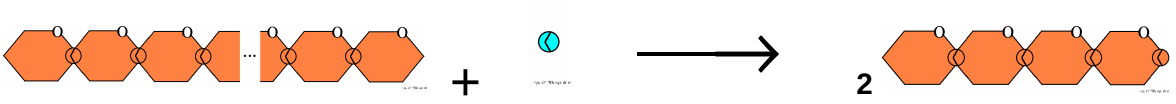


Trisaccharid + Wasser ⟶ Disaccharid + Monosaccharid



Disaccharid + Wasser ⟶ Monosaccharid + Monosaccharid

Die Einfachzucker sind besser in Wasser löslich als die Vielfachzucker. Es scheint dann so, als würde sich der Vielfachzucker in der sauren Lösung auflösen. Richtig wäre es aber, zu sagen, dass sich der Vielfachzucker zersetzt und die Reaktionsprodukte sich dann auflösen
Einige Enzyme des Mundspeichels (z.B. b-Amylase) spalten die Vielfachzucker nicht vom Ende her, sonder zerlegen diese in grobe Stücke (Dextrine, Oligosaccharide). Danach tun die anderen Amylasen ihre Arbeit von den Enden her. Beispielhaft könnte dies so aussehen:



Oligosaccharid **+** ***Wasser*** ⟶ ***2 Tetrasaccharide***

Aufgaben:

1. Stellen Sie die chemische Gleichung für die (enzymatische) Zerlegung von Maltose auf!

2. Ermitteln Sie, um welches Enzym es sich dabei handelt!

3.2.3.2. Biologische Eigenschaftung der Kohlenhydrate und ihre Bedeutung

Mit den Kohlenhydraten verbinden wir wohl sprichwörtlich den süßen Geschmack. Wegen diesem sind die betreffenden Vertreter auch bei den meisten Organismen sehr beliebt. Das Süße ist gewissermaßen ein **Signalstoff** für gute nahrung. Ein süßer Geschmack ist allerdings nicht bei allen Saccharide anzutreffen. Viele besitzen überhaupt keinen eigenen Geschmack. Erst nach längerem Kauen oder Aufbewahren in diversen Lösungen, bekommen sie einen süßen Geschmack.
In den Lebewesen bzw. in den Zellen dienen Kohlenhydrate vor Allem der **Energiebereitstellung und -speicherung**. So ist Glucose der Stoff, der in den Zellen für kurzfristig benutzbare Energie steht.
Grundsätzlich kann jede Zelle ein Art der Gärung zur Energie-Gewinnung nutzen. Infolge dieser Dissimilations-Prozesse werden organische Endprodukte (z.B. Milchsäure, Ethanol) freigesetzt. Die freiwerdende Energie (in Form von ATP) steht dann für andere Lebensprozesse zur Verfügung. Allerdings ist die Menge mit 2 Molekülen ATP pro Molekül Traubenzucker sehr bescheiden.

(1) Traubenzucker (Glucose)	***Gärung*** →	**(2) ATP**
chemische Energie		Zell-nutzbare Energie

Viele höhrere Organismen (Eucyten mit Mitochondrien) können die Glucose vollständig in Cohlendioxid und Wasser (Zellatmung) abgebauen.
Dieser Prozess wird Zellatmung genannt. Der Energiegewinn liegt bei 32 bis 36 Molekülen ATP pro Molekül Traubenzucker.

(1) Traubenzucker (Glucose)	***Zellatmung*** →	**(32 – 36) ATP**
chemische Energie		Zell-nutzbare Energie

Traubenzucker kann nicht in größeren Mengen in der Zelle gelagert werden. Es würde die osmotischen Verhältnisse stark beeinflussen. Je mehr Glucose gelöst wäre, umso dickflüssiger (Sirup-artiger) wäre dann das Zellplasma. Ein bessere Alternative ist die Stärke als Speicherstoff. Sie ist kaum Wasser-löslich und beeinflusst somit kaum den osmotischen Wert des Zellplasma's bzw. des Blutes.
Stärke dient vorrangig als langfristiger Energiespeicher. Wird der Energiepool knapp, dann wird die Stärke schrittweise in Glucose zerlegt.
(Dieser Vorgang wird ausführlich im Abschnitt 4. Stoffwechsel der Zellen erläutert.)

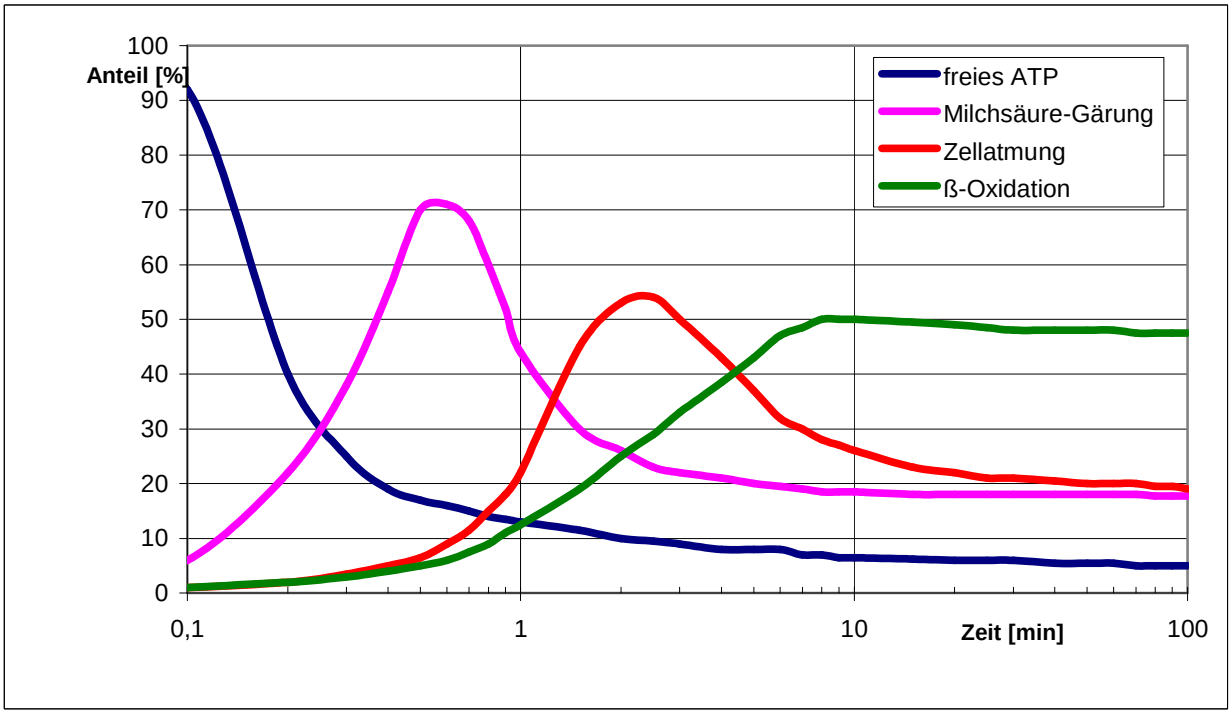
Stärke (Polysaccharide)	***Stärkeabbau*** → ← ***Stärkebildung***	**Traubenzucker** (Glucose)	***Gärung od. Zellatmung*** →	**ATP**
langfristig verfügbare Energie		kurzfristig verfügbare Energie		Zell-nutzbare Energie

Durch geregelten Aufbau und Abbau der Stärke wird die Konzentration der Glucose in der Zellflüssigkeit oder im Blut konstant gehalten. (siehe auch 4.3. Hormone (Blutzucker-Regulation))

Im menschlichen Körper (und bei vielen höheren Tieren) spielen sich praktisch die gleichen energetischen Vorgänge ab. Einige Stoffe sind gegen andere ausgetauscht worden. Manche Stoffe haben einfach nur einen anderen Namen.

Leberstärke (Glykogen)	***Glykogenolyse*** → ← ***Glykogenese***	**Blutzucker** (Glucose)	***Zellatmung*** →	**ATP**
langfristig verfügbare Energie		kurzfristig verfügbare Energie		Zell-nutzbare Energie

Interessant ist die unterschiedliche Nutzung des Blutzuckers bei der Energiebereitstellung z.B. bei größeren körperlichen Anstrengungen. Solange in den beanspruchten Muskeln genug Sauerstoff zur Verfügung steht, kann der Blutzucker in viel ATP-Energie umgewandelt werden. Die Endprodukte Cohlendioxid und Wasser werden über die Atmung (Lunge und Haut) ausgeschieden. Dieser Vorgang heißt Zellatmung. Wird der Sauerstoff aber knapp (z.B. durch unzureichende Atmung oder Überanstrengung), dann kann der Blutzucker nur zu sehr wenig ATP-Energie abgebaut werden. Im Ergebnis sinkt die Leistungsfähigkeit.



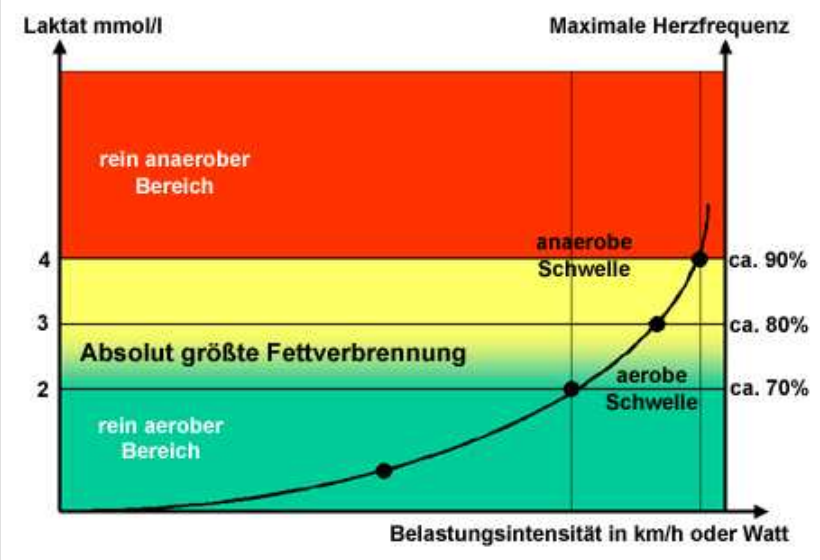
Energie-Quellen für eine Dauer-Muskel-Belastung

Neben den energetischen Funktionen werden Kohlenhydrate auch als **Baustoff** verwendet. Hier sei vorrangig auf die Cellulose hingewiesen. Aber auch sonst sind Kohlenhydrate (sogenannte Pektine) in vielen Zellbestandteilen (z.B. Zellmembran, Mittellamelle) eingebaut. Cellulose wird von den ausgewachsenen pflanzlichen Zellen gebildet und nach außen abgegeben. Die Cellulose-Fasern lagern sich dann außen auf der Zellmembran ab und bilden so die Zellwand. Diese stabilisiert die Zelle. Erst durch den Aufbau von Zellwänden können Pflanzen außerhalb des Wassers gegen die Schwerkraft zum Licht wachsen. Viele Pflanzen lagern in die Zellwände noch zusätzliche Stoffe ein. Damit werden die Zellwände dann noch weiter verfestigt - die Cellulose-Fasern verkleben. Ein solcher eingelagerter Stoff ist der Holzstoff Lignin. Wie der Name es schon andeutet, ist er für die Verholzung von Zellwänden verantwortlich. Lignin ist

ein abgewandeltes Kohlenhydrat. Abgewandelte Stoffe nennt man allgemein auch Derivate. Lignin ist also eine Derivat der Saccharide.

Exkurs: Laktat-Test (Lactat-Test)

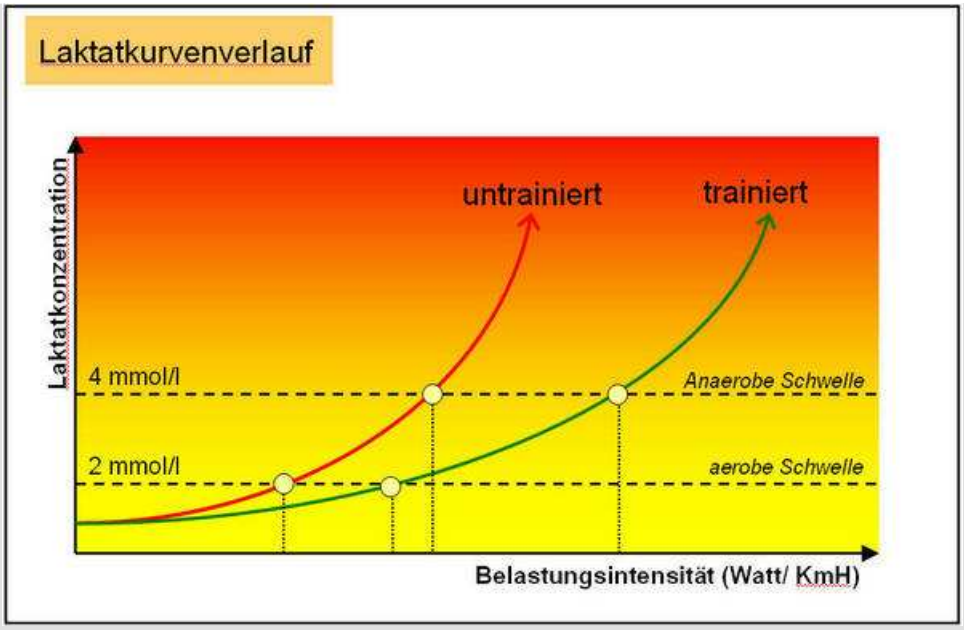
Zur Abschätzung der Leistungfähigkeit von Sportlern und zur Erkennung von Stoffwechsel-Erkrankungen (z.B. Diabetes) wird die Schwelle beim Umschalten zwischen Zellatmung und Milchsäure-Gärung in den Energie-Versorgung der Muskelatur gesucht.
Normalerweise (bei geringer Belastung) reicht der im Muskeln gespeicherte (an Myoglobin – einem roten Muskelfarbstoff) und mit dem Blut rantransportierte Sauerstoff für die Umwandlung der Glucose aus. Über die Zellatmung (Glycolyse→Citrat-Cyclus→Atmungskette) wird reichlich Energie (rund 36 ATP pro Glucose) bereitgestellt. Die Endprodukte Cohlendioxid und Wasser werden über das Blut abtransportiert und ausgeschieden.
Bei stärkerer Belastung reicht der Sauerstoff nicht mehr aus. Die Energieversorgung schaltet auf die Variante um, die keinen Sauerstoff braucht – die Milchsäure-Gärung. Nun wird statt Cohlendioxid und Wasser reichlich Milchsäure transportiert. Das Säurerest-Ion der Milchsäure ist das Lactat-Ion, welches nun reichlich im Blut nachgewiesen werden kann. Nachteilig an der Milchsäure-Gärung ist der eher bescheidene Energie-Gewinn von nur 2 ATP pro Glucose.
Leistungssportler haben – entsprechend ihrem Trainingszustand – mehr Sauerstoffreserven im Körper. Ihre Muskelatur hat mehr Myoglobin und Lunge und Blut können mehr Sauerstoff aufnehmen.
Bei einem schlechten Trainigszustand oder bei Stoffwechsel-Problemen wird eher auf Milchsäure-Gärung umgeschaltet. Dies kann bei Belastungstests durch einfache Bluttests schnell untersucht werden. Dabei werden über den gesamten Zeitraum der Belastung Blutproben genommen und auf Lactat getestet. Beim Umschalten von Zellatmung auf Milchsäure-Gärung steigt der Lactat-Gehalt im Blut relativ schnell an.



Q: www.dialaktmobil.de

normaler Wert / Ruhewert: 2 mmol/l
aerobe Trainingssituation: < 2 mmol/l
aerober-anaerober Grenzbereich: 2 – 4 mmol/l
anaerobe Trainigssituation: > 4 mmol/l

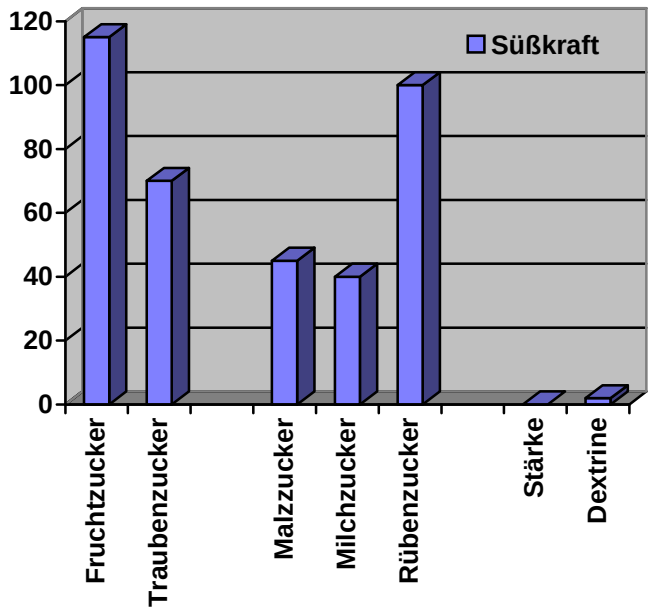
Ziel ist eine Leistungserbringung im grünen Bereich. Die Lactat-Werte sollten in der Wettbewerbs-Situation (Belastungs-Situation) im gelben Bereich verbleiben und der Herzschlag nicht über 90% des Maximums gehen. Zeitweise und kurzzeitig darf der Wert in den roten Bereich liegen.
Gelber Bereich für die Gewichtsabnahme und das Training normaler Menschen empfohlen. Optimal ist ein Lactat-Wert zwischen 2 und 3. Liegt der der Lactat-Wert häufig bzw. dauerhaft im roten Bereich, dann ist dies ein Zeichen von mangelnder Fitness bzw. einer Überbelastung. Dies kann zu gesundheitlichen Problemen führen.



Q: www.dr-gumpert.de

3.2.3.3. Technologische Eigenschaften der Kohlenhydrate und ihre Nutzung

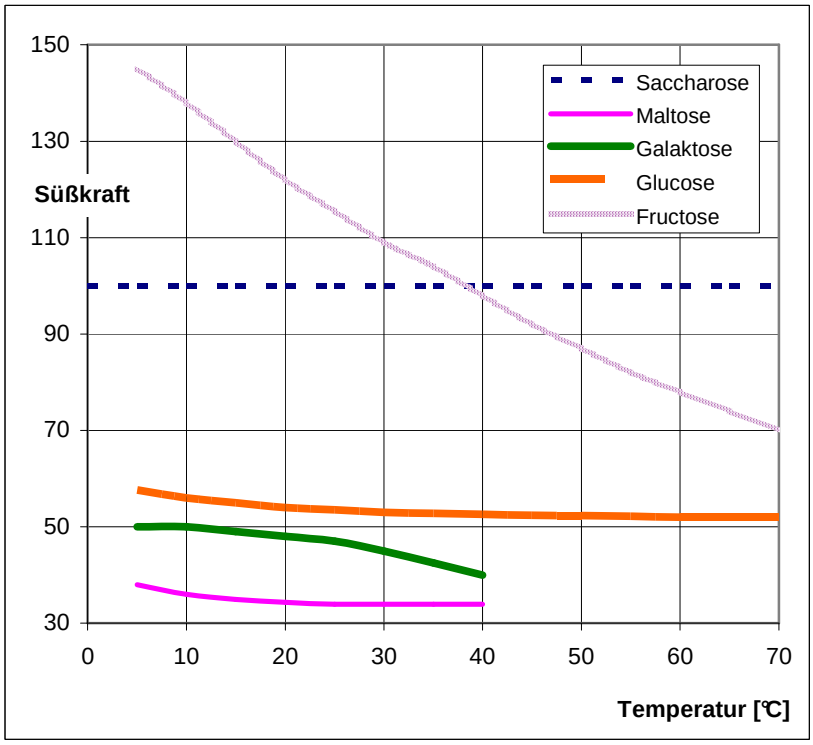
Süßkraft: Vor allem Einfach- und Zweifachzucker besitzen eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Süßkraft. Diese ist besonders von der Art der Sinneszellen auf unserer Zunge abhängig. Für bestimmte Zucker sind diese Sinneszellen besonders empfindlich und vermitteln uns dann den intensiven, süßen Geschmack. Im nebenstehenden Diagramm ist zu einigen ausgewählten Zuckern die Süßkraft dargestellt.



Für den Vergleich sind die Werte auf den Rübenzucker (entspricht 100%) bezogen. Praktisch wird die unterschiedliche Süßkraft für verschiedene Zwecke genutzt. So bietet sich natürlich Fruchtzucker – als besonders süßer Zucker, bei gleichem Energiegehalt wie Traubenzucker – eher als Süßungsmittel an. Dagegen nutzt man die geringe Süße von Milchzucker z.B. u.a. bei der Herstellung von Tabletten. Der wesentliche Teil einer Tablette ist gepresster Milchzucker.

Für viele Anwendungen ist aber auch die Veränderung der Süßkraft in Abhängigkeit von der Temperatur interessant. Gerade für die Genußtemperatur einer Speise oder eines Getränkes muß die Süße stimmen. Besonders auffällig ist der Verlust der Süßkraft bei höheren Temperaturen für Fructose. Eine Temperatur-Absenkung würde dem entsprechend ein Zugewinn an Süßkraft bedeuten. Das Abschmecken einer Eismasse mit Fructose kann also nicht bei Zimmertemperatur erfolgen, sondern muß schon bei der empfohlenen Genusstemperatur erprobt werden.

Den Effekt kennt man auch bei Abschmecken von Süß-Speisen in der Wärme. Sie schmecken meist dort wesentlich intensiver süß als im abgekühlten Zustand.



Temperaturabhängigkeit der Süßkraft verschiedener Kohlenhydrate (Saccharose als Bezugsgröße gleich 100)

Aufgabe:

Wie verändert sich die Temperaturabhängigkeit der Süßkraft von Fructose, wenn man auch die Veränderung der Süßkraft für Saccharose mit einbezieht? (Flacht die Kurve ab, bleibt si unverändert, wird sie steiler, ändert sie ihre Steigung?)

Insgesamt ist gerade die Süße auch der ausschlaggebende Faktor, warum eigentlich alle höheren Lebewesen (besonders Tiere) Zucker bei der Ernährung bevorzugen.
Zumindestens beim Menschen setzt Zucker im Gehirn (das Glückshormon) Serotonin frei. Da es physiologisch kein Maximum oder eine Überschuß-Reaktion im Gehirn gibt, noch ein direkter Gegenspieler für Serotonin existiert, kommt es zu einer latenten Sucht nach Süßem.
Neuerdings wird allerdings auch eine Appetit-hemmende Wirkung von Serotonin diskutiert. Dies würde bedeuten, dass doch ein begrenzender Faktor vorliegt. Damit würde sich auch das geringe bzw. latente Sucht-Potential gut erklären lassen.
Bei Lebensmitteln für die menschliche Ernährung wird seit vielen Jahren tendentiell zu viel Zucker zugesetzt. Hier wird der Urtrieb nach süßen Produkten (Früchte usw.) wirtschaftlich ausgenutzt. Süße Produkte versprechen unserem Unterbewusstsein eine schnell verfügbare Energiequelle. Auf süße Speisen reagiert unser Körper deshalb auch unverzüglich mit Insulin-Freisetzung. Fatal ist dieser Reflex beim Essen von Süßstoffen, da nun ein "Bedarf" an Zucker im Körper bewirkt wird. Ergebnis ist ein Heisshunger. Statt weniger Kalorien (eigentlich natürlich Joule) zu sich zu nehmen, werden letztendlich mehr Kohlenhydrate gegessen. Sinnvoll ist der Einsatz von Süßstoffen dann, wenn mit der Süßstoff-haltigen Speise auch direkt oder indirekt Kohlenhydrate mitaufgenommen werden. Dann läuft die Insulin-Freisetzung nicht ins Leere bzw. hat dann keine fatale Wirkungen.
Karamellisierung, Dextrinbildung (Dextrinierung) und Bräunungsvermögen: Werden Einfach- bzw. Zweifachzucker erwärmt, verändern sie ihre Farbe. Diese Zuckerfarbe (Zuckercouleur) kann zum Anfärben von Nahrungsmitteln genutzt werden. Bei Temperaturen bis 180 °C wird der Zucker nur leicht gelb-bräunlich. Zwischen 190 und 210 °C wird der Zucker dunkelbraun. Ab 220 °C verbrennt der Zucker – wird dann s chwarz bis dunkelbraun und schmeckt bitter. Den leicht gebräunten Zucker - eventuell mit wenig Wasser verkocht - nennt man Karamell. Um Krokant zu bekommen, mischt man noch gehackte Mandeln oder Haselnüsse dazu.
Stärke zerfällt beim Erhitzen mit Butter in kleinere Moleküle. Diese entsprechen sehr kurzkettigen Vielfachzuckern. Sie werden Dextrine genannt und beinhalten 10 bis 20 Traubenzucker-Reste. Sie binden weniger klebrig und stellen die Grundlage für die Bindung von sämigen Soßen (Mehlschwitze). Dextrine werden auch beim Backen um die 220 °C an der Oberfläche der Gebäckstücke gebildet. Technologisch ist die Dextrinbildung bei der Herstellung von dunklen Mehlschwitzen von Bedeutung, da durch den stärkeren Abbau der Stärke auch mehr davon für die gleiche Bindung gebraucht wird. Vorteilhaft ist wiederum die Bildung von Geschmacksstoffen durch das Rösten.
Reagieren reduzierende Zucker mit Aminosäuren (→ 3.3. Eiweiße), dann entstehen ebenfalls braune und sehr aromatisch schmackhafte Reaktionsprodukte (Glycoside, MAILLARD-Produkte). Der Vorgang setzt verstärkt ab ungefähr 140 °C ein und ist im Prinzip zwar bekannt (über SCHIFFsche Base entstehen Heterozyklische aromatische Verbindungen, die weiter zu α–Dicarbonyl-Verbindungen reagieren können), aber die Palette der Reaktionsprodukte ist praktisch unendlich groß. Der französische Physiker und Chemiker Luis Camille MAILLARD (1878 - 1936) klärte den Reaktionsverlauf als erster auf. Die Reaktion und entstehende Reaktionsprodukte haben von ihm den Namen erhalten. Neben der positiven Beeinflussung der Farbe und des Geschmacks werden den MAILLARD-Produkten auch geringe desinfizierende und Verderb-behindernde Wirkungen zugesprochen. (Ausführlich zu MAILLARD-Reaktion: siehe entsprechenden Exkurs bei Eiweißen.)
Karamellisierung und MAILLARD-Reaktion sind sogenannte Bräunungsreaktionen. Sie werden durch Erwärmen bzw. Erhitzen erreicht. Der Ablauf beider Vorgänge ist nicht von Enzymen abhängig (nichtenzymatische Bräunungsreaktionen). Sie gelten hier im Allgemeinen als erwünscht, da sie Geschmack und Aussehen von Speisen verbessern. Denken Sie dabei z.B. an glasiertes Gemüse oder Fleisch.

MAILLARD-Produkte sind aber keineswegs nur lecker. Ihnen wird auch ein gewisses cancerogenes und toxisches Potential zugesprochen. Allerdings sind die entstehenden Mengen beim Braten, Rösten, Grillen usw. so gering, dass keine direkte Gefahr besteht.

Hygroskopizität: Läßt man z.B. Fruchtzucker in offenen Gefäßen stehen, dann verklumpt er sehr schnell. Dies liegt daran, dass Fruchtzucker die Luftfeuchtigkeit anzieht und bindet. Man sagt Fruchtzucker ist wasseranziehend – hygroskop(isch). Bei anderen Einfach- und Zweifachzuckern kommt diese Eigenschaft ebenfalls vor – ist aber nicht so stark ausgeprägt. Bei der Nahrungszubereitung spielt dies z.B. bei Gebäck mit Fruchtzucker oder Invertzucker eine Rolle. Bleiben diese an der offenen Luft liegen, dann verliert sich die Festigkeit und sie werden weich und pappig. Beim optimalen Mengen-Einsatz von hygroskopischen Zuckern kann aber auch die normale Austrocknung ausgeglichen werden. Es entsteht der Eindruck, dass das Gebäck immer frisch bleibt.

Die Hygroskopizität ist z.B. von der Oberfläche und dem Volumen der umströmenden Luft abhängig.

Löslichkeit in Wasser: Wir haben schon festgestellt, dass vor allem kurzkettige Zucker gut in Wasser löslich sind. So kann z.B. die "Süße" in Lösung gebracht werden und vielfältig verwendet werden.

Kristalliener Zucker oder Lösungen mit hohem Zuckeranteil sind sehr wasserliebend. Sie ziehen überschüssiges Wasser z.B. aus Früchten. Der Geschmack und die Süße werden dadurch verstärkt. Zum Anderen werden solche Früchte durch den Wasserentzug länger haltbar gemacht (kandierte Früchte). Bakterien und Pilze können bei so verringerten Wasseranteilen nicht überleben und damit auch nicht die Lebensmittel verderben. Im Lebensmittel-Bereich spricht man von einem sinkenden oder geringen a_w-Wert. Dieser ist ein Maß für des freie / aktive Wasser (activity of water) in einem Lebensmittel. Je kleiner der a_w-Wert – also umso weniger freies Wasser in dem Lebensmittel enthalten ist – umso schlechter können Mikroorganismen überleben. Dadurch sinkt im Allgemeinen auch die Verderbbarkeit.

Die Herstellung von haltbaren Obstkonserven, Konfitüren und Marmeladen beruht auf den verringerten Wassergehalt - bzw. den höheren Zuckergehalt. Bakterien können in unter solchen – scheinbar wasserarmen – Bedingungen nicht überleben. Die osmotischen Verhältnisse sorgen dafür, dass selbst den Mikroorganismen das Wasser aus ihren Zellen entzogen wird. Sie trocken aus – bleiben aber, oft als Spore, noch länger lebensfähig. Nach Zugabe von Wasser können sie sich wieder voll entwickeln und dann die Lebensmittel verderben.

Bonbon's und viele reine Zucker-Süßwaren haben ungefähr einen Wasser-Gehalt unter 2 %. Steigt oder war der Wassergehalt über 2 %, dann kommt es schon zum sogenannten "kalten Fließen". Das wenige Wasser reicht aus, um über Lösung und Auskristallisation des Zucker's im Bonbon kleine Kristalle entstehen zu lassen. Die Bonbon-Masse wird klebrig und zähfüssig. Die Oberfläche der Süßwaren verlieren ihren Glanz ("Absterben").

Längerkettige Kohlenhydrate sind meist nicht in Wasser löslich. Ihre Moleküle sind zu groß und oft auch zu schwer. Manche Polysaccharide sind aber kolloidal in Wasser löslich. D.h. sie werden als Einzel-Moleküle von einzelnen Wasser-Teilchen getragen und bewegen sich mit ihnen mit. Auf Grund einer ähnlichen Dichte schwimmen / tauchen im Wasser. Eine echte Lösung entsteht dabei nicht.

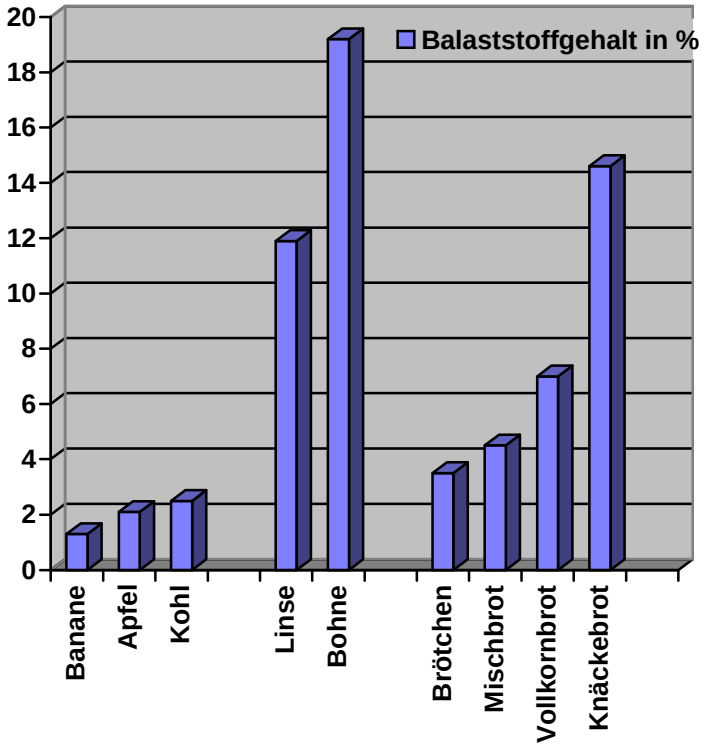
Die großen Moleküle längerkettiger Kohlenhydrate können z.T. aber beachtliche Mengen von Wasser in ihre Strukturen einlagern. Dies nennt man dann Quellen.

Quellvermögen: Besonders die Mehrfachzucker sind mit einer enormen Quellfähigkeit ausgestattet. Das Wasser lagert sich in die Moleküle ein und erhöht dabei die Beweglichkeit der großen Moleküle. Die riesigen Ketten verwirren sich mit der Zeit immer mehr und bilden schließlich eine Art Kleister (Gel-Zustand).

Marmeladen, Konfitüren und Gelee's sind Produkte, deren Festigkeit entscheidend von Pektinen und der hohen Konzentration an Zuckern abhängt.

Beim Kochen von Teigwaren nutzt man das Quellen von Stärke ebenfalls technologisch. So werden Nudeln besser in kochendes Wasser gegeben, da die äußeren Schichten sofort quellen und verkleistern. Die Form bleibt so beim weiteren Garen weitgehend erhalten. Das Kochen von Teigwaren kann man schon einige Minuten vor dem Garpunkt unterbrechen, da die Teigwaren noch nachgaren / nachquellen. Gerade bei vorlaufender Herstellung (z.B. Systemgastronomie) oder längeren Transportwegen (z.B. "Essen auf Rädern") muss dies beachtet werden, wenn nicht pappige, klebrige und zu weiche Nudeln ausgeliefert werden sollen.

Bindefähigkeit: Die Quellbarkeit und die fortschreitende Verkleisterung bewirken die Verfestigung des Nahrungsmittels. Durch Erwärmen wird der Effekt sogar noch verstärkt, da die Moleküle sich noch stärker bewegen und dementsprechend noch heftiger miteinander verwirren.
Auch beim Auflösen von Stärke z.B. zum Binden einer Soße oder Suppe, kann eine zu große Flüssigkeitstemperatur zum Verklumpen führen. Die äußeren Schichten nehmen die Flüssigkeit schnell auf und quellen entsprechend. Die inneren Bereiche werden dadurch von einer weiteren Flüssigkeitszufuhr abgeschnitten – ein fester Klumpen bildet sich. Deshalb sollte Stärke immer in kalter Flüssigkeit angelöst werden und vorsichtig der restlichen Flüssigkeit zugesetzt werden. Bei stärkehaltigen Bindemitteln, die großkörnig sind, kann die Flüssigkeit in die großen Lücken fließen. Bei ihnen ist ein direktes Einstreuen – in das zu bindene Gut – praktischer.
In der Küche kennt man auch den Trick, dass Mehl einfach vorher mit Butter (oder Öl) verrührt wird. Das Mehl-Fett-Gemisch löst dann relativ gut im anzudickenden Lebensmittel auf.
Abbaubarkeit: Stärke mit seinen charakteristischen Eigenschaften (nicht süß, wasserunlöslich, quellbar) kann durch Enzyme oder Säuren in kurzkettige Moleküle abgebaut werden. Interessant ist dabei, dass die entstehenden Stoffe, wie Dextrine, Zweifachzucker und Einfachzucker, genau entgegengesetzte Eigenschaften zur Stärke besitzen. Die Abbauprodukte sind zumeist süß, wasserlöslich und nicht mehr quellbar. Die gewünschten Eigenschaften einer Speise sind dann durch Produktions- oder Lagerzeiten bestimmt.
Stärkehaltige Lebensmittel sollten nach dem Zusatz von Säuren nicht mehr lange gekocht werden, da der Stärkeabbau so beschleunigt wird. Die Speisen verlieren ev. ihre Konsistenz und werden süßlicher. Besser ist also das Säuern erst kurz vor dem Servieren, bzw. eben auch dass Süßen von sauren Speisen zum Schluß.
Eine besondere Form des Zuckerabbaus ist die Umwandlung von Zweifachzuckern unter Enzymzusatz bei der Honigherstellung durch die Bienen. Die Zweifachzucker werden dabei in Einfachzucker (Frucht- und Traubenzucker) abgebaut. Da dabei Wasser verbraucht wird, sinkt der Wassergehalt. Durch Fächeln mit den Flügeln sorgen die Bienen für weiteres Verdunsten des Wassers. Letztendlich entsteht ein zähflüssiger Sirup - der Bienenhonig. Bei der Kunsthonig-Produktion wird Rübenzucker durch zugesetzt Enzyme oder Säuren in Traubenzucker und Fruchtzucker abgebaut. (s.a. Exkurs: Invertzucker)
Schon aus hygenienischen Gründen sollte zum Probieren immer sauberes Besteck genommen werden oder die Probe indirekt gekostet werden (mit einem Proben-Löffel die Probe nehmen und mit dem Kost-Löffel / vom Kost-Teller probieren). Bei mehrfacher Verwendung des gleichen Löffels können (Speichel-)Enzyme in die Speise gelangen. Der Mundspeichel enthält besonders viele Kohlenhydrat-abbauende Enzyme. Besonders gefährdet sind halbwarme Speisen, da die Enzyme hier nicht gleich gerinnen (denaturieren).
Verdaubarkeit: In unserem Verdauungskanal passiert Ähnliches. Auch hier werden größere Moleküle von Vielfachzuckern solange zerlegt, bis Einfachzucker-Bausteine vorliegen. Nur diese können im Dünndarm ins Blut aufgenommen (resorbiert) werden.
Logischerweise lassen sich die kleinen Zucker (Rübenzucker, Dextrine) besser verdauen als die großen (Stärke). Einige andere Kohlenhydrate - wie z.B. der Zellstoff – können durch unser Verdauungssystem überhaupt nicht (direkt) verarbeitet werden. Sie füllen unseren Verdauungskanal nur aus und regen ihn zur erhöhten Tätigkeit an. Scheinbar können wir auf diese Stoffe bei der Ernährung verzichten, weshalb sie wohl auch den Namen Ballaststoffe bekommen haben. In Wirklichkeit sind sie aber für die normale Magen- und Darmtätigkeit und das Sättigungsgefühl unverzichtbar.
Viele Ballaststoffe haben außerdem die positive Eigenschaft Schadstoffe in sich oder an sich zu binden. Dies nennt man Adsorption. Der Entzug von Schadstoffen verbessert die Verdaulichkeit der Nahrung ungemein. (→ 3.4. Ballaststoffe)



Vergärbarkeit: Diese Eigenschaft ist wohl für viele die interessanteste. Vergärungsprodukte, wie Bier, Wein usw. spielen eine wichtige Rolle in unserem Leben. Aber mit der alkoholischen Gärung:

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2$$

Traubenzucker* ⟶ *Ethanol* + *Cohlendioxid

ist es nicht getan.
Es gibt auch andere Gärungen mit anderen Endprodukten. Einfachzucker (vorrangig Traubenzucker) lassen sich auch zu Milchsäure vergären:

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2\ C_3H_6O_3$$

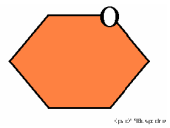
Traubenzucker* ⟶ *Milchsäure

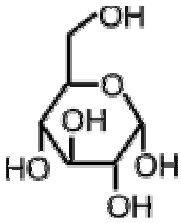
Die hierbei entstehenden Milchprodukte (Quark, Käse, Joghurt, ...), oder auch Sauerkraut, saure Gurken usw. sind ebenfalls nicht mehr aus unserer Ernährung wegzudenken. Besondere Bedeutung haben beide Gärungen auch wegen der konservierenden Wirkung. Viele Lebensmittel wurden – vor allem früher – so lange haltbar und genießbar gemacht.
Weiterhin ist die Milchsäure-Gärungs in unseren Muskeln für die Bereitstellung von Start- und Reserve-Energie verantwortlich. Für die normale, andauernde Muskel-Bewegung wir die Energie über die Zellatmung (vollständige biologische Oxidation) gewonnen.
Reaktionsvermögen mit anderen Nahrungsbestandteilen: Durch die Vielzahl an funktionellen Gruppen erwartet man eigentlich sehr viele Reaktionen. Praktisch sind Kohlenhydrate recht reaktionsträge. Bei höheren Temperaturen reagieren verschiedene Kohlenhydrate mit Aminosäuren (s.a. 3.3. Eiweiße → MAILLARD-Reaktion).

3.2.4. Wichtige Kohlenhydrate - kurz vorgestellt

3.2.4.1. Einfachzucker

Traubenzucker (Glucose, Dextrose)





Bau, Vorkommen: Traubenzucker kommt in allen Zellen vor. Als Primärprodukt der Photosynthese nimmt es in der gesamten Pflanzenwelt eine besondere Rolle ein. Sie stellt gewissermaßen den Initialstoff für alle organischen Stoffkreisläufe dar. Im Prinzip ist Glucose der wichtigste Energieträger in der Geosphäre.
Glucose ist der wichtigste und universalste Grundbaustein für die meisten anderen Kohlenhydrate. In vielen Früchten (Weintrauben, Bananen, Apfel, Birnen) wird Traubenzucker als Speicherstoff verwendet. Außerdem wird er bei der Zerlegung von Speicher-Kohlenhydraten (Vielfachzucker) frei.

Besondere Eigenschaften, Bedeutung: Traubenzucker ist gut in Wasser löslich und schmeckt mittelmäßig süß. Bei Messungen im Polarimeter findet man einen spezifischen Drehwert von 53°, der von α- und β-Form im Gleichgewichts-Verhältnis (37 : 63) gebildet wird. Reine α-D-Glucose hat einen Drehwert von +112° (daher auch der Name Dextrose, für rechtsdrehender Zucker), die reine β-D-Glucose wird mit +19° gemessen. Die Kristalle bestehen aus der α-D-Glucose.

Von Mikroorganismen kann Glucose leicht vergoren werden. Bakterien stellen die für sie notwendige Energie über die Milchsäure-Gärung her.

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2\ C_3H_6O_3 \qquad ;\ \Delta E_{bio} = -\ 2\ ATP$$

ΔE_{bio} … biologischer Energie-Umsatz

Viele niedere Pilze (z.B. Hefen) verfügen über ein anderes Enzymbesteck zur Umwandlung der Glucose. Sie produzieren Ethanol (Alkohol). Der Prozess wird dementsprechend alkoholische Gärung genannt.

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2 \qquad ;\ \Delta E_{bio} = -\ 2\ ATP$$

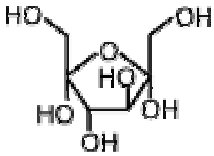
Alkoholische und Milchsäure-Gärung laufen anaerob ab, d.h. es wird kein Sauerstoff benötigt.
Die Milchsäure-Gärung ist als Stoffwechsel-Prozess praktisch in allen höheren Organismen und Einzelzellen erhalten geblieben.
Einige wenige Bakterienarten können Traubenzucker auch zu Citronensäure umsetzen. Dazu ist Sauerstoff notwendig. Der Prozess wird häufig als Citronensäure-Gärung bezeichnet.

$$C_6H_{12}O_6 + 1\tfrac{1}{2}\ O_2 \longrightarrow C_6H_8O_7 + 2\ H_2O \qquad ;\ \Delta E_{bio} = -\ \mathbf{?}\ ATP$$

Im engeren Sinne ist es aber keine Gärung (diese laufen immer ohne Sauerstoff ab). Hier wird dann auch der etwas widersprüchliche Begriff der aeroben Gärung genutzt.
Alle höhreren Organismen sind zur Zellatmung fähig. Dabei wird die Glucose vollständig zu Cohlendioxid und Wasser abgebaut. Der biologisch relevante Energiegewinn liegt bei rund 36 Einheiten ATP.

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \longrightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O \qquad ;\ \Delta E_{bio} = -\ 36\ ATP$$

Fruchtzucker (Fructose, Lävulose, Laevulose)



Bau, Vorkommen: Der Name Fruchtzucker deutet schon auf das Hauptvorkommen hin. Wohl jede süßliche Frucht besitzt einen mehr oder weniger großen Anteil an Fruchtzucker. Typische Vertreter fruchtzuckerhaltiger Früchte sind Kirschen und Pflaumen. Fructose ist ein Hauptbauelement der Saccharose – unseres Haushalts-Zuckers. Im Invertzucker und in Honig kommt Fructose zu fast 50 % des Zuckeranteils vor.

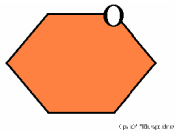
Besondere Eigenschaften, Bedeutung: Bei der Süßkraft ist Fruchtzucker einsame Spitze. Er schmeckt uns also besonders süß (rund 1,15x süßer als Haushaltszucker (Saccharose)). Seine Wasserlöslichkeit ist mit der von Traubenzucker vergleichbar gut.

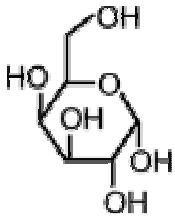
Die bevorzugte Form in der wässrigen Lösung ist die β-D(-)-Pyranose (57%). In dieser Form liegen auch die Moleküle im Fructose-Kristall vor.

31% der gelösten Fructose-Moleküle liegen in der β-Furanose-Form, 9% in der α-Furanose- und die restlichen 3% liegen in der α-Pyranose-Form vor. Der spezifische Drehwert liegt bei -92° (und war namensgebend laevus = lat.: links).

Fructose kann in den verschiedenen Lebewesen und Zellen – genau wie die Glucose – uneingeschränkt für alle Gärungen und die Zellatmung benutzt werden. Es ist ein Zwischenprodukt des einleitenden Prozesses - der Glycolyse (sowohl der Gärungen als auch der Zellatmung). Somit kann es unmittelbar und jederzeit eingeschleust und umgesetzt werden. Der Energiegewinn entspricht genau den Angaben, die schon bei der Glucose gemacht wurden. Auch die chemischen Gleichungen sind unberührt, da die Summenformeln für Fructose und Glucose übereinstimmen.

Schleimzucker (Galakose, Galactose)

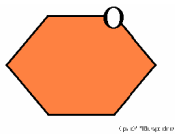


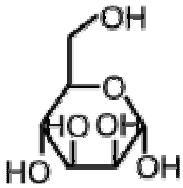


Bau, Vorkommen: Galactose kommt im Wesentlich gebunden im Milchzucker (Lactose) bzw. in Oligosacchariden – wie Gummi arabicum (Latex, Milchsaft bestimmter Pflanzen (Wolfsmilchgewächse)) vor. Frei gelöst spielt es kaum eine Rolle in biologischen Systemen.

Besondere Eigenschaften, Bedeutung: Die Süßkraft von Galactose ist sehr gering. Ein Lösen in Wasser ist nur schwer möglich. Schleimzucker wirkt reduzierend. Das Vergären ist nur von wenigen Hefen-Sorten möglich. Nur bestimmte Oberhefen (Hefen, die normal bei 18 – 25 °C arbeiten) können die Galactose überhaupt vergären. Die differenzierte Vergärbarkeit kann gut zur Unterscheidung genutzt werden. Eine Charakterisierung über den Drehwert von +80° des polarisierten Lichts ist ebenfalls möglich.

Mannose (Brotzucker)



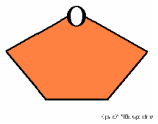


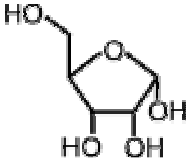
Bau, Vorkommen: Mannose kommt als Bauelement in einigen Speicherkohlenhydraten diverser Früchte vor. Dies sind z.B. die Datteln, Johannesbrot-Früchte, Preiselbeeren und Steinnüsse.

Die Gewinnung erfolgt durch hydrolytischen Aufschluss von gemahlenen Steinnüssen.

Besondere Eigenschaften, Bedeutung: Mannose wirkt reduzierend und ist in der α-Form am stabilsten. In Wasser ist Mannose gut löslich. In Lösung liegt Mannose vorrangig in der Pyranose-Form vor. Die Furanose-Form ist aber ebenfalls möglich. In Lösung ergibt sich ein Drehwert von +14° für das polarisierte Licht.

Ribose





Bau, Vorkommen: Die Ribose ist einer der wichtigsten Pentosen. Es kommt in jeder Zelle im genetischen Material (RNS und / oder DNS) als Baustein vor. In der DNS liegt die Ribose in einer desoxygenierten Form (eine –OH-Gruppe fehlt) vor. Der Zucker heißt dann Desoxyribose. Außerhalb des genetischen Stoffwechsels spielt die Ribose – wie auch die Desoxyribose kaum eine Rolle.
In Oligosacchariden verbaut, ist die Ribose wesentlicher Bestandteil vieler Pektine und diverser weiterer Oligosaccharide.
Besondere Eigenschaften, Bedeutung: Ribose und ihr Derivat lassen sich – ähnlich allen anderen Pentosen – nicht vergären. Eine Oxidation der Aldehyd-Gruppe ist möglich (wirkt also reduzierend).

weitere Monosaccharide (ganz ganz kurz)

	Zucker	Vorkommen	besondere Eigenschaften
C_5	L-Arabinose	in Kirschgummi (Araban), Holundermark, Bauelement von Pektinen	reduzierend, nicht vergärbar
C_5	D-Xylose	in Holzgummi (Xylan), Kleie und Stroh	reduzierend, nicht vergärbar

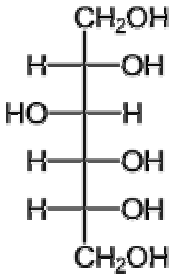
Aufgaben:

1. *Vergleichen Sie Glucose, Fructose, Galactose und Mannose hinsichtlich fünf frei gewählter Stoffmerkmale!*
2. *Skizzieren Sie die ausführlichen Strukturformeln und die FISCHER-Projektion der unter 3.2.4.1. hauptaufgezählten Monosaccharide!*

3.2.4.1.1. Derivate und abgeleitete Produkte von Monosacchariden

Sorbit (Sorbitol,)

Zucker-Alkohol, sechswertiger Alkohol
kommt natürlich in einigen Früchten und selten auch in Gemüse vor, Edel-Eberesche mit 12 % Anteil Spitzenreiter
technisch wird aus Glucose durch Hydrierung an einem speziellen Katalysator hergestellt, bei Verwendung von Saccharose als Ausgangsstoff entsteht aus dem Fructose-Resten Mannit,

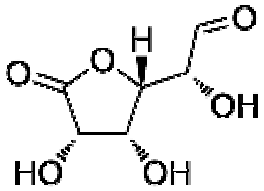


wird schwerer resorbiert; resorbiertes Sorbit wird im Körper in Fructose umgewandelt und in den Fructose-Stoffwechsel eingeschleust; nicht resorbiertes Sorbit wird von Darb-Bakterien zu verschiedenen organischen Produkten umgesetzt, als Nebenprodukt entsteht auch gasförmiges Cohlendioxid (leicht blähend)
größere Mengen Sorbit wirken abführend
für Diabetiker nur dann sinnvoll, wenn auch Süße-reduziert gegessen wird, ansonsten muß um die gleich Süße wie Zucker zu erreichen die doppelte Menge verwedet werden. Da der halbe Brennwert von Zucker in Sorbit steckt, bringt der Ersatz praktisch nichts.

Glucuronolacton

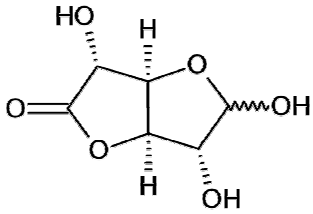
auch: D-Glucuronsäure-3,6-lacton, D-Glucuronsäure-γ-lacton

$C_6H_8O_6$



γ-D-Gucuronolacton
(offenkettig, Aldehyd-Form)
Q: de.wikipedia.org (Edgar181)

intramolekularer Ester (Lacton) der Glucuronsäure (Oxidations-Produkt von D-Glucose)
natürlich vorkommend in Früchten, pflanzlichen Schleimstoffen und Fasern sowie im tierischen Bindegewebe
bei natürlichen Lebensmitteln größte Menge in Wein mit 20 mg / l
künstlich hergestellt durch Oxidation von Trehalose
gut löslich in Wasser, fest, hellbeige – farblos, geruchlos – charakteristisch, wenig löslich in Ethanol



Acetal des Glucuronolacton
Q: de.wikipedia.org (FK1954)

LD_{50} = 20 g / kg [Körpergewicht] bei Mäusen
LD_{50} = 10,7 g / kg [Körpergewicht] bei Ratten

als Kohlenhydrate oft in Energy-Drinks in Kombination mit den Alkaloiden Taurin und Coffein verwendet, dort sind rund 2,0 – 2,4 g / l enthalten
in Deutschland nicht zugelassen (Zulassung ausgesetzt), aber in anderen EU-Ländern und darf aus diesen eingeführt werden
normal im Magen-Darm-Trakt resorbiert
kann die Blut-Hirn-Schranke passieren (über Glucose-Transporter GLUT-1 und GLUT-5)

durch diverse Synergie-Effekte ist die potentielle Gefahr, die von Glucuronolacton ausgeht nicht eindeutig bestimmbar
mehrere schwere Beeinflussungen von Körperfunktionen und auch 2 Todesfälle beschrieben

durch Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit empfohlene (NOAEL-Grenzwert (keine beobachtbaren negativen Wirkungen)) maximale Aufnahme-Menge 1 g / kg [Körpergewicht] und empholene Trnk-Menge eines Energy-Drinks von max. 350 ml (*??? widersprüchliche Daten!!!*)

eine einzelne Vergiftung schon von 1,4 l Energy-Drink bei einem Jugendlichen bekannt geworden
Kombination mit alkoholischen Getränken sollte gemieden werden – weitere Synergie-Effekte

(,)

Glucoside

zusammengesetzt aus Monosaccharid (häufig Glucose) und verschiedensten Alkoholen, organischen Basen, Alkaloiden

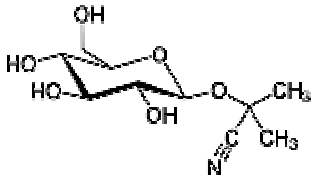
Senföle

Nucleoside

Digitalisglycosid

Solanin

Linamarin
(Phaseolunatin), in den Samen von Lein, auch in (frischen) Samen und den (grünen) Hülsen von Bohnen
enthält ebenfalls Blausäure als Baubestandteil, bei einfacher Fermentierung in Wasser entstehen Glucose, Aceton und Blausäure
durch Kochen unwirksam
$LD_{50} \approx 500$ mg / kg



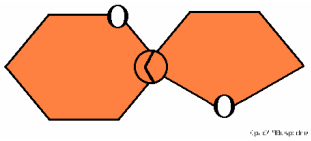
Q: de.wikipedia.org (Yikrazuul)

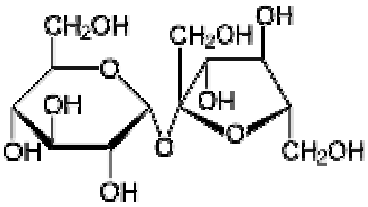
Glucosinolate

früher auch Senföl-haltige Glycoside genannt, rund 70 verschiedene Glucosinolate bekannt, bei Raps z.B. 7 (Gluconapin, Glucobrassicanapin, Progoitin, …)
-S-C≡N -Gruppe
bestehen aus Glucose und Senföl; bei Verdauung in Glucose und die bitter-schmeckenden Senföle zerlegt
Senföle sind flüchtig, wirken abführend (laxierend)

3.2.4.2. Zweifachzucker

Rübenzucker / Rohrzucker (Saccharose, Sucrose)





Bau, Vorkommen: Ob es sich beim Haushaltszucker (Kristallzucker) um Rüben- oder Rohrzucker handelt, ist nur durch die Untersuchung von begleitenden Stoffen festzustellen. Chemisch sind beide Zucker exakt gleich. Je nach Zuckerquelle erhält der Zucker seinen Namen.

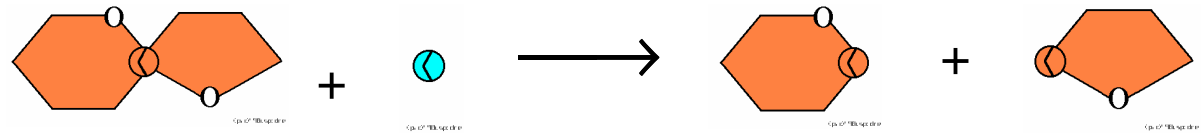
Werden Fructose und Glucose anders herum gebunden (3->1 glycosidisch), dann heißt das Produkt **Turanose**.

Zuckerrüben und Zuckerrohr sind nur zwei Beispiel-Pflanzen mit einem sehr hohen Zuckeranteil. Auch andere Pflanzen enthalten - z.T. auch noch größere Mengen - Saccharose. Bei ihnen ist aber eine industrielle oder Massen-Produktion schwieriger und / oder unökonomischer.

Besondere Eigenschaften, Bedeutung: Weißer Zucker (Raffinade) ist ein sehr gründlich gereinigter Zucker. Brauner Zucker enthält dagegen noch Anteile des natürlichen Zuckersirups. Aufgrund dieses Zusatzes schmeckt der braune Zucker aromatischer und ist zudem auch gesünder (durch diverse enthaltene biogene Stoffe).

Dadurch, dass bei der Bildung der Saccharose Glucose und Fructose mit ihren glycosidischen Hydroxyl-Gruppen reagieren, können sich keine freien Aldehyd-Gruppen mehr bilden. Die Saccharose ist deshalb nicht mehr reduzierend. Durch Saccharose wird die Polarisationsebene des Lichtes um +68° gedreht.

Eine Vergärung ist direkt nicht möglich. Erst, wenn der Rübenzucker hydrolytisch in seine Bausteine Fructose und Glucose aufgespalten wird, können dies dann vergoren werden.



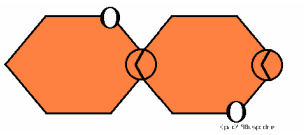
Rübenzucker	**+**	***Wasser***	⟶	***Traubenzucker***	**+**	***Fruchtzucker***
Saccharose	+	*Wasser*	⟶	*α-D-Glucose*	+	*β-D-Fructose*
Glucose-α(1→2)β-fructose						
Drehwert: +66,5°				+53°		-92°
$C_{12}H_{22}O_{11}$	+	H_2O	⟶	$C_6H_{12}O_6$	+	$C_6H_{12}O_6$

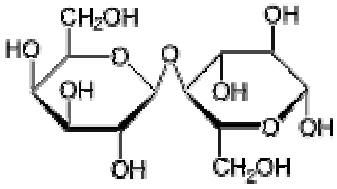
Durch Säuren und / oder Enzyme wird die Reaktion katalysiert. Trotzdem verläuft die Reaktion relativ langsam. Erst nach 0,5 bis 3 Stunden stellt sich ein stabiles Gleichgewicht ein. Interessant ist es, während dieser Reaktion das Drehvermögen für polarisiertes Licht zu verfolgen. Der Drehwert wandert vom rechts- (+66,5°) nach linksdrehend (≈-20° (gleichgewichtsabhängig)). Es kommt also zur Umdrehung / Umkehr des Drehsinns. Dies nennt man **Inversion**.

Aufgabe (zwischendurch) für das gehobene Anspruchsniveau:

1. *Ist Turanose ein Isomer, Enantiomer, Anomer oder ein Isotop von Saccharose? Begründen Sie Ihre Aussagen! Begründen Sie auch, warum es die oder das Andere(n) nicht sein können!*
2. *Überlegen Sie sich, ob Turanose ein reduzierender Zucker ist! Begründen Sie Ihre Meinung!*

Milchzucker (Lactose, Sandzucker)





Bau, Vorkommen: Auch bei diesem Zucker läßt sich das Vorkommen schon aus dem Namen ableiten. Die Milch aller Säugetiere enthält als Zuckerbestandteil vorrangig Milchzucker. Lactose ist einer der wenigen ausschließlich in Tieren vorkommende Kohlenhydrat.
Ein Lactose-Molekül besteht aus einen Galaktose- und einem Glucose-Baustein in glycosidischer β-1-4-Verknüpfung.
Der jeweilige Lactose-Anteil in der Milch der verschiedenen Säugetiere ist artspezifisch. Deshalb ist auch jeweils die arteigene Muttermilch für Säuglinge die günstigste Ernährungsvariante. Menschliche Milch enthält ungefähr 6% Lactose. In der Kuhmilch sind es 4 bis 5%. Für Säuglinge ist die Lactose in den ersten Monaten die Einzige verwertbare Nahrungs-Kohlenhydrat.
Industriell wird Lactose aus Molke hergestellt. Bei der Herstellung diverser Milcherzeugnisse (Käse, Quark, …) fällt reichlich Molke als Nebenprodukt an.

Tier	Anteil Lactose in der Milch [%]
Büffel	4,8
Esel	7,4
Kamel	5,0
Katze	4,8
Kuh	4,6
Mensch	7,1

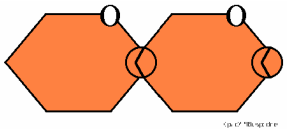
Tier	Anteil Lactose in der Milch [%]
Pferd	6,2
Rentier	2,8
Schaf	4,8
Yak	4,6
Ziege	4,3

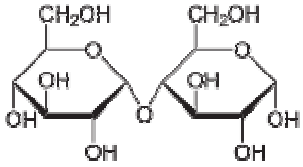
Daten-Quelle: de.wikipedia.org (Lactose)

Besondere Eigenschaften, Bedeutung: Mit dem Milchzucker verbindet man allgemein eine schwache Süßkraft. In Wasser ist er schlecht löslich. Fällt Lactose nachträglich in Speisen (z.B. nach einer Temperaturabsenkung) aus, dann bilden sich feine Lactose-Kristalle. Beim Essen erhält man dann einen sandigen Eindruck. Daher auch der Trivialname Sandzucker.
Am Glucose-Teil kann der Ring aufbrechen und wieder die Kettenform mit einer freien Carbonyl-Gruppe entstehen. Lactose gehört somit zu den reduzierenden Zuckern.
Beim Erhitzen oder bei Anwesenheit von Alkohol wird die Lactose zu Lactulose umgelagert. Der Glucose-Baustein wird intern zu einem Fructose-Baustein umgebaut. Lactulose schmeckt deutlich süßer als Lactose.
Die Drehung des polarisierten Lichtes erfolgt um +54°. Eine direkte Vergärung des Milchzuckers ist nicht möglich. Erst nach Spaltung in Galactose und Glucose beginnt die Vergärung dieser Produkte durch die Hefen oder Bakterien.
Nur spezielle Bakterien (*Lactobaccillus acidophilus*) und Pilze (*Saccharomyces kefir*) sind in der Lage Lactose zu vergären. Sie benötigen dazu u.a. das Enzym Lactase. Ein typisches Produkt ist der leicht cohlensäure- und alkoholhaltige Kefir.
Eine Ernährung der Säuglinge mit Muttermilch bewirkt die Entwicklung einer gesunden Darmflora (enthält besonders Bifidus-Bakterien). Bei Verwendung anderer Kohlenhydrate können sich andere Mikroorganismen ansiedeln und die Entwicklung der natürlichen Darmflora entscheidend und nachhaltig stören. Erwachsene haben eine Coli-Bakterien-beherrschte Darmflora. Da nach dem Säugling-Stadium die Abbau-Enzyme im Kleinkindes-Darm verschwinden, kann es zu einer Lactose-Intoleranz (Lactose-Unverträglichkeit) kommen. Durch Veränderungen in der Darmflora (die den erhöhten – weil nicht genutzten Lactose-Anteil – abbauen) kommt es zu Durchfall-Erscheinungen, Bauchschmerzen und Blähungen. Unter (Mittel-)Europäern kommt die Lactose-Intoleranz bei 10 bis 15% der Bevölkerung vor. Bei Afrikanern zeigen 75 – 95% diese Unverträglichkeit.
Das der Rest der Bevölkerung mit dem Milchzucker klar kommt, liegt an einem in den nördlichen Sphären besonders verbreiteten Erbschaden. Dieser konnte sich dadurch so stark durch-

setzen, weil im Norden durch den Lichtmangel schnell ein Calcium-Mangel auftreten könnte. Milch ist hier als Calcium-Quelle aber sehr wichtig.

Malzzucker (Maltose)

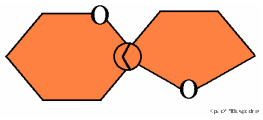




Bau, Vorkommen: Malzzucker ist das letzte Zwischenprodukt beim Stärkeabbau in den Zellen. Über die Zwischenstufen der verschiedenen Oligosaccharide wird letztendlich Maltose gebildet. Besonders keimende Samen enthalten viel Malzzucker.
Beim der Biosynthese der Stärke ist es dementsprechend das erste Zwischenprodukt.
Die Konzentration ist in lebenden Zellen eher gering. Durch technologische Tricks (z.B. Rösten bei der Malzherstellung) kann der Anteil im Lebensmittel deutlich erhöht werden.
Besondere Eigenschaften, Bedeutung: Malzzucker ist sehr gut in Wasser löslich und schmeckt leicht süß. Er ist sehr leicht zu Traubenzucker abbaubar. Erst in dieser Form ist er vergärbar.
Die freie Carbonyl-Gruppe bewirkt den reduzierenden Charakter von Malzzucker. Maltose dreht das polarisierte Licht um +130°.
Während in der 1,4-Verknüpfung die OH-Gruppen α-ständig sind, bildet sich die endständige glycosidische Hydroxyl-Gruppe in Lösung eher in der β-Form.

3.2.4.2.1. Derivate und abgeleitete Produkte von Disacchariden

Läuterzucker (gereinigte Saccharose)



Bau, Vorkommen: Läuterzucker ist eine gereinigte (geläuterte) Kristallzucker-Lösung (also Saccharose-Lösung). Die Reinigung erreicht man durch Aufkochen. Verunreinigungen sammeln sich im – oben absetzenden – Schaum. Der Schaum wird dann einfach abgeschöpft. Übrig bleibt eine kristall-klare Lösung.
Besondere Eigenschaften, Bedeutung: In seinen Eigenschaften entspricht er voll und ganz dem normalen Kristall-Zucker (Saccharose) Je nach Konzentration wird Läuterzucker in der Nahrungsmittel-Industrie vielfach verwendet und hat dann spezielle Type-Bezeichnungen.

Type	Siedetemperatur [°C]	Verwendung
Schwacher Faden	100 – 103	
Starker Faden	106 – 109	
Perle	109 – 110	
Blase	110 – 112	
Leichter Flug	112 – 114	
Kettenflug (Ballen)	116 – 118	
Schwacher Bruch	132 – 135	
Starker Bruch	140 – 145	

Exkurs: Invertzucker

Invertzucker ist ein Gemisch aus gleichen Teilen Glucose und Fructose. Honig ist ein natürlich vorkommender Invertzucker. Kunsthonig stellt die künstliche Version dar. Ausgangsstoff für die natürliche und künstliche Herstellung ist dabei zumeist der Zweifachzucker Saccharose. Bei der Honigproduktion (der Bienen) stammt er aus dem Blütennektar. Die Saccharose wird durch Enzyme oder chemische Zusätze (Säuren) in ihre Bestandteile aufgespalten.
Bei den Bienen stammen die Enzyme und weitere Zusätze aus dem Speichel, der dem Blüten-Nektar in den Waben zugesetzt wird.

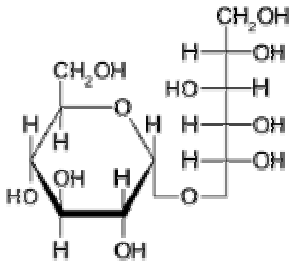
Saccharose + Wasser → Glucose + Fructose

Dazu wird also Wasser benötigt / verbraucht. In Folge wird das Gemisch dickflüssiger, weil das vorhandene Wasser (z.B. aus dem Nektar) zunehmend verbraucht wird. Weiterhin wird durch geeignete Verdunstungsmaßnahmen (z.B. Flügelschlagen der Bienen) noch überschüssiges Wasser entzogen.
Invertzucker ist süßer als Saccharose und wird deshalb gerne in der Backwarenindustrie verwendet.
Den Namen Invertzucker verdankt er der Umkehrung des optischen Drehsinns während der Produktion. Der reine Ausgangsstoff dreht das polarisierte Licht im Polarimeter nach rechts ($[\alpha] = 66{,}55$). Das fertige Endprodukt dreht nach links ($[\alpha] \approx -20$).

$[\alpha]$ ... spezifisches Drehvermögen
l ... Schichtdicke im Polarimeter
c ... Konzentration der Lösung
α ... Drehwinkel $\alpha = [\alpha] \cdot l \cdot c$

Honig besteht zu 75 % aus Invertzucker. Daneben sind noch 18 % Wasser, 5 % Rohrzucker und Dextrin enhalten, sowie rund 2 % Nichtzuckerstoffe (Pollen, Eiweiße, Enzyme, Wachse, Mineralstoffe, organische Säuren, Farbstoffe). In Spuren sind die Viatmine A, B und C enthalten.

Isomalt-Zucker (Isomalt)

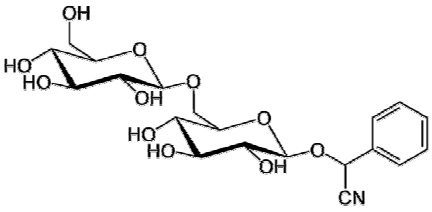


Q: de.wikipedia.org (Artur Disk)

Bau, Vorkommen: Isomalt-Zucker ist ein künstliches Saccharose-Derivat. Mittels Enzyme wird zuerst die Saccharose zu Isomaltulose (Palatinose) umgesetzt. Abschließend wird über eine Hydrierung (Reduktion) Isomalt-Zucker gebildet. Isomalt ist ein Zuckeralkohol und in der EU als **Zuckeraustauschstoff** (E953) zugelassen.
Die Kristalle sind dem Haushaltszucker sehr ähnlich.
Besondere Eigenschaften, Bedeutung: Isomalzzucker ist sehr gut in Wasser löslich und schmeckt nur halb so süß wie Saccharose. Isomalt ist in dieser Form nicht vergärbar.
Der physiologische Brennwert ist mit 8,4 kJ/g recht gering. Die vergleichbare Saccharose würde mit 16,8 kJ/g zu Buche schlagen. Somit ist Isomalt gut für Diabetiker geeignet. Positiv ist dabei, dass Isomalt nur schwer verdaut wird. Auf den Insulin- und Blutzucker-Spiegel hat es keine Wirkung. Isomalt-Zucker kann in der Nahrungs-Industrie die Saccharose direkt ersetzten (1 : 1). Isomalt hat die gleichen Struktur- und Körper-Eigenschaften in den Produkten. Andere Zuckerersatzstoffe bringen oft nur die Süße.
Isomalt wird gerne als Ersatz für Läuterzucker zum Zuckerziehen usw. verwendet. Hergestellte Produkte sind länger stabil und haltbar. Das liegt auch u.a. daran, dass Isomalt-Zucker weniger hygroskopisch ist als Saccharose.

Amygdalin

(Amygdalina, "Vitamin B_{17}", Laetril, Lätril)
kommt in bitteren Mandeln vor, auch in Kernobst-Kernen, Bohnen (besonders der Lima-Bohne)
innerhalb der Verdauungsvorgänge in Glucose, Benzaldehyd und Blausäure
100 g bittere Mandeln können bis zu 250 mg Blausäure enthalten (LD_{50} = 1,5 mg / kg)
ein Aprikosenkern kann bis 0,5 mg Blausäure enthalten → Verzehr von mehr als zwei Kerne ist gesundheitlich bedenklich

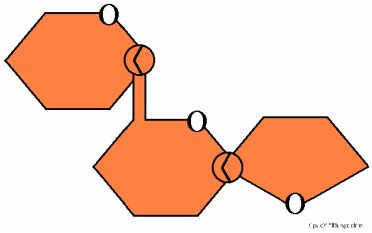


Q: de.wikipedia.org (Yikrazuul)

3.2.4.3. Dreifachzucker

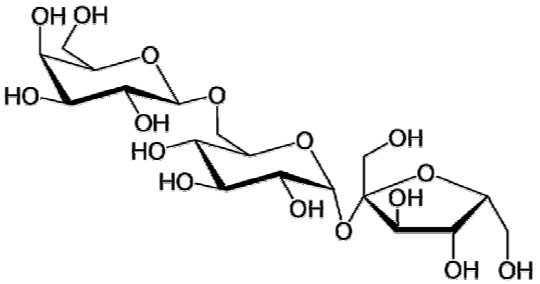
Raffinose (Melitose)

(α-D-Galactopyranosyl-(1→6)-D-α-glucopyranosyl-(1→2)-β-D-fructofuranosid)



Bau, Vorkommen: Raffinose kommt in Dicken Bohnen, Soja, Baumwollsamen und Zuckerrüben vor. Es ist jeweils aus den drei Bausteinen Galaktose, Glucose und Fructose zusammengesetzt.

Besondere Eigenschaften, Bedeutung: Der Geschmack von Raffinose selbst ist ganz schwach süß. Nach kurzem Einfluß von kohlenhydratspaltenden Enzymen (z.B. im Mundraum) werden die einzelnen sehr süß schmeckenden Bausteine freigesetzt. Raffinose ist schwerer in Wasser löslich als das etwas kleinere Saccharose-Molekül.



Q: de.wikipedia.org (Yikrazuul)

Raffinose ersetzt in einigen oben genannten Pflanzen die Stärke als Speicher-Kohlenhydrat.

In einigen Ländern wird Raffinose als Nahrungsergänzungsstoff genutzt. Sie soll die Darmflora positiv beeinflussen. Beim Transport von Organtransplataten wird Raffinose als Konservierungsmittel eingesetzt.

Weiterhin wird Raffinose in der Kosmetik-Industrie verwendet.

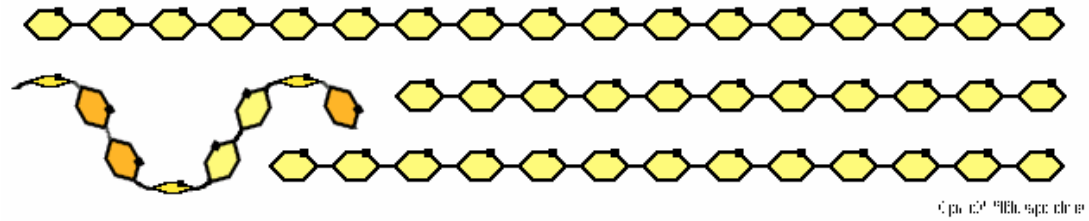
Da Raffinose der Saccharose recht ähnlich ist, stellt es ein großes Problem dar, Haushaltszucker Raffinose-frei herzustellen. Eine Trennung beider Kohlenhydrate ist nur über aufwändige chromatographische Methoden möglich.

Weitere bekannte Dreifachzucker sind **Melezitose** (im Honigtau versch. Insekten) und **Umbelliferose** (in Doldenblütlern).

3.2.4.4. Mehrfachzucker

Dextrine

Der Name Dextrine deutet es schon an. Hierunter versteht man keinen einzelnen Stoff, sondern eine Gruppe von bauähnlichen Molekülen, die polarisiertes Licht nach rechts drehen. Dextrine sind die Spaltprodukte längerkettiger Vielfachzucker (Polysaccharide). Die Kettenlänge der Dextrine liegt zwischen 10 und 30 Einfachzucker-Bausteinen. Die Moleküle der Dextrine zeigen erste Ansätze zu einer spiraligen Gesamtgestalt.



Die Mehrfachzucker stellen bei vielen Eigenschaften einen Übergang zwischen Einfach- bzw. Zweifachzuckern und den Vielfachzuckern dar. So schmecken sie nur noch ganz leicht süß, aber auch noch nicht mehlig. Sie lösen sich noch teils (kolloidal) in Wasser und quellen aber auch schon beachtlich und verkleistern leicht. Dextrine sind optisch aktiv. Sie drehen die Polarisationsebene nach rechts.

Dextrine können direkt nicht vergoren werden. Erst nach enzymatischer oder Säure-Spaltung können die Monomere gut von den Bakterien oder Pilzen genutzt werden.

Da die Spaltung im Darm schneller vonstatten geht, als bei den viel längeren Stärke-Molekülen, werden Dextrine gerne für die Herstellung von Säuglings- und Diät-Nährmitteln verwendet.

Nach der Größe unterscheidet man Amylodextrine (30 – 35 Monomere), Erythrodextrine (8 – 12 Monomere) und die schon sehr kleinen Achrodextrine (4 – 6 Monomere). Letztere könnten wir, wenn sie rein vorliegen schon eher zu den passenden Sacchariden (Tetra-, Penta- und Hexa-saccharide) zählen.

Amylodextrine bilden sich schon beim Mahlen von Getreide durch das "mechanische" Brechen der Stärke-Moleküle. Weiterhin werden sie durch enzymatischen Stärkeabbau gebildet. Dies erledigen die sogenannten β-Amylasen. Sie greifen die Stärke-Moleküle von der Mitte her an, während die α-Amylasen vom Ende her arbeiten. Die Amylodextrine lassen sich recht gut in Wasser lösen. Es entsteht eine kolloidale Lösung (➔ Exkurs: kolloidale Lösungen und der TYNDALL-Effekt). Viele Eigenschaften sind sehr Stärke-ähnlich. Mit Iod-Kaliumiodid-Lösung erhält man die typische Blau-Färbung als Stärke-Nachweis (➔ 3.2.5. Nachweise für Kohlen-hydrate).

Erythrodextrine ähneln in ihren Eigenschaften schon eher den Di- und Trisacchariden. So ist der Nachweis der nun schon häufiger vorkommenden reduzierenden Gruppen mittels der FEH-LINGschen Probe möglich. Der Stärkenachweis gelingt nur noch selten und meist tritt nur eine rötliche bis violette Färbung auf. Der Grund dafür sind die nur kurzen helikalen Strukturen, in die wenig Iod eingelagert werden kann. Hierbei kommt es nur zur Rot-Färbung.

Achrodextrine schmecken schon leicht süß. Schon nach kurzem Einfluss von Speichel werden sie in süß schmeckende Di- und Monosaccharide zerlegt. Bei ihnen sind die Nachweise mit oxidierenden Mitteln gut möglich. Die Probe mit Iod (LUGOLsche Lösung) fällt erwartungsge-mäß negativ aus. Es wird aber auch eine Gelb-Färbung beschrieben.

Aufgaben:

1. *Stellen Sie die chemische Gleichung der hydrolytischen Spaltung von Maltose auf! Verwenden Sie ausführliche Strukturformeln!*
2. *Stellen Sie die Summenformel für Raffinose auf! Erklären Sie, wie zu dieser Formel gekommen sind!*
3. *Von einem Kohlenhydrat sind folgende Eigenschaften bekannt:*
   dreht polarisiertes Licht nach rechts (+); lässt sich in zwei Aldosen spalten; gut in Wasser löslich; indirekt vergärbar; schmeckt kaum süß
   Um welchen Stoff handelt es sich? Begründen Sie Ihre Entscheidung!

Einige Bakterien-Arten (z.B.:) sind in der Lage cyclische Dextrine aus 6 bis 8 Monomeren aufzubauen. Sie benötigen dazu ein spezielles Enzym – die Cyclodextringlycosyltransferase. Je nach Anzahl der Monomere (6 bis 7) heißen die cyclischen Dextrine α-, β- bzw. γ-Cyclodextrin.
Durch Zusammenlagern mehrerer Cyclodextrine (Kristallisation) entstehen Röhren-artige Gebilde. In die Ring-förmigen sowie die Röhren-förmigen Strukturen kann sich Iod sehr gut einlagern. Der Einlagerungs-Komplex hat eine blaue Farbe.

3.2.4.5. Vielfachzucker

Vielfachzucker od. Polysaccharide enthalten deutlich mehr als 10 Monomere (Monosaccharid-Bausteine). In den meisten Fällen sind es aber keine reinen Stoffe sondern Gemische aus Molekülen mit gleichen Bau, aber unterschiedlicher Anzahl Monomere im Molekül. Die Eigenschaften unterscheiden sich untereinander aber nur unwesentlich und gleichen sich im Stoffgemisch dann aus.
Sachlich kann man Homo- und Heteroglykane unterscheiden. Homoglykane enthalten immer gleiche Monomere. In Heteroglykanen kommen verschiedene Monomere – aber alles Saccharide – vor.

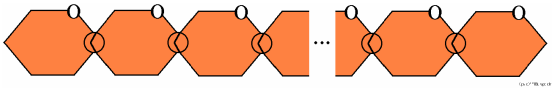
3.2.4.5.1. Homoglykane

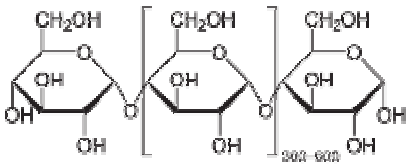
Je nach Grundbaustein unterscheiden wir bei den Homoglykanen Glucane, die nur aus Glucose aufgebaut sind und Fructane. Diese wiederum bestehen nur aus Fructose.

3.2.4.5.1.1. Glucane

lösliche Stärke (Amylose)

Bau, Vorkommen: Amylose (Amylum) ist ein wesentlicher (rund 15 bis 20%) Bestandteil aller Stärken (Amyl; native / natürliche Stärke).
Es besteht aus spiralig aufgewundenen Traubenzucker-Molekülketten. In einem Molekül der Amylose sind normalerweise zwischen 250 und 300 Traubenzucker-Bausteine (α-D-Glucose) vereint. Es sind aber auch Ketten mit bis zu 1000 Resten bekannt geworden.
Die Verknüpfung erfolgt 1,4-glycosidisch und entspricht dem Maltose-Typ. Durch die immer gleiche Stellung der Sauerstoff-Brücken (α-1,4) kommt es zur Ausbildung einer Helix. Pro Windung sind 6 bis 8 Glucose-Bausteine verbaut.

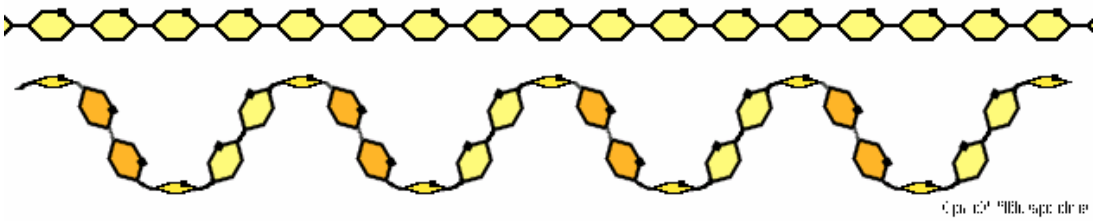




Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

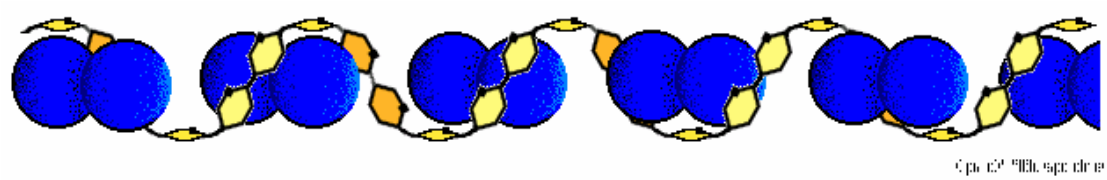
Einzelstrang

Helix

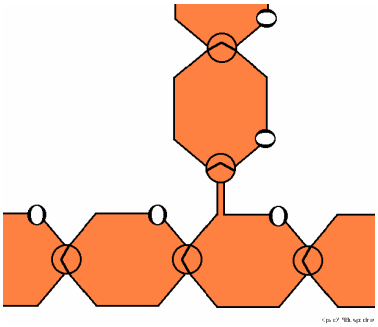


Besondere Eigenschaften, Bedeutung: In heißem Wasser ist die Amylose kolloidal löslich - d.h. sie schwimmt (besser: taucht) im Wasser. Dabei sind es immer einzelne Moleküle, die von angelagerten Wasser-Molekülen und durch eine ungefähr gleiche Dichte in der Schwebe gehalten werden. Die Bezeichnung "löslich" ist also etwas irreführend. In das Innere der Molekül-Spirale kann ebenfalls reichlich Wasser eingelagert werden - die Stärke quillt. Dieses Quell-Wasser kann dann auch nach dem Abgießen des Restwassers noch gut gehalten werden. Es entsteht eine gelartiger Zustand von verkleisterten Molekülen.

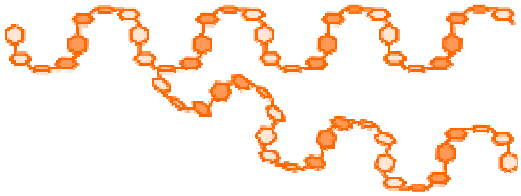
Mit Iod-Molekülen bildet Amylose eine tiefblau bis schwarz gefärbte Einschlussverbindung. Diese wird als Nachweis genutzt. In der Wärme verliert sich die Farbe. Die Moleküle bewegen sich dann zu stark, als dass dann eine stabile Einschlussverbindung entstehen könnte. In der Kälte verstärkt sich die Farbe aber wieder. Bei Zimmertemperatur ist der Nachweis sehr empfindlich.



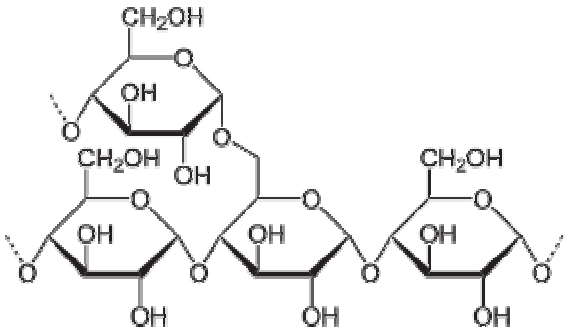
nichtlösliche Stärke (Amylopektin)



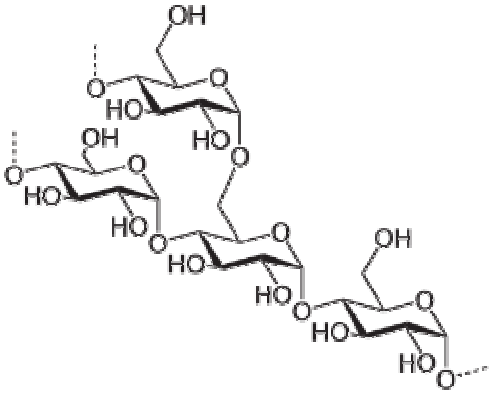
Bau, Vorkommen: Diese Stärke stellt mit 75 bis 80% den bedeutenderen Anteil im Stärkekorn. Der prinzipielle Bau ähnelt dem der Amylose. Nur sind ab und zu (etwa alle 25 Reste) Verzweigungen enthalten. Die Verzweigungen sind α-1,6-glycosidische Bindungen vom Gentobiose-Typ.
Von außen betrachtet wirkt das Molekül dann auch eher wie ein wirres Knäul. Amylopektin enthält wesentlich mehr Traubenzucker-Bausteine (normal 1.000 bis 5.000).



Besondere Eigenschaften, Bedeutung: Bedingt durch das große Molekülgewicht ist Amylopektin nicht mehr in Wasser löslich. Das liegt auch daran, dass das Quellen (die Einlagrung von Wasser in das Molekül) schneller abläuft, als das Herauslösen aus dem Molekül-Verband.
Durch das Aufquellen bildet eine verfestigte Hülle an der Oberfläche des Stärke-Korn's. Weiteres Wasser kann nur sehr lagsam und in kleinen Mengen durch diese Quell-Schicht in das Innere des Korn's eindringen.
Desweiteren sind die Moleküle durch die Verzweigungen stärker ineinander verwirkt, so dass eine Abtrennung voreinander stark behindert wird.

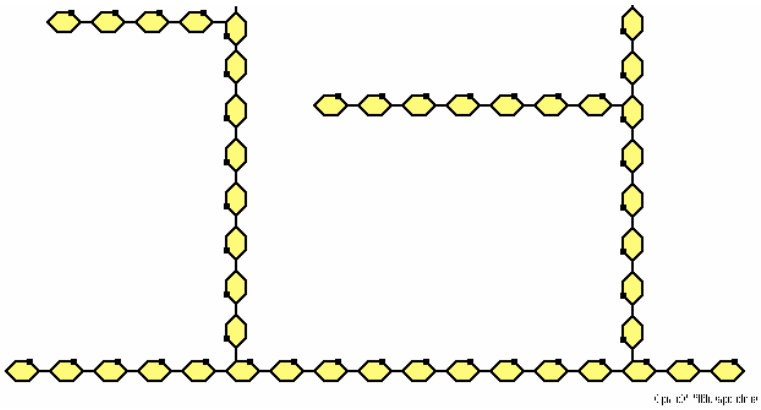


Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)
Molekül-Ausschnitt (HAWORTH-Schreibweise)



Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)
Molekül-Ausschnitt (Sessel-Schreibweise)

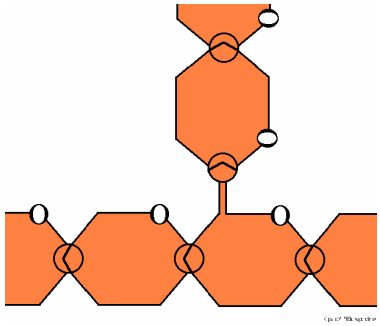
Im heißen Wasser ist eine gewisse Löslichkeit vorhanden. Es entsteht ein Gel, aus dem Amylopektin nach dem Abkühlen auch wieder auskristallisieren kann. Dabei wird der Großteil des physikalisch aufgenommenen Wasser's wieder abgegeben. Bei Gebäck und Brot ist dieser Prozess entscheidend am Altern (Altbackenwerden) beteiligt.
Quell-Stärke erhält man, wenn Stärke zuerst in heißem Wasser gelöst und dann getrocknet wird.

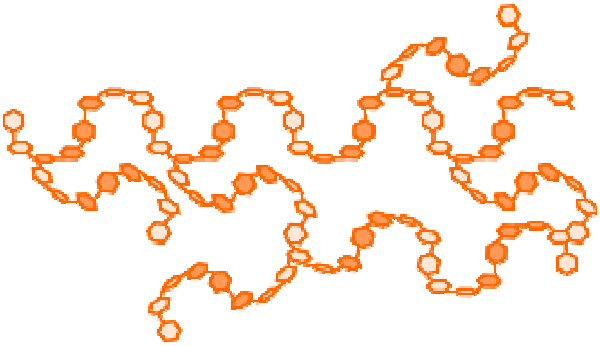


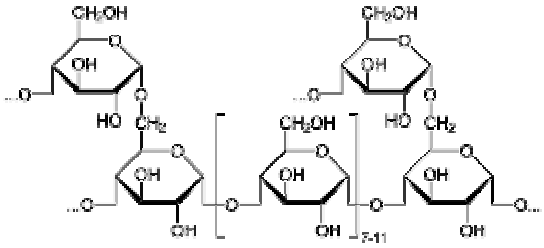
Die Quell-Stärke kann auch schon mit kaltem Wasser zum Quellen gebracht werden.
Die kurzen Abschnitte zwischen den Verzweigungen können keine so ausgedehnten Schrauben ausbilden, wie die Amylose. Die Konsequenz ist eine ins (rot-)violette veränderte Färbung der Iod-Amylopektin-Verbindung.

Leberstärke / tierische Stärke (Glykogen)

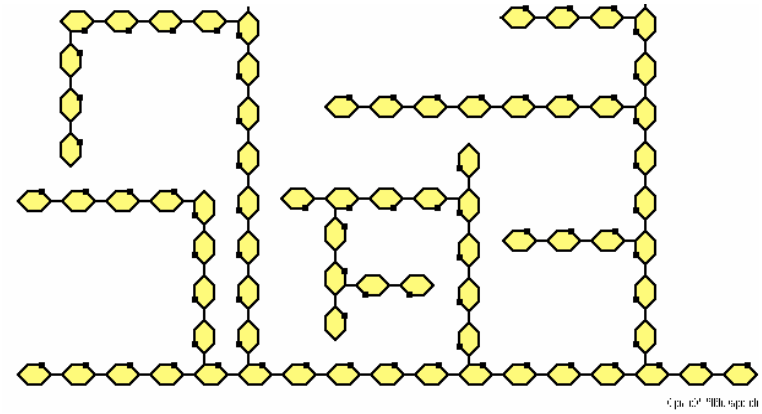
Bau, Vorkommen: Leberstärke ist die bei Tieren vorherrschende Stärkeart. Sie kommt außer in der Leber auch in der Muskelatur in größeren Mengen vor. Das Glykogen ist so wie das Amylopektin gebaut. Es ist aber noch stärker verzweigt.
Schon alle 10 bis 14 Glucose-Bausteine tritt eine auf.
Insgesamt kann ein Glykogen-Molekül aus 100.000 Resten bestehen. Normal sind allerdings 5.000 bis 10.000. Glykogen bringt es bei der Molekülmasse auf beachtliche 10^6 bis 10^7 u – das entspricht rund 10^{-21} g / Molekül oder 6000 g/mol.







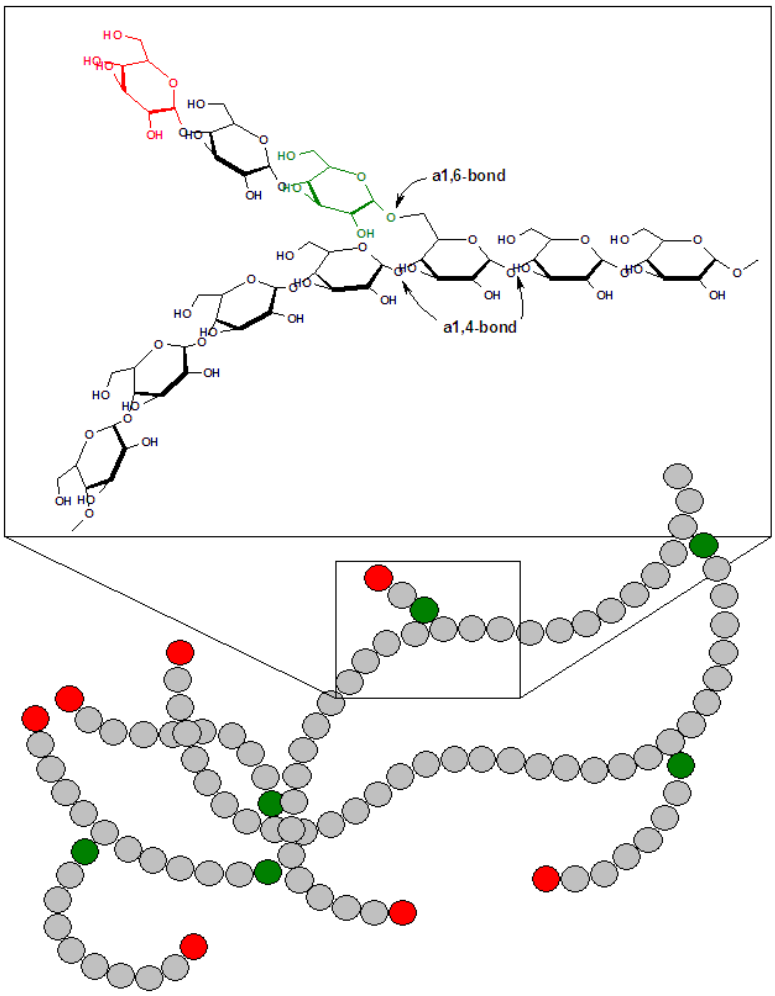
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)



Verzweigungs-Struktur des Glycogen in 2D ausgebreitet

Besondere Eigenschaften, Bedeutung: Die Leberstärke ist in Wasser kolloidal löslich. Es bildet aber kein Gel oder Kleister. Dieses prädestiniert sie zu einem hervorragenden Speicherstoff. Traubenzucker würde in vergleichbaren Mengen das Blut und andere Körperflüssigkeiten so eindicken, dass diese sirupartig wären. Ein effektiver Transport wäre schwerer möglich. Im Blut wird die Konzentration mit rund 0,1% konstant gehalten.

Der osmotische Druck einer 1 M (=1 molar = 1 mol/l) Glucose-Lösung würde 25 bar (= 25 MPa) betragen, was zu einem massiven Wasser-Entzug aus dem Gewebe führen würde. Die gelöste Teilchenzahl bestimmt dabei entscheidend über den osmotischen Druck. Da in einer "Glucogen-Lösung" viel weniger Teilchen vorkommen (5 – 100.000 Glucose-Moleküle bilden 1 Glucogen-Molekül), ist der osmotische Druck um 3 bis 5 Zehnerpotenzen kleiner (praktisch also nicht mehr vorhanden).



Q: de.wikipedia.org (Maksim)

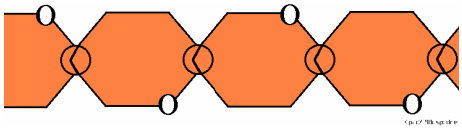
Glycogen ist kolloidal löslich. Das verwundert etwas, da doch das Amylopektin gerade wegen seiner Verzweigungen nicht mehr löslich war. Bei Glycogen ist aber die Quellbarkeit nicht so stark ausgeprägt und durch die sehr starke Verzweigung sind die helikalen Enden nicht so lang. Sie können dadurch nicht so stark verwirren. Das Abtrennen einzelner Moleküle ist somit recht gut möglich.

Die starke Verzweigung bietet beim Abbau viele Angriffspunkte für die Enzyme. Ebenso verhält es sich mit dem Aufbau. Glucogen kann also schnell auf- bzw. abgebaut werden.

Das Hormon Insulin initiiert die Bildung von Glykogen aus Glucose, wenn diese z.B. nach einer Nahrungsaufnahme in größeren Mengen ins Blut übergeht. Bei Glucose-Bedarf z.B. in den Muskeln wird – gesteuert über das Hormon Glycagon – Glykogen zu Glucose abgebaut. Die eigentliche Arbeit machen immer bestimmte Enzyme, deren Aktivität aber von den Hormonen gesteuert wird.

Die Einlagerung von Iod ist in die kaum noch vorhandenen Schraubenabschnitte fast nicht mehr möglich. Die Leberstärke zeigt mit Iod-Kaliumiodid-Lösung deshalb auch nur eine rötliche (bis rotbräunliche) Färbung.

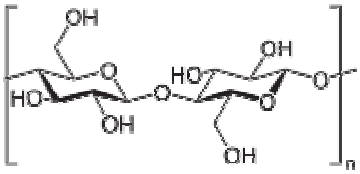
Zellstoff (Cellulose)



Bau, Vorkommen: Zellstoff ist mit 40 bis 50% neben dem Holzstoff (Lignin) der wichtigste Stoff im (trockenem) Holz. Cellulose ist auf der Erde das häufigste Kohlenhydrat und die häufigste organische Verbindung. Auch hier ist Glucose der Baustoff.

Zellstoff ist ein ausgesprochen kettenförmig gebautes Molekül aus bis zu 14.000 Bausteinen. Im Zellstoff-Molekül sind die Moleküle (β-D-Glucose) aber immer abwechselnd angeordnet. Die Zellstoff-Moleküle sind im Wesentlichen langgestreckt. Sie bilden Fasern, die zur Zusammenlagerung neigen und dabei sogenannte Mikrofibrillen (unterer Teil in der unten folgenden Abbildung) bilden. Diese sind unter dem Mikroskop sichtbar (Länge 1,5 µm).

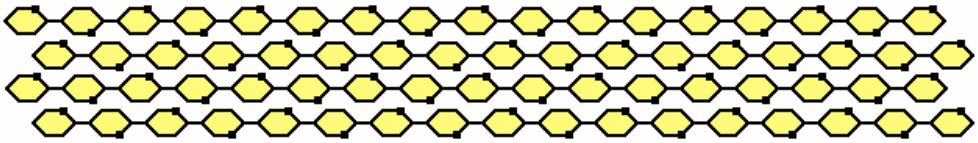
Zellulose ist Hauptbestandteil der pflanzlichen Zellen. Im Holz und der Baumwolle finden wir sehr beständige Bildungen der Zellulose



Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Einzelstrang
(einzelnes Molekül)

Mikrofibrille
(aus mehreren Cellulose-Molekülen)



Besondere Eigenschaften, Bedeutung: Eigentlich sollten die lösliche Stärke und der Zellstoff doch gleiche oder zumindestens recht ähnliche Eigenschaften haben. Aber die unscheinbar andere Anordnung der Glucose-Moleküle bewirkt völlig andere Stoffeigenschaften. Zellstoff ist völlig wasserunlöslich. Erst in starker Natronlauge (Natriumhydroxid) läßt sie sich auflösen. Die enge Lage der Fasern zueinander erlaubt es auch nicht, viel Wasser einzulagern. Zellstoff ist im Prinzip nicht (Wasser-)quellfähig.

Die Quellung von Cellulose läßt sich nur verdünnter Natronlauge erreichen. Für verschiedene Zwecke ist auch ein Lösen von Zellulose durch SCHWEITZERs Reagenz ($Cu(NH_3)_4*(OH)_2$) möglich.

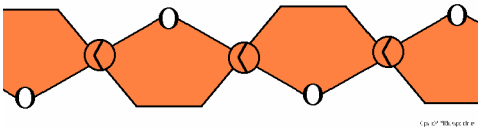
Unter Einwirkung von starken Säuren (41 %ig HCl oder 65 %ige H_2SO_4) wird Zellulose bis zur Glucose hydrolysiert.

Cellulose kann vom Menschen nicht direkt verdaut werden. Dazu sind spezielle Mägen – wie die, der Wiederkäuer – notwendig. Im menschlichen Magen-Darm-Trakt leben aber einige Bakterien und Pilze, die kleine Mengen der Cellulose spalten können. Die Mikroorganismen können sich dabei fortpflanzen und entwickeln so Biomasse. Diese wird von den Magensäften aber nach und nach aufgeschlossen. Besonders wichtig ist aber die verteilende und bindende Funktion der Cellulose im Darm. Nährstoffe werden durch sie im Darminhalt gleichmäßig verteilt und so schwerer zugänglich. Der Darm muss durch Bewegungen den Nahrungsbrei immer wieder durchmischen und weiter transportieren. Indirekt nutzt so die Cellulose unserer gesunden Ernährung (→ Ballaststoffe).

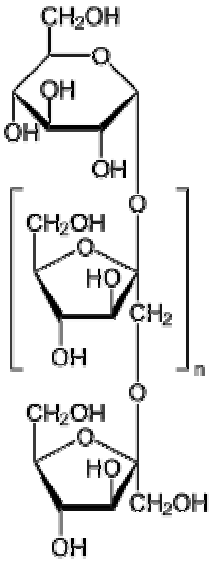
Zum Nachweis nutzt man Chlorzinkiod-Lösung oder Schwefelsäure mit Iod. Zellulose färbt sich mit diesen Nachweismiteln blau bis violett (Iod-Zellulose).

3.2.4.5.1.2. Fructane

Alantstärke (Inulin)



Bau, Vorkommen: Inulin kommt als Reservekohlenhydrat in der Tropinambur-Wurzeln vor. Weitere Vorkommen sind die Wurzeln von Schwarzwurzeln, Dahlien, Löwenzahn und Zichorien (Wegwarte).
Der Name ist von der ersten Planze ((s) Inula helenium (Echter Alant)) abgeleitet, aus der das Inulin extrahiert wurde.
Die Kettenlänge ist meist auf 100 Monomere begrenzt. Als typisch werden 20 bis 60 Bausteine angegeben. Als Ketten-Bauelement wird die Fructose verwendet, die Enden sind mit Glucose abgeschlossen. Die Monomere sind β-2,1-glykosidisch verknüpft.
Besondere Eigenschaften, Bedeutung: In heißen Wasser löst sich Inulin relativ gut und ohne Kleister- od. Gelbildung.
In der menschlichen Ernährung wird es gerne als diätisches Nährmittel (Stärkeersatz) verwendet, da die wenige Fructose, in die es während der Verdauung zerlegt wird, etwas andere Stoffwechselwege geht, als die Glucose. Den Menschen fehlt das notwendige Enzym (Inulase) zur Zerlegung dieses Polysaccharids. Im Darm lebende Bakterien können es aber enthalten. Einige der Darmbakterien bauen das Inulin zu kurzkettigen Fettsäuren ab. Empfindliche Menschen leiden unter den, während der Bildung freiwerdenden, Gasen. Sie sind oft für ev. auftretende Blähungen verantwortlich. Weiterhin wird Inulin in der Lebensmittelindustrie als Fettersatz und Texturverbesserer genutzt



Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

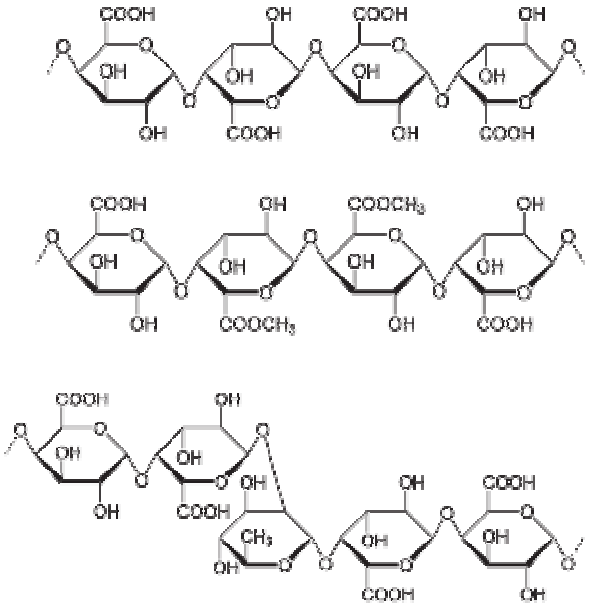
3.2.4.5.2. Heteroglykane

Hemicellulosen

Bau, Vorkommen: Das Bauprinzip der Hemicellulosen ähnelt, dem der Cellulose. Die Moleküle sind aber wesentlich kleiner und enthalten als Monomere Xylose, Arabinose, Galactose und Mannose. Desweiteren sind am Bau die abgeleiteten Uronsäuren dieser Zucker beteiligt. Der Polykondensationsgrad liegt bei maximal 200. Es gibt lineare und verzweigt sowie homogene und heterogene Hemicellulosen. Zusätzlich werden regelmäßige und unregelmäßige Hauptketten, Seitenglieder und Seitenketten unterschieden.
In der Natur machen Hemicellulosen rund 30 % der Nichtzellulose-Bestandteile des Holzes aus.
Besondere Eigenschaften, Bedeutung: Hemicellulosen sind meist wasserunlöslich und nicht vom Menschen selbst verdaubar. Teilweise können die Moleküle von Darm-Bakterien verarbeitet werden. Da diese Bakterien wiederum vom Menschen verdaut werden, ist eine indirekte Nutzung möglich. Die stofflichen Umsätze sind aber sehr bescheiden. Hemicellulosen sind sehr wichtige Ballaststoffe für eine gesunde Ernährung.

Pektine

Bau, Vorkommen: Polygalacturonsäuren, teilweise mit Methanol verestert
Unreife Äpfel und Citrusfrüchte enthalten sehr viel Pektin. In reifen Früchten werden die Pektine durch zelleigene Enzyme abgebaut.
Technisch werden Pektine auch aus Zuckerrübensaft gewonnen.
Besondere Eigenschaften, Bedeutung: relativ gut in Wasser löslich
Stabilsierungssubstanz von Biomembranen, regulieren Wasser- und Salz-Haushalt bei Pflanzenzellen, Geliermittel im Haushalt, sehr gut quellfähig, bilden schnittfeste Gele, verantwortlich für die Trübung z.B. vieler Fruchtsäfte (Apfel), um der Trübung (naturbelassener Saft) entgegenzuwirken, werden Enzymen zugegeben, die Pektine zerlegen (klarer Saft). Um nachträglich den Eindruck eines "naturtrüben" Saftes zu erreichen, werden nachträglich wieder Trübungsmittel zugesetzt.

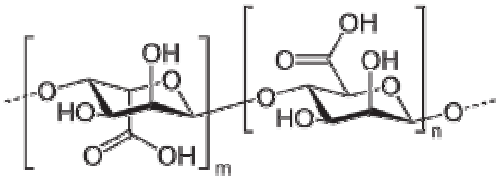


diverse Struktur-Ausschnitte für Pektine
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Bei der alkoholischen Vergärung der Pektine entsteht ein nicht zu vernachlässigender Anteil an giftigem Methanol.

Alginsäure (Algin)

Bau, Vorkommen: aus Braunalgen z.B. *Macrocystis*, β-1,4-glykosidisch-verknüpfte Gul- und Mann-Uronsäuren; Moleküle bilden Faltblattstrukturen
Algen werden am Strand gesammelt oder von Trawlern aus geerntet.



Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Die Ernte wird getrocknet und an Land das Algin extrahiert, gefiltert und gereinigt.
Besondere Eigenschaften, Bedeutung: mit Ca-Ionen bilden sich feste Gele, Verwendung in Milchprodukten
in der Lebensmittelindustrie werden die verschiedenen Salze der Alginsäure (E 400) verwendet:

E 401: Natriumalginat
E 402: Kaliumalginat
E 403: Ammoniumalginat
E 404: Calciumalginat
sowie das Propylenglycolalginat (PGA) als E 405.
werden vom menschlichen Körper nicht aufgenommen, gesundheitlich völlig unbedenklich; in großen Mengen senken sie die Eisen-Resorption und beeinflussen leicht die Eiweiß-Verdauung.
auch für Bio-Produkte zugelassen

Macrocystis-Alge
Q: de.wikipedia.org (Shane Anderson)

Gummi arabicum

Bau, Vorkommen: ähnlicher Bau wie Pektine, im Detail aber kaum bekannt, aus *Acaria senegal* (Verek-Akazie) ;
Besondere Eigenschaften, Bedeutung: unverdaulich, in warmen Wasserlöslich, bis 50 %ige Lösungen möglich, unlöslich in Ethanol, farbloses Pulver, fad schmeckend, Verwendung als Verdickungsmittel, Emulgator, Satbilisator und als Überzug von Dragees, zur Herstellung von gut haltbaren Aroma-Konzentraten (Emulgation von Aromen in Gummi arabicum, dann sprühgetrocknet)
allgemein nicht kennzeichnungspflichtig; Lebensmittelzusatzstoff (E 414)

Q: de.wikipedia.org
(KÖHLER (Köhler's Medizinal-Pflanzen (1887)))

Traganth

Bau, Vorkommen: gehört zu den Pflanzen-Gummis (auch Gummen); aus asiatischem Strauch *Astragalus gummifer* gewonnen, besteht aus zwei Fraktionen Tragacanthin und Bassorin; allgemein aus D-Galactose und deren Urosäure sowie L-Fructose, D-Xylose und L-Arabinose aufgebaut, Gewinnung relativ aufwendig und teuer, daher selten verwendet
Besondere Eigenschaften, Bedeutung: Tragacanthin wasserlöslich, Bassorin unlöslich, u.a. weil Uronsäuren mit Methanol verestert sind, aber quellfähig, gummiartig,
Stabilisator, Verdickungsmittel, Geliermittel; Salatsaucen u. Majonäsen, Backwaren und Backfüllungen, Speiseeis und Desserts, Fertiggerichte
Allergie-verdächtig; E 413

Wund-Gummis (Gummen)

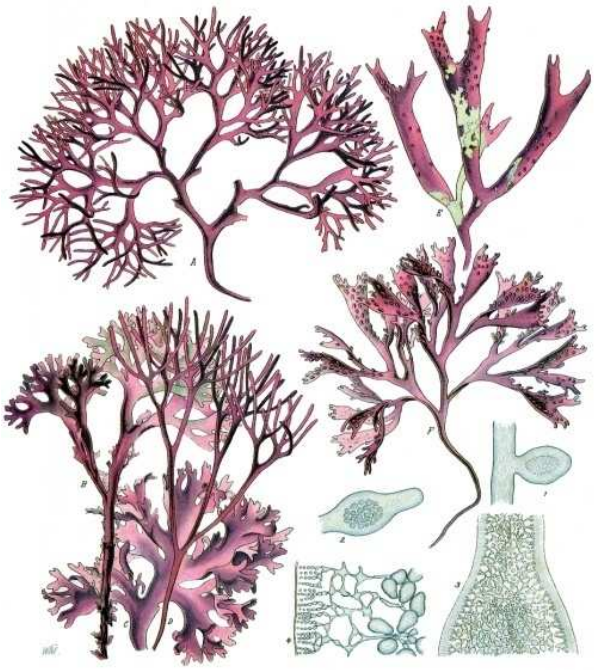
Bau, Vorkommen: ähnlicher Bau wie Pektine, im Detail aber kaum bekannt; z.B. Kirsche, Pflaume
Besondere Eigenschaften, Bedeutung: In der Industrie als Dispersions- und Kolloidstabilisator; Leim-Charakter

Agar (Agar agar)

Bau, Vorkommen: Polygalactose aus Rotalge *Agar agar* ; durch Heißwasser-Extraktion gewonnen, hauptsächlich Galactose und deren Derivate enthalten,
Besondere Eigenschaften, Bedeutung: Geliert Wasser schon bei Agar-Konzentrationen von 1 – 2 %
Verdickungsmittel für Süßspeisen (Marmeladen, Fruchtgelees), Milchprodukte, Wurstwaren; Nährböden in der Mikrobiologie

Carrageen (Carragen, Carrageenin)

Bau, Vorkommen: Polygalactose aus Rot-Algen *Chondrus crispus* (Knorpeltang, Irisches Moos) gewonnen; 1→3-verknüpfte D- und L-Galactose mit Kettenlängen; alle 10 bis 50 Monomere eine Sulfonsäuregruppe
Besondere Eigenschaften, Bedeutung: bildet hitzeresistente Gele, gute emulgierende und stabilisierende Eigenschaften
Verdickungsmittel für Süßspeisen (Marmeladen, Fruchtgelees), Milchprodukte, Wurstwaren
verzögert das Altbackenwerden von Brot, weil Wasser besser gebunden und gehalten wird (hier z.B. in der Brotkruste)



Q: de.wikipedia.org
(KÖHLER (Köhler's Medizinal-Pflanzen (1887)))

Johannesbrotkernmehl (Carubin)

Bau, Vorkommen: aus Samen mit sehr gleichem Gewicht gewonnen (rund 200 mg, hieraus leitet sich die Gewichtseinheit Karat für Edelsteine ab), Samen stammen aus der Schote des Johannesbrotbaum (Karubenbaum, Karobbaum) *Ceratonia siliqua* ; Früchte werden zubereitet (Fruchtfleisch (Carob) leicht süß und getrocknet lange haltbar) oder zu Saft (Kaftan) und Sirup verarbeite t
Besondere Eigenschaften, Bedeutung: Verdickungsmittel, Carob kann Kakao-Pulver in allen Nutz-Eigenschaften ersetzen, Verwendung für Süßspeisen und Milchmixgetränke, für Nougat-ähnliche Brotaufstriche, Tierfutter

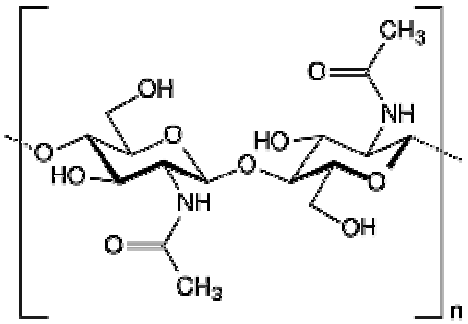
Q: de.wikipedia.org (Helx84)

Carubin ersetzt Guarkernmehl (lediglich etwas geringe Viskosität der Lösung); E 410; fünfmal quellfähiger als Stärke, kann das 80 – 100fache des Eigengewichts an Wasser aufnehmen, unterbindet Kristalbildung, Verwendung in Desserts, Speiseeis, Soßen, Milchprodukten
Allergie-verdächtig, in hohen Konzentrationen abführend, sehr guter Ballaststoff, behindert geringfügig die Eiweißverdauung, senkt Cholesterin-Spiegel im Blut, für Diät und Behandlung von Verdauungsstörungen, Erbrechen, Durchfall, Diabetes und Fettsucht geeignet, wirkt gewichtsreduzierend
Zusatz bei Gluten-freiem Brot (Backhilfsmittel)
auch für Bio-Produkte als Zusatzstoff zugelassen

3.2.4.5.3. Polysaccharid-ähnliche Stoffe aus Saccharid-Derivaten

Chitin

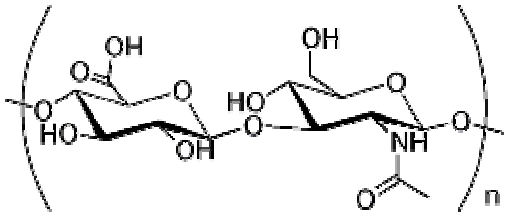
Bau, Vorkommen: Außenskelett von Insekten und ähnlichen Tieren, Weichtiere (Muscheln + Schnecken) und in den Zellwänden von Pilzen; Cellulose-ähnlich mit glykosidisch gebundenem Acetylamin
Besondere Eigenschaften, Bedeutung: kaum in üblichen Lösungsmitteln löslich, leicht anlösbar in konzentrierter Ameisensäure; entgegen der populären Meinung Chitin wäre sehr hart, muss festgestellt werden, dass Chitin an sich eher weich ist; verfestigt wird es durch Ca-Einlagerung → Panzer- und Schalen-Bildun; einige Pilze besitzen Chitinasen, die Chitin abbauen können



Q: de.wikipedia.org (Dschanz)

Hyaluronsäure

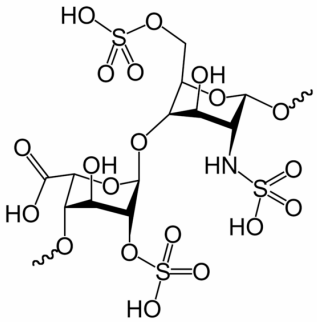
Bau, Vorkommen: z.B. Glaskörper des Auges; wichtiger Bestandteil des Bindegewebes;
Besondere Eigenschaften, Bedeutung: hohe Wasserbindefähigkeit (Glaskörper 2% Hyaluronsäure + 98 % Wasser); bildet klare Gele; Schmiermittel in Gelenken; Modelliermittel in der plastischen Chirurgie



Q: de.wikipedia.org (Edgar181)

Heparin

Bau, Vorkommen: Blutgerinnungshemmstoff; kommt in vielen saugenden Insekten im Speichel vor; auch bei Blutegeln; molare Masse (4000 –) 15000 (– 40000) g/mol; Gewinnung aus Rinderlungen und Schweinegedärm
Besondere Eigenschaften, Bedeutung: verhindert die Blutgerinnung, und ermöglicht damit das uneingeschränkte Saugen von Blut auch in kleinsten Wunden / Sauglöchern / Biss-Stellen

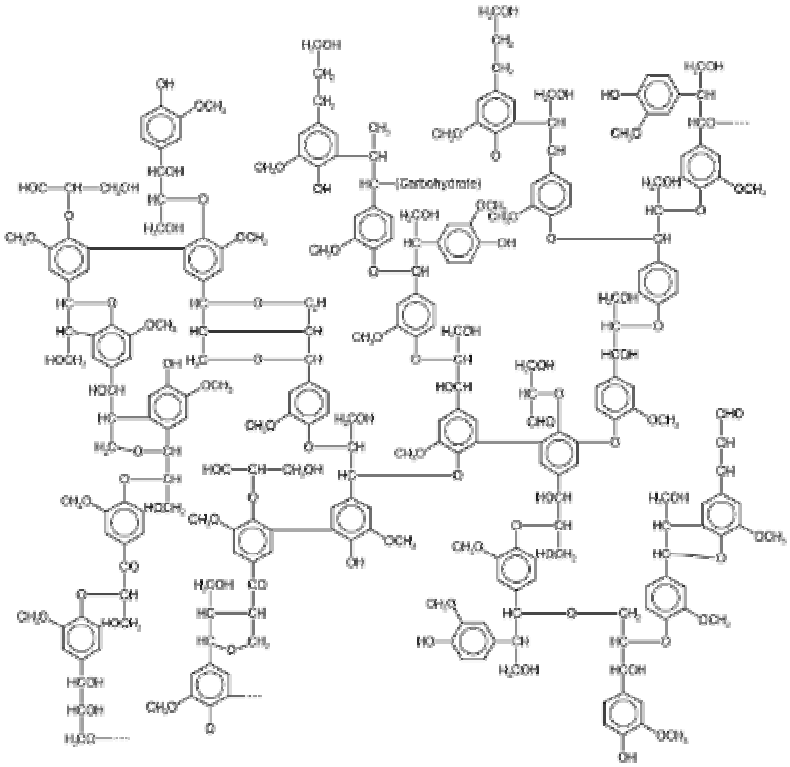


Q: de.wikipedia.org (Benjah-bmm27)

Lignin

Bau, Vorkommen: Holzstoff; nur in Zusammenhang mit Zellulose vorkommend
sachlich kein Polysaccharid-Derivat, sondern abgeleitet aus Coniferylalkohol (Phenylpropan-Derivat)
nach Cellulose und Chitin ist es die dritthäufigste organische Substanz auf der Erde
in verholzten Zellen besteht die Zellwand zu 20 – 30 % aus Lignin

Besondere Eigenschaften, Bedeutung: kann nur von speziellen Pilzen abgebaut werden



Q: de.wikipedia.org (Karol007)

3.2.4.6. technologische Süßmittel

Invertzucker
Kunsthonig

Isoglucose, Glucosesirup (Isomerose)
aus Stärke hergestellter Flüssigkzucker, Stärke (Mais, Weizen, Kartoffel) wird enzymatisch und z.T. auch unter Einsatz von Säuren gespalten
je nach verwendeten Enzymen entstehen reine Glucose-Lösungen oder Gemische mit einem

3.2.5. Nachweise für Kohlenhydrate

Bedingt durch die große Anzahl sehr verschiedener Kohlenhydrate gibt es auch entsprechend viele Nachweise. Aus praktischen Gründen und wegen der herausragenden Bedeutung beschränken wir uns hier auf den Nachweis von Traubenzucker und Stärke.
Der bekannteste Nachweis für Traubenzucker ist die FEHLINGsche Probe. Für diesem Nachweis werden zwei Lösungen (FEHLINGsche Lösungen I und II (hellblau und farblos)) im Verhältnis 1:1 gemischt. FEHLING I enthält CuSO4. Die FEHLINGsche Lösung II setzt sich aus Kaliumnatriumtartrat (Kalium- und Natrium-Salz der Weinsäure) und Natriumhydroxid (basisch) zusammen. Das fertige (dunkelblaue) Nachweismittel wird dann zur flüssigen oder festen Probe zugesetzt und vorsichtig erwärmt. Eine Farbveränderung nach Ziegelrot (eventuell über Grün, Gelb und Orange) zeigt das Vorhandensein von Traubenzucker an. Die Farbveränderung ist durch die Reduktion der Cupfer-Ionen zu erklären.
(Eigentlich werden nur die freien Aldehyd-Gruppen nachgewiesen! Der Test ist also nicht sehr spezifisch und deshalb mit der gebotenen Vorsicht zu genießen!). Allgemein spricht man deshalb auch besser vom Nachweis eines reduzierenden Kohlenhydrates.
Das Versuchsschema für die FEHLINGsche Probe sieht so aus:

Nachweis von (reduzierenden) Kohlenhydraten durch die FEHLINGsche Probe:

	Nachweismittel	***Bedingungen***	***Beobachtungen***	***Ergebnis***
Probe +	**FEHLINGsche Lösungen I und II im Verhältnis 1:1 mischen und zusetzen** ***(blau)***	*leicht erwärmen*	**Ziegelrotfärbung (Orange-, Gelb- bis Grünfärbung)**	reduzierender Stoff z.B.: **Aldehyd** wahrscheinlich **Glucose** od.ä. KH
			Farbe unverändert	keine reduzierenden Substanzen vorhanden

Die TROMMERsche Probe basiert auf den gleichen chemischen Reaktionen, wie die FEHLINGsche Probe. Nur die Zugabe der Chemikalien verläuft etwas anders.
Ein Nachweis für freie Aldehydgruppen ist auch die TOLLENS-Probe (TOLLENSsche Probe). Bei dieser Probe wird mit Silber-Ionen (Silbernitrat-Lösung) gearbeitet. Vor dem Benutzen der Lösung muss diese basisch gemacht werden. Dazu benutzt man Ammoniak-Lösung. Das fertige Nachweismittel wird deshalb auch ammoniakalische Silbernittrat-Lösung genannt. Die Silber-Ionen werden reduziert. Es entsteht Silber, welches sich am Glas absetzt (Kristallisationskeime) und einen charakteristischen Silberspiegel bildet.

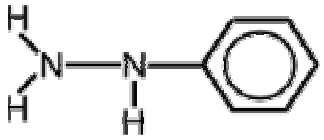
Nachweis von (reduzierenden) Kohlenhydraten durch die TOLLENS-Probe:

	Nachweismittel	*Bedingungen*	*Beobachtungen*	*Ergebnis*
Probe +	**mit Ammoniak frisch basisch gemachte Silber-nitrat-Lösung versetzen**	*leicht erwärmen*	**Silberspiegel (selten grauer Niederschlag)**	reduzierender Stoff z.B.: **Aldehyd** wahrscheinlich **Glucose** od.ä. KH
	(farblos – leicht milchig)		Farbe unverändert	keine reduzierenden Substanzen vorhanden

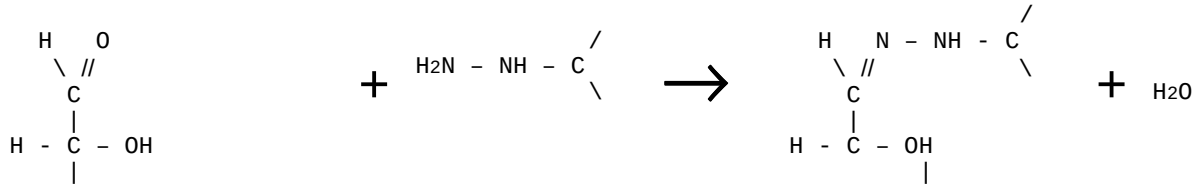
Die NYLANDER-Probe nutzt eine ähnliche Reaktion zum Nachweis von (reduzierenden) Kohlenhydraten (od. anderen reduzierenden Substanzen). Statt Silber-Ionen werden Bismut-Ionen (Bi^{3+}) genutzt. Auch die NYLANDER-Reagenz wird zur Unterstützung des Ring-Aufbruches basisch gemacht. Reduziertes Bismut ergibt einen schwarzen Niederschlag. NYLANDERS-Reagenz basiert ähnlich wie die FEHLINGsche Reagenz auf – mit Weinsäure Komplex-gebundene – Metall-Ionen (hier Bismut).
Ebenfalls auf die Reduktion von Bismut-Ionen setzt die BÖTTGERsche Probe. Im alkalischem Milieu wird mit Bismutnitrat gearbeit. Es bildet sich beim positiven Nachweis ein grau-schwarzer Bismut-Niederschlag.
In älterer Literatur findet man auch den Nachweis mittels Quecksilbercyanid im alkalischen Milieu. Es fällt metallisches Quecksilber aus. Die von KNAPP beschriebene Methode wird aber heute wegen der Giftigkeit von Quecksilber und vielen seiner Verbindungen nicht mehr benutzt.
Mit diversen Farbstoffen lassen sich auch optisch atraktive Nachweise realisieren. Immer wird die reduzierende Wirkung der betreffenden Kohlenhydrate genutzt.

- Indigoblau (Indigokamin) wird in Anwesenheit von Natriumcarbonat zu Indigoweiß (HOFMANN)
- Safraninrot wird in Anwesenheit von Natriumcarbonat zu Safraninweiß
- Methylenblau wird in Anwesenheit von Natriumcarbonat zur Leukostufe (farblos) reduziert

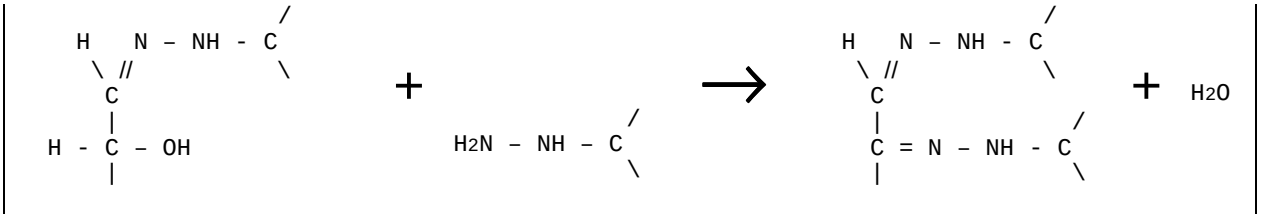
Eigentlich sollte man auch die SCHIFFsche Probe zum Nachweis von Aldehyd-Gruppen verwenden können. Da diese Probe aber unter sauren Bedingungen arbeitet, stellen sich die Ring-Ketten-Gleichgewichte (Ring-Ketten-Tautomerie) eher in Richtung Ring ein. Da bleiben dann zu wenige freie Aldehyd-Gruppen für den eigentlich sehr empfindlichen Nachweis. Indirekt kann man durch Kombination mit basischen Nachweisen Aldehyde und reduzierende Zucker unterscheiden.
Sehr gut geeignet ist auch die Nutzung der Vergärbarkeit zum Nachweis von Kohlenhydraten. In kleinen, speziellen Kolben mit seitlichen Zusatzteilen wird die Probe-Lösung mit Hefe-Pilzen versetzt. Nach kurzer Zeit sollten sich in den seitlichen Zusatzteilen Gasbläschen sammeln. Das gebildete Cohlendioxid entstammt dann der alkoholischen Gärung. Diese benötigt bekantermaßen einen vergärbaren Kohlenhydrat. Bei Verwendung verschiedener Hefen und unterschiedlicher Bedingungen (z.B. unterschiedlicher Temperaturen) ist eine differenzierte Erkennung der Probe möglich.
Zur genaueren Differenzierung der verschiedenen Mono- und Disaccharide bedarf es aufwändigerer Tests.
Beim Zusatz von gelblichem Phenylhydrazin (überschüssig) zu einer Zucker-Lösung können sich im essigsauren Milieu gelbe Osazon-Kristalle bilden. Osazone entstehen bei der Reaktion der Aminogruppe (vom Phenyhydrazin) mit der Carbonyl- (Aldehyd-) sowie der benachbarten Hydroxyl-Gruppe des Kohlenhydrates.



Phenylhydrazin



Saccharid Phenylhydrazin (Phenylhydrazon) Wasser



(Phenylhydrazon) Phenylhydrazin Osazon Wasser

Phenylhydrazin ist giftig und umweltgefährlich. Deshalb sollte dieser Nachweis nur in Ausnahmesituationen durchgeführt werden.
Eine weitere Möglichkeit zur Differenzierung verschiedener Monosaccharide ist der Umsatz mit Orcein-Farbstoffen (stammen aus Flechten).

Kohlenhydrat	Verfärbung des Orcein's
Glucose	keine Farbänderung (bleibt braunrot)
Fructose	warm: blau; kalt: gelbbraun
Xylose	warm: violett-blau; kalt: blau

Kohlenhydrat	Verfärbung des Orcein's
Arabinose	violett

Aus der Diabetes-Erkennung stammt der GOD-Test. Mit ihm wird eigentlich in Urinproben nach Traubenzucker gesucht. Dies ist dann ein Hinweis auf Diabetes (Zuckerkrankheit).
Die Teststreifen funktionieren auch in normalem Wasser. Somit sind sie sicher die einfachsten Nachweismittel. Wir "missbrauchen" die Teststreifen einfach für unsere Suche nach Traubenzucker in beliebigen Lösungen. Alle Chemikalien für den Test sind auf dem Papier- oder Plastestreifen aufgetragen. Man braucht die Teststreifen nur noch kurz in die Probe zu halten und nach ein paar Sekunden das Testergebnis ablesen. Die jeweilige Farbveränderung richtet sich nach dem Teststreifenfabrikat. Mit manchen Teststreifen kann man sogar einen annähernden Gehaltswert (semiquantitativer Nachweis) ermitteln. Ein weiterer Vorteil der GOD-Teststreifen ist ihre Stoffspezifität. Sie reagieren nur auf Traubenzucker.
Dies wird durch die Verwendung von Enzymen auf dem Teststreifen erreicht.

<u>Nachweis von Traubenzucker mit Teststreifen (GOD-Test, Glucotest):</u>

	Nachweismittel	***Bedingungen***	***Beobachtungen***	***Ergebnis***
flüssige Probe +	**GOD-Teststreifen**	*(siehe Packung)*	**Verfärbung entsprechend Skala**	**Traubenzucker**
			Farbe unverändert oder anders	kein Traubenzucker

Exkurs: GOD-Test auf Glucose (im Urin)

Nicht ganz so spezifisch ist der Stärkenachweis mit Iod-Kaliumiodid-Lösung. Er kann aber als recht sicher eingestuft werden. Zur festen oder flüssigen Probe werden einige Tropfen der gelblich-braunen Iod-Kaliumiodid-Lösung (LUGOLsche Lösung) getropft. Verändert sich die Farbe nach Blau bzw. Schwarz, dann ist Stärke in Form von Amylose (lösliche Stärke) vorhanden. Eine Verfärbung nach Violett zeigt dagegen Amylopektin (nichtlösliche Stärke) an. Bei der Leberstärke (Glykogen) kommt es – durch die kaum noch vorhandenen helikalen Strukturen – nur zu einer rötlichen Färbung.

<u>Nachweis von Stärke mit LUGOLscher Lösung (Iod-Kaliumiodid-Lösung):</u>

	Nachweismittel	***Bedingungen***	***Beobachtungen***	***Ergebnis***
			Blaufärbung (ev. Schwarz)	**Stärke** (Amylose)
			Violettfärbung	**Stärke** (Amypektin)
Probe +	**einige Tropfen LUGOLsche Lösung**	*(Zimmertemperatur)*	**Rotfärbung**	**Stärke** (Glykogen)
	(hellgelb bis leicht bräunlich)		anderes	keine Stärke

<u>Nachweis von Zellulose mit Chlor-Zink-Iod-Lösung:</u>

	Nachweismittel	***Bedingungen***	***Beobachtungen***	***Ergebnis***
			Gelbfärbung (ev. Braunfärbung)	**lignifizierte od. suberinisierte Cellulose** (z.B. verholzte Zellwände)
			Blaufärbung	**Cellulose**
Probe +	einige Tropfen **Chlor-Zink-Iod-Lösung**	*(Zimmertemperatur)*	**Violettfärbung**	**Cellulose** (z.B. primäre Zellwand)
	()		anderes	keine Cellulose

Praktikums-Aufgaben:

1. Mono- und Disaccharide (45 – 60 min)

Prüfen Sie Fruchtzucker, Haushaltszucker, (lösliche) Stärke, 3 vorgebene Proben und 2 selbstmitgebrachte Lebensmittel-Proben (möglichst flüssig) auf ihren Gehalt an reduzierenden Kohlenhydraten (Monosaccharide, qualitativ)! Gut geeignet sind die folgenden Lebensmittel (kein Muss, nur Empfehlung):

Milch, Sahne, Majonäse, Quark, Frischkäse, Marmelade, Säfte, Tomate, lockere Creme aus Riegeln oder Torten, …

Bereiten Sie das Protokoll soweit vor, dass Sie sofort mit den praktischen Arbeiten beginnen können!

2. Polysaccharide (45 min)

Prüfen Sie Fruchtzucker, Haushaltszucker, (lösliche) Stärke, 3 vorgebene Proben und 2 selbstmitgebrachte Lebensmittel-Proben (möglichst flüssig) auf ihren Gehalt an Polysacchariden (qualitativ)!

Bereiten Sie das Protokoll soweit vor, dass Sie sofort mit den praktischen Arbeiten beginnen können!

3. Polysaccharide (60 - 90 min)

Mikroskopieren Sie ein Schabepräparat von einer Kartoffel (alternativ Feuchtpräparate von Getriede-Mehl, Kartoffelstärke, Reisstärke, Maisstärke, ...)! Zeichnen Sie 3 (typische) Stärkekörner!

Ziehen Sie dann ein bis zwei Tropfen Iod-Kaliumiodid-Lösung durch! Zeichnen Sie wiederum 3 Stärkekörner!

Hinweise zum Protokoll:

Die folgenden Fragen und Problemstellungen sollten in den Vorbetrachtungen abgearbeit werden:

1. Welche Test's sind für einen qualitativen Nachweis geeignet? Welche Aussage-Güte ist zu erwarten?
2. Wie funktionieren die einzelnen Test's?
3. Wieviele Einzel-Test's müssen Sie durchführen (Blindproben nicht vergessen!)?
4. Wieviele Thesen sind notwendig? Wie lauten die experimentellen Thesen?

3.2.6. Ergänzende Experimente zu und mit Kohlenhydraten

Mikroskopische Untersuchung und Unterscheidung von Stärke

Grundlagen / Prinzipien:

Stärkekörner besitzen je nach Pflanzenquelle und Gewinnungsverfahren unterschiedliche Merkmale. Diese lassen sich unterm Mikroskop gut beobachten und bei Vorlage von Vergleichsproben oder Vergleichsfotos sehr gut zuordnen.

Materialien / Geräte:

Mikroskop, Objektträger, Deckgläschen, Präparierbesteck (Präpariernadel, Lanzetnadel), verschiedene Stärken (reine oder als Samen), Wasser, LUGOLsche Lösung (Iod-Kaliumiodid-Lösung), Tropfpipetten, saugfähiges Papier

Durchführung / Ablauf:

- Samen rund 12 h vorkeimen lassen
- einen Tropfen Wasser in die Mitte des Objektträgers geben
- eine Lanzetnadel voll Probe in den Tropfen geben, mit einem Deckgläschen abdecken und mikroskopieren
- direkt neben das Deckgläschen einen Tropfen LUGOLsche Lösung geben, auf der anderen Seite die Flüssigkeit mit dem saugfähigen Papier abnehmen, eventuell mit mehr LUGOLscher Lösung die Färbung verstärken oder mit Wasser entfärben
- nochmals mikroskopieren, eventuell Zeichnungen anfertigen
- für Vergleiche bietet sich z.B. das folgende Buch an:

  GASSNER, Gustav: Mikroskopische Untersuchung pflanzlicher Lebensmittel.- Jena: Fischer Verl.

Untersuchung des Stärkeabbaus durch Speichel

Grundlagen / Prinzipien:

Die Stärkeverdauung beginnt im Mund durch mechanische Zerkleinerung und den Zusatz von Speichel.

Materialien / Geräte:

Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Reagenzglaszange, Brot, Wasser, FEHLINGsche Lösungen I und II, LUGOLsche Lösung (Iod-Kaliumiodid-Lösung), Brenner

Durchführung / Ablauf:

- 4 Reagenzgläser 2 cm mit Wasser füllen und jeweils einen Brotwürfel (5 mm Kantenlänge) dazugeben (Brot eventuell leicht zerdrücken)
- die Reagenzgläser durchnummerieren, entsprechend der nachfolgenden Tabelle Speichel zusetzen und die angegebenen Tests durchführen

Reagenzglas	Zusatz	durchzuführender Test	*entspricht Situation ....*
1	-	Stärkenachweis	*vor Verdauung*
2	-	Traubenzuckernachweis	*vor Verdauung*
3	Speichel	Stärkenachweis	*nach erster Verdauung*
4	Speichel	Traubenzuckernachweis	*nach erster Verdauung*

Untersuchung des Löslichkeitsverhaltens von Traubenzucker

Materialien / Geräte:

verschiedene Lösungsmittel (z.B. Wasser, Benzin, Aceton, Ethanol); Reagenzgläser; Reagenzglasständer, Traubenzucker

Durchführung / Ablauf:

- in je ein Reagenzglas gleiche Menge eines Lösungsmittels geben (ungfähr 3 cm hoch)
- in jedes Reagenzglas eine gleichgroße Spatelspitze Traubenzucker zugeben und schütteln
- Beobachtungen notieren
- wenn Traubenzucker vollständig gelöst wurde, noch einmal Spatelspitze Traubenzucker zugeben, umschütteln und Beobachtungen notieren; solange wiederholen bis Rückstand bleibt

Quellfähigkeit von Kohlenhydraten

Materialien / Geräte:

Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Glasstäbe, Wasser, verschiedene Kohlenhydrate

Durchführung / Ablauf:

- in die Reagenzgläser gleichviel Wasser füllen (ungefähr 5 cm hoch)
- je eine Probe in die Reagenzgläser geben (ungefähr 1 cm hoch)
- Höhe der Probe mit Stift markieren
- regelmäßig mit Glasstab umrühren
- alle 5 min Beobachtungen notieren (maximal 20 min lang) (Höhe der Probe, Farbe und Fließfähigkeit der Lösung)

Untersuchung des Stärkeabbaus durch Säure

Grundlagen / Prinzipien:

Unter sauren Bedingungen kommt es zur verstärkten Hydrolyse der Stärke. Die Stärke-Moleküle zerfallen in kleinere Einheiten (kleine Mehrfachzucker, Dextrine). Mit LUGOLscher Lösung ergeben Dextrine eine rotbraune bis gelbe Verfärbung.

Materialien / Geräte:

Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Reagenzglaszange, Stärke, Wasser, LUGOLsche Lösung (Iod-Kaliumiodid-Lösung), Brenner, Säure (z.B. Zitronensaft), Becherglas, Dreibein, Drahtnetz

Durchführung / Ablauf:

- Wasser im Bechglas erhitzen (Wasserbad)
- 2 Reagenzgläser 2 cm hoch mit Stärke-Lösung füllen
- zu einem Reagenzglas Säure geben, 15 min im siedenen Wasserbad erhitzen
- abkühlen lassen (eventuell im kaltem Wasserbad oder unter fließendem Wasser)
- einige Tropfen LUGOLsche Lösung zusetzen

(eventuell kann auf das Erwärmen verzichtet werden, dann sollte das Gemisch aber rund 12 h stehen bleiben)

alternativ:

- alle 2 – 3 min eine kleine Probe (mit Pipette 3 Tropfen) entnehmen und auf einer Tüpfelplatte die LUGOLsche Probe durchführen

MAILLARD-Reaktion

Grundlagen / Prinzipien:

Aminosäuren (auch Peptide od. Eiweiße) reagieren im basischen Milieu und in der Wärme sehr gut mit Kohlenhydraten. In einem komplizierten und sehr variablen Reaktionsmechanismus entstehen farbige (vorrangig braune) und aromatisch riechende Stoffe. (Weitere Informationen im Kapitel → 3.3. Eiweiße → 3.3.3.3. Technologische Eigenschaften der Eiweiße und ihre Nutzung)

Materialien / Geräte:

Aminosäure-Lösung (auch Mischung; optimal 30 mg/ml); Zucker-Lösung (auch Mischung; optimal 60 mg/ml); Base (z.B. Natriumhydroxid); ev. Spektral-Photometer

Durchführung / Ablauf:

- Lösungen mischen und alkalisch machen
- 5 min sieden lassen
- Farb- und Geruchsveränderungen beobachten

Nachweis von Einfachzuckern nach BARFOED

Grundlagen / Prinzipien:

In schwach sauren Medien können Einfachzucker besser reagieren. Ansonsten entspricht der Test von BARFOED chemisch weitgehend der FEHLINGschen Probe. Einfachzucker lassen sich am roten Cupfer-Niederschlag erkennen.

Materialien / Geräte:

Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Reagenzglaszange, BARFOED-Reagenz, Brenner, Becherglas, Dreibein, Drahtnetz, Wasser, Probenmaterial (z.B. Traubenzucker, Fruchtzucker)

Durchführung / Ablauf:

- Wasser im Bechglas erhitzen (Wasserbad)
- Proben im Reagenzglas in wenig Wasser lösen und mit 4 ml BARFOED-Reagenz mischen
- 3 min im Wasserbad erhitzen
- Beobachtungen notieren

MOHRsche Probe (Nachweis von Glucose und Lactose)

Grundlagen / Prinzipien:

Materialien / Geräte:

Natriumhydroxid-Lösung, ev. 2%ige Glucose- und Lactose-Lösung zum Vergleich

Durchführung / Ablauf:

- Probe wird mit Natronlauge erhitzt
- gelbe Farbe zeigt Glucose bzw. Lactose an

Nachweis von Fructose (SELIWANOW-Reaktion)

Grundlagen / Prinzipien:

Durch starke Mineralsäuren wird dem Zucker Wasser entzogen. Die entstehenden Verbindungen (Furfuralderivate) können mit aromatischen Stoffen (z.B. Resorcin (Metadioxybenzol)) zu Farbstoffen reagieren. Der bei positiver SELEWANOW-Reaktion entstehende Farbstoff ist rot. Ketosen reagieren bei diesem Test wesentlich schneller als Aldosen.

Materialien / Geräte:

Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Reagenzglaszange, Brenner, Dreibein, Drahtnetz, Becherglas, Wasser, SELIWANOW-Reagenz, Probenmaterial (z.B. Fruchtzucker)

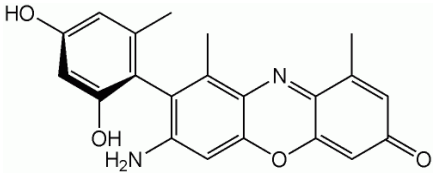
Durchführung / Ablauf:

- Wasser im Bechglas erhitzen (Wasserbad)
- Probe im Reagenzglas in wenig Wasser lösen, doppelte Menge SELIWANOW-Reagenz zusetzen
- 1 min in siedenem Wasserbad erhitzen

Unterscheidung von Monosacchariden mittels Orcein

Grundlagen / Prinzipien:

Orcein-Farbstoffe verfärben sich selektiv mit den verschiedenen Monosacchariden



α-Aminoorcein
Q: de.wikipedia.org (Shaddack)

Materialien / Geräte:

Durchführung / Ablauf:

- zu 5 ml Eisessig werden einige Tropfen einer Probe (z.B. 10 Tropfen einer 2%igen Traubenzucker-Lösung) und einige Tropfen einer 5%igen Orcein-Lösung gegeben und gut durchgeschüttelt
- erhitzen bis zum Sieden
- vorsichtig tropfenweise konzentrierte Schwefelsäure (zu Anfang 2 – 3x 5 Tropfen, dann mit je 10 Tropfen fortsetzen) solange bis Verfärbung nach dem Umschütteln bestehen bleibt

Kohlenhydrat	Verfärbung des Orcein's
Glucose	keine Farbänderung (bleibt braunrot)
Fructose	warm: blau; kalt: gelbbraun
Xylose	warm: violett-blau; kalt: blau

Kohlenhydrat	Verfärbung des Orcein's
Arabinose	violett

Hinweise:

- Vorsicht beim Arbeiten mit konzentrierter Schwefelsäure → stark ätzend

Nachweis von Cellulose

Grundlagen / Prinzipien:
Chlorzinkiod-Lösung reagiert mit Cellulose unter Bildung einer Blau- bis Violett-Färbung.

Materialien / Geräte:
Chlorzinkiod-Lösung, Tropfpipette, Materialproben (z.B. Watte, Filterpapier, Zellstoff-Taschentücher, Viskose-Stoff, Weizenkleie, Vollkornmehl)

Durchführung / Ablauf:
- Probe mit einem Tropfen Chlorzinkiod-Lösung beträufeln

Nachweis von Milchzucker (Lactose) in Milch

Materialien / Geräte:
Frische Milch; Essigessenz; Feinsieb od. Küchenhandtuch; Glasstab; FEHLINGsche Lösungen I + II; Brenner

Durchführung / Ablauf:
- Milch mit einigen Tropfen Essigsäure versetzen (gut umrühren); etwas ruhen lassen
- mittels Feinsieb od. Küchenhandtuch Molke abfiltern (alternativ zentrifugieren)
- mit der Molke die FEHLINGsche Probe durchführen

TROMMERsche Probe

Grundlagen / Prinzipien:
gleiches Reaktionsprinzip wie die FEHLINGsche Probe, bildet sich beim Vorhanden von reduzierenden Zuckern ein ziegelroter Niederschlag

Materialien / Geräte:
10%ige Natriumhydroxid-Lösung, Cupfersufat-Lösung, Proben, ev. 2%ige Glucose-Lösung zum Vergleich

Durchführung / Ablauf:
- Probe mit reichlich Natriumhydroxid versetzen
- nun wenige Tropfen Cupfersulfat-Lösung dazugeben (es bildet sich ein blauer Niederschlag an der Eintropfstelle) und umschütteln (Lösung muss klar tiefblau werden, Niederschlag muß sich auflösen!)
- erwärmen

Bindevermögen von Wasser durch Stärke

Materialien / Geräte:
Bechergläser (100 ml), (Kartoffel-)Stärke, Wärmequelle mit Magnet-Rühr-System, Glasstab

Durchführung / Ablauf:
- in die Bechergläser jeweils 50 ml kaltes Wasser geben und dazu abgestuft 1; 2,5; 5; 7,5 und 10 g Stärke einrühren
- das Wasser-Stärke-Gemisch (einzeln) bis zum Kochen erhitzen
- mit einem Glasstab die Zähflüssigkeit prüfen
- alle Proben auf Zimmer-Temperatur abkühlen lassen und nochmals die Zähflüssigkeit prüfen

Abhängigkeit der Bindefähigkeit von Wasser durch Stärke von der Temperatur

Grundlagen / Prinzipien:
Stärke quillt mit Wasser schon über 0 °C auf. Um eine feste Bindung (Bildung zähflüssiger Gemische) zu erhalten müssen neue Bindungen geknüpft werden. Die Stärke-Moleküle bilden dann vernetzte Strukturen.

Materialien / Geräte:
Stärke-Lösung (Wasser-(Kartoffel-)Mehl-Gemisch), Bechergläser (50 – 100 ml), Heizplatte (mit Temperatur-Regler) und Magnet-Rühr-System, Glasstab

Durchführung / Ablauf:
- frisch bereitete Stärke-Lösung (20 g auf 500 ml) in kleine Bechergläser verteilen
- die Bechergläser von 20 – 90 °C in Stufen von 10 K ungefähr 5 (– 10) min bei der Temperatur rühren (u.U. auch 100 °C ausprobieren, Versuch bei Gefahr des Anbrennens abbrechen!)
- mit einem Glasstab die Zähflüssigkeit prüfen
- alle Proben auf Zimmer-Temperatur abkühlen lassen und nochmals die Zähflüssigkeit prüfen

Prüfung von Marzipan auf Echtheit / Unterscheidung von Marzipan und Persipan

Grundlagen / Prinzipien:
Zur Unterscheidung von echtem Marzipan (Mandeln + Zucker) und Ersatzprodukten (Persipan od. Marzipan-ähnliche Halbfertig-Produkte (verschiedene Kerne und Ersatzzuckerprodukte)) muß den Ersatzprodukten Stärke (> 0,5 %) untergemischt werden. Diese läßt sich mit dem Test nach LUGOL einfach nachweisen.

Materialien / Geräte:
verschiedene Proben (Marzipan, Persipan, …), LUGOLsche Lösung (Iod-Kaliumiodid-Lösung)

Durchführung / Ablauf:
- Proben auf nicht beschichteten Stellen (Anschnitte) mit 1 – 2 Tropfen LUGOLsche Lösung betropfen

Herstellung von Zuckercouleur (Prinzip)

Versuch möglichst in einer Küche, einem Küchenlabor od.ä. durchführen!!!

Materialien / Geräte:
Reagenzglas; Haushaltszucker; Brenner

Durchführung / Ablauf:
- in das Reagenzglas (RG) 2 bis 3 cm hoch Zucker füllen; mit 10 bis 20 Tropfen Wasser (1 ml) benetzen
- RG langsam erhitzen, bis Schmelze schäumt
- abkühlen lassen
- 10 ml Wasser auffüllen und kräftig schütteln oder über Nacht stehen lassen
- ev. grobe Bestandteile abfiltern

Herstellung von Zuckercouleur und Untersuchung der Eigenschaften

Materialien / Geräte:
beschichtete Pfanne; Haushaltszucker; Brenner

Durchführung / Ablauf:
- in die Pfanne Zucker füllen; mit wenig Wasser (1 - 3 ml) benetzen
- langsam erhitzen, bis Schmelze schäumt, zwischenzeitlich mit einem Metall-Löffel (Teelöffel) immer eine od. mehrere kleine Proben nehmen
- Proben z.B. auf einem Teller oder dem Löffel abkühlen lassen
- je eine Probe (Löffel) in 10 - 50 ml Wasser geben und kräftig schütteln oder über Nacht stehen lassen
- Geschmack und Farbe protokollieren

Herstellung von Kandiszucker

Materialien / Geräte:
Haushaltszucker; ev. Zuckercouleur; Becherglas; Glasstab (od.ä.); Wollfaden

Durchführung / Ablauf:
- 20 bis 100 ml Wasser erhitzen und solange Zucker zugeben, bis eine gesättigte Lösung entsteht; ev. Zuckercouleur zusetzen
- abkühlen lassen; Bindfaden an Glasstab befestigen und in die Lösung hängen (ev. mit Glasstopfen am anderen Ende des Fadens beschweren) alternativ können auch kleine Kandisstücke als Impfkristalle genutzt werden
- ev. teilweise abdecken; mehrere Tage stehen lassen

Herstellung von Karamel

Materialien / Geräte:

Haushaltszucker; großes Reagenzglas; PETRI-Schale od. beschichtete Pfanne; verdünnte Natriumhydroxid-Lösung; verdünnte Salzsäure; Indikatorpapier; Glasstab

Durchführung / Ablauf:

- 2 cm hoch Zucker in das Reagenzglas (RG) füllen; 20 ml Wasser hinzufügen; mit 5 ml Natriumhydroxid basisch machen
- langsam bis zur leichten Braunfärbung erwärmen
- abkühlen lassen und mit Salzsäure unter Rühren (mit Glasstab) neutralisieren
- Masse in PETRI-Schale od. beschichtete Pfanne überführen und sehr langsam und vorsichtig erwärmen (Wasser ausdampfen)
- es darf probiert werden

Herstellung von Kartoffelstärke

Materialien / Geräte:

Kartoffeln; Feinsieb od. Küchenhandtuch; Plastikfolie od. Backpapier

Durchführung / Ablauf:

- Kartoffeln schälen und reiben
- wenig warmes Wasser dazugeben und mehrfach rühren
- über Feinsieb od. Küchenhandtuch filtrieren; gut ausdrücken!
- Filtrat stehen lassen; Überstand dekantieren und Niederschlag mit wenig kaltem Wasser waschen
- Niederschlag auf Plastikfolie od. Backpapier trocken

Zusatzuntersuchung:

- etwas Niederschlag kann unterm Mikroskop mit anderen Stärken verglichen werden; ev. mit wenig LUGOLsche Lösung anfärben

Herstellung von Kunsthonig

Materialien / Geräte:

Haushaltszucker; Milchsäure; destillertes Wasser (Aqua dest.; demineralisiertes Wasser)

Durchführung / Ablauf:

- 25 g Zucker in 50 ml dest. Wasser lösen; mit 10 Tropfen Milchsäure versetzen
- vorsichtig und langsam bis zur Hälfte eindampfen; abkühlen lassen
- es darf probiert werden

Herstellung von einfachen Zucker-Bonbon's od. -Lutschern

Materialien / Geräte:
Zucker, Wasser, Invertzucker (ersatzw. Kunsthonig, Honig), Zitronen- od. Apfelsäure, Lebensmittel-Farbstoffe, Aromen od. Frusip (1 : 40), Backpapier od. Alu-Pralinen-Förmchen, ev. Schaschlik-Stäbchen od. Zahnstecher, Folie und Geschenk-Band

Durchführung / Ablauf:
- 60 g Zucker, 17 g Invertzucker werden mit 23 g Wasser erhitzt, bis die Masse recht dünnflüssig wird; ständig vorsichtig rühren
- für Frucht-Bonbon's: 1 g Zitronen- od. Apfelsäure dazugeben
- 2 – 3 Tropfen Farbstoff und 6 – 10 Tropfen Aroma dazugeben
- nochmals gut durchmischen und dann die heiße Masse schnell portionsweise auf dem Backpapier ausgießen oder in die Pralinen-Förmchen geben (nicht zu große Mengen)
- wenn die Masse zu zähflüssig wird, dann wieder erwärmen
- ev. Holzstäbchen als Griff eindrücken und gut auskühlen lassen
- mit Folie und Geschenkban einzeln verpacken; Bonbon's ev. mit

Zusatzuntersuchung:
- mischen sie Farben mit eigentlich nicht dazu gehörigen Aromen

Hinweise:
- Masse wird sehr heiß (rund 150 °C)! Probieren nur nach Abkühlen der gezogenen Proben!!! Grate und Spitzen können sehr scharf sein!

nach: Q: WAGNER, Uni Bayreuth, Chemie-Didaktik

Bonbon's od. Lutscher aus Isomalt ("Zucker-freie Bonbon's")

Grundlagen / Prinzipien:
Isomalt ist sachlich kein Kohlenhydrat mer, deshalb darf das Produkt aus ihm als Zucker-frei bezeichnet werden. Geschmacklich kommt Isomalt der Saccharose sehr nah. Es wird von den Verduungs-Enzymen langsamer gespalten und passiert den Magen-Darm-Kanal z.T. ungenutzt. So ergibt sich ein praktisch halbierter pysiologischer Brennwert im Vergleich zum Rohrzucker.

Materialien / Geräte:
Isomalt, Wasser, Zitronen- od. Apfelsäure, Lebensmittel-Farbstoffe, Aromen od. Frusip (1 : 40), Backpapier od. Alu-Pralinen-Förmchen, ev. Schaschlik-Stäbchen od. Zahnstecher, Folie und Geschenk-Band

Durchführung / Ablauf:
- 100 g Isomalt wird unter Rühren erhitzt (geschmolzen)
- weiter, wie obiges Experiment (ab 2. Anstrich der Durchführung)

Zusatzuntersuchung:
- mischen sie Farben mit eigentlich nicht dazu gehörigen Aromen

Hinweise:
- Masse wird sehr heiß (rund 150 °C)! Probieren nur nach Abkühlen der gezogenen Proben!!! Grate und Spitzen können sehr scharf sein!

Q: WAGNER, Uni Bayreuth,

Grundlagen / Prinzipien:

Materialien / Geräte:

Durchführung / Ablauf:

-

Zusatzuntersuchung:

-

Hinweise:

-

3.2.7. ausgewählte Kohlenhydrat-haltige Lebensmittel im Einzelnen

3.2.7.1. Haushaltszucker (Rübenzucker, Rohrzucker, Zucker)

Saccharose in verschiedenen Reinheitsgraden und Kristallformen

Quellen / Herkunft

Zuckerrübe ((s))

Zuckerrohr ((s))

Herstellung

Ernährungs-physiologische Bedeutung

heute eher problematisch gesehen
Karies
durch Zucker wird Serotonin (Glücks-Hormon) ausgeschüttet, es entsteht eine latente Sucht, Sucht-Kreis schaukelt sich auf (es gibt kaum eine physiologische Beschränkung)
schnelle und effektive Energie-Versorgung möglich, relativ hohe Gesamt-Energie-Dichte

technologische Bedeutung / Nutzung und Verwendung

zum Süßen
zur Gärförderung (z.B. Hefeteige), Produktion alkoholischer Getränke
zum Bräunen (Karamelisierung)
zum Glasieren (Fondant)
zur Konservierung (Sirup, Marmeladen, Gelee's, Konfitüren, kandierte Früchte)

Wasser-Löslichkeit
gut für schnellen und durchsetzenden Übergang in das andere Lebensmittel

schlecht beim Auflösen / Flüssigwerden von Glasuren, werden klebrig, unansehnlich
zieht teilweise Wasser aus der Luft oder aus anderen Lebensmittel (z.B. Erdbeeren werden weich und pappig)

(Handels-)Sorte	Beschreibung / Kenngrößen	Verwendung

Brauner Zucker (Kandisfarin)	braun, mindere Reinheit Körnung 1 – 2 mm	aromatisches Süßen
Gelierzucker	weiß (Raffinade) enthält neben Saccharose noch Pektin (1 %) und Wein- od. Zitronensäure (1 %)	Gelee's und Marmeladen
Grümmel Kandis	braun, langsam aus reiner Zucker-Lösung auskristallisiert, mit Zusatz von karamellisiertem Zucker Körnung 2 – 5 mm	Teigzutat bei Honigkuchen
Hagelzucker	weiß Körnung um 3 mm	Dekoration
Kluntje-Kandis	weiß, langsam aus reiner Zucker-Lösung auskristallisiert, bis 3 cm	Süßungsmittel für Tee
Kristallzucker **Weißzucker**	weiß Körnung um 1 mm (Grundsorte, Gebrauchszucker)	Teige, Massen Süßungsmittel Zutat zu Süßspeisen Gelee's, Marmeladen
Krustenkandis	braun langsam aus reiner Zucker-Lösung auskristallisiert, mit Zusatz von karamellisiertem Zucker bis 2 cm gebrochene Kristalle	Süßungsmittel für Tee
Raffinade	weiß, sehr rein sehr reiner Zucker verschiedene Kristall-Größen	Teige, Massen
Staubzucker **Puderzucker**	weiß gemahlen (meist Raffinade)	Dekoration, Herstellung von Zuckerguß Teigzutat bei Mürbeteig Ausrollhilfe für Marzipan
Weißerzucker (weißer Kandis)	weiß bis 1 cm	
Würfelzucker	weiß, selten braun Raffinade, die zum Pressen leicht angefeuchtet wird gepresste Stücke mit Volumen um 1 cm^3	Süßungsmittel für Heißgetränke
Zuckerhut	gepresste Raffinade	Feuerzangenbowle, Punsch

Zucker-Produkte	Beschreibung / Kenngrößen	Verwendung
Vanille-Zucker	mit echter Bourbon-Vanille (Mark)	Speise-Eis Teige und Massen
Vanillin-Zucker	mit 0,1% Vanillin (naturidentischer Aromastoff (künstlich hergestellt!))	Teige und Massen
Flüssigzucker **Läuterzucker**	gesättigte Lösung mit mind. 62 % Saccharose	Süßen von Sahne Zuckerziehen
Invertflüssigzucker	wässrige Lösung mit teilweise invertiertem Zucker, mind. 62 % Zucker	Lebkuchen Füllungen
Inverzuckersirup	wässrige Lösung mit hohem Invertzucker-Anteil	bewirkt verstärkt Frischhaltung und Gebäckbräunung

Heute wird brauner Zucker nachträglich aus weißem hergestellt, indem Zuckersirup zum Anfärben dazugemischt wird.
Dekorpuder ist Staubzucker mit Reis-Stärke und Fett-Anteilen, Dekorzucker löst sich nicht mehr Flüssigkeiten, bsonders gut zum bestäuben von Backwaren usw. geeignet

Stufe	Temperatur-	Bezeichnung	Geschmack u.	Verwendung

	bereich		weitere Eigenschaften	
1		**flüssiger Zucker**	süß farblos	Fondant
2		**heller Karamel**	süß farblos (weiß)	Krokant
3		**dunkler Karamel**	süß und leicht bitter hellbraun	Krokant
4		**Zuckercoleur**	bitter und leicht süß dunkelbraun	Färbemittel für Backwaren (z.B. Brot), Getränke (z.B. Rum, Malzbier, Weinbrand, Cola) und Soßen
		Asche	sehr bitter schwarz stechend riechend	*für menschliche Ernährung nicht mehr geeignet*

In der großtechnischen Produktion werden bei der Herstellung von Zuckercoleur (E 150) Katalysatoren (Reaktionsbeschleuniger) verwendet. Dies können Kalium- od. Natriumhydroxid oder auch die Ammonium-, Natrium- od. Kalium-Salze von Essig-, Phosphor- od. Zitronensäure sein. Unbedenklicher ist als Färbemittel Malzextrakt, da es ohne Reaktionsbeschleuniger hergestellt wird.

3.2.7.2. Getreide und Getreide-Mehl

mit einem Kohlenhydrat-Gehalt von 59 – 72 % sind Getreide und Mehle im Prinzip den Kohlenhydrat-haltigen Lebensmittel zuzuordnen
aber wegen der Besonderheiten im Zusammenspiel von Kohlenhydraten und Proteinen bei Teigen und Back-Produkten erst bei den Proteinen behandelt

Zutat für Teige

Verdickungmittel für Soßen

3.2.7.3. Kartoffeln und Kartoffel-Stärke

3.2.8. spezielle Kohlenhydrate – modern genutzt

3.2.8.1. Mais-Stärke

Verpackungsmaterial
recyclebares Einweg-Besteck (nachhaltiges Wirtschaften)

3.2.9. Zucker-Ersatzstoffe und Süßstoffe

ZES ... Zuckerersatzstoff (im Sinne des Lebensmittelgesetzes) sind aus natürlichen Quellen stammende und künstlich abgewandelte Süßstoffe (zumeist Kohlenhydrate), meist weniger süß aber auch mit weniger physiologischer Energie, einige werden auch unabhängig vom Insulin-Regulations-System im Körper verwertet, was eine Verwendung für Diabetiker ermöglicht (z.B. Fruchtzucker)
Sionon (Gemisch aus 99,89 % Sorbit und 0,11 % Saccharin) besitzt eine Süßkraft von 50 % (gegenüber Saccharose)
SSt ... Süßstoffe (im Sinne des Lebensmittelgesetzes) künstlich / synthetisch gewonnene Stoffe, die als Süßmittel dienen und eine (deutlich) höhere Süßkraft als Saccharose haben.
keinen physiologischen Energiewert, weil in den Zellen kein Abbau der Stoffe erfolgt (fehlende Enzym-Bestecke)
Beispiele Saccharin (Süßkraft 30.000 – 50.000 im Vergleich zu Saccharose), Cylamate (1.500 – 3.000) und Aspartame (20.000)
im Handel Gemische aus Cyclamat und Saccharin (10 : 1), um den bitteren Nachgeschmack von reinem Saccharin besser zu gestalten (Süßkraft 9.000)

Stoff	Stoffart	Süßkraft [%]	physiologischer Brennwert
Saccharose	**KH**	**100**	**16,8 kJ/g**
Acesulfam K	SSt	20.000	-
Aspartam	SSt	15.000 – 25.000	28 kJ/g
Bienenhonig	(KH)	90	13,8 kJ/g
Cyclamat		3.000 – 5.000	-
Fructose	KH		16,8 kJ/g
Glucose	KH		16,8 kJ/g
Isomalt	ZES	45	
Lactit	ZES	35	
Lycasin	ZES	75	16,8 kJ/g
Maltit	ZES	78	16,8 kJ/g
Mannit	ZES	50 / 70	16,8 kJ/g
Palatinit	ZES	85	16,8 kJ/g
Saccharin	SSt	30.000 – 50.000	-
Sorbit	ZES	50	10,0 kJ/g
L-Sorbose	KH / ZES	85	16,8 kJ/g
Xylit	ZES	100 / 90	10,0 / 16,8 kJ/g

KH … Kohlenhydrat
SSt … Süßstoff
ZES … Zucker-Ersatz-Stoff

3.3. Eiweiße

Aufgabe:

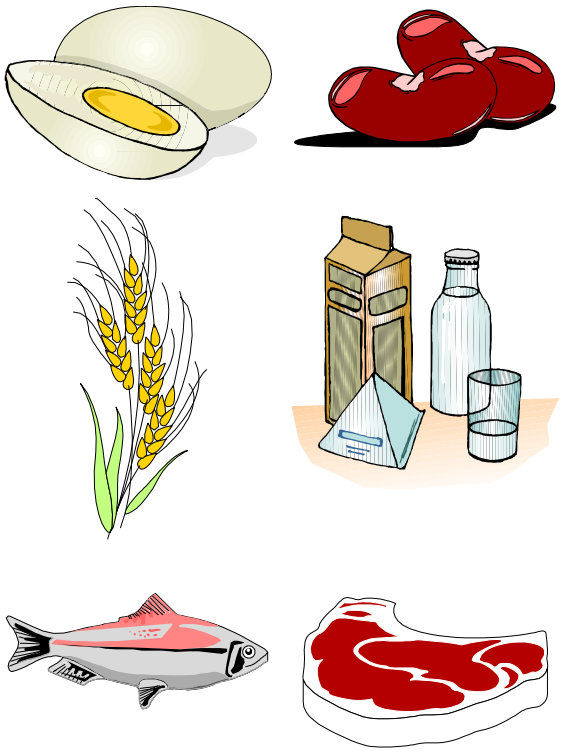
1. Erstellen Sie eine Mindmap mit allen Ihren Gedanken und Assoziationen zum Thema Eiweiße!
2. Verknüpfen Sie Ihre Mindmap mit denen von anderen Kursteilnehmern!

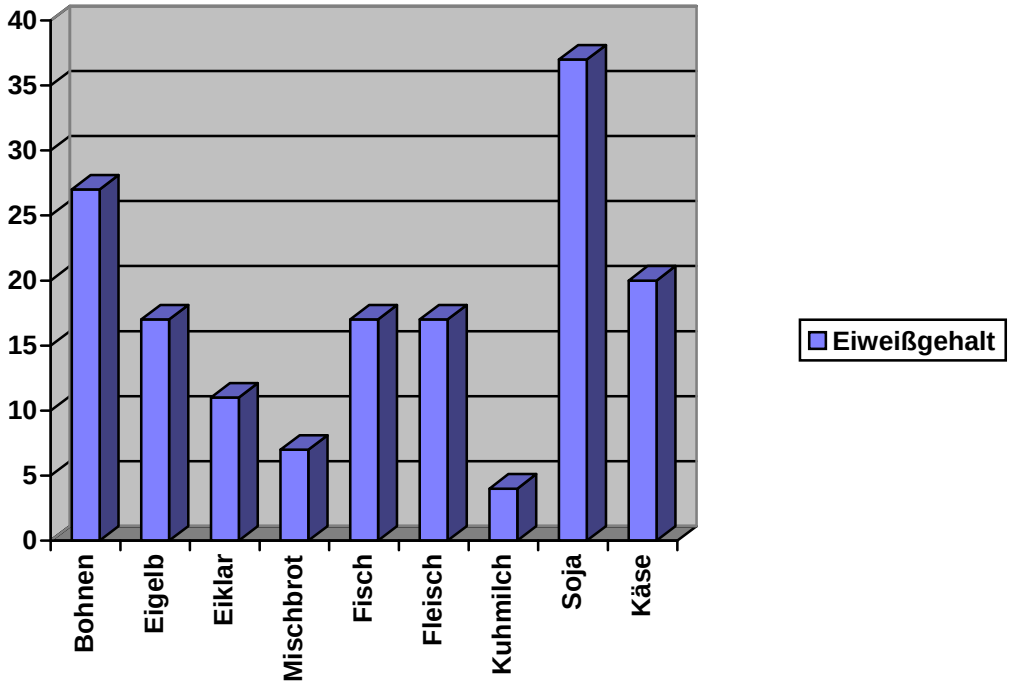
Eiweiße - wissenschaftlich auch **Protein**e genannt - spielen für unser Leben eine entscheidende Rolle. Wie die Kohlenhydrate und Fette sind auch die Eiweiße Bau- und Betriebsstoffe. Eiweiße besitzen aber für die Existenz und Stabilität des Lebens auf der Erde die größte Bedeutung. Die Vielgestaltigkeit der Eiweiße ermöglicht den großen Variantenreichtum an Lebensformen auf unserer Erde. Jede Pflanzen- oder Tierart hat eigene Eiweiße. Selbst jeder Mensch besitzt individuelle Eiweiße. Deshalb gibt es unter Anderem so viele Probleme bei der Transplantation von Organen.
Eiweiße sind neben den Nucleinsäuren (RNS / DNS) ein wichtiges Standbein des Lebens auf unser Erde. Das Leben auf der Erde wird deshalb oft auch als Eiweiß-Leben bezeichnet. Die Eiweiße sind schenbar so wichtig, dass die Wissenschaftler sogar einen Begriff für die Gesamtheit aller Eiweiße in einer Zelle geprägt haben – das Proteom.
Jedes Eiweiß hat in einem Lebewesen mindestens eine wichtige Aufgabe. Z.B. ist das Eiweiß Amylase für die Zerlegung von Stärke in Einfachzucker verantwortlich. Für jeden chemischen Prozeß ist im Stoffwechsel der Zellen ein solches Eiweiß notwendig. Sie sind Hilfsstoffe (Katalysatoren) für die verschiedensten Vorgänge. Man nennt sie auch **Enzyme** oder **Wirkstoffe** (siehe auch Abschnitt 4.2. Wirkstoffe). Enzyme repräsentieren also hauptsächlich den Bereich Betriebsstoffe. Im Notfall können Eiweiße sogar zur Energiegewinnung genutzt werden.
Die Eiweiße Myosin und Actin sind die Bestandteile der Muskelfasern, die eine Verkürzung (Kontraktion, Zusammenziehen) der Muskeln ermöglichen. Hier handelt es sich also eher um Baustoffe. Andere Eiweiße mit Baustoff-Funktion sind u.a. Kollagen (Gelenke, Bindegewebe, ...), Kreatin (Horn, Haare, Nägel, ...), Seide (Insekten-Cocons, Spinnen-Netze, ...) und Tubulin (Geißeln, Flimmerhäarchen, Spindelapparat, ...). All diese Proteine nennt man auch **Struktur-Proteine** (Baustoffe).
Das Protein Insulin dient in unserem Körper z.B. nur als **Botenstoff** (Hormon) bei der Blutzuckerregulation. Andere Protein- bzw. Peptid-basiserte Hormone sind z.B. Ocytocin und das FSH (Follikel-stimmulierendes Hormon (Follikel – Vorstufen der Eizellen)). Sie informieren den Organsimus über eine bestimmte Situation und lösen dann spezielle Stoffwechsel-Vorgänge (Signaleketten und Metabolismen) aus.
Einige Proteine wirken auch direkt in der Informations-Speicherung und –Verarbeitung mit. Dazu gehören Proteine und Peptide (Regulatoren), die z.B. die DNS blockieren, um ihre Ablesung zu verhindern.
Rezeptoren basieren ebenfalls vorrangig auf Eiweiß-Strukturen. Sie nehmen Informationen (z.B. die Anwesenheit anderer Stoffe) aus der Umgebung auf. Im Inneren der Zelle lösen sie dann zumeist Signalketten aus, die dann wieder bestimmte Stoffwechselvorgänge beeinflussen.
Wieder andere Eiweiße (z.B. das Pigment Melanin) dienen "nur" als **Farbstoffe**. Ihre Menge bestimmt z.B. über Augen-, Haar- und Hautfarbe. Der Farbstoff Opsin sorgt für die Möglichkeit des Sehens. Er ist einer der sogenannten Sehfarbstoffe. Bei diesen Eiweißen würde man wohl wieder eine Zuordnung in den Bereich Baustoffe vornehmen.
Eiweiße, wie das Hämoglobin oder andere Blutfarbstoffe, dienen vornehmlich dem Transport von verschiedensten Stoffen (**Transport-Proteine**). Im Blut sind dies meist die schwerer löslichen Gase Sauerstoff und ev. auch noch Cohlendioxid. In den Zellmembranen sorgen verschiedenste Proteine (Carrier, Tunnel- od. Kanal-Proteine, Pumpen) für einen Stoffaustausch mit der Zellumgebung.

Wieder andere Proteien speichern Stoffe und auch Energie für die Zellen bzw. den Organismus. Der rot-braune Muskelfarbstoff Myoglobin ist ein sehr effektiver Speicherstoff für Sauerstoff in den Muskeln.
Weitere unzählige Eiweiße spielen als Gerinnungsfaktoren beim Blut, als Antikörper bei Immunreaktionen und Toxinen (von Schlangen, Insekten, Quallen, …) eine große Rolle in der Natur. Sie werden zu den **Schutz-Proteinen** zusammengefasst.

3.3.1. Eiweißhaltige Nahrungsmittel

Inbegriff eiweißreicher Nahrungsmittel ist sicher das mit namensgebende Hühnerei. Natürlich sind alle Eier besonders eiweißhaltig. Dabei sollte man beachten, dass nicht nur das Eiklar (Dotter) Eiweiße enthält. Auch das Eigelb besteht im Wesentlichen (neben Wasser) aus Eiweiß.
Wichtige andere Eiweißlieferanten sind Fleisch, Milch, Fisch, Getreide, Hülsenfrüchte und deren Produkte.
Der Gehalt an Eiweiß schwankt dabei in den einzelnen Nahrungsmittel sehr stark. Im Allgemeinen wird bei der Anteilsbetrachtung von der Trockenmasse einer Probe ausgegangen. Damit fällt der sehr schnell schwankende Wasseranteil weg. Die Verhältnisse zwischen den anderen Bestandteilen untereinander sind sonst recht stabil.





Aufgabe:

Ermitteln Sie für fünf Lebensmittel den Eiweißgehalt laut Verpackungsetikett!

3.3.2. Aufbau der Eiweiße

3.3.2.1. Aminosäuren

Eiweiße bestehen aus Aminosäuren (Abk.: AS). Aminosäuren besitzen in ihrem Molekül zwei wichtige funktionelle Gruppen. An einem Ende des Moleküls haben sie eine Säuregruppe (Carboxal-Gruppe), wie die Fettsäuren. An der Seite befindet sich eine basische Aminogruppe. Alle Aminosäuren, die in Proteinen zu finden sind, gehören zu den sogenannten 2-Aminosäuren (früher: α-Aminosäuren). Wir nennen sie auch **protenogene** Aminosäuren. Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass die Amino-Gruppe an der 2. Position hinter der höchstoxidierten Gruppe (hier Carboxyl- / Säure-Gruppe) angeordnet ist. (Dabei ist natürlich auch zu beachten, dass in der Chemie die Regel besteht, immer die kleinsten natürlichen Zahlen für Positionsangaben zu benutzen!)
In der Natur und erst Recht in der modernen Chemie sind auch andere Aminosäuren bekannt, bei denen die Amino-Gruppe an anderer Stelle eingebaut ist. Sie sind in biologischen System nur sehr selten zu finden und werden vor allem nicht für den Aufbau von Proteinen verwendet.
Eine der einfachsten, eiweißbildenden Aminosäuren **Alanin** besitzt die Formeln:

```
     Amino-Gruppe (basisch)
       H   H
        \ /
      H   N     O      Carboxyl-
      |   |    //       Gruppe
  H - C - C - C        (sauer)
      |   |    \
      H   H     O - H

  CH3 - HCNH2 - COOH
```

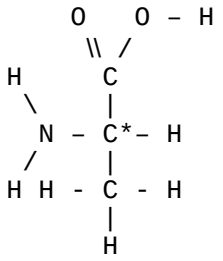
Das andere Ende der Aminosäure-Moleküle ist sehr variabel. Diese Molekül-Reste können unterschiedlich lang ausfallen. Es gibt Aminosäuren mit sauren oder basischen Enden. Aber auch aromatische Enden oder schwefelhaltige Molekülreste sind bekannt.
Am Seltsamsten ist die Erkenntnis, dass es nur etwa 20 verschiedene Aminosäuren in allen Bakterien, Pilzen, Pflanzen und Tieren gibt. Wie es zur Vielgestaltigkeit der Eiweiße kommt, sehen wir uns später an. Hier wollen wir uns erst einmal einen Überblick über die Aminosäuren geben lassen:

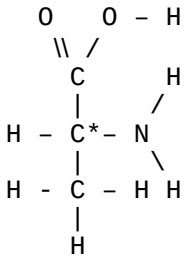
Aminosäure	Abk.
Alanin	Ala
Arginin	***Arg***
Asparagin	Asn
Asparaginsäure	Asp
Cystein	Cys
Glutamin	Gln
Glutaminsäure	Glu
Glycin	Gly
Histidin	***His***
Isoleucin	***Iso***

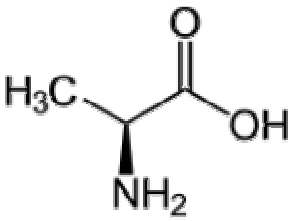
Aminosäure	Abk.
Leucin	***Leu***
Lysin	***Lys***
Methionin	***Met***
Phenylalanin	***Phe***
Prolin	Pro
Serin	Ser
Threonin	***Thr***
Tryptophan	Try
Tyrosin	Tyr
Valin	***Val***

Die hervorgehobenen Aminosäuren sind für Menschen essentiell. Für Arginin und Histidin gilt das nur im Säuglingsalter. Genau, wie bei den essentiellen Fettsäuren sind wir auf die Aufnahme dieser Aminosäuren angewiesen. Unser Körper ist nicht in der Lage sie selber herzustellen.
Die genaue Struktur der Reste können Sie dem nachfolgendem Abschnitt und der Übersicht – einige Seiten weiter – entnehmen.

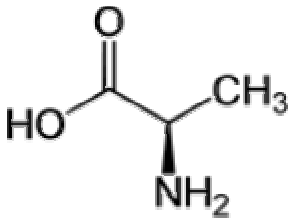
Bei der genaueren Betrachtung der Strukturformeln fällt schnell auf, dass die Aminosäuren (außer Glycin) mindestens ein asymetrisches Cohlenstoff-Atom (C*) besitzen. Aminosäuren sind also ebenfalls optisch aktiv. Sie verändern die Schwingungsebene des polarisierten Lichtes. Mit ihren speziellen Drehwinkeln lassen sich reine Aminosäuren charakterisieren.
In der Natur werden nur die L-Isomere in Proteinen verbaut.
Zur Vereinfachung benutzen wir an einigen Stellen in diesem Skript folgende Symbole für verschiedene Aminosäuren. Als Basis dient das Modell vieler Lehrbücher, wo die Eiweiße als Ketten von Winkel-Stücken dargestellt werden. Eine einzelne Aminosäure entspricht dabei einem einzelnen Winkel-Stück. Für unser Modell werden noch die charakteristischen funktionellen Gruppen und die Aminosäure-spezifischen Reste dargestellt.



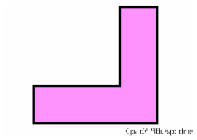




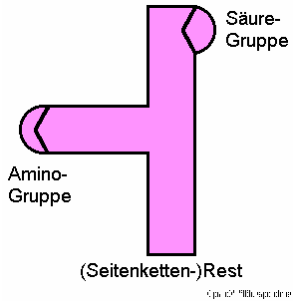
L-Alanin



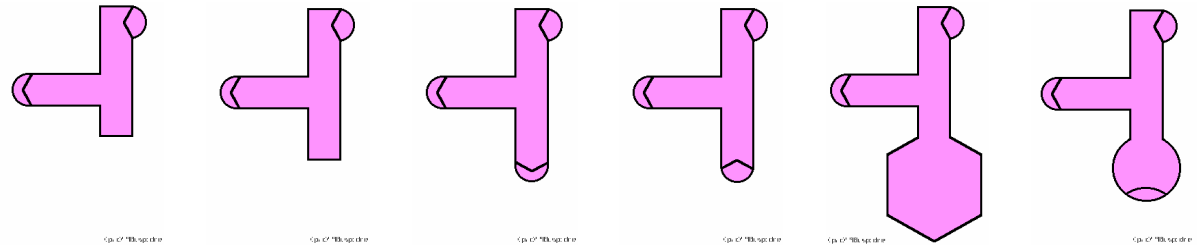
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)
D-Alanin



einfaches Modell einer Aminosäure



Modell einer Aminosäure mit den verschiedenen Struktur-Abschnitten



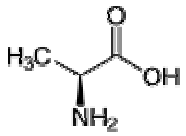
Aufgaben:

1. *Zeichen Sie die Struktur-Formel einer nichtprotenogenen Aminosäure auf! Erläutern Sie, warum Sie die Struktur so gewählt haben!*
2. *Warum ist Glycin eigentlich keine optische aktive Substanz?*
3. *Warum werden bei den Aminosäuren die L-Isomere in den Lebewesen verwendet, obwohl es bei den Zuckern die D-Isomere sind? Begründen Sie Ihre Meinung!*

3.3.2.1.1. proteinogene Aminosäuren

Alanin

L-(+)-Alanin, L-α-Aminopropionsäure, L-2-Aminopropansäure, (*S*)-2-Aminopropansäure
Name vom Begriff Aldehyd abgeleitet, erstmals als Strecker von Acetaldehyd beschrieben worden



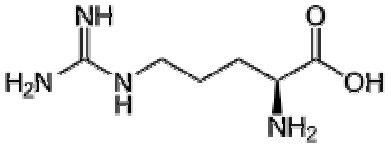
Gitter-Strukturformel von Alanin
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Bau, Vorkommen:
farblos bis gelblich, fest, gut löslich in Wasser, schlecht in Ethanol löslich; in Diethylether unlöslich

Besondere Eigenschaften, Bedeutung:
Alanin ist mit Leucin und Glutaminsäure ursächlich an der Helix-Bildung (Sekundärstruktur) beteiligt (Helix-Bildner)
Verwendung für Infusions-Lösungen (z.B. zur diätetischen und parentalen (künstlichen) Ernährung)
In der Welt der Bakterien wird auch D-Alanin verwendet. Hier ist am Bau des Mureins beteiligt, welches die Zellwände der Bakterien charakterisiert.

Arginin

(*S*)-Arginin;
Name von Argentum (Silber (chem Symbol: Ag) abgeleitet, da es als Silbersalz zuerst extrahiert wurde



Gitter-Strukturformel von Arginin
Q: : de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Bau, Vorkommen:
Guarnidin-Gruppe → stark basisch
fest, weiß, gut in Wasser löslich, schmeckt bitter
LD_{50} = 5110 mg / kg [Körpergewicht] (Ratte, peroral)

Lebensmittel	Eiweiß-Anteil [%]	Arginin-Anteil [%] vom Eiweiß	Lebensmittel	Eiweiß-Anteil [%]	Arginin-Anteil [%] vom Eiweiß
			Mais-Vollkornmehl	6,93	5
Buchweizen-Körner	13,25	7,4			
Erdnuß, geröstet	23,68	11,9	Pinien-Kerne	13,69	17,6
Erbsen, getrocknet	24,55	8,9			
Hühner-Ei	11,57	6,5	Reis, ungeschält	7,94	7,6
Hühner-Brustfilet	21,23	6,8			
			Schweine-Fleisch, roh	20,95	6,7
Lachs, roh	20,42	6,0			
Kuh-Milch, 3,7% Fett	3,28	3,6	Walnüsse	15,23	15,0
Kürbis-Kerne	30,23	17,7	Weizen-Vollkornmehl	13,70	4,7

Daten-Q: de.wikipedia.org/wiki/Arginin

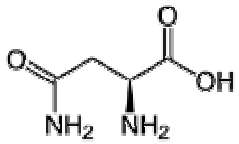
Besondere Eigenschaften, Bedeutung:

in Keimlingen und pflanzlichen Speicher-Zellen als Stickstoff-Reservoir
durch Arginin wird Immun-System aktiviert / gestärkt (Phagocytose von Fremdkörpern, Reduktion der Funktionsstörungen bei T-Helferzellen)
führt zur Erschlaffung der glatten Muskelatur, in der Folge wirkt es dann Gefäß-erweiternd, deshalb gerne von Body-Buildern als sogenanntes "Pump-Supplement" verwendet,

nach Operationen, schweren Schädigungen des Immun-Systems, Mangel-Ernährung und inneren Verletzungen scheint sich nach Arginin-Gabe die Immun-Antwort zu verbessern
Arginin kann innerhalb des Harnstoff-Wechsels (Ornithin- bzw. KREBS-HENSELEIT-Zyklus) selbst gebildet werden, Menge ist aber schon für den normalen Stoff-Umsatz unzureichend, Nahrung sollte also eine ausreichende Menge Arginin-haltiger Nahrungs-Proteine zu sich genommen werden.
Arginin ist für Kinder (und für Heranwachsende) essentiell. Bei einer feineren Differenzierung bezeichnen wir Arginin als semi-essentielle Aminosäure. Weiterhin steigt der Bedarf bei diversen Krankheiten, wie z.B. Arteriosklerose und anderen Gefäß-Erkrankungen, Bluthochdruck-Erkrankungen oder erektiler Dysfunktion
In der Kinderheilkunde wird Arginin vielfach bei verschiedenen Wachstums-Störungen und Stoffwechsel-Erkrankungen eingesetzt.
Erwachsene kommen ev. über Nahrungs-Ergänzungen oder speziellen (z.B. bilanzierten) Diäten mit freiem Arginin in Kontakt. In beiden Anwendungs-Gebieten konnte ein gesicherter positiver Effekt noch nicht nachgewiesen werden.
Eine ausgwogene Ernährung – mit ev. etwas mehr Arginin-reichen Proteinen – ist trophologisch eher zu empfehlen.

Asparagin

2-Amino-3-carbamoylpropansäure, (S)-Asparagin
Name abgeleitet von Asparagus (dt.: Spargel)

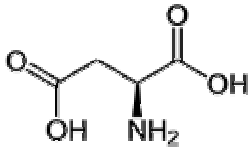


Gitter-Strukturformel von Asparagin
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Bau, Vorkommen:
basisches Derivat der sauren Asparaginsäure, farblos, fest, schlecht in Wasser löslich, schmeckt süßlich (D-Asparagin schmeckt bitter)
relativ große Mengen kommen in Leguminosen (Hülsenfrüchten) und Spargel vor
Besondere Eigenschaften, Bedeutung:
verwendet in Infusions-Lösungen für die parentale (künstliche) Ernährung
Bei Anwesenheit von reduzierenden Zuckern kann sich Asparagin zu cancerogen Acrylamid umwandeln. Nebenbedingen dafür sind ein geringer Wasser-Gehalt und hohe Temperaturen

Asparaginsäure

(*S*)-(+)-Aminobernsteinsäure, 2-Aminobutandisäure
Name abgeleitet von Asparagus (dt.: Spargel)



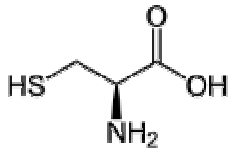
Gitter-Strukturformel von Asparaginsäure
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Bau, Vorkommen:
fest, farblos, kristallin (Blättchen od. Stäbchen),schlecht in Wasser löslich

im Körper fast ausschließlich in der deprotonisierten Form vorkommend, deshalb spricht man entsprechend dem Säurerest-Namen von Aspartat
Asparaginsäure kann in unseren Zellen selbst hergestellt werden. Dazu wird Oxalessigsäure (Oxalacetat; aus dem Zitronensäure–Zyklus) transaminiert (Übernahme einer Aminogruppe von einem anderen Stoff)
Besondere Eigenschaften, Bedeutung:
spielt neben seine wichtigen Rolle bei der Protein-Bildung eine große Bedeutung als Neuro-Transmitter (Informations-Überträger an Synapsen)
weiterhin wichtiger Bestandteil (Metabolit) des Harnstoff-Wechsels
heute wird viel Asparaginsäure für die Produktion von Aspartam (einem künstlichen Süßstoff) verwendet
in Infusions-Lösungen für die parentale (künstliche) Ernährung enthalten

Cystein

α-Aminothiopropionsäure, 2-Aminothiopropansäure, 2-Amino-3-sulfanylpropansäure, (*R*)-Thioserin
Name abgeleitet vom griechischen kystis (dt.: Harnblase). Cystein wurde 1810 erstmals von WOLLASTON in Harsteinen gefunden



Gitter-Strukturformel von Cystein
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

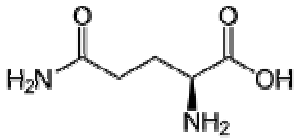
Bau, Vorkommen:
Schwefel-haltig, Thiol-Gruppe
fest, farblos, charakteristischer Geruch
größere Mengen im (Eiweiß) Kreatin, aus dem z.B. Haare, Borsten, Hörner, Nägel, Federn, Hornhaut usw. bestehen
bei Erwachsenen wird Cystein in der Leber gebildet

Besondere Eigenschaften, Bedeutung:
Zwei Cystein-Moleküle können eine Disulfid-Brücke ausbilden (Verbindung wird Cystin genannt). Solche Disulfid-Brücken sind bei der sogenannten Tertiär-Struktur der Proteine für die Struktur-Bildung und –Stabilität verantwortlich. Die Auflösung der Disulfid-Brücken z-B. durch hohe Temperaturen führt zur irreversiblen Denaturierung des Eiweißes.

Glutamin

Bau, Vorkommen:

Name abgeleitet von griech. glutinum (dt.: Leim)



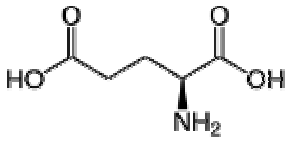
Gitter-Strukturformel von Glutamin
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Besondere Eigenschaften, Bedeutung:
Baustein der Muskeln, sehr bedeutsam bei der Ernährung der Nerven-Zellen; durch vermehrte Glutamin-Gabe oder –Anteile in der Nahrung soll Konzentrationsfähigkeit gesteigert werden können

Glutaminsäure

Bau, Vorkommen:

Name abgeleitet von griech. glutinum (dt.: Leim)



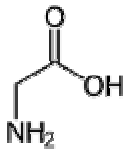
Gitter-Strukturformel von Glutaminsäure
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Besondere Eigenschaften, Bedeutung:

Glycin

α-Aminoessigsäure, 2-Aminoethansäure, Gykokoll

Name abgeleitet von griech. glykeros (dt.: süß)



Gitter-Strukturformel von Glycin
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Bau, Vorkommen:

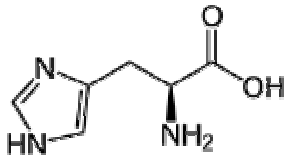
Besondere Eigenschaften, Bedeutung:

Histidin

Bau, Vorkommen:

Name abgeleitet von griech. histos (dt.: Gewebe)

Besondere Eigenschaften, Bedeutung:



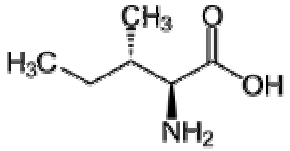
Gitter-Strukturformel von Histidin
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Isoleucin

Bau, Vorkommen:

Name abgeleitet von griech. leukos (dt.: weiß)

Besondere Eigenschaften, Bedeutung:



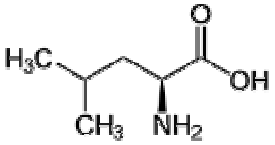
Gitter-Strukturformel von Isoleicin
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Leucin

Bau, Vorkommen:

Name abgeleitet von griech. leukos (dt.: weiß)

Besondere Eigenschaften, Bedeutung:



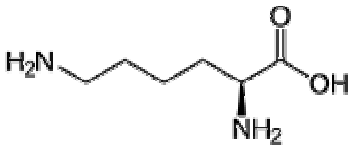
Gitter-Strukturformel von Leucin
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Lysin

Bau, Vorkommen:

Name abgeleitet von griech. lysis (dt.: Lösung)

Besondere Eigenschaften, Bedeutung:



Gitter-Strukturformel von Lysin
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

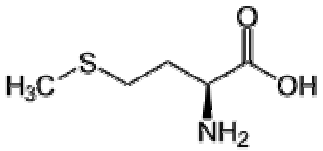
Methionin

Methylthionin

Bau, Vorkommen:

Name abgeleitet von griech. theion (dt.: Schwefel)

Besondere Eigenschaften, Bedeutung:

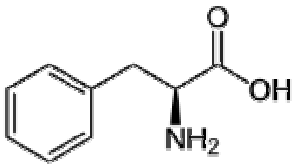


Gitter-Strukturformel von Methionin
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Phenylalanin

Bau, Vorkommen:

Name vom phenolischen Ring und dem Begriff Aldehyd abgeleitet



Gitter-Strukturformel von Phenylalanin

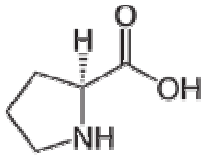
Besondere Eigenschaften, Bedeutung:

Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Prolin

Bau, Vorkommen:

1904 von Emil FISCHER aus Pyrrolidin hergestellt



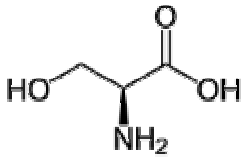
Gitter-Strukturformel von Prolin
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Besondere Eigenschaften, Bedeutung:

Serin

Bau, Vorkommen:

Name abgeleitet von lat. sericum (dt.: Seide), entdeckt 1865 von CRAMER im Hydrolysat von Seide



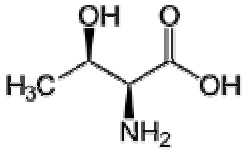
Gitter-Strukturformel von Serin
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Besondere Eigenschaften, Bedeutung:

Threonin

Bau, Vorkommen:

Benennung wegen der stereochemischen Ähnlichkeit zur Threose – einer Aldotetrose



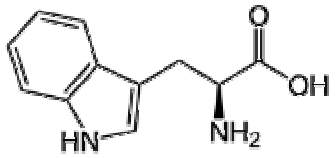
Gitter-Strukturformel von Threonin
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Besondere Eigenschaften, Bedeutung:

Tryptophan

Bau, Vorkommen:

Name ist eine Kombination aus Trypsin (Eiweiß-abbauendes Enzym) und dem griech. phainein (dt.: erscheinen), durch KOSSEL 1896 bei der Versetzung von Eiweißen mit Trypsin entdeckt



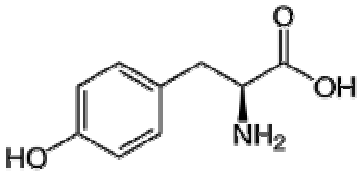
Gitter-Strukturformel von Tryptophan
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

Besondere Eigenschaften, Bedeutung:

Tyrosin

Bau, Vorkommen:

Name abgeleitet von griech. tyros (dt.: Käse), 1846 von LIEBIG aus Käse extrahiert



Gitter-Strukturformel von Tyrosin
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

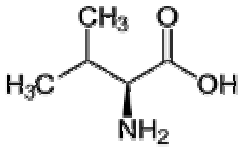
Besondere Eigenschaften, Bedeutung:

Valin

Bau, Vorkommen:

Name abgeleitet von lat. validus (dt.: gesund, kräftig)

Besondere Eigenschaften, Bedeutung:

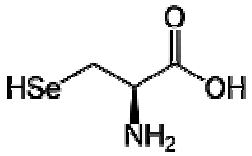


Gitter-Strukturformel von Valin
Q: de.wikipedia.org (NEUROtiker)

3.3.2.1.1.1. besondere Aminosäuren

Selenocystein

L-2-Amino-3-hydroselenopropansäure; (*R*)-Selenocystein; Sec; U
Bau, Vorkommen:
endständige (primäre) Thiol-Gruppe
Besondere Eigenschaften, Bedeutung:
Selen-Träger
Stop-Aminosäure bei der Bildung von Polypeptid-Ketten

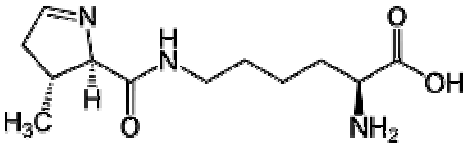


Q: de.wikipedia.org (Yikrazuul)

im gewissen Maße die 21. proteinogene Aminosäure
während der Translation durch die sogenannte Rekodierung in Proteine eingebaut
derzeit 30 eucaryotische und 15 bakterielle Enzyme bekannt, die Selenocystein in der Peptid-Kette enthalten; zumeist Redox-Enzyme bei denen das Selen des Selencysteins mit das aktive (reaktive) Zentrum des Enzyms bildet

Pyrrolysin

(2*S*)-2-Amino-6-{[(2*R*,3*R*)-3-methyl- 3,4-dihydro-2*H*-pyrrole-2-carbonyl] amino}hexansäure
Bau, Vorkommen:
fest
Besondere Eigenschaften, Bedeutung:
codogen (kanonisch) bei einigen Archaeen; durch UAG-Stop-Codon verschlüsselt



Q: de.wikipedia.org (Yikrazuul)

3.3.2.1.2. bedeutende nichtproteinogene Aminosäuren

Bau, Vorkommen:

Q:

Besondere Eigenschaften, Bedeutung:

Bau, Vorkommen:

Q:

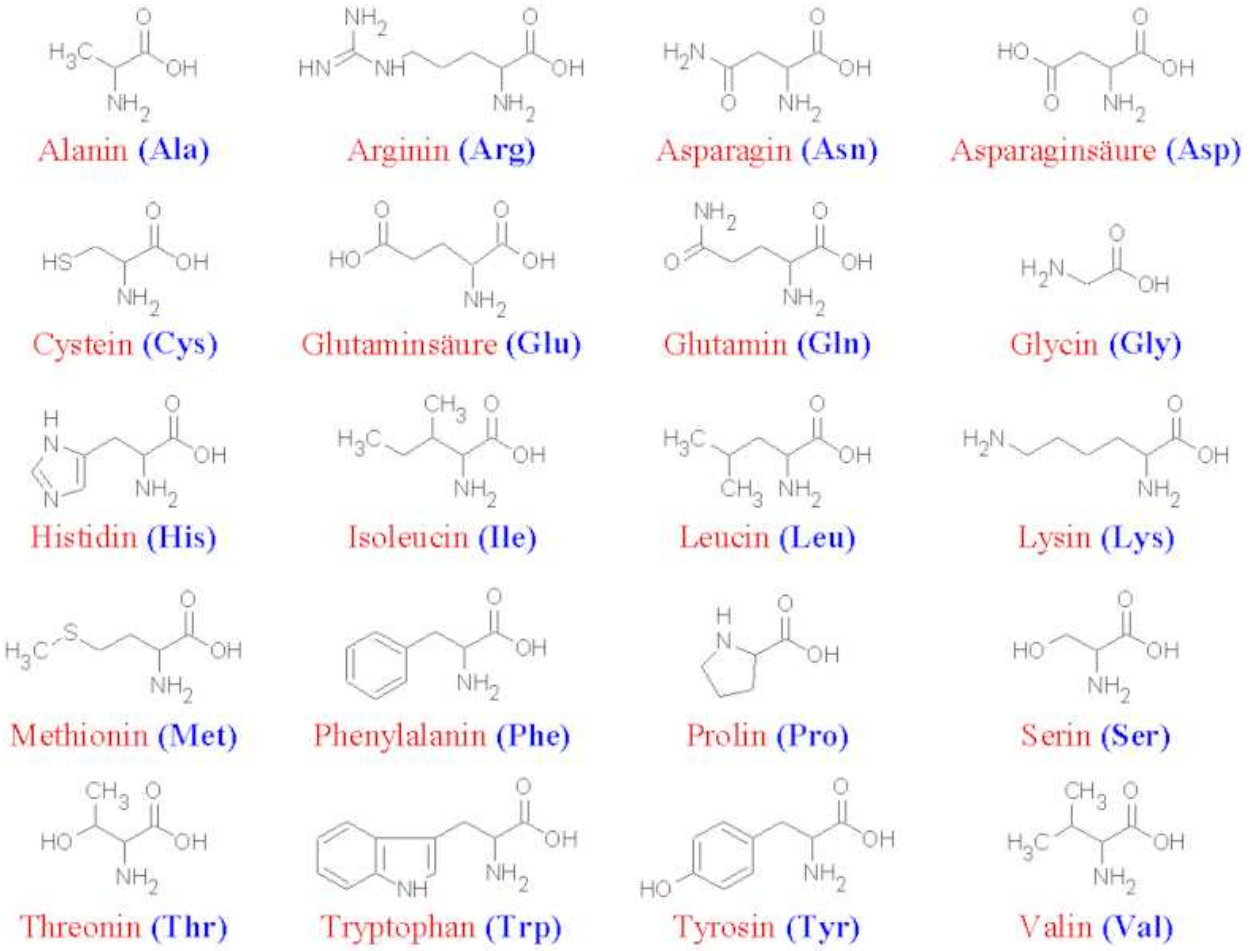
Besondere Eigenschaften, Bedeutung:

Bau, Vorkommen:

Q:

Besondere Eigenschaften, Bedeutung:

3.3.2.1.2. Strukturformeln proteinogener 2-Aminosäuren



Q: de.wikipedia.org (MarkusZi, Maksim)

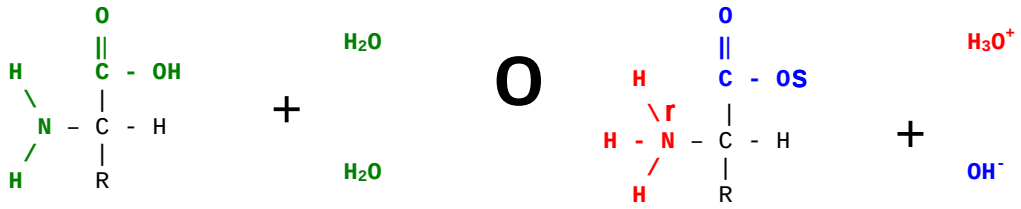
Aufgaben:

1. *Zeichnen Sie sich die folgende Tabelle ab und ergänzen Sie die fehlenden Aminosäuren!*
2. *Füllen Sie die Tabelle (bis einschließlich Bemerkungen) mit Hilfe der Strukturformeln (aus der obigen Übersicht) aus!*
3. *Erschließen Sie sich die weiteren Spalten mit Hilfe Ihrer Kenntnisse aus den verschiedenen Naturwissenschaften!*
4. *Vergleichen Sie Ihre Einträge dann mit Fachbüchern und Lexika!*

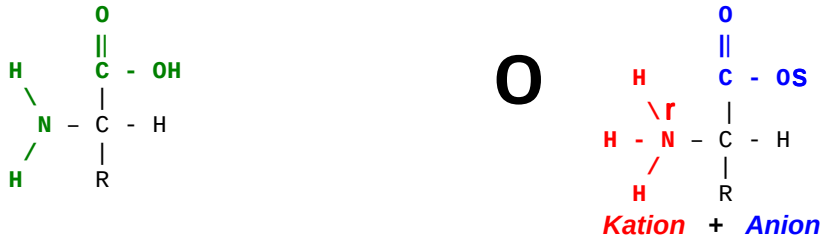
Aminosäure	3-Buchstaben-Code	Carboxyl-Gruppe(n)	Amino-Gruppe(n)	aliphatisch	aromatisch	sauer	basisch	Schwefel-haltig	weitere Elemente (außer C, H, O, N und S)	Bemerkungen	muss vom Mensch aufgenommen werden	Vorkommen im Menschen	1-Buchstaben-Code	proteinogen	heterocyclisch	essentiell	kanonisch
Alanin																	
Valin																	

3.3.2.2. physikalische und chemische Eigenschaften der Aminosäuren

Beim Lösen in Wasser dissozieren die Aminosäuren mehrfach. Die Carboxyl-Gruppe gibt ein Proton (H+) ab und die Amino-Gruppe kann ein Proton aufnehmen.



Da die gebildeten Hydronium- (H_3O^+) und Hydroxid-Ionen (OH^-) zu 2x Wasser weiterreagieren und wir genau 2x Wasser eingesetzt haben, wird das Wasser oft einfach weggelassen. In den Gleichungen entsteht dann aber auch schnell der Eindruck, das Proton wandere immer innerhalb des Moleküls. Praktisch sind es aber unabhängig voneinander ablaufende Vorgänge. Trotzdem kann natürlich das Proton von der Carboxyl-Gruppe über die umgebenden Wasser-Moleküle direkt zur Amino-Gruppe weitergereicht werden.
In Lösung liegt die Aminosäure als Zwitter-Ion (inneres Salz) vor – innerhalb eines Moleküls gibt es sowohl positive (**Kation**) als auch negative Ladungen (**Anion**).

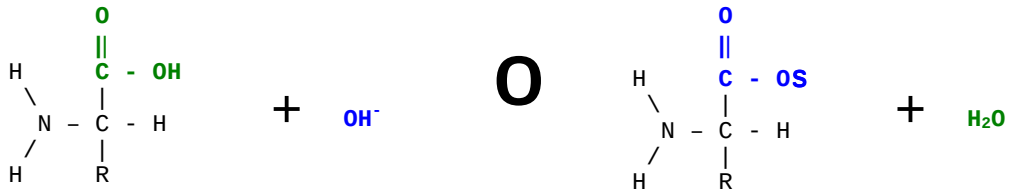


Neutralstoff **Zwitter-Ion**

Bei Zugabe von Säuren verhalten sich Aminosäuren wie Basen:
(Wir verwenden hier die Begriffe Säure und Base im Sinne von BRØNSTEDT (und / oder LOWRY). Säure sind danach Stoffe, die Protonen abgeben. Basen sind Stoffe, die Protonen aufnehmen.)

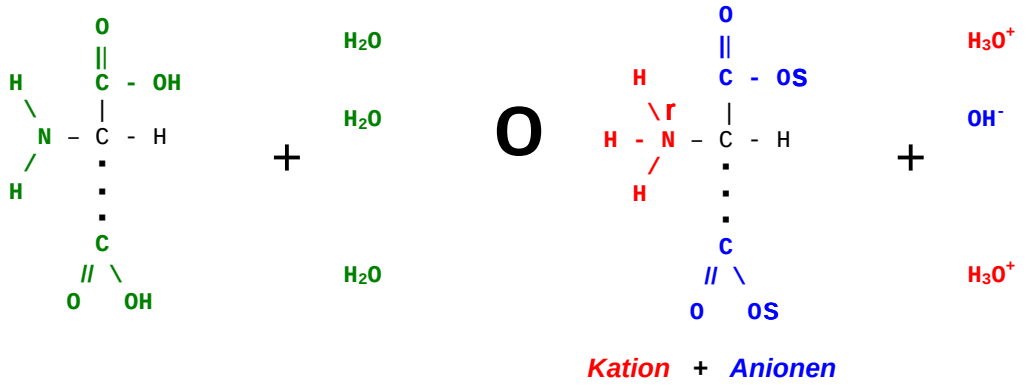
Aminosäure	**Hydronium-Ion**	**protonisierte Aminosäure**	**Wasser**
Base	***Säure***	***Säure***	***Base***

Gibt man dagegen eine Base zur Aminosäure, dann verhält sie sich wie eine Säure:



Aminosäure	**Hydroxid-Ion**	**deprotonisierte Aminosäure**	**Wasser**
Säure	***Base***	***Base***	***Säure***

Aminosäuren können sich also wie Säuren und Basen verhalten. Solche Stoffe nennt man **Ampholyte**. Ihr Verhalten hängt vom Reaktionspartner ab.
In einer Lösung treten alle Formen der Aminosäure (nicht-ionisierte (neutrale) Form, Kation, Anion, Zwitter-Ion) in Gleichgewichten auf.
Sind weitere funktionelle Gruppen im Molekül enthalten, dann können diese ebenfalls mit Wasser reagieren. Im Ergebnis der Dissoziationen verändert sich der pH-Wert der Lösung.

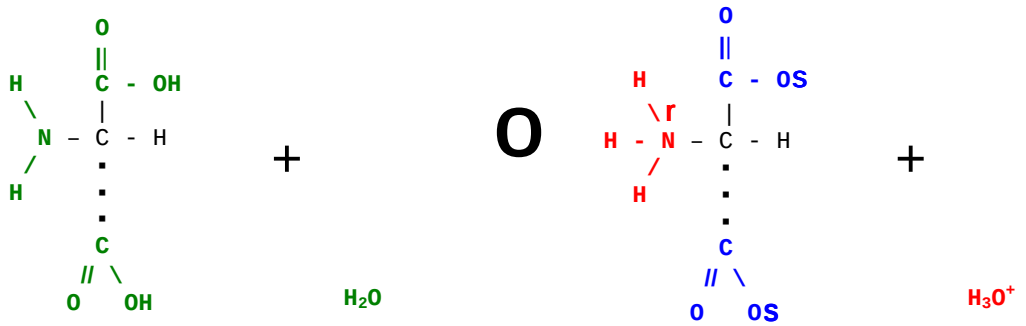


Da sich die Hydronium- und Hydroxid-Ionen nach Möglichkeit wieder vereinen, bleibt in der obigen Gleichung ein Hydronium-Ion über. Die Lösung ist also sauer, was wir wohl auch beim Einsatz einer Aminosäure mit zusätzlicher Carboxyl-Gruppe (Säure-Gruppe) erwartet haben.
Für basische Aminosäuren funktioniert es entsprechend. Die Lösung besitzt dan einen pH-Wert größer 7.
Durch äußere Veränderung des pH-Wertes kann man die Ionen-Bildung am Aminosäure-Molekül beeinflussen. Der pH-Wert, an dem die Konzentration des Zwitter-Ions am größten ist (- also gleich viele Kationen, wie Anionen in Lösung sind -), wird **isoelektrischer Punkt** (IEP) genannt. Dieser ist für jede Aminosäure charakteristisch. Am isoelektrischen Punkt bewegen sich die gelösten Teilchen nicht mehr in in einem elektrischen Feld – sie richten sich nur noch aus. Die Anziehungskräfte zu den Polen sind gleich groß.

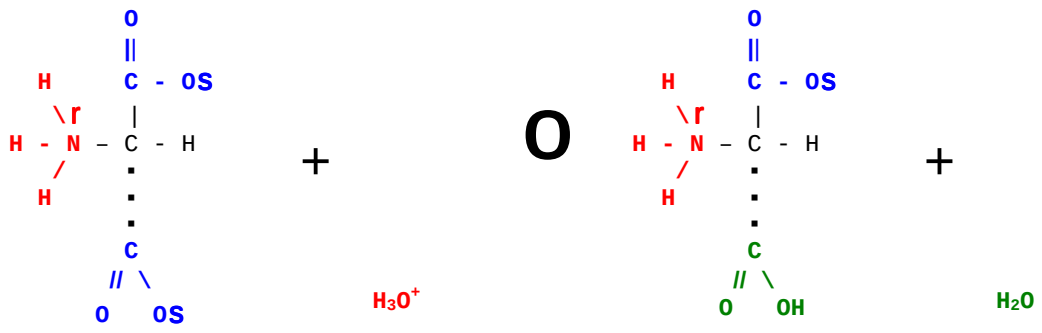
Aminosäure	isoelektr. Pkt. [pH]	M [g/mol]
Alanin	6,0	89,1
Arginin	10,9; 11,2	174,2
Asparagin	5,4	132,1
Asparaginsäure	2,8	133,1
Cystein	5,0	121,2
Glutamin		
Glutaminsäure		
Glycin		
Histidin	7,6	
Isoleucin		

Aminosäure	isoelektr. Pkt. [pH]	M [g/mol]
Leucin	6,0	
Lysin	9,8	146,2
Methionin	5,7	
Phenylalanin		
Prolin	6,3	
Serin		
Threonin	5,6	
Tryptophan		
Tyrosin		
Valin	6,0	

Um zu zeigen, wieso der isoelektrische Punkt z.B. einer sauren Aminosäure im sauren pH-Bereich liegt, schauen wir die obige Gleichung in vereinfachter (zusammengefasster) Form an.



Damit wir die Bedingung für den isoelektrischen Punkt erfüllen – also, dass der Stoff als Zwitter-Ion vorliegt – müssen wir das chemische Gleichgewicht so beeinflussen, dass die zusätzliche Carboxyl-Gruppe nicht dissoziert. Laut Gleichung wäre dies durch Förderung der Rück-Reaktion machbar. Mit der Zugabe von Hydronium-Ionen wird die Dissoziation der zusätzlichen Carboxyl-Gruppe verhindert. Die andere (obere) Carboxyl- und die Amino-Gruppe dissozieren unabhängig, wie oben beschrieben.



Kation **+** ***Anionen*** **Zwitter-Ion**

Da praktisch kein Unterschied zwischen der oberen und unteren Carboxyl-Gruppe besteht, wird natürlich auch diese in ihrer Dissoziation beeinflusst. Im isoelektrischen Punkt werden sowohl die obere als auch die untere Carboxyl-Gruppe jeweils teilweise dissoziert sein. In welchem Verhältnis zueinander, hängt auch von anderen Molekül-Eigenschaften ab. Insgesamt wird (theoretisch) aber eine dissoziert sein und die andere nicht.
Die Löslichkeit der Aminosäuren ist an ihrem isoelektrischen Punkt immer am geringsten. Somit kann man diese Eigenschaft zum Ausfällen aus einer Lösung benutzen. Desweiteren kann man den isoelektrischen Punkt zu Analytik von Aminosäuren benutzen. Dabei nutzt man aus, dass Aminosäuren in einem elektrischen Feld unterschiedlich schnell wandern. Als weitere Eigenschaft bestimmt auch die molekulare Größe die Wanderungsgeschwindigkeit. Das analytische Verfahren heißt **Elektrophorese**.
Mit dem isoelektrischen Punkt und der auch mit der Löslichkeit erfassen wir Merkmale des gesamten Aminosäure-Moleküls. Freie Aminosäuren kommen aber nur in den Zellen und dort im Wesentlichen als Baustoff für Proteine vor.
Für den Aufbau der Proteine spielt aber die Seitenkette – also der vielbeschreibene Rest – eine ausserordentlich wichtige Rolle. Für diesen Molekül-Teil ist vor allem die Wasser-Freundlichkeit bzw. –Feindlichkeit entscheidend. Dieses Merkmal bestimmt, wie sich die Aminosäure-Reste nach der Zusammenführung in der Protein-Biosynthese (→ Genetik) hindrehen (→ Sekundär und Tertiär-Struktur). Da der "obere Teil" jeder Aminosäure immer gleich ist, ist nur die Seitenkette für irgendwelche Unterschiede verantwortlich.
Der Hydropathische Index (eng.: hydropathy index) ist ein relatives Rangmaß für die Wasser-Feindlichkeit (Hydrophobizität) der Aminosäure. Früher wurde die Skalen von verschiedenen Forschern mehr oder weniger intuitiv und subjektiv aufgestellt (siehe nebenstehenden Vergleich).
Heute versucht man mit physikalischen Meßmethoden die Rang-Ordung auf wissenschaftliche Füße zu stellen.
Die Skala von WIMLEY und WHITE ist die derzeit am meisten akzeptierte Rang-Ordnung.

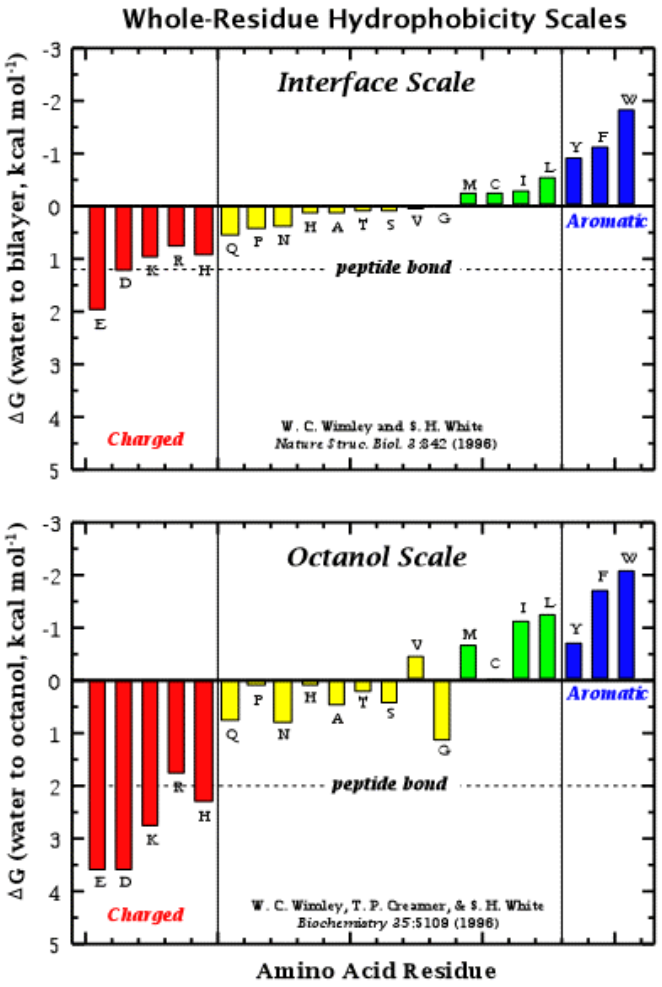
Kyte and Doolittle (1)	Rose, et al (2)	Wolfenden, et al (3)	Janin (1979) (4)
Ile	Cys	Gly,Leu,Ile	Cys
Val		Val,ala	Ile
	Phe,Ile		Val
Leu	Val	Phe	Leu,Phe
	Leu,Met,Trp	Cys	Met
Phe		Met	Ala,Gly,Trp
Cys			
Met,Ala	His	Thr,Ser	
	Tyr	Trp,Tyr	His,Ser
Gly	Ala		Thr
Thr,Ser	Gly		Pro
Trp,Tyr	Thr		Tyr
Pro			Asn
		Asp,Lys,Gln	Asp
His	Ser	Glu,His	Gln,Glu
Asn,Gln	Pro,Arg	Asp	
Asp,Glu	Asn		
Lys	Gln,Asp,Glu		
			Arg
Arg	Lys	Arg	Lys

verschiedene Skalen der Wasser-Feindlichkeit von Aminosäuren
(oben jeweils die Wasser-feindlichste AS)
Q: en.wikipedia.org (The hope)

Für die Untersuchungen werden verschiedene Stoff-Gemische (Zwei-Phasen-Systeme) verwendet, in denen dann die Verteilung der jeweiligen Aminosäure erfasst wird.
Die nebenstehenden Diagramme beziehen sich auf ein Wasser-Doppel-Lipid-Schicht-System bzw. auf ein Wasser-Octanol-System.

Aminosäure	Hydropathischer Index	
Alanin	1,8	
Arginin	-4,5	
Asparagin	-3,5	
Asparaginsäure	-3,5	
Cystein	2,5	
Glutamin	-3,5	
Glutaminsäure	-3,5	
Glycin	-0,4	
Histidin	-3,2	
Isoleucin	4,5	
Leucin	3,8	
Lysin	-3,9	
Methionin	1,9	
Phenylalanin	2,8	
Prolin	-1,6	
Serin	-0,8	
Threonin	-0,7	
Tryptophan	-0,9	
Tyrosin	-1,3	
Valin	4,2	

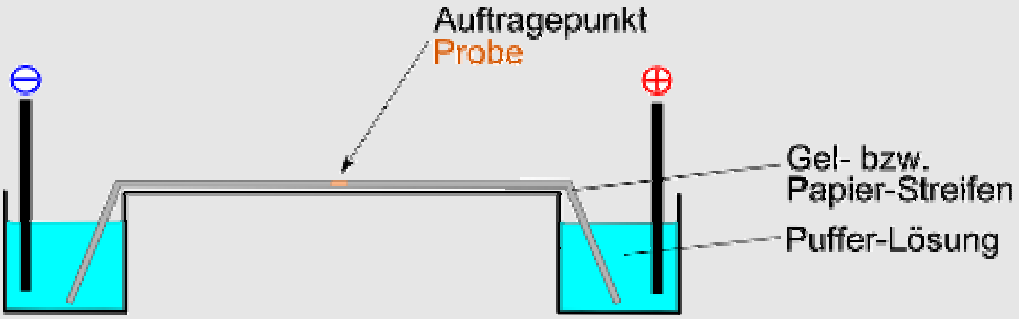
DatenQuelle: fold.it (KYTE + DOOLITTLE (1982))



Q: en.wikipedia.org (Stephan H. WHITE (University of California at Irvine))

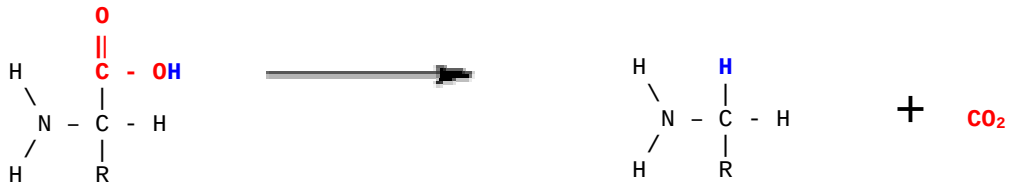
Exkurs: Elektrophorese

Zwischen zwei Puffer-Lösungen ist eine nichtleitende Brücke aufgestellt. Über dieser liegt ein mit Puffer-Lösung getränkter Papier- oder Gel-Streifen. Die Puffer-Lösung dient als Elektrolyt zum Schließen des elektrischen Kreises. Zur Untersuchung wird die Probe und verschiedene bekannte Vergleichslösungen nebeneinander auf der Startlinie aufgetragen.
Nachdem das elektrische Feld angelegt ist wandern die verschiedenen Stoffe unterschiedlich schnell zum elektrisch anziehenden Pol. Nach einer bestimmten Zeit stopt man den Vorgang und fixiert den Streifen (z.B. durch Trocknen). Bei unsichtbaren (nicht gefärbten) Stoffen wird mittels Nachweis-Färbung oder z.B. auch durch UV-Licht eine optische Identifizierung durchgeführt. Als direkter Vergleich dienen die Vergleichslösungen.
Die Wanderungsgeschwindigkeiten lassen sich bei definierten Papier- oder Gel-Sorten tabellarisch als relativer Wert erfassen und ebenfalls zur Identifizierung verwenden.



chemische Umwandlungen an Aminosäuren

Freie oder freigesetzte Aminosäuren (Eiweiß-Abbau) können auch weitereagieren. Durch Enzyme (z.B. aus Mikroorganismen), längere Lagerzeiten oder bestimmte Herstellungs-Prozesse (z.B. Käse-Reife) können Aminosäuren Cohlendioxid abspalten.



Aminosäure **biogenes Amin** **Cohlendioxid**

Die Reaktionsprodukte sind sogenannte biogene Amine. Natürliche biogene Amine findet man in Bananen, Tomaten, Walnüssen und Sauerkraut.
Viele biogene Amine beeinflussen im Menschen bestimmte Körper-Funktionen. Cadaverin (biogenes Amin des Lysins) senkt den Blutdruck. Dagegen wirkt Tyramin (von Tyrosin) Blutdruck-steigernd.

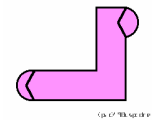
Aufgaben:

1. *Ordnen Sie die Aminosäuren in eine pH-Skala entsprechend ihrem isoelektrischen Punkt ein!*
2. *Zeigen Sie anhand von chemischen Gleichungen, wie beim Lösen einer "basischen" Aminosäure (z.B. Lysin) eine basische Lösung entsteht!*
3. *Basischen Aminosäure lösen sich meist als basische Lösung, aber auch der Punkt des schlechtesten Lösens (isoelektrischer Punkt) liegt meist im basischen? Erklären Sie dieses Phänomen!*

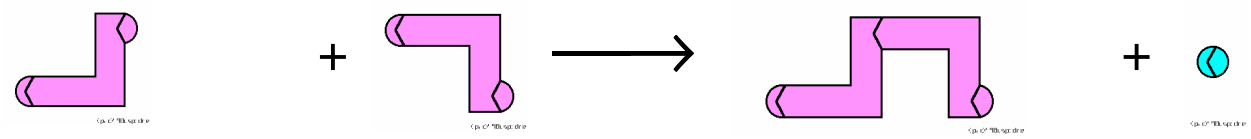
Übersicht über die Eigenschaften biogener Aminosäuren

Aminosäure	**molare Masse [g/mol]**			**Hydropathischer Index**	**isoelektr. Pkt. [pH]**						
protenogene Aminosäuren											
Alanin	89,1			1,8	6,0						
Arginin	174,2			-4,5	10,9; 11,2						
Asparagin	132,1			-3,5							
Asparaginsäure	133,1			-3,5	2,8						
Cystein	121,2			2,5	5,0						
Glutamin				-3,5							
Glutaminsäure				-3,5							
Glycin				-0,4							
Histidin				-3,2	7,6						
Isoleucin				4,5	6,0						
Leucin				3,8	9,8						
Lysin				-3,9	5,7						
Methionin				1,9							
Phenylalanin				2,8	6,3						
Prolin				-1,6							
Serin				-0,8	5,6						
Threonin				-0,7							
Tryptophan				-0,9							
Tyrosin				-1,3	6,0						
Valin				4,2	6,0						
eingeschränkt protenogene Aminosäuren											
Selenocystein	168,0										
Pyrrolysin	255,3										
weitere Aminosäuren											

Wie Sie sicher schon geahnt haben, können Aminosäuren miteinander reagieren. Die saure Gruppe der einen reagiert dabei mit der basischen Gruppe der anderen Aminosäure.

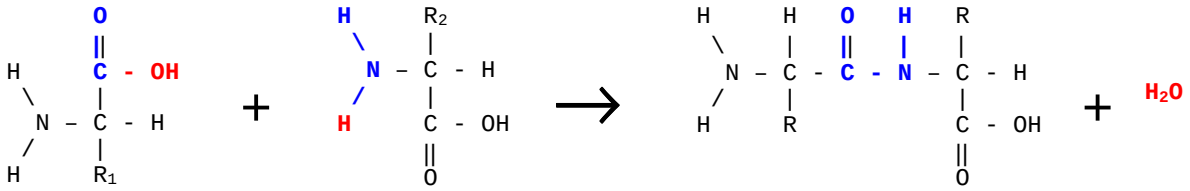


Da für die Reaktionen der Aminosäuren untereinander zuerst einmal die Reste keine Rolle spielen, lassen wir Sie weg. In den chemischen Gleichungen tauchen sie als frei durchnummerierte oder indexierte R auf. In den Schemata tauchen nur die bedeutsamen Molekülteile auf. Die Darstellung der Aminosäuren als Winkelstücke stimmt auch mit vielen Schulbüchern (Biologie des Menschen → Thema: Verdauung) überein.

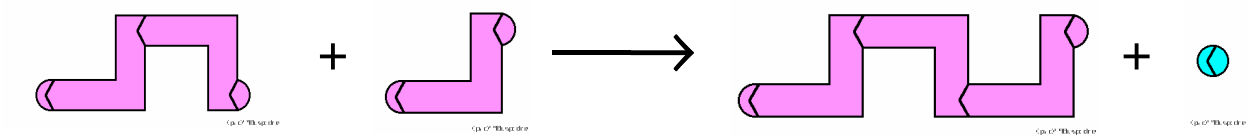


Aminosäure + Aminosäure ⟶ Dipeptid + Wasser

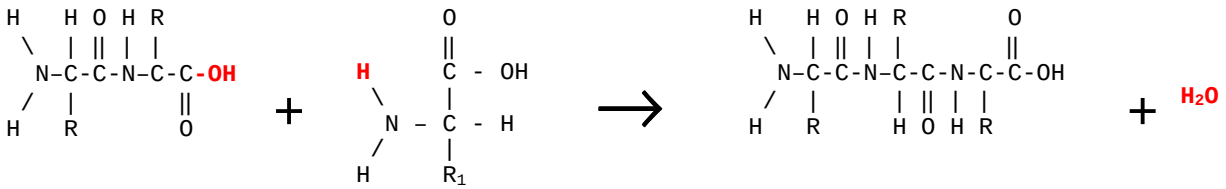
Schauen wir uns die reagierenden Molekülteile noch etwas genauer an:



Es entsteht ein Peptid und Wasser. Da das Peptid genau zwei Aminosäuren beinhaltet, wird es auch Dipeptid genannt. Peptide können an den Enden mit weiteren Aminosäuren reagieren.

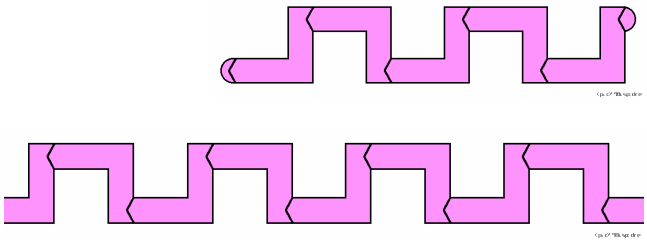


Dipeptid + Aminosäure ⟶ Tripeptid + Wasser



So entstehen Tripeptide, Tetrapeptide, Pentapeptide usw. Etwas längere Peptide - mit bis zu 10 Aminosäure-Resten - heißen dann Oligopeptide

Noch längere Peptide werden als Polypeptide bezeichnet. Diese Polypeptide sind dann im Prinzip genau unsere Eiweiße.

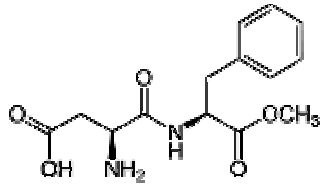


Die Abgrenzung der großen Peptid-Gruppen ist immer noch in der Diskussion. Manche Wissenschaftler sehen das Ende der Oligo-Peptide schon bei 10 Aminosäuren. Poly-Peptide können bei ihnen bis zu 100 Aminosäuren enthalten. Alles was darüber hinausgeht, wird zu den Proteinen gezählt. Ein Nachschlagen der jeweiligen Definition ist beim lesen von anderer Literatur immer sinnvoll.

Für die Peptide hat sich eine verkürzte Formel-artige Darstellung eingebürgert. Ausgehend vom N-terminalen Ende (basische Aminogruppe) werden die Amninosäuren mit ihren 3-Buchstaben-Codes aufgezählt. Das N-terminale Ende wird durch das endständige (hier beginnende) H gekennzeichnet. Für die C-terminale Carboxyl-Gruppe wird nur die an weiteren Reaktionen beteiligte OH-Gruppe geschrieben.
So ergibt sich z.B. für das Pal-KTTKS (die neue Geheimwaffe gegen Hautfalten, das Pal steht für Pametinsäure die an den Anfang des KTTKS (die Aminosäuren im 1-Buchstaben-Code) abgeestert ist)
die Darstellung:

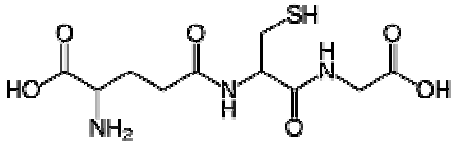
H-Lys-Thr-Thr-Lys-Ser-OH

In den Zellen und in der Ernährung spielen nicht nur die großen Polypeptide (Proteine) eine wichtige Rolle sondern auch schon die kleineren Oligo-Peptide.
Als Dipeptid sei hier das Aspartam (ein künstlicher Süßstoff) genannt. Er besteht aus den Aminosäuren Asparaginsäure und Phenylalanin. Am C-terminalen Phenylalanin ist noch eine Methyl-Gruppe (aus Methanol) verestert.



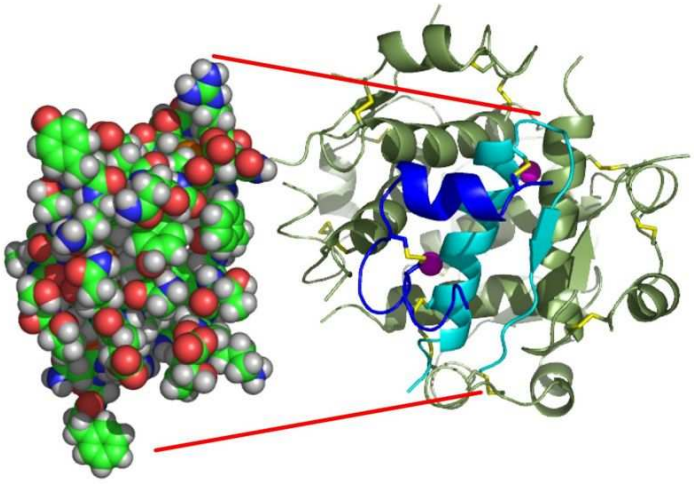
Strukturformel von Aspartam
Q: de.wikipedia.org (Yikrazuul)

Glutathion ist ein nichtproteinogenes Tripeptid aus Glutaminsäure, Cysteien und Glycin. Zwischen Glutaminsäure und Cysteien finden wir eine etwas ungewöhnliche γ-Peptid-Bindung. In unserem Körper wird es in der Leber synthetisiert. Als Bestandteil verschiedener Redoxsysteme (auch in Mitochondrien) und als Cysteien-Reserve hat es eine große Bedeutung.

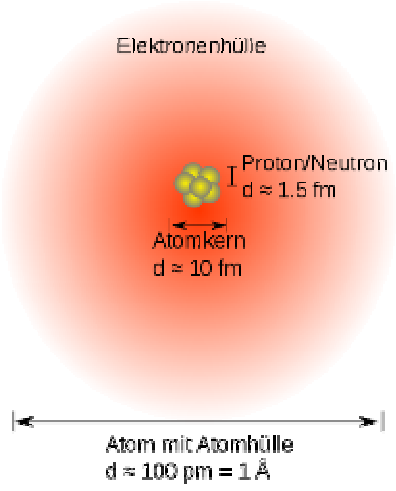


Q: de.wikipedia.org (Fvasconcellos)

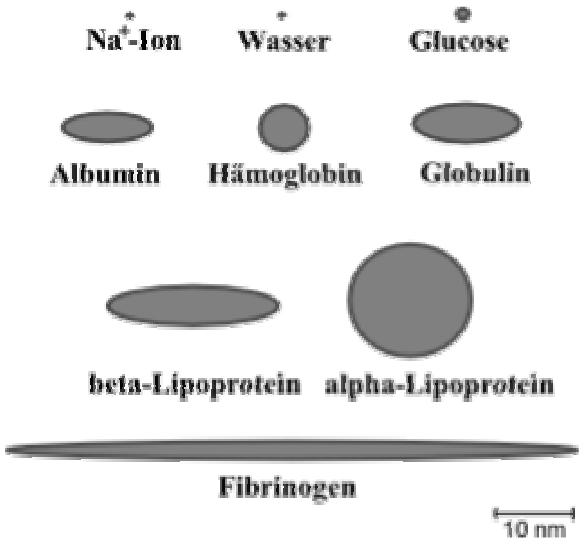
Ein Oligo-Peptid mit acht Aminosäuren ist das Cholecystokinin (CCK 8). Es dient als Hormon bei der Anregung der Gallenblase und ist bei der Erzeugung des Sättigungs-Gefühls beteiligt. Produziert wird es vom Zwölffingerdarm. Weiterhin ist Cholecystokinin ein wichtiger Neurotransmitter.
Oligo-Peptide spielen heute eine größere Rolle in der Sonden-Ernährung von Partienten. Die Oligo-Peptide enthalten besonders die essentiellen Aminosäuren. Die gezielte Zusammensetzugnsorgt für eine schnelle Verfügbarkeit nach einer einfachen (unbelasteten) Verdauung.
Das Hormon Insulin ist ein typisches Poly-Peptid mit 51 Aminosäuren. Es wird in den LANGERHANSschen Zellen der Bauchspeicheldrüse gebildet.
Insulin steuert bzw. aktiviert den Aufbau von Glycogen. Dabei wird die Glucose aus dem Blut verbraucht und der Blutzucker-Spiegel gesenkt.


Insulin-Monomer als Kalotten-Modell (links)
und das Hexamer im Bänder-Modell (rechts)
Q: de.wikipedia.org (Isaac Yonemoto)

Die rechte untere Abbildung vermittelt – wenigsten annäherungsweise – einen Eindruck von den Größenverhältnissen zwischen "normalen" anorganischen, sowie einfachen organischen Stoffen und den Proteinen. Wasser und Natrium-Ionen liegen mit ihrer Größe unter einem Nanometer (nm = 10^{-9} m = 10^{-6} mm = 10^{-3} µm).



Q: de.wikipedia.org (Cweiske)



nach /18/

In älterer Literatur und vielen Fachbüchern wird auch die Einheit Å für ÅNGSTRÖM benutzt. Ein Å entspricht 0,1 nm.

Aminosäure	Mol. Masse [g/mol]
Alanin	
Arginin	
Asparagin	
Asparaginsäure	
Cystein	
Glutamin	
Glutaminsäure	
Glycin	
Histidin	
Isoleucin	
Leucin	
Lysin	
Methionin	
Phenylalanin	
Prolin	
Serin	
Threonin	
Tryptophan	
Tyrosin	
Valin	

!!!zum Vergleich:

Stoff	Mol. Masse [g/mol]
Ammoniumsulfat	132
Cohlendioxid	44
Ethanol	46
Glucose	180
Harnstoff	60
Natriumchlorid (Kochsalz)	58
Phosphorsäure	98
Sauerstoff	32
Stearinsäure	284
Wasser	18

Protein	Anzahl Aminosäuren	Mol. Masse [g/mol]	Durchmesser [m]	
Avidin	540	66.000	$9 * 10^{-9}$	
Clupeïn		4.450		
Edestin		310.000		
Fibrinogen		400.000		
β_1-Globulin		90.000		
Hämoglobin		68.000		
Insulin	32 51	5.700 5.808		
Kreatin		68.000		
Lactalalbumin		17.300		
α_1-Lipoproteïn		200.000		
β_1-Lipoproteïn		1.300.000		
Lysozym	129	14.388	$6 * 10^{-9}$	
Myoglobin		17.000		
Ovalbumin	370	44.500	$8 * 10^{-9}$	
Myosin		3.900.000		
Serumalbumin		69.000		
Serumglobulin (γ-Globulin)		156.000		
Thyreoglobulin		650.000		
Trypsin		24.000		
Urease		483.000		

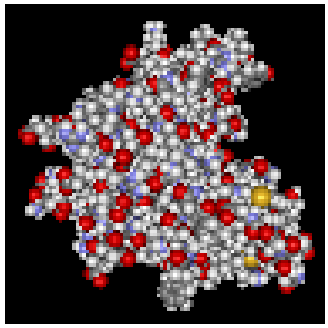
Aufgaben:

1. *Skizzieren Sie sich die Strukturformeln von Aspartam und Glutathion ab! Kennzeichnen Sie in den Strukturformeln die ursprünglichen Aminosäuren sowie zusätzliche Strukturen!*
2. *Stellen Sie die vollständige Strukturformel des Tripeptids H-Cys-Gln-Asp-OH auf! Geben Sie nun die chemischen Gleichungen für die schrittweise Zerlegung in die Aminosäuren an! Um welche Art chemische Reaktion handelt es sich hier? Begründen Sie Ihre Meinung! Diskutieren Sie den Reaktionstyp mit anderen Kursteilnehmern! (Gibt es da vielleicht mehrere Möglichkeiten? Bringen Sie Ordnung ins System!)*

3.3.2.2. allgemeine Systematik der Eiweiße (Bau-Typen)

3.3.2.2.1. Proteïne

Nach der äußeren Form der Eiweiße (Proteine) klassifiziert man zwischen **kugelförmige** (globuläre) und **faserförmige** (fibrilläre, langestreckte) **Proteïne**n.



Q: www.ud.com

Oft werden die **globuläre**n **Proteïne** noch in die Histone, Albumine und Globuline unterteilt. **Histone** binden sich – als meist sehr basische Eiweiße – besonders an Nucleinsäuren (salzartige Bindung). Sie sind z.B. am Bau des genetischen Materials beteiligt. Histone ermöglichen die starke Helikalisierung und Spiralisierung der DNS. Sie sind gewissermaßen das Verpackungsmaterial (Verpackungsgerüst) für die DNS.

Zu den **Albumine**n werden die wasserlöslichen Proteïne gezählt, die sich durch konzentrierte Ammoniumsulfat-Lösung ausfällen lassen. Die Lösung von Albuminen sind kolloidale – und meist neutrale – Lösungen.

Das Eidotter und die Eiweiße aus der Molke sind Beispiele für Albumine. Bei den tierischen Eiweißen machen Albumine mit den Globulinen den Hauptanteil aus.

Albumine enthalten meist alle Aminosäuren. Einzig Glycin kommt in sehr geringen Anteilen vor. Schwefel-haltige Aminosäuren sind dagegen gehäuft vertreten.

Globuline sind primär nicht in Wasser löslich. Gibt man Neutralsalze (z.B. Natriumchlorid,) zur Mischung Globulin-Wasser dazu, dann lösen sich die Eiweiße zumeist in der (verdünnten) Neutralsalz-Lösung. Gluboline sind in den Zellen häufig an Biomembranen gebunden und erfüllen hier Enzym-Aufgaben. Ihre Wasser-Unlöslichkeit (unpolare Außenwirkungen) verhilft ihnen zu einer festen Einbindung in die Lipidschicht. Der Apoenzym-Teil (Eiweißteil eines Enzyms) ist im Allgemeinen ein Globulin.

Wie die Albumine gerinnen die Globuline schon ab 30 bis 70 °C. Diese bilden dann z.B. die Milchhaut oder den grauen Schaum beim Kochen von Muskelfleisch.

In "Lösungen" reagieren die Globuline vorrangig leicht sauer.

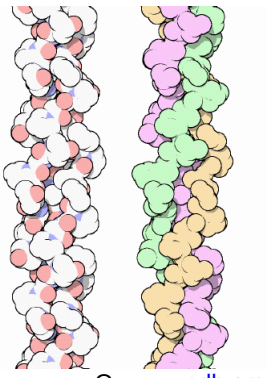
Wichtige Globuline sind die das Legumelin aus den Aleuronschichten der Leguminosen (Hülsenfrüchte). Auch die Gluteline und Gliadine – die als Kleber-Eiweiße eine große Bedeutung beim Backen haben – gehören zu den Globulinen.

Die **fibrillären Proteïne** werden nach Bau-Typen unterteilt.

Q: lsp:dre

Der **Kollagen-Typ** basiert auf dem Bauprinzip des Proteïns Kollagen. Bei diesem sind immer drei länglich gestreckte Bausteine (Monomere, Kollagen-Eiweiß) seilartig neben- und hintereinander angeordnet. Die Molekül-Helix ist etwas gestreckter als eine (normale) α-Helix und entsprechend linksgängig, die Helix aus den drei Einzelsträngen ist rechtsgewunden.

Kollagene kommen besonders im Stütz- und Bindegewebe vor. U.a. bestehen Sehnen und Bänder und Haut aus sehr viel Kollagen. Aber auch in Zähnen oder Knochen kommen sie als Bau-Bestandteile vor. Kollagen besteht vorrangig aus Prolin und Glycin und ein nachträglich modifiziertes Prolin – das Hydroxyprolin. (Sachlich gesehen, ist hier eine nicht protenogene Aminosäure in einem Eiweiß verbaut.) Da es dem Kollagen an essentiellen Aminosäuren mangelt, handelt es sich um ein ernährungspysiologisch minderwertigen Eiweiß (→ biologische Wertigkeit).



Q: www.pdb.org

In der nebenstehenden Abbildung sind die hintereinander aufgereihten Collagen-Moleküle einer Faser (Protofibrille) in jeweils einer Farbe gekennzeichnet. Mehrere Protofibrillen bilden dann eine Kollagen-Mikrofibrille (Kollagen-Faser).

Kollagene wandeln sich im heißen Wasser – und noch besser unter Einfluß von Säuren – in Gelantine.

Elastine sind den Kollagenen recht ähnlich. Sie sind aber verzweigt und bilden eine netzartige Struktur. Auch die Monomere haben eine gewundene bzw. gebogene Form. Wegen dieser Bau-Eigenschaften sind Elastin-Fasern bzw. -Netze sehr flexibel und elastisch. Elastine quellen nicht in Wasser, Säuren oder Basen – sind schwerer von Enzymen angreifbar und wandeln sich nicht in Gelantine. Neben Kollagenen findet man Elastine in Sehnen, Bändern und Arterienwänden.
Keratine kennen wir in Form von Haaren, Horn und (Finger-)Nägeln. Auch Federn, Seide und die Hautschuppen von Kriechtieren sind Beispiele. Der aus dem Keratin abgeleitete Bau-Typ (Keratin-Typ; β-Keratin-Typ) ist durch einen helikalen Bau charakterisiert. Im Keratin sind sieben Moleküle in einer Helix-Runde verbaut. Die Monomere selbst besitzen eine Faltblattstruktur (Sekundär-Struktur).
Keratine sind völlig unlöslich in Wasser, Säuren und Basen. Sie sind sehr stabil gegen einen enzymatischen Abbau. Die Stabilität ist durch eine sehr hohe Anzahl von Disulfid-Brücken zu erklären. (Krankhaft veranlagten Mädchen, die ihre eigenen langen Haare über längere Phasen essen, müssen oft operativ ganze Haarknäule aus dem Magen entfernt werden. Blinddarmentzündungen treten ebenfalls gehäuft auf.)
Daneben existiert noch ein α-Keratin-Typ bei einigen Eiweißen aus Federn und Haaren. Hier liegen die Monomere in Helix-Form vor. Vertreter dieses Types sind Fibrin; Actin und Myosin aus den Muskelfasern, sowie die intercellulären Mikrofilamente (Zellskelett).

3.3.2.2.2. Proteïde

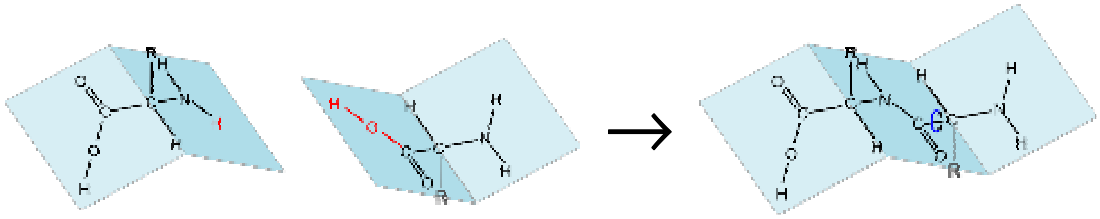
Abgeleitete Proteine mit weiteren (nichtproteinogen) Bausteinen werden den Proteïden zugeordnet. In vielen Enzymen sind dies prosthetische Gruppen oder Co-Enzyme. Die Nichtproteinanteile werden zur Klassifizierung genutzt, da sie die Funktionen der Protein-Abkömmlinge (Derivate) bestimmen.
Bei den **Phosphoproteïde**n sind Phosphorsäure-Reste an Hydroxyl-Gruppen des Serins oder des Threonins verestert. Ein Beispiel ist das Caseïn (Milch-Eiweiß), das als Calciumsalz in der Milch verliegt. Caseine umhüllen die Fett-Tröpfchen in der Milch. Sie bilden gewissermaßen eine Schutzhülle, die normalerweise ein Zusammenfließen der Fett-Tröpfchen verhindert und die Emulsion (Milch) stabilisiert. Ovovitellin ist das wichtigste Phosphoproteïd aus dem Eidotter.
In der Photosynthese oder der Zellatmung, aber auch als Farbstoffe spielen die **Chromoproteïde** eine große Rolle in der belebten Welt. Hier kann man sich die Cytochrome oder die Redoxsysteme der Atmungskette (Zellhämine, Atmungsfermente) als Beispiele merken.
Nucleoproteïde wirken beim Bau und den Funktionen der Zellkerne und deren Plasma (Kernplasma) sehr entscheidend mit. Sie stellen den Hauptanteil (-wenn man das Wasser vernachlässigt-) im Protoplasma der Zellen. Ribosomen und auch Viren enthalten ebenfalls sehr viele Nucleproteide. Basische Nucleoproteïde binden z.B. die verschiedenen Nucleïnsäuren. Sehr häufig sind Histone als Eiweiß-Anteil mit sehr vielen Nucleotiden assoziiert. Die DNS (DNA), RNS (RNA) sind bekannte Vertreter von Polynucletiden – also Strukturen mit 10.000 oder mehr Nucleotiden.
Glycoproteïde wiederum sind an der Immunabwehr und diversen Rezeptorfunktionen beteiligt. Sie kommen z.B. sehr häufig an der Außenseite der Zellmembranen (Glycokalyx) vor. Andere Glycoproteïde bilden den Glaskörper des Auges oder kommen in Schleimen vor (Schleimstoffe). Auch im Knorpel oder im Eiklar sind verschiedene Glycoproteïde anzutreffen.
Lipoproteïde bestehen aus einem Protein-Teil und einem Lipid oder dem Cholesterol (Cholesterin).
Eine weitere Klasse sind die **Metall(o)proteïde** oder auch **Chromoproteïde**. Sie enthalten Metall-Ionen oder –Atome in Komplex-artigen Strukturen. Die Metall-Bestandteile sind oft im aktiven Zentrum angeordnet und dort sehr entscheidend an der jeweiligen Funktion des Proteïds beteiligt.
Die Metall-Ionen sind auch für die Farbigkeit vieler Chromoproteide verantwortlich. Chlorophyll (grüner Pflanzenfarbstoff) und Hämoglobin (roter Blutfarbstoff) sind sicher die bekanntesten Beispiele.

Aufgaben:

1. *Erstellen Sie ein Klassifikationsschema der Proteïne und Proteïde! Finden Sie auch einen geeigneten Oberbegriff! An den Verzweigungen kennzeichnen Sie mit Bleistift die jeweiligen Unterscheidungskriterien!*
2. *Finden Sie mit Hilfe des Internets (z.B. WikiPedia) neue Beispiele für die einzelnen Stoffklassen!*

3.3.2.3. Struktur-Ebenen der Eiweiße (Bau-Ebenen, Ordnungstufen)

Ein Polypeptid – also die reine Aminosäurekette (Aminosäure-Sequenz) – bezeichnet man auch als **Primär-Struktur** eines Eiweißes (Ordnungstufe 1). Unter Berücksichtigung der Tetraeder-Strukturen und der Anziehungs- und Abstoßungskräfte kann man die die Bildung eines Dipeptids so darstellen:



+ H_2O

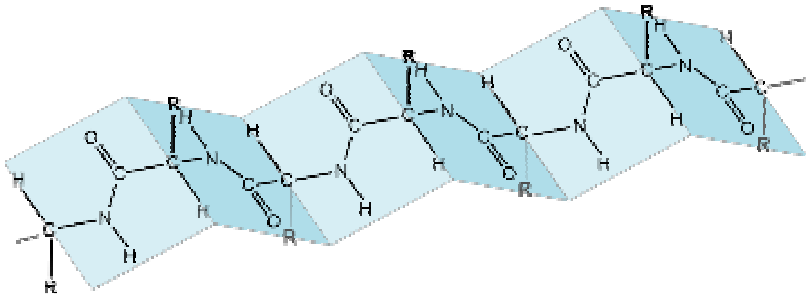
Die obige Struktur entsteht vor allem dann, wenn sich die beiden Reste in irgendeiner Form eher abstoßen oder nicht komplementär sind.

Im Prinzip kann im Rückgrat der Peptidstruktur (hellblaue Fläche) nur die Bindungen zu den α-ständigen C-Atomen noch frei gedreht werden. Die Peptid-Bindung selbst ist in der trans-Stellung sterisch / energetisch bevorteilt.Setzt sich die nicht komplemetäre Verteilung der Reste-Eigenschaften über die nächsten Peptid-Stufen fort, dann entsteht eine durchgehende Zick-Zack-Struktur. Diese wird Faltblatt-Struktur genannt.

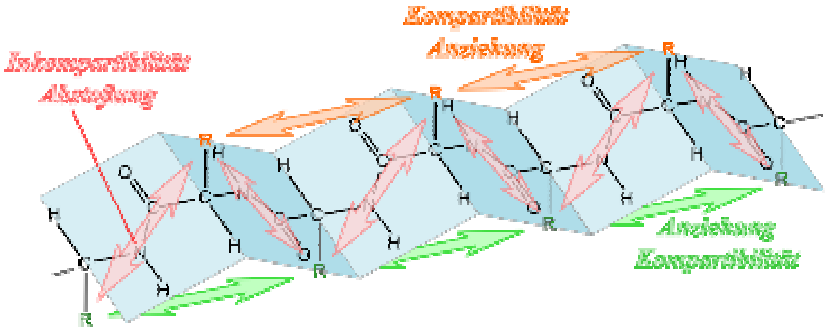
Die Aminosäure-Reste einer Faltblatt-Struktur haben also oberhalb und unterhalb des Rückgrat's jeweils nicht vereinbare Eigenschaften (immer abwechselnd in der Kette).

Sind dagegen die Eigenschaften der Reste eher komplementär, dann entsteht eher eine schraubenähnliche Struktur – die sogenannte Helix. Je Umgang sind 3,4 Aminosäuren verbaut. Die Helix wird durch Wasserstoff-Brückenbindungen zwischen den einzelnen Schraubengängen stabilisiert.

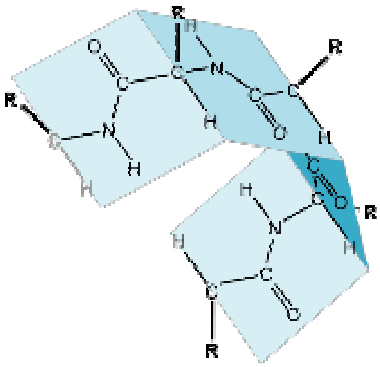
Helix und Faltblatt-Struktur machen die **Sekundär-Struktur** eines Proteins aus.



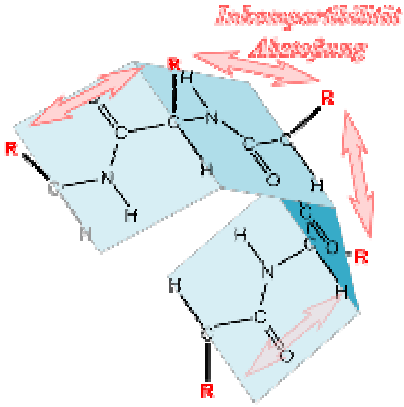
Faltblatt-Struktur



Faltblatt mit maßgeblichen Struktur-bildenden Phänomenen



Helix-Struktur (Ausschnitt)

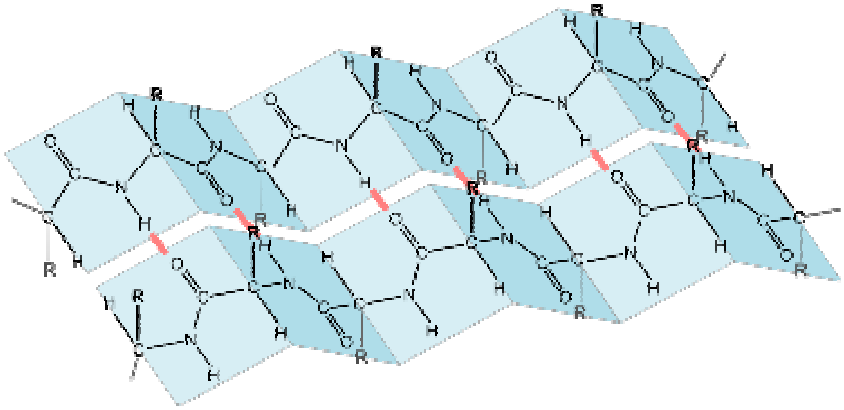


Helix mit maßgeblichen Struktur-bildenden Phänomenen

Die Sekundär-Struktur (2. Ordnungsstufe) wird durch die Eigenschaften der Reste und durch Wasserstoff-Brückenbindungen stabilisiert.

Besonders deutlich wird dies bei der parallelen Aneinanderlagerung von zwei Faltblatt-Strukturen (praktisch schon nächste Ordnungstufe – die Tertiär-Struktur).

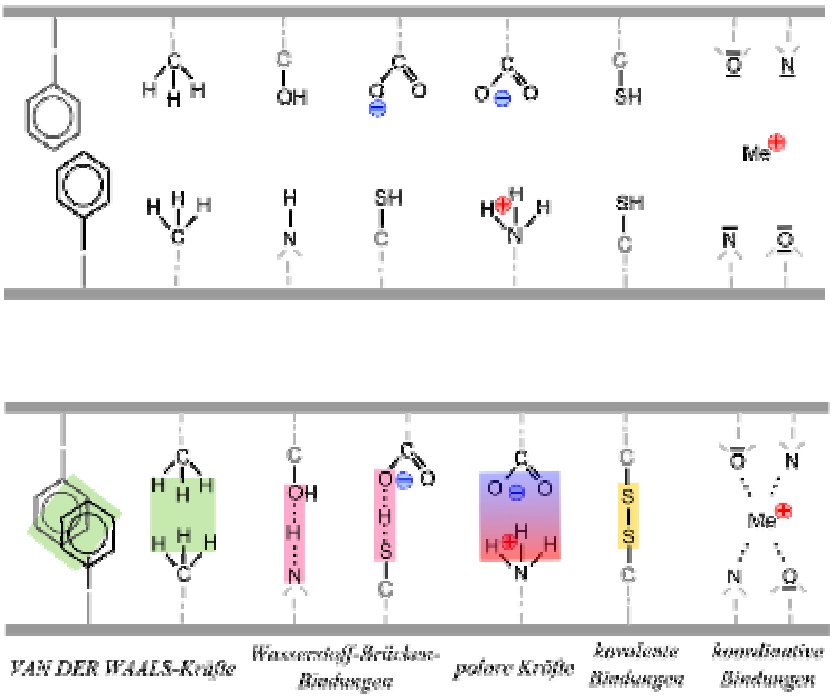
Nun liegen sich Peptid-Bindungen und verschiedene andere Reste so gegenüber (β-Mäander), dass sehr viele stabilisierende Brücken aufgebaut werden können.



Zusammenlagerung von zwei gegenläufigen Faltblatt-Strukturen

Die Wasserstoff-Brücken sind in der nachfolgenden Abbildung rötlich gekennzeichnet.

In der **Tertiär-Struktur** (Konformation, Ordnungsstufe Nr. 3) betrachtet man dann noch die innermolekularen Verbindungen und Reaktionen der verschiedenen Aminosäure-Reste. Unpolare Reste bauen über VAN DER WAALS-Kräfte (Adhäsions-Kräfte) noch recht lockere Brücken auf. Zwischen Gruppen mit Partial-Ladungen und angebundenem Wasserstoff können sich Wasserstoffbrücken-Bindungen ausbilden.



maßgebliche Struktur-bildende Phänomen für die Tertiär-Struktur

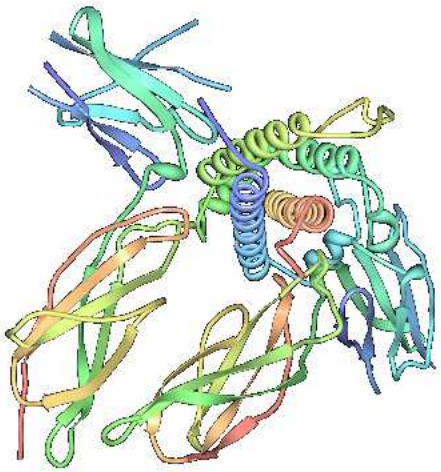
Saure Aminosäuren reagieren mit basischen unter Ausbildung von Ionenbeziehungen (Salze).

Sehr stabile Bindungen gehen schwefelhaltige Aminosäuren-Paare ein. Die gebildeten Disulfid-Brücken sind sehr fest. Metall-organische Komplexe, die sich meist an mehrfach koordinierten Stickstoff- oder Sauerstoff-Atomen bilden, tragen ebenfalls zur Stabilisierung der Tertiärstruktur bei. Oft sind sie Teil des reaktiven Zentrums (aktives Zentrum) eines Enzyms.

Immer werden also gewissermaßen Brücken zwischen den Seitenketten (Rückgrat der Polypeptidkette) ausgebildet. Diese verfestigen und stabilisieren die Raum-Strukturen.

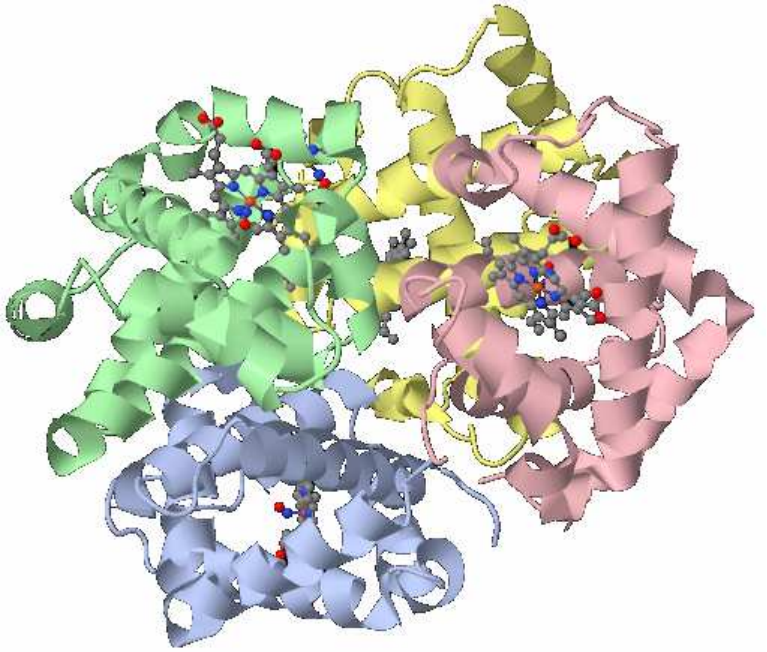
Wie wir schon gesehen haben, ordnen sich manchmal Faltblatt-Strukturen parallel zueinander. Man nennt dies auch Supersekundär-Strukturen. Solche Supersekundär-Strukturen treten auch bei Helices auf. Mehrere Helices winden sich dann umeinander. Auch Kombinationen aus Helix und Faltblatt sind bekannt geworden.

Zur übersichtlicheren Darstellung benutzt man häufig die Bänder-Modelle (Band-Modelle). Dabei stellt man sich das Rückrat (Peptid-Bindungs-Kette) als ein Band vor. Auf das Einzeichnen der Reste wird verzichtet. Ev. werden stabile chemische Brücken mit dargestellt.
Für faserförmige Eiweiße wird keine Tertiär-Struktur betrachtet, da hier auch im Allgemeinen keine molekülinternen Verknüpfungen vorliegen.
Bei globulären Eiweißen stellen die Tertiär-Strukturen die Bauelemente für das fertige Eiweiß dar.
Letztendlich lagern sich meist mehrere Tertiär-Strukturen zur endgültigen **Quartär-Struktur** zusammen (4. Ordnungsstufe). Sie stellt das funktionsfähige Eiweiß (Super-Protein) dar.
Für das Protein Hämoglobin – den menschlichen, roten Blutfarbstoff – sind die Strukturen sehr gut aufgeklärt:



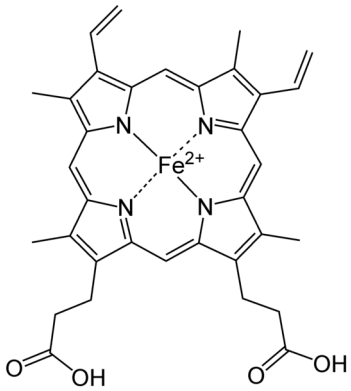
menschliches Wachstumshormon G
Q: www.rcsb.org

Das funktionsfähige Hämoglobin (Quartär-Struktur) besteht aus 4 Untereinheiten (Tertiär-Strukturen).
In der nebenstehenden Abbildung sind die einzelnen Bausteine mit verschiedenen Farben gekennzeichnet. Jede Tertiär-Struktur besitzt mehr oder weniger zentral die sogenannte Häm-Scheibe (in der Abb. als atomare Strukturen eingezeichnet).
Diese ist für den Sauerstoff-Transport zuständig. Das zentrale Eisen(II)-Ion ist orange eingefärbt. An ihm lagert sich der Sauerstoff an (s.a. untere Abb.).
Die Häm-Scheibe selbst ist ein Nicht-Protein-Bestandteil (auch prosthetische Gruppe genannt).



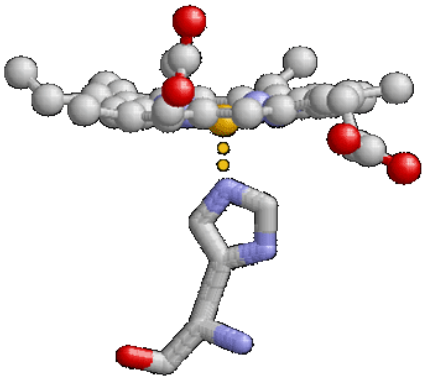
Q: www.rcsb.org

Chemisch gesehen ist die Häm-Scheibe ein Porphorin-Derivat. Das Porphorin selbst ist die Ring-artige Anordnung von vier Pyrrol-Ringen (heterocyclische Fünfer-Ringe um das Eisen-II-Ion. Die nach außen zeigenden Molekül-Anhänge sind in den einzelnen Tier-Gruppen leicht unterschiedlich. Sie stellen die Verbindung zum umliegenden Eiweiß-Anteil (Globin) des Hämoglobin her.

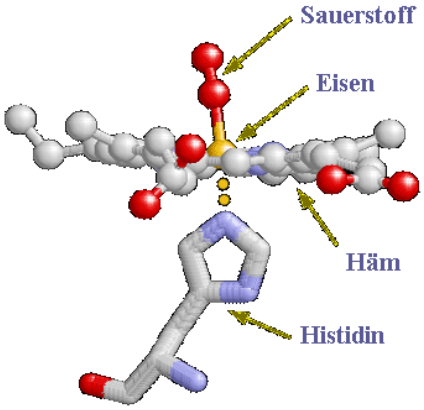


Häm-Scheibe
(Porphorin-Ring mit Eisen-Ion)
Q: de.wikipedia.org (Yikrazuul)

Zusatzinformation:
Das Eisen-Ion kann durch Cohlenmonoxid dauerhaft blockiert werden (feste Bindung, 26.000x stärker als O_2, im Prinzip irreversibel). Dann ist keine Sauerstoff-Transport mehr möglich. Die Affinität des Eisen-Ions ist zu Cohlenmonoxid 325x größer, als zu Sauerstoff.



Desoxy-

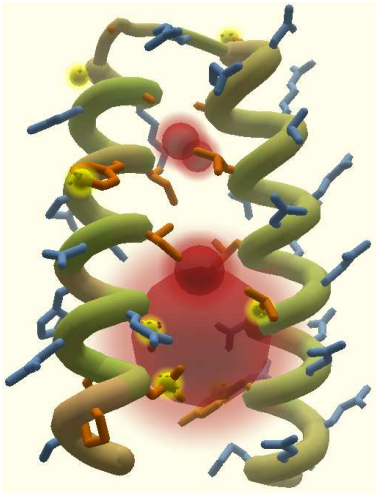


Oxy-Form

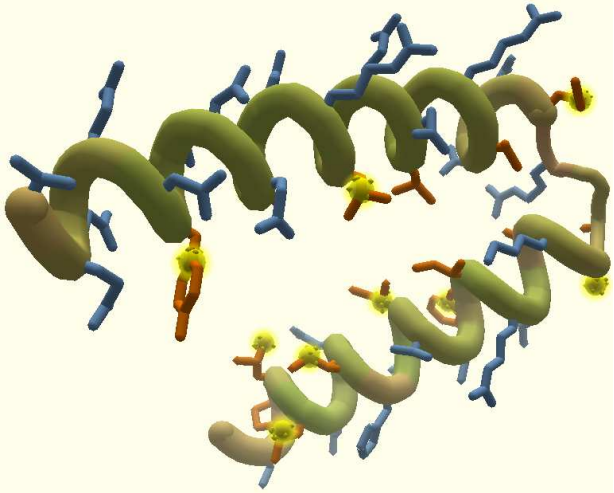
Q: www.rcsb.org (geänd. drews)

interessante Links:
http://fold.it/portal

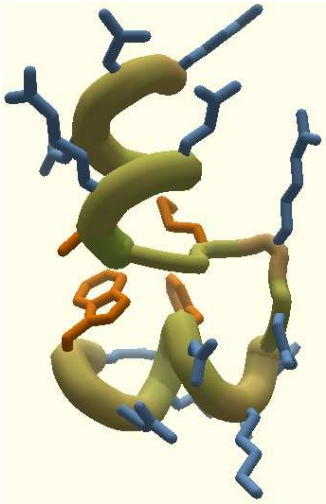
Informationen und ein download-bares Spiel zum Thema Protein-Faltung / Protein-Strukturen (ob das wirklich ein Spiel ist, sei dahingestellt; sehr gut ist aber der informative Charakter; einfach 3D-Manipulation von Peptiden und Strukturen möglich; leider nur englisch); es gibt ein deutsches Wiki (http://de.foldit.wikia.com/wiki/Foldit) mit vielen Informationen;
Das Projekt soll u.a. dem Vergleich von menschlichen Lösungs-Strategien und Computer-basierten Algorithmen dienen.



Beispiel-Protein aus fold.it mit verschiedenen "Problemen", die der Nutzer / Spieler lösen muß



gelöstes Problem – das Protein hat einen optimalen energetischen Wert



weiteres Beispiel-Protein mit verschiedenen Seitenketten

3.3.2.4. Die Vielfalt der Eiweiße

Wie wir schon bei den Kohlenhydraten und Fetten gesehen haben spielt die Anordnung der einzelnen Bausteine (Einfachzucker bzw. Fettsäuren) eine entscheidende Rolle für die späteren Merkmale eines Stoffes.
Bei den Eiweißen ist die Variationsfähigkeit auf die Spitze getrieben. Betrachten wir als ein vereinfachtes Modell nur 3 der insgesamt 20 Aminosäuren. Wir bezeichnen sie mit A, B und C. Das entstehende Eiweiß soll nur aus einer viergliedrigen Kette bestehen. In der Natur sind Ketten mit bis zu einigen tausend Aminosäuren bekannt.
Wieviele Viererkombinationen (Tetrapeptide) lassen sich nun erzeugen?

Durch Probieren erhalten wir exakt 81 Möglichkeiten:

A A A A	A A A B	A A A C	A A B A	A A B B	A A B C	A A C A	A A C B	A A C C
A B A A	A B A B	A B A C	A B B A	A B B B	A B B C	A B C A	A B C B	A B C C
A C A A	A C A B	A C A C	A C B A	A C B B	A C B C	A C C A	A C C B	A C C C
B A A A	B A A B	B A A C	B A B A	B A B B	B A B C	B A C A	B A C B	B A C C
B B A A	B B A B	B B A C	B B B A	B B B B	B B B C	B B C A	B B C B	B B C C
B C A A	B C A B	B C A C	B C B A	B C B B	B C B C	B C C A	B C C B	B C C C
C A A A	C A A B	C A A C	C A B A	C A B B	C A B C	C A C A	C A C B	C A C C
C B A A	C B A B	C B A C	C B B A	C B B B	C B B C	C B C A	C B C B	C B C C
C C A A	C C A B	C C A C	C C B A	C C B B	C C B C	C C C A	C C C B	C C C C

Mathematisch berechnet sich die Anzahl der Möglichkeiten durch:

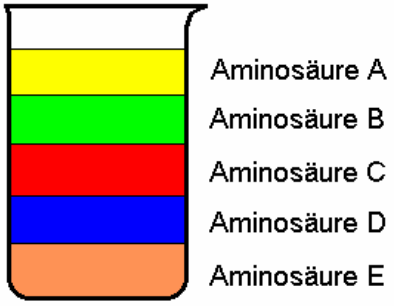
$3 * 3 * 3 * 3 = 3^4 = 81$ $\qquad$ $\text{Anzahl\_der\_Aminosäuren}^{\text{Kettenlänge}} = \text{Anzahl\_Eiweiße}$

Für eine relativ kurze Kette mit nur 100 Aminosäuren beträgt die Zahl der möglichen Eiweiße schon:

$$20^{100} \approx 10^{130}$$

Die Zahl ist so groß, das die Teilchen unseres bekannten Universums nicht ausreichen, um alle Kombinationen auch nur einmal nachzubauen. Daneben existieren aber auch noch mögliche Ketten mit 99, 98, 97, ... und auch mit 101, 102, 103, ... Gliedern.
Exakterweise muß man sogar noch einschränken, dass dies nur die Zahl möglicher Polypeptide ist. Die Peptide ordnen sich intern auch noch zu unterschiedlichen Knäulen (Tertärstrukturen). Somit steigt die entgültige Zahl noch weiter.
Natürlich werden in der Natur nur "einige wenige" Millionen Kombinationen wirklich genutzt. Die meisten der – theoretisch möglichen – Peptide können entweder gar nicht weiter verbaut oder sie sind biochemisch nicht aktiv.
Jeder Mensch enthält tausende verschiedener Eiweiße. Diese sind zu rund 94% so ähnlich, wie die vom Haus-Schwein.
Jedes Eiweiß besitzt meist wenige – aber sehr spezielle – Funktionen / Aufgaben in unseren Zellen bzw. im Körper. Viele Eiweiße – vorrangig die globulären – sind Funktionseiweiße. Sie arbeiten als Enzyme (Biokatalysatoren) im Stoffwechsel (s.a.: 3.5. Vitamine; 4. Stoffwechsel).
Die Anordnung der Aminosäuren ist übrigens in der Erbsubstanz (RNS / DNS) gespeichert. (s.a.: Biosynthese der Eiweiße)

Aufgaben:



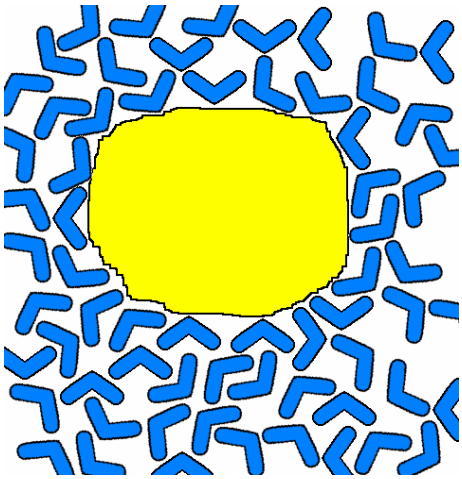
1. In einem reichlich großen Reaktionsgefäß befinden sich 5 verschiedene Aminosäuren-Lösungen. Alles wird gründlich durchgemischt und es herrschen optimale Bedingungen zur Bildung von Peptiden. Wieviele verschiedene Dipeptide können nach ausreichender Zeit gefunden werden? Begründen Sie Ihre Vermutung!
2. Wieviele verschiedene Pentapeptide befinden sich nach ausreichender Zeit im Reaktionsgefäß? Erklären Sie, wie Sie auf Ihre Vermutung kommen!
3. Wieviele verschiedene Peptide insgesamt kann man nach ausreichender Zeit vorfinden?
4. Wie sehen die Zahlen aus, wenn statt den 5 Aminosäuren alle proteinogen vorhanden sind?

3.3.3. Eigenschaften der Eiweiße

3.3.3.1. Allgemeine (physikalische und chemische) Eigenschaften der Peptide und Eiweiße

Für die unendliche Zahl von Eiweißen gemeinsame Eigenschaften anzugeben scheint irrwitzig. Tatsächlich gibt es aber doch einige recht ähnliche Eigenschaften.
Aminosäuren sind genau wie viele Kohlenhydrate optisch aktive Verbindungen. Nur hat sich die Natur hier für die L-Aminosäuren als Bauteile für alle Eiweiße "entschieden".

3.3.3.1.1. Verhalten in wässrigen Lösungen



Faserförmige Eiweiße sind meist nicht wasserlöslich. Auch die großen kugelförmigen Eiweiße können nicht mehr vom Wasser gelöst werden. Sie schwimmen mit den Wasserteilchen mit, weil sie eine fast gleich große Dichte besitzen. Die Wasserteilchen umgeben das Eiweiß-Molekül mit einer Wasserhülle (Hydrathülle). Das Eiweißmolekül wird von den Wasserteilchen wie in einem Netz gefangen gehalten. Dies nennt man eine kolloidale Lösung.
Viele Proteine quellen in Wasser auf. In die meist faserförmigen Strukturen können z.T. sehr große mengen an Wasser eingelagert werden. Oft werden sogar feste Gele gebildet.
Beim Aufquellen werden die Wasser-Moleküle im Wesentlichen im Inneren der Eiweiß-Moleküle (Quatär-Struktur) eingelagert.
Andere – überlicherweise gute – Lösungsmittel für Eiweiße sind Ameisensäure und Glycerol (Propantriol, Glycerin). Unpolare Lösungsmittel (Benzin, Tetra, …) können nur in den wenigsten Fällen eingesetzt werden.
Auch Eiweiße haben einen isoelektrischen Punkt. Prinzipiell gelten die oben gemachten Aussagen zu den Aminosäuren auch für die Eiweiße.

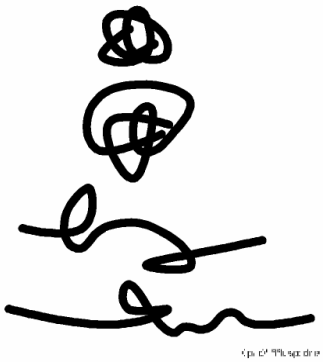
Eiweiß	isoelektr. Pkt. [pH]
a-Caseïn (Rind)	4,0
Hühner-Ei-Albumin	4,9
Gersten-Albumin	5,8
Weizen-Gliadin	6,5

Eiweiß	isoelektr. Pkt. [pH]
Globin (Mensch)	7,5

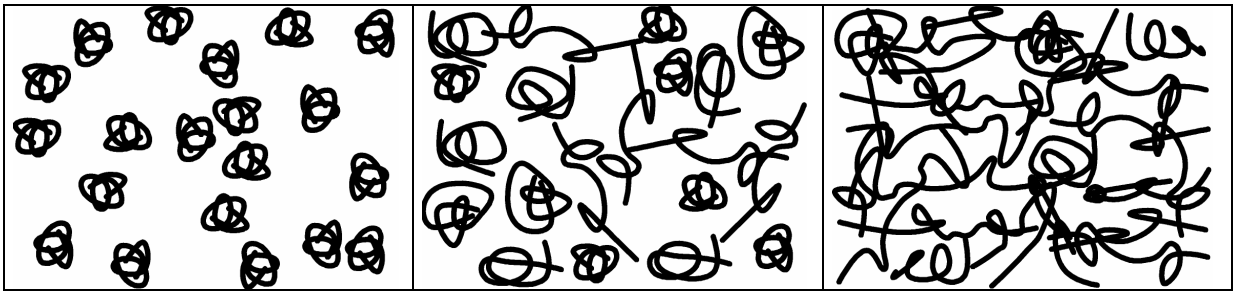
Am isoelektrischen Punkt eines Proteins ist dessen Löslichkeit am geringsten. Genau so verhält es sich mit der Viskosität der Lösung.

3.3.3.1.2. Verhalten von Proteinen unter veränderten Bedingungen und / oder Lösungs-Zusätzen (Denaturierung der Eiweiße)

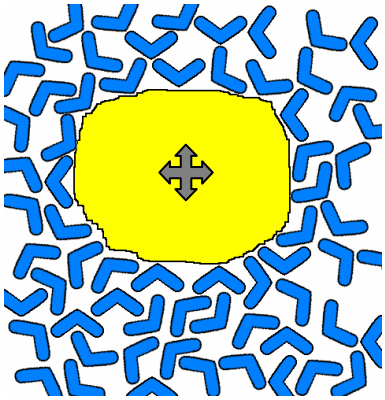
Bei höheren Temperaturen, Strahlung und hohen Druck entknäulen oder verknäulen die Eiweiße immer stärker. Dadurch verlieren die Eiweiße ihre Eigenschaften - sie können ihre natürlichen Aufgaben nicht mehr erfüllen.
Man spricht deshalb auch von Denaturierung oder Gerinnung. Auch durch Ultraschall, saure, basische oder salzige Lösungen können Eiweiße denaturieren.
Was passiert genau, wenn Eiweiße denaturierenden Einflüssen, wie Hitze, Strahlung, Druck oder bestimmten chemischen Stoffen ausgesetzt werden?
Durch Energiezufuhr (Wärme, Strahlung, Druck, ...) kommen die Peptidketten immer stärker in Bewegung. Zuerst brechen die schwachen Wasserstoffbrückenbindungen, die dem Eiweiß die Struktur erhalten haben. Bei weiterer Energiezufuhr lösen sich dann auch die festeren Kontaktstellen und die Eiweiß-Struktur geht verloren.



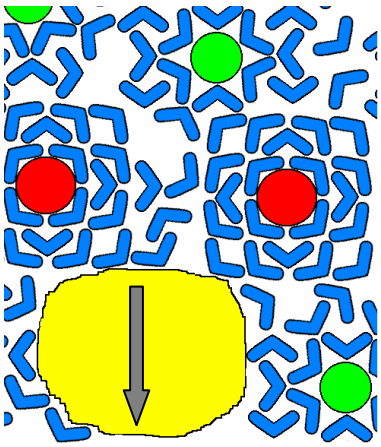
Die Peptidketten liegen letztendlich in lang gestreckter Form in der Lösung (Zellsaft, Kochwasser, ...) vor. Die Peptidketten verwirren sich mit anderen. Andere Peptidketten brechen.



Die zugeführte Energie macht nun auch das Knüpfen neuer chemischer Bindungen möglich. Fremde Peptidketten verbinden sich an irgendwelchen zufälligen Stellen. Die neuen Kontaktstellen sind z.T. chemisch sehr fest. Das Geflecht aus verwirrten Peptidketten wird durch diese Kontaktstellen verfestigt. Als Ergebnis erhält man geronnenes (od. auch gestocktes) Eiweiß in fester Form.
Etwas anders verläuft die Denaturierung durch chemische Substanzen. Durch die Vielzahl der chemischen Substanzen sind verschiedene Mechanismen der Denaturierung möglich. In einfachen Fällen verlieren die schwimmenden Eiweiß-Moleküle einfach ihre Schwimmfähigkeit (Ausfällung, reversible / umkehrbare Denaturierung). Normalerweise sind die Eiweiß-Moleküle von einer Hydrathülle umgeben. Diese wird von den elektrischen Ladungen der Eiweiß-Moleküle gehalten.



Im umgebenen Wasser wird diese Hydrathülle wie in einem riesigen Netzwerk festgehalten. Die Eiweiße scheinen aufgelöst, was wegen der Größe aber gar nicht geht. Vielmehr schwimmen die Moleküle im Wasser. Diese kolloidale Lösung wird durch bestimmte Zusätze - z.B. Säuren, Basen, bestimmte Salze, Harnstoff - zerstört.



Den Eiweiß-Molekülen werden durch die Zusätze die Wasser-Moleküle der Hydrathülle entrissen (Aussalz-Effekt). Die Eiweiße verlieren ihre Schwimmfähigkeit und fallen als Niederschlag

auf dem Boden aus (Ausfällung). Andere Eiweiße schwimmen abhängig von ihrer Dichte auf der Oberfläche (man spricht hier auch von einer Ausfällung).
Geringe Konzentrationen von Salzen (0,5 – 1 M) befördern im Allgemeinen die Löslichkeit der Proteine (Einsalz-Effekt). Dies liegt zum einen an den noch relativ kleinen Cluster (Ionen mit Hydrat-Hüllen), wie auch an der etwas vergrößerten Dichte der Lösung. Weiterhin spielt die Auflösung bzw. Kompensation der elektrostatischen Anziehungs-Kräfte zwischen den Protein-Molekülen (Auflösung der kristallartigen Strukturen) eine Rolle.
Eine Denaturierung durch Neutralsalze oder polaren organischen Lösungsmitteln, wie Trichloressigsäure und Sulfosalicylsäure, führen zu einem reversiblen (umkehrbaren) Effekt. Erst bei höheren Konzentrationen oder aktiveren / aggressiveren Stoffen erfolgt die Denaturierung irreversibel (unumkehrbar).
Die Schwefelbrücken (Tertiärstruktur) zwischen den verschiedenen Abschnitten der Polypeptide werden schon bei Temperaturen ab 74 °C zerstört. Da bei bildet sich Schwefelwasserstoff – ein stark riechendes Gas (Verwesungsgeruch).
Viele Chemikalien zerstören zudem die inneren Bindungen zwischen den Peptidketten (Sekundär- und Tertiär-Struktur). Der normale Zusammenhalt ist nicht mehr gewährleistet und die Funktionsfähigkeit ist reduziert oder verschwindet ganz.
Schwermetalle – wie Cadmium, Blei, Quecksilber – aber auch andere Metalle (Cupfer, Silber, Eisen) bewirken die irreversible Denaturierung. Besonders die Ionen aus den verschiedenen Salzen lagern sich in den aktiven Zentren der Enzyme an oder verdrängen die normalen Metall-Ionen dort. In der Konsequenz können die Enzyme ihre "normale" Tätigkeit nicht mehr ausführen. Die Enzyme sind in der veränderten Form nicht mehr nutzbar (aktiv) – mit anderen Worten, sie sind denaturiert.

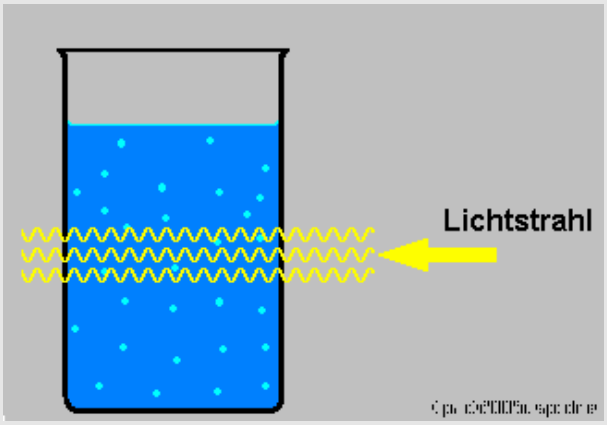
für die Schlagfähigkeit von Eiklar sind Albumine (rel. kleine, wasserlösliche Proteine) verantwortlich

Exkurs: kolloidale Lösungen und der TYNDALL-Effekt

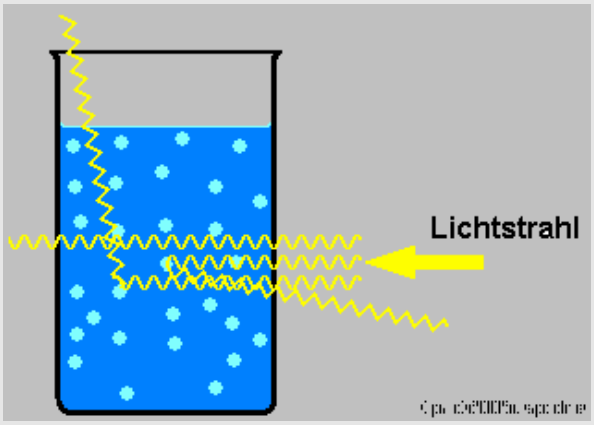
Ein **Kolloid** ist eine extrem feine Verteilung eines Stoffes (Dispers) in einem anderen (Dispersionmittel). Es handelt sich um keine Lösung – sondern um eine Mischung. Die dispergierten Teilchen sind sehr klein. Typische Größen liegen zwischen 10 und 100 nm (1 nm = 10^{-9}m; frühere Angabe: 100 – 1000 Å (ÅNGSTRÖM)). Kolloide sind für feste, flüssige und gasförmige Dispersionsmittel bekannt. Die dispergierten Stoffe können ebenfalls in den drei Aggregatzuständen vorliegen.

	Dispersionsmittel		
Dispers	**fest**	**flüssig**	**gasförmig**
fest	festes Sol z.B.: schwarzer Diamant	(flüssiges) Sol z.B.: Gold-Wasser	Rauch od. festes Aerosol
flüssig	feste Emulsion z.B.: Butter	Emulsion z.B.: Milch	flüssiges Aerosol z.B.: Nebel
gasförmig	fester Schaum z.B.:	gasförmiger Schaum	Gasgemisch z.B.: Luft

Einfache ("normale") Lösungen enthalten Teilchen, deren Größe – auch mit Hydrathülle – relativ gering (0,3 – 1 nm) ist. Das Licht (Die Lichtwellen (Wellenlänge zwischen 390 und 770 nm)) werden von so kleinen Teilchen nur unwesentlich beeinflusst. Ein Lichtstrahl kann eine einfache Lösung fast ungehindert durchdringen.
Anders bei den größeren Teilchen in **kolloidale**n **Lösung**en (Scheinlösungen). Hier ist die Beeinflussung so stark, dass Lichtwellen gebrochen und reflektiert werden. Für den Beobachter sieht es dann so aus, als wenn die Teilchen leuchten würden. Man kann quasi die Teilchen erkennen.



einfache Lösung im Durchlicht



kolloidale Lösung mit TYNDALL-Effekt

Der Effekt wurde von J. TYNDALL entdeckt und erklärt. Er ist z.B: auch bei Nebel im Wald sehr gut zu beobachten. Die Wassertröpfchen reflektieren – die durch die Baumkronen dringenden – Lichtstrahlen. Aber auch wenn durch ein Fenster Lichtstrahlen ins Zimmer fallen, kann man schwebende Staubteilchen "sehen".
Eine echte und eine kolloidale Lösung unterscheiden sich auch aus energetischer Sicht. Beim Zerfallen eines sich lösenden Stoffes und beim Bilden der Hydrat-Hüllen wird Energie umgesetzt (Lösungswärme (kann endotherm od. exotherm ausfallen)). Das Mischen der Stoffe zu einem Kolloid ist nur von sehr geringen oder keinen energetischen Umwandlungen begleitet.
Typische Beispiele für kolloidale Systeme sind Emulsionen (flüssig-flüssig), Suspensionen (flüssig-fest) und Aerosole (gasförmig-flüssig).

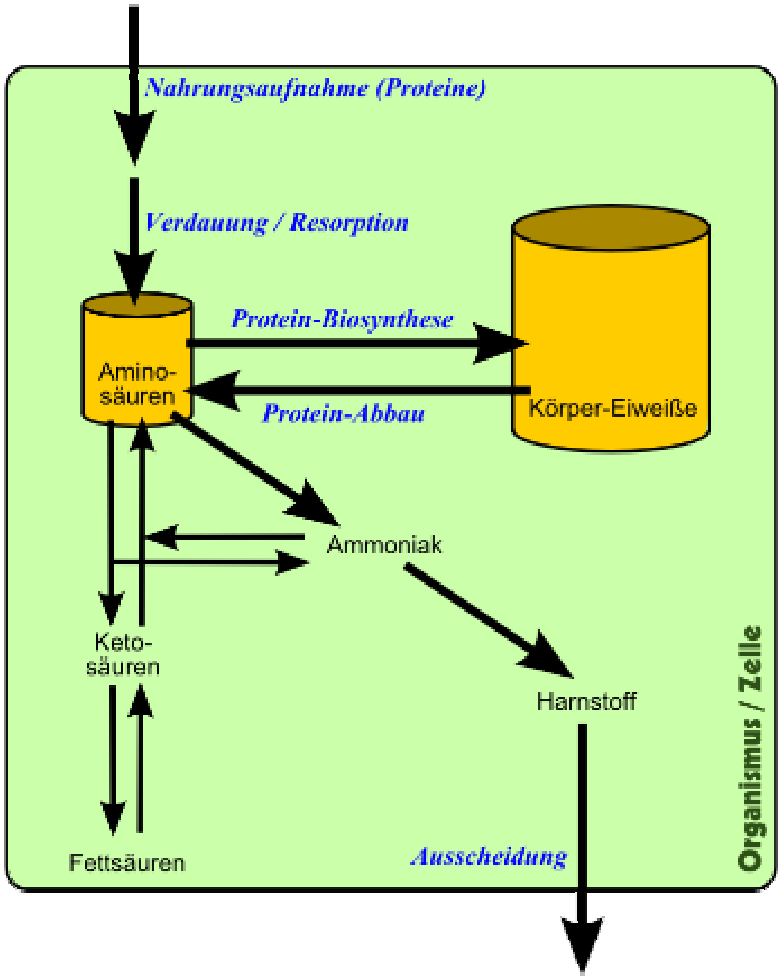
Im griechischen Restaurant gibt's zum Abschluss oft noch einen Ouzo. Auch hier lässt sich der **TYNDALL-Effekt** sehr schön beobachten. Schon bei normalem Licht treten optische Reflexe auf, die von scheinbar im Ouzo schwimmenden "Kristallen" stammen. Nun sind aber im Ouzo gar keine großen Teilchen oder kristalline Stoffe enthalten. Wie kommt es aber zu diesem Effekt? Ouzo enthält – wie andere anishaltige Branntweine (z.B. Absinth, Sambuca und Raki) – ätherische Öle. Bei Verdünnung mit Wasser und noch besser bei starker Kühlung bilden sich schlagartig Öl-Tröpfchen (Öl-in-Wasser-Emulsion). Bei tiefen Temperaturen und bei Zugabe von Wasser sinkt das Lösungsvermögen für die ätherischen Öle. Nur bei ausreichendem Alkoholgehalt sind die Öle löslich. Diesen Effekt nennt man **Louche-Effekt** (frz. *louche*: undurchsichtig, verdächtig, anrüchig). Die Tröpfchen sind so groß, dass sie Licht-Strahlen sichtbar reflektieren (TYNDALL-Effekt).

Aufgaben:

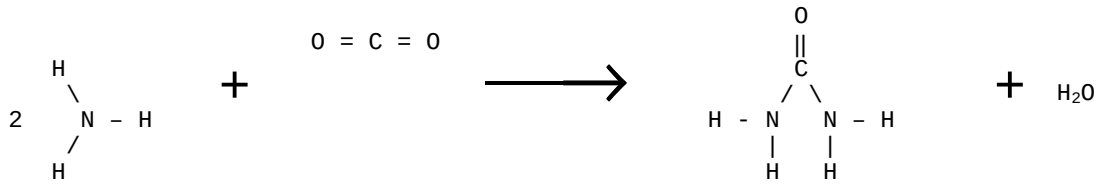
1. *Prüfen Sie eine Kochsalz-, Cupfersulfat-, Zucker- und eine Eiweiß-Lösung, sowie eine frische Emulsion (3 – 5 Tropfen Öl auf 5 ml Wasser) auf den TYNDALL-Effekt! Als Lichtquelle kann ein scharfer (gebündelter) Lichtstrahl oder ein Laser-Pointer (möglichst weißes Licht) verwendet werden.*
2. *Kühlen Sie einen Uozo (od.ä.) sehr stark! Prüfen Sie, ob der Louche-Effekt auftritt! Weisen Sie mit Hilfe eines Laser-Pointers oder eines anderen Lichtstrahls den TYNDALL-Effekt nach!*
3. *Versuchen Sie den Louche-Effekt durch Verdünnung eines Uozo zu erzielen! Prüfen Sie ebenfalls auf den TYNDALL-Effekt!*

3.3.3.2. Biologische Eigenschaftung der Eiweiße und ihre Bedeutung

Eiweiße aus unserer Nahrung werden bei der Verdauung in ihre Bauteile - die Aminosäuren - zerlegt. Nur diese können vom Darm aufgenommen werden. Außerdem können die Zellen die Aminosäure-Ketten anderer Lebewesen nicht zur Herstellung der individuellen Eiweiße nutzen. Die freigesetzten Aminosäuren werden in den Zellen zu neuen Eiweißen kombiniert (Biosynthese der Eiweiße).
Viele Aminosäuren können im Körper selbst hergestellt oder ineinander umgewandelt werden. Andere müssen mit der Nahrung aufgenommen werden, weil für sie keine Produktionsmöglichkeiten bestehen.
Diese essentiellen Aminosäuren sind weiter vorn schon genannt worden.
Der Abbau der Eiweiße über die Aminosäuren erzeugt am Ende sehr giftiges Ammoniak.



Über die Reaktion mit dem Abfallprodukt Cohlendioxid aus der Zellatmung wird relativ ungiftiger Harnstoff gebildet.



Amoniak **Cohlendioxid** **Harnstoff** **Wasser**

Dieser wird dann vorrangig mit dem Urin ausgeschieden. In den Zellen wird Harnstoff nicht direkt aus Ammoniak und Cohlendioxid gebildet, wie es die obige chemische Gleichung suggeriert. Für die Biosynthese von Harnstoff sind innerhalb des Harnstoff-Cyclus (Ornithin-Cyclus; KREBS-HENSELEIN-Cyclus) mehrere verschiedene Enzyme als Katalysatoren aus den Mitochondrien und dem Zellplasma notwendig.
Neben Ammoniak wird auch Schwefelwasserstoff bei der Zersetzung von Schwefel-haltigen Aminosäuren frei. Ammoniak und Schwefelwasserstoff machen den üblen Geruch von faulenden und sich zersetzenden Eiweißen aus.
Läßt man z.B. Wild oder Rinder-Fleisch zu lange abhängen, dann bildet sich ein leicht ammoniakalischer Geschmack, der "Haut gout" (frz.; sprich: "ot gu") genannt wird. Früher wurde der überreife Geschmack dann durch eine passende Zubereitung (z.B. Würzen) korrigiert oder kaschiert.

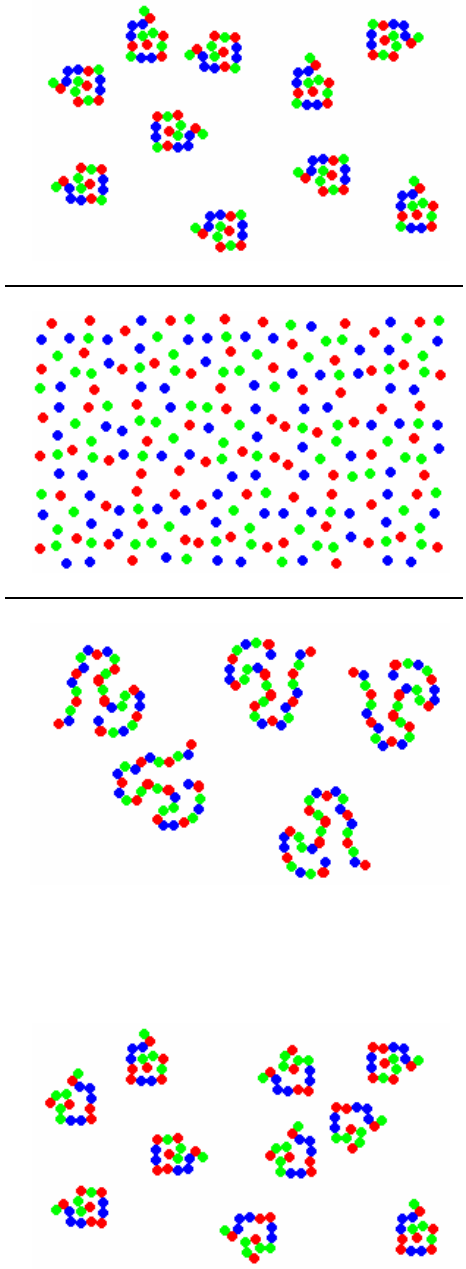
Mit höherem Ammoniak-Gehalt geht aber auch eine höhrere Konzentration an anderen giftigen Eiweiß-Abbau-Produkten einher. Solche verdorbenen Eiweiße können schwere Vergiftungen erzeugen.

Biologische Wertigkeit von Eiweißen

Für jede Aminosäure haben wir einen unterschiedlichen – ganz speziellen – Bedarf. Angegeben wird dieser allgemein immer bezogen auf das Kilogramm Körpermasse.
Am Günstigsten wäre natürlich eine Nahrungsaufnahme, die genau die richtigen Aminosäuren zur Verfügung stellt. Dies kann man nicht erwarten, da zum der Bedarf u.a. auch vom:

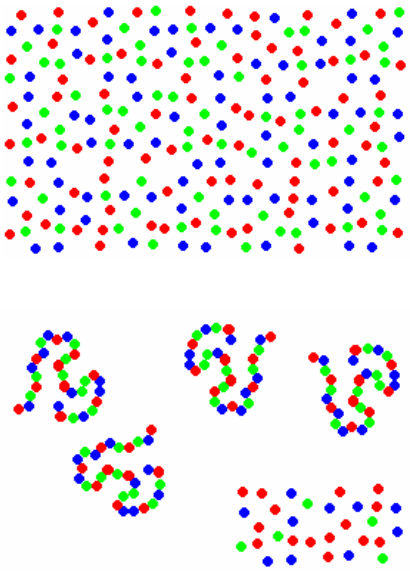
- Geschlecht
- Entwicklungsstand
- Gesundheitszustand
- Alter
- Schwangerschaft

usw. abhängt.

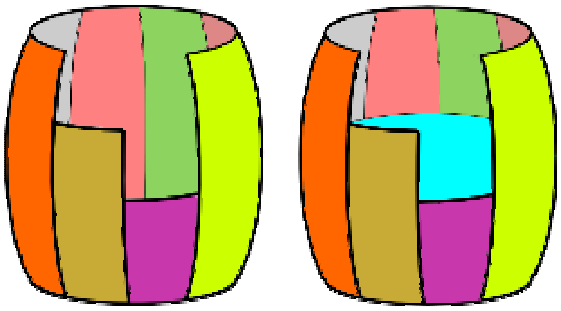


Jede Nahrung hat zudem ihre eigene – ganz spezielle Zusammensetzung – was ja auch ihren charakteristischen Geschmack usw. usf. ausmacht. Selten sind genau die richtigen Aminosäuren auch im richtigen Mengen-Verhältnis für uns Menschen enthalten.
Betrachten wir ein einfaches Beispiel, um uns das Grundproblem anzusehen. Ein Mensch benötigt für ein eigenes Eiweiß 3 verschiedene (essentielle) Aminosäuren (unterste Abb.). Wir benennen sie mit **A**, **B** und **C**. Der Einfacheit halber sollen im fertigen Eiweiß immer genau 10x **A**, 10x **B** und 10x **C** eingebaut sein. Ein optimales Nahrungs-Eiweiß (oberste Abb.) sollte also genau in dieser Zusammensetzung auch die Aminosäuren **A**, **B** und **C** enthalten. In unserem Beispiel enthalten die Nahrungs-Eiweiße jeweils immer je 5 der Aminosäuren **A**, **B** und **C**.
Nach der Zerlegung im Verdauungstrakt und der Resorption in den Körper stehen die Aminosäuren für die Produktion des Körper-eigenen Eiweißes zur Verfügung.
In der Biosynthese (Translation) werden die (Körper-eigenen) Eiweiße nach dem Zell-eigenen genetischen Programm (Gene) zusammengestellt.
Die fertigen Eiweiße enthalten nun zwar die gleichen Aminosäuren, aber in anderer Anzahl und in einer anderen Reihenfolge (siehe auch → 3.3.2.4. Die Vielfalt der Eiweiße).
Nun soll ein anderes Eiweiß als Nahrung dienen.
Es unterscheidet sich in der Zusammensetzung nur unwesentlich von unserem obigen Beispiel. Bei einigen Molekülen (hier: 5) ist einmal die Amniosäure **C** gegen **A** ausgetauscht. Praktisch sind es also zwei verschiedene Eiweiße in der Nahrung.
Dies scheint erst einmal völlig unspektakulär zu sein. Auch nach der Zerlegung im Magen-Darm-Trakt lässt sich kein wesentlicher Unterschied erkennen.

Der Aufbau der Körper-eigenen Eiweiße stößt aber auf ein Problem. Da nur noch 5 Aminosäuren **C** vorhanden sind, lässt sich das letzte Körper-Eiweiß nicht mehr aufbauen. Der Überschuß an der Aminosäure **A** (hier jetzt: 15x) kann das Defizit nicht ausgleichen.
Kommt eine Aminosäure nicht in der richtigen menge in der nahrung vor, dann sprechen wir von einer limitierenden Aminosäure. Ihr Anteil begrenzt die Produktion eines oder mehrerer Körper-Eiweiße.
Aus dem vereinfachten Modell können wir auch erkenne, dass der Überschuß an anderen Aminosäuren überhaupt nicht interessiert.
Wenn ein einzelner Faktor das endgültige Geschehen durch seine Mindermenge begrenzt, dann sprechen wir vom Minimum-Gesetz.



Als Modell zum Verständnis des Minimumgesetzes soll uns ein alter Holzbottich zum Wassersammeln dienen. In dem Bottich wollen die Bewohner eines Hauses möglichst viel Wasser sammeln. Der Bottich ist aber (sehr unfachmännisch) aus verschieden langen Leisten gebaut. Wird wenig Wasser eingefüllte, spielt die Länge der Leisten keine Rolle. Erst wenn man versucht mehr einzufüllen, wird man den begrenzenden Faktor erkennen. Die kürzeste Leiste bestimmt die Füllhöhe. Das überschüssige Wasser läuft über und ist eigentlich schon beim Eingießen verschwendet.

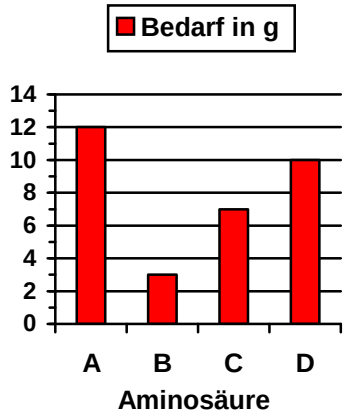


Die Bottich-Leisten im Modell verdeutlichen die zugeführten Aminosäuren. Die kleinste Leiste (violett) bestimmt die Wasserhöhe (mögliche Eiweiß-Produktion). Ob die anderen Leisten bis zum Optimum (oberer Faß-Rand) gehen oder darüber hinaus, spielt für die Füllhöhe keine Rolle.

Aufgabe:

Suchen Sie praktische Anwendungen und Realisierungen des Minimum-Gesetzes!

Ein Mangel an Aminosäuren führt oft zum direkten Mangel von bestimmten Körper-Eiweißen. Als Folge können die unterschiedlichsten Krankheitsbilder auftreten. Nicht immer muß dabei aber die falsche Ernährung der Auslöser sein. Einige krankhafte Zustände sind z.B. genetisch bedingt. Mit Medikamenten kann man den Eiweiß-Stoffwechsel ebenfalls beeinflussen. Erinnert sei hier z.B. an die Melanin-Mangel-Krankheit **Albinismus**.
Da wir uns von verschiedenen Pflanzen- oder Tierarten ernähren, ist ein Mangel eher selten gegeben. Je näher die Verteilung der Aminosäuren in der Nahrung dem menschlichen Ideal kommt, umso besser ist die Nahrung verwertbar.
Im nebenstehenden Diagramm soll dies vereinfacht (nur für 4 Aminosäuren) verdeutlicht werden. (Angaben in Gramm Eiweiß pro Kilogramm Körpergewicht)



Essential Amino Acid Index

Beim **Essential Amino Acid Index (EAA-Index)** verwendet man das Voll-Ei als Vergleichs-Basis. Voll-Ei enthält ungefähr alle essentiellen Aminosäuren im richtigen Verhältnis (für menschliche Bedürfnisse).
Zur Berechnung des EAA-Index werden für alle Aminosäuren die im untersuchten Protein vorhandenen Mengen zu den "optimalen" Mengen im Voll-Ei ins Verhältnis gesetzt und diese dann miteinander multipliziert. Im Idealfall erhält man den EAA-Index = 1.

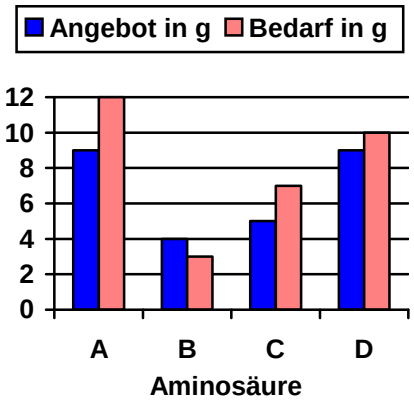
$$EAA-Index = \frac{AS_A[\mathrm{Pr}obe]}{AS_A[Voll-Ei]} \cdot \frac{AS_B[\mathrm{Pr}obe]}{AS_B[Voll-Ei]} \cdot \frac{AS_C[\mathrm{Pr}obe]}{AS_C[Voll-Ei]} \cdot \frac{AS_D[\mathrm{Pr}obe]}{AS_D[Voll-Ei]}$$

Hinweis: Diese Formel gilt nur für das 4-Aminosäure-Beispiel in diesem Skript! Für eine reale Rechnung müssen alle essentiellen Aminosäuren betrachtet werden!
Enthält nun z.B. eine Nahrung die nebenstehenden Mengen, dann würde sich der EAA-Index so errechnen:

$$EAA-Index = \frac{12}{12} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{5}{7} \cdot \frac{9}{10} = 1{,}0 \cdot 1{,}33 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}9$$

$$EAA-Index = 0{,}86$$

Der Mangel an drei – der Beispiel-Aminosäuren – schlägt sich also in einem Wert deutlich unter dem Idealwert 1,0 nieder.



Aufgaben:

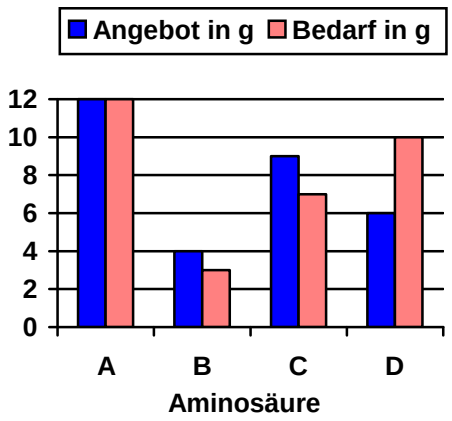
1. Stellen Sie die Formel zur Berechnung des exakten EAA-Index auf!

2. Wiederholen Sie die Verdauung von Eiweißen im Magen-Darm-Trakt!

Der EAA-Index hat aber nur einen eingeschränkten Wert, da er suggeriert, dass fehlende Aminosäuren durch andere ersetzt werden könnten. So ergibt folgende Beispiel einen optimalen Wert, obwohl die Aminosäure D deutlich im Mangel liegt:

$$EAA-Index = \frac{12}{12} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{9}{7} \cdot \frac{6}{10} = 1{,}0 \cdot 1{,}33 \cdot 1{,}3 \cdot 0{,}6$$

$$EAA-Index = 1{,}03$$

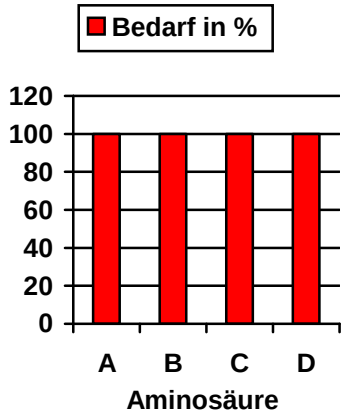


Da der EAA-Index jetzt gut über dem Idealwert liegt, bekommt man den Eindruck, alles wäre super. Wie wir aber schon gesehen, hat die Beispiel-Aminosäure D hier einen limitierenden Effekt, der durch den guten EAA-Index nicht mehr ersichtlich ist.

Biologische Wertigkeit

Einen etwas anderen und problemorientierteren Ansatz entwickelte der Ernährungswissenschaftler Karl THOMAS (1883 – 1969).

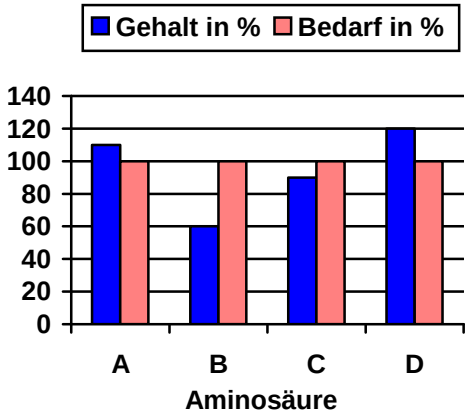
Um besser und vergleichbarer arbeiten zu können, wird der Bedarf zuerst einmal für alle essentiellen Aminosäuren auf 100 % gesetzt. Von den einzelnen Aminosäuren werden also immer 100 % benötigt. Dabei ist es egal, ob 12, 3, 7 oder 10 g der Aminosäure pro kg Körpermasse gebraucht werden. (siehe Abbildung links oben)



Eine ideale Eiweißnahrung müßte nun genau so eine Verteilung der Aminosäuren aufzeigen – also jeweils 100 % bzw. die jeweiligen Gramm-Mengen.

Wie schon erwähnt, ist bei einer Ernährung mit irgendwelchen Pflanzen- und Tier-Produkten immer eine Abweichung gegeben, da die artspezifischen Eiweiße immer ihre jeweils eigentümliche Zusammensetzung haben. Bei einer künstlichen Ernährung / Nahrungszusammenstellung wäre eine vollständige Abdeckung des Bedarfs natürlich machbar.

Für ein beliebiges Nahrungseiweiß soll sich z.B. das nächste Diagramm ergeben.



Wie man schnell sieht, weichen einige Anteile doch beträchtlich vom Ideal ab. Bei einer ausschließlichen Ernährung über dieses Nahrungseiweiß würden wir bei den Aminosäure A und D ein Überangebot haben.

Diese könnten zur Energiegewinnung genutzt werden. Ungünstiger ist das Fehlen der Aminosäuren B und C. Sie sind nur durch eine verstärkte Nahrungsaufnahme oder durch körpereigene Bildung zu ersetzen.

Ist aber eine der Aminosäuren essentiell, dann bleibt nur die vermehrte Nahrungsaufnahme. Eine vermehrte Nahrungs-Aufnahme ist aber immer bedenklich. Man denke an die anderen Stoffe (z.B. Fette), die nun ebenfalls im Überschuß mitaufgenommen werden.
Da wir davon ausgehen, die Beispiel-Aminosäuren sind alle essentiell, dann könnte unser Körper das Nahrungseiweiß effektiv nur zu jeweils 90 % zur Bildung von eigenen Proteinen nutzen.
Die **biologische Wertigkeit** gibt als Maß genau diesen Sachverhalt wieder. Sie gibt den prozentualen Anteil des nutzbaren Eiweißes an. Die biologische Wertigkeit dient uns zur Einstufung der Eiweißqualität. Ist von einem Eiweiß z.B. nur die Hälfte der Aminosäuren nutzbar, dann besitzt dieses Eiweiß die biologische Wertigkeit 50 %.
Aus 100 g des Nahrungseiweißes können in diesem Fall dann nur 50 g Körpereiweiß produziert werden. Wir haben es hier eine exakte Umsetzung für das erwähnte Minimumgesetz. Dabei werden nur die essentiellen Aminosäuren betrachtet, da die anderen ja auf anderem Wege bereitgestellt werden können. Unser Beispieleiweiß hätte also eine biologische Wertigkeit von 90%.

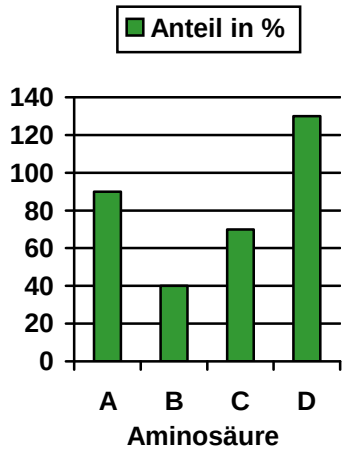
Eiweiß	limit. AS	Biologische Wertigkeit
Bohnen (grün)	Met	63 %
Bohnen (weiß)	Met	46 %
Cornflakes	Lys	32 %
Dorsch	Thr	92 %
Eierteigwaren	Met	30 %
Emmentaler (Käse)	Thr	85 %
Gelantine	Trp	1 %
Haferflocken	Lys	62 %
Haselnüsse	Met	50 %
Hering	Trp	81 %
Hülsenfrüchte	Met	31%
Kartoffeln	Met	67 %

Eiweiß	limit. AS	Biologische Wertigkeit
Kuh-Milch	Thr	87%
Reis (poliert)	Lys	66 %
Reis (Vollkorn)	Lys	64 %
Rind-Fleisch	Phe	80%
Roggen-Vollkornbrot	Lys	68 %
Schweine-Schnitzel	Phe	84 %
Sojabohnen	Met	74%
Speisequark	Thr	98 %
Voll-Ei		94%
Weißbrot	Lys	44 %
Weizen (Vollkorn)	Lys	45 %
Weizen-Mehl (Typ 405)	Lys	37%

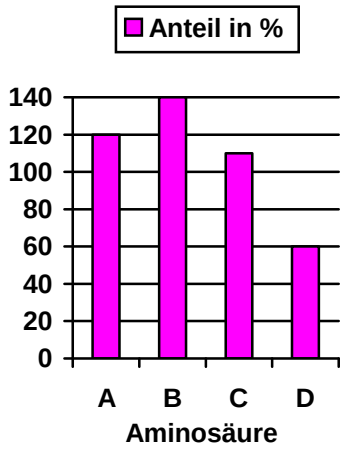
Nun ist aber eine einseitige Ernährung der Ausnahmefall. Normalerweise ernähren wir uns abwechslungsreich. Hierbei ergänzen sich die einzelnen Eiweiße in ihren Zusammensetzungen. In Magen und Darm ist ja nicht mehr zu unterscheiden, von welchem Eiweiß die eine oder andere Aminosäure stammt.

Ergänzungswert

Betrachten wir im folgenden - wieder vereinfachten - Beispiel nur die essentiellen Aminosäuren. Wir schauen uns drei Ernährungsfälle an. Der Erste ernährt sich ausschließlich von Eiweiß 1. Im zweiten Fall wird nur das Eiweiß 2 zur Eiweißernährung genutzt. Der dritte Esser soll im gleichen Maße die Eiweiße 1 und 2 zu sich nehmen. Alle essen natürlich die gleiche Gesamtmenge, um die Vergleichbarkeit zu wahren.



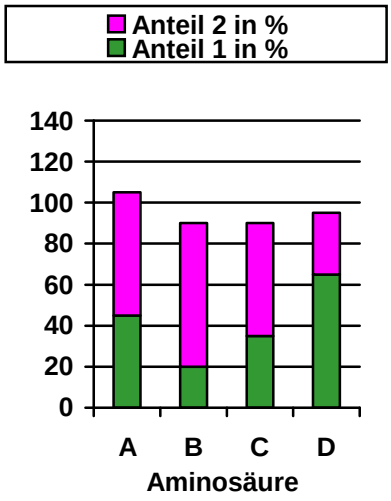
Für den ersten Fall (linke Abbildung, **grüne Balken**) stellen wir schon eine relativ schlechte Bereitstellung der Aminosäuren A, B und C fest. Die biologische Wertigkeit beträgt lediglich 40%, da die Aminosäure B nur in dieser relativen Menge zur Verfügung steht. Für das zweite Eiweiß (rechte Abb., **violette Balken**) sieht es prinzipiell nicht besser aus. Auch hier ist die biologische Wertigkeit nur 60%, obwohl viele Aminosäuren (A, B, C) in ausreichendem Maße vorhanden sind.



Interessant ist nun der dritte Ernährungsfall. Durch die Ernährung von beiden Eiweißen können die Defizite bei den einzelnen Eiweißen schon beachtlich ausgeglichen werden. Für beide Eiweiße zusammen ergäbe sich die biologische Wertigkeit 90%. Beim Berechnen muss man beachten, dass jeweils nur die Hälfte jedes Eiweißes gegessen wurde.

Man spricht wegen der Kombination verschiedener Eiweiße dann vom **Ergänzungswert**. Praktisch stellen wir für die dritte Ernährungsart also den Ergänzungswert 90% fest. Durch geschickte Kombination von Eiweißen kann man eine vollständig ausgewogene Eiweißnahrung zusammenstellen.

Ein Teil der Aminosäuren wird auch zur Energiegewinnung genutzt. Das sind vor allem die überschüssigen. Aminosäuren haben ungefähr die gleiche Energiedichte (Energie pro Masse [17 kJ/g]), wie Kohlenhydrate.



Aufgaben:

1. *Welche biologische Wertigkeit hätte das Eiweiß (vom Beginn dieses Abschnittes), wenn alle Aminsäuren essentiell wären?*
2. *Wieviel Gramm Körpereiweiß können aus 250g Bohnen erzeugt werden?*
3. *Welche biologische Wertigkeit und welchen Ergänzungswert haben die nachfolgenden Eiweiße?* (die Aminosäuren 2, 3 und 5 sind essentiell)

	AS 1	AS 2	AS 3	AS 4	AS 5
Eiweiß 1	3	24	47	6	20
Eiweiß 2	22	12	23	20	23
Eiweiß 3	10	27	24	17	22

Muttermilch ist leichter verdaulich als Kuhmilch. Das liegt daran, dass Kuhmilch mehr Eiweiße enthält. Diese gerinnen im Magen durch die Magensäure. Geronnene Eiweiße sind schwerer verdaulich. Milch ist als Calcium-Quelle insgesamt sehr wichtig.
Aber wofür sind dann die ganzen Aminosäuren in unserem Körper bzw. unseren Zellen wichtig. Die meisten Eiweiße werden als Enzyme in den Zellen aktiv. Für jeden kleinen Reaktionsschritt gibt ein spezielles Enzym. Aber auch andere Aufgaben werden von Proteinen erledigt. Wir haben sie schon weiter vorne einmal herausgearbeit. Deshalb wollen wird sie hier nur kurz aufzälen:

- Struktur-Proteine
- Funktions-Proteine (die gerade erwähnten Enzyme)
- Transport-Proteine
- Schutz-Proteine
- Rezeptoren
- Botenstoffe
- Farbstoffe

Neben der Zusammensetzung der Eiweiße spielt natürlich auch die aufgenommene Menge eine Rolle. Leider ist dies nicht so selbstverständlich, wie wir das bisher mehr oder weniger vorausgesetzt haben.
Besonders die Menschen in den Entwicklungsländern kämpfen mit einer Eiweiß-Unterversorgung. Neben dem Minimumeffekt der biologischen Wertigkeit der angebotenen Eiweiße erzeugen hier auch die Mengen einen limitierenden Faktor.
Bei der Mangelernährung (angebote Nahrung deckt nicht den Bedarf) unterscheiden wir:

- **quantitative Mangelernährung** (Mengen-bezogener Mangel einzelner oder mehrerer Nährstoffe und / oder Nährstoffgruppen, selten einzelner Stoffe)

und

- **qualitative Mangelernährung** (Anteils-bezogener Mangel an einzelnen oder mehreren Aminosäuren, Vitaminen und / oder Mineralstoffen)

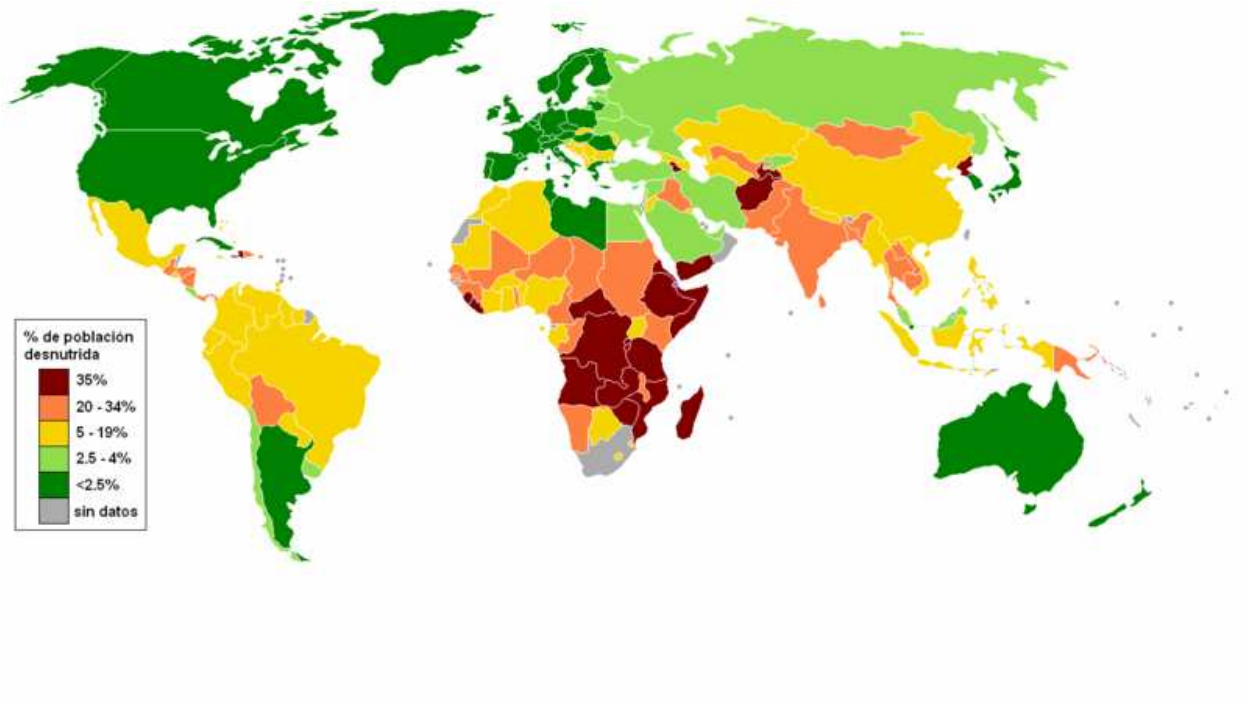
Die Ursachen und Ausprägungungen der Mangelerscheinungen sowie die daraus resultierenden Krankheitsbilder bestimmen die weitere Gruppierung in:

- Fehlernährung (Mangel an (einem) bestimmten Nährstoff(en))
- Mangelernährung im Alter (Riskogruppe: ältere alleinlebende Menschen, die mehrere Medikamente einnehmen müssen, eine geringe Bildung besitzen oder an geistigen Defiziten leiden)
- Unterernährung (Auszehrung der Energiespeicher des Körpers)
- Sarkopenie (physiologischer Muskelabbau)
- Kwashiorkor (Proteinmangel-Ernährung)
- Wasting (durch schwere Krankheiten indzierter Verlust an Körpersubstanz)
- Kachexie (durch tiefgreifende Organstörungen verursachte Auszehrung des Organismus (betrifft fast alle Organsysteme))
-

und

- Marasmus (extremer Mangelernährungszustand durch langfristigen und starken Mangel an Nahrung)

Mangelernährung ist aber nicht nur ein Problem der Entwicklungsländer. Bis auf die Industriestaaten in Nordamerika und Europa, sowie einzelnen Länder auf anderen Kontinenten ist Unterernährung ein globales Problem.
In den nächsten Jahren ist mit einer Verstärkung der Problematik zu rechnen.



Anteil der unterernährten Bevölkerung (2008)
Q: de.wikipedia.org (Lobizón + Belgrano)

Aufgaben:

1. *Analysieren Sie den aktuellen Ernährungszustand in Deutschland! Gehen Sie dabei auch auf die verscheidenen Bevölkerngsgruppen ein!*
2. *Informieren Sie sich z.B. im Internet über die aktuelle globale Ernährungssituation! Sammeln Sie Schlüsselfakten und Schlagzeilen usw. zum Thema!*
3. *Zeigen Sie einige Wirkketten zur Stützung und Verstärkung der aktuellen Welternährungssituation auf!*
4. *Welche Wege sind zur Verringerung der Mangelernährung in der Welt denkbar? Machen Sie begründete Vorschläge!*

Unter Extrembedingungen können rund 25 % des Körpereiweißes eines gesunden Menschen als Protein-Reserve genutzt werden. Bestimmte Stoffwechsel und physiologische Vorgänge werden aber schon bei recht geringen Abweichungen vom Normalen beeinflusst.
Ein direkter Nachweis der Abhängigkeit eines Symptoms von einer Protein- oder Aminosäure-Mangelernährung sind schwierig. Experimente am Menschen fallen aus ethischen Gründen natürlich aus. "Freiland-Beobachtungen" in Entwicklungsländern sind wissenschaftlich nicht exakt genug. Hier sind es meist systhemische Mangelernährungen, so dass ein Nachweis für eine einzelne Aminosäure oder ein Protein schwer fällt.

Durch Proteinmangel können die folgenden Veränderungen auftreten:

- Haarausfall, Pigmentmangel
- Muskelschwäche (Muskelatrophie), geringe allgemeine und körperliche Leistungsfähigkeit
- Blutarmut
- Wachstums- und Entwicklungsstörungen, Entwicklungsverzögerung (Redardierung)
- Veringerung der Immunität, Erhöhung der Krankheitsanfälligkeit, längere Krankheitsdauer
- Fettleber
- Ödeme (Wassereinlagerungen)
- psychische Veränderungen: Teilnahmslosigkeit, Apathie, geistiger Verfall
- Aussetzen der Fertilität (Aussetzen der Menstruation, Veringerung der Spermienzahlen)

Haare bestehen im Wesentlichen aus Proteinen (Kreatin). Fehlende Rohstoffe für die Haarwurzeln bewirken eine Einstellung der Haarnachbildung. Bei gleich bleibender Belastung kommt es zu erhöhtem Verschleiß – die Haare brechen / fallen aus usw. Eine Neubildung setzt erst mit dem Ausgleich des Aminosäuredefizites ein.
Die funktionellen Stoffe der Muskeln sind zumeist Eiweiße (Myosin, Actin, Myoglobin). Diese Eiweiße bauen sich in ungefähr 50 bis 60 Tagen zur Hälfte ab, wenn es keinen Neuaufbau gibt. Die Muskelatur wird solange abgebaut, bis ein Gleichgewicht zwischen (machbaren) Neuaufbau und Abbau erreicht ist.
Besonders dramatisch ist Aminosäuremangel für die Herzmuskelatur. Hier liegt die Halbwertzeit bei 10 bis 14 Tagen. Da eine ausreichende Blutversorgung wesentliche Voraussetzung für einen leistungfähigen Organismus ist, sind Defizite hier schnell sichtbar.
Da für den Muskelaufbau außer der stofflichen Voraussetzung – Proteine – auch noch eine entsprechende Belastung / passendes Training usw. notwendig ist, haben Mangelernährte hier kaum eine Chance.
Blutarmut meint nicht wirklich weniger Blut. Die Probleme sind in der Menge des roten Blutfarbstoffes – und damit in der Anzahl der roten Blutkörperchen zu suchen. Auch die weißen Blutkörperchen und die Antikörper auf ihrer Oberfläche basieren auf Eiweißen. Die in der dritten Welt problematische Hygenie und prinzipiell höhere Verbreitung von Infektionskrankheiten (optimaleres Klima für Parasiten, Bakterien und Pilze) erhöhen die Gefahr einer Erkrankung. Da der Schutz (Anikörper) fehlt und die Vernichtung (weiße Blutkörperchen) nicht klappt, dauern Krankheiten länger, verlaufen dramatischer und richten größere Schäden an. Viele – eigentlich nur akuten – Krankheiten werden zu chronischen, da sie das geschwächte Immunsystem niemals vollständig bekämpfen kann.
Die Fettleber als Krankheitsbild würde man eigentlich eher der Wohlstandsernährung zuordnen. Bei Proteinmangelernährung tritt sie auf, weil abbauende und Transport-Proteine nicht gebildet werden (können). Überschüssige Fette werden in der Leber abgelagert und lassen sie pathologisch anschwellen.
Die mangelnde Eiweißproduktion macht sich auch im Gehirn bemerkbar. Hier sind oft schon geringe Proteindefizite relevant. Leider ist eine wissenschaftliche Erfassung hier sehr schwierig und ethisch sehr bedenklich.
Bei längerfristiger Proteinmangel-Ernährung wird man mit dem Krankheitsbild **Kwashiorkor** konfrontiert. Eine Ableitung des Namens der Krankheit geht von der Bedeutung "erste" und "zweite" in der ghanesischen Sprache aus. Dies deutet auf das Auftreten der Krankheit beim ersten Kind hin, wenn das zweite geboren wurde und gesäugt wird (das erste wird zu früh od. überhaupt entwöhnt). Eine andere Erklärung gibt die Übersetzung "roter Knabe". Hier kommt die auftretende Veränderung der Hautpigmentierung ins Spiel.
Die traditionelle Ernährung in vielen Entwicklungsländern sorgt zwar für genügend Energie, Vitamine usw. – es fehlen aber die Eiweiße. Exakterweise sind es nur bestimmte Aminosäuren (), die fehlen.
Bestimmte Traditionen – z.B. dass erwachsene Männer und andere männliche Nachkommen vor den weiblichen Familienmitglieder ihr Essen bekommen und sich auch die besten Teile aussuchen können – erhöhen die Gefahr von Mangel-Ernährungen. Aber auch völlig unhaltsame Ansichten, so z.B. dass bestimmte Nahrungsmittel nichts für Mädchen seien – verstärken die Probleme weiter.

Die üblichen Nahrungmittel (z.B. Mais-Suppen) mit – für die Situation – falscher Zusammensetzung (süß, energiereich, aber eiweißarm) stützen die Unterernährung und vertuschen das Problem weiter. Fisch und Fleisch sind in den meisten Entwicklungsländern Luxusprodukte.
Kwashiorkor ist ein Mangelsyndrom. Es kommt verstärkt zu Wassereinlagerung (Ödemen).
Das weithin sichtbare Zeichen ist der Wasserbauch. Grund sind weniger Blut-Albumine. Dadurch sinkt der osmotische Druck des Blutes und es wird mehr Wasser ins Gewebe abgegeben (hier Konzentrationsausgleich). Überschüssiges Gewebewasser kann nicht in das zu verdünnte Blut zurückdiffundieren. Durch die verstärkte Wasseraufnahme wird Mangelernährung meist erst sehr spät erkannt, da die Kinder zuerst wohlgenährt (rundlich) aussehen.
Es folgen Durchfälle. Die typische Reaktion der Mütter – Nahrungsreduktion zur Behandlung des Durchfalls – verstärkt abermals die Unterernährung.
In den folgenden Krankheitsphasen kommt es zur Vergrößerung der Leber, die Pigmentierung (Melanin) reduziert sich (→ sekundäre Hautschädigungen durch das typisch stärkere UV-Licht der Tropen), Knochenschwund (Osteoporose) und zur Verlangsamung der geistigen Entwicklung. Alle anderen Eiweißmangelzeichen können infolge dann ebenfalls beobachtet werden.

Kind mit Kwashiorkor
Q: www.flickr.com (Sokwanele - Zimbabwe)

Die Lebenserwartung der betroffenen Kinder ist deutlich verringert.
Diskutiert wird im Zusammenhang mit Kwashiorkor auch eine erhöhte Aufnahme und eine verstärkte Konzentration von Pilzgiften (Aflotoxinen) im Körper. Aflotoxine gelten als sehr kanzerogen (karzinogen, krebserregend) und toxisch.
Unter extremen (längerfristigen) Ernährungsbedingungen (Kriege, Vertreibungen, Naturkatastrophen, …) kommt es zu einer systhemischen Unterernährung – dem Marasmus.Marasmus wird auch auch PEM (protein energy malnutrion, Protein-Energie-Unter- bzw. Fehlernährung) genannt. Es handelt sich also um einen über Monate und Jahre anhaltenden Entkräftungs- und Auszehrungsprozeß. Alle schon beschriebenen Protein-Mangel-Zeichen treten auch hier auf. Zusätzlich kommen erniedrigte Körpertemperatur (→ Veringerung der Stoffwechselaktivität, sinkende Immunität), allgemeine Schwäche und sehr häufigeres Auftreten von Infektionskrankheiten dazu.
Bei den Gliedmaßen ist die Muskelatur völlig unterentwickelt (nur noch Haut und Knochen).

Q: www.flickr.com (Teseum)

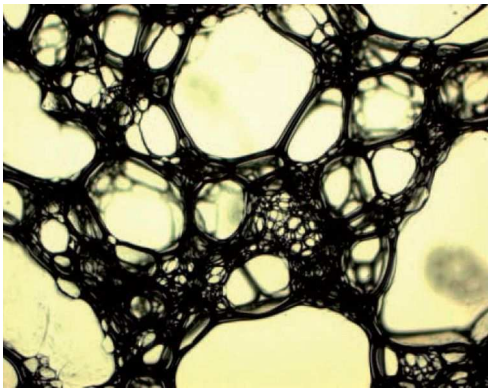
Eine Gesundung ist nur mit sehr hohem Aufwand und sehr gesunder Ernährung möglich. Trotzdem muss mit nachhaltigen geistigen und körperlichen Schäden gerechnet werden.

3.3.3.3. Technologische Eigenschaften der Eiweiße und ihre Nutzung

Wasserlöslichkeit: Die Fähigkeit vieler Eiweiße direkt oder indirekt (kolloidal) in wässrige Lösung überzugehen, haben wir schon erwähnt. In der Lebensmittelzubereitung wird dies z.B. bei der Erstellung von Brühen genutzt. Der Anteil gelöster Eiweiße bestimmt die "Kraft" einer Brühe. Die gelösten Eiweiße machen den charakteristischen Geschmack einer (entfetteten) Brühe entsprendend dem Ausgangsmaterial aus.
Dadurch, dass bestimmte Eiweiße (z.B. Kollagen) in Lösung gehen, werden z.B. Fleischstücke leichter genießbar. Die Lösung und Zerstörung des Kollagens kann durch die Verwendung von Säuren oder Basen (z.B. beim Marinieren) beschleunigt werden. Beim Auskochen von Knochen und Knorpel wird das Kollagen in der Brühe gelöst. Übrig bleibt vorrangig das unlösliche Calciumphosphat der Knochen. Durch das Abkühlen können sich die Kollagen-Moleküle wieder zusammenlagern und die Brühe zu einem Gel (Aspik) verfestigen. In der vernetzten Struktur der Kollagen-Moleküle werden bis zum 10fachen des Eigenvolumens an Wasser-Molekülen gebunden. Kollagen ist die Basis für weiche Gelatine (geringerer Schmelzpunkt als harte Gelantine (wird z.B. als Kapsel-Hülle bei Medikamenten verwendet)).
Geronnenes Eiweiß in der Lösung machen diese trüb. Bei Brühen bedeutet dies, dass sie u.U. geklärt werden muss.
Denaturierbarkeit: Durch verschiedene Zubereitungsverfahren (Kochen, Braten, Marinieren, ...) wird das Eiweiß bewußt zur Denaturierung (Gerinnung) gebracht. Die sonst relativ feste Struktur der faserförmigen Eiweiße wird dadurch zerstört. Globuläre Proteine verlieren ihre Funktions-Struktur. Vorhandene zwischenmolekulare und innermolekulare Bindung werden aufgebrochen und teilweise wieder neu geknüpft. Eiweiße werden dadurch z.B. besser kaubar und leichter verdaulich. Viele Konservierungsmethoden nutzen eine mehr oder weniger schonende Denaturierung der Eiweiße, um die Lebensmittel länger haltbar zu machen. Die eiweißzerstörenden Enzyme von Bakterien usw. sind besonders auf natürliche Eiweißstrukturen eingestellt. Für sie ist geronnenes Eiweiß schwerer verarbeitbar.
Genutzt wird die Gerinnung der Eiweiße auch bei der Wurstherstellung (Proteine in der Wurstmasse). Bei Brühwurst wird die Denaturierung durch Wärme (über 65 °C) erzielt. Bei Hartwurst (Salami, ...) und Schinken erreicht man die Gerinnung durch Salz und Wasserentzug.
Der Zusatz von Säuren, Basen oder Salzen bewirkt bei vielen Eiweißen ebenfalls eine Denaturierung. In der Milchverarbeitung nutzt man dies bei der Ausfällung des Kaseïns. Die überschüssigen Wasserstoff- oder Natrium-Ionen binden sich an das negative Kaseïn-Ion. Der gebildete Komplex verliert seine Schwimmfähigkeit und sinkt auf den Grund.
Die Denaturierung von Eiweißen spielt auch bei der Bildung von Schäumen eine Rolle.
Schaumbildung: Eiweiße bilden beim Erhitzen (Kochen) oder kräftigen Schlagen Schäume. Dabei werden globuläre Proteine (z.B. Ovomuzin aus dem Eiklar) entfaltet. Sie bilden dann dünne Häutchen um Luftblasen. Die Bläschen-Hüllen (Eiweiß-Gerüste) reflektieren das Licht sehr stark, so dass sich zumeist eine weiße Farbe für die Schäume ergibt.
Durch den Druck ihres Eigen-Gewichtes zerfallen (flüssige) Schäume wieder. Bei der einfachen Masse für Baiser (auch: Spanischer Wind; frz.: Kuss) zerfällt diese schon nach wenigen Minuten, wenn sie nicht weiter verarbeitet wird.
Man kann die Schäume (z.B. Ei-Schnee) durch Zugabe Wasserbindender (hygroskopischer) Zusätze über längere Zeiträume stabilisieren. Dazu bieten sich z.B. Salz oder Zucker an. Weiterhin ist Zitronensäure zur Schaumstabilisierung geeignet, da diese das Eiklar quellen läßt.
Zur Herstellung von Baiser-Gebäck (Meringues) wird ein Eiklar-Zucker-Gemisch aufgeschlagen.

Produkt	Verhältnis Eiklar : Zucker	Verwendung / Bemerkungen
leichter Baiser	1 : 1,5	
schwerer Baiser	1 : 2	
Spritzglasur	1 : 8 – 10	z.B. für Lebkuchen- od. Hexenhäuser und Lebkuchenherzen

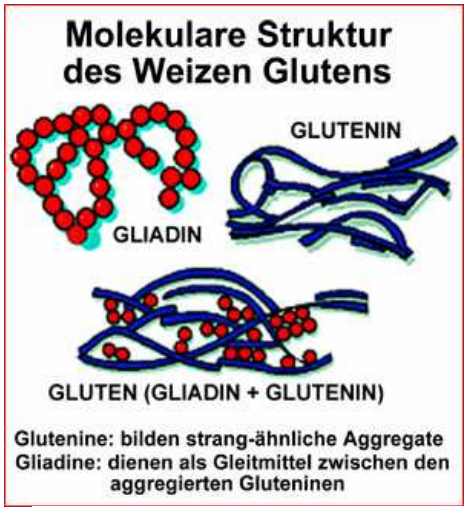
Je nach Verhältnis erhält man unterschiedlich feste Schäume, die im Ofen (bei rund 100 ℃) oder an der Luft getrocknet werden.
Schlägt man Eiklar bei erhöhten Temperaturen (rund 50 ℃), dann erhält man relativ feste Baiser-Masse. Diese – warm geschlagene – Masse ist feinporiger und besteht aus stärker denaturierten Eiweißen im Gerüst. Beim italienischen Baiser od. auch gekochten Baiser, wird kochend heißer Zucker unter den Eischnee gehoben. Die resultierende Masse ist besonders fest.
Die Anwesenheit von Fett (z.B. aus dem Ei-Gelb) verhindert die Bildung von Schäumen. Nach der Herstellung eines stabilen Schaumes können i.A. aber auch anderer Zutaten dazugegeben werden. Dann stören auch Fette oder Emulgatoren nicht mehr.

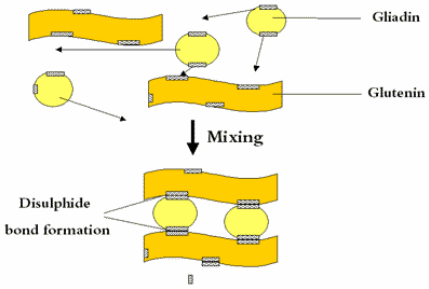

Eischnee (Mikroskopaufnahme)
Q: de.wikipedia.org (Informatik)

Beim Kochen von Eiweiß-haltigen Lebensmitteln (z.B. Milch oder Fleisch) kann sich ebenfalls Schaum an der Oberfläche bilden.
Dieser enthält auch viele kleine feste Bestandteile (z.B. Kräuter- und Gewürz-Teile, Knochensplitter), die besonders in den Kontaktstellen mehrerer Bläschen gehalten werden. Bei regelmäßigem Abschöpfen des Schaumes kann so eine gewisse Reinigung des kochenden Lebensmittels erreicht werden.
Wasserbindefähigkeit, Quellvermögen: Die vielen Sauerstoff- und Stickstoff-Atome in den Peptid-Bindungen sind wasserfreudliche Molekülbereiche. Besonders im Innern von kugelförmigen Eiweißen ist viel Platz für Wasser-Moleküle. Einige Eiweiße quellen bei Wasseranwesenheit stark auf. Ein gutes Beispiel ist Gelatine oder das Kollagen aus den Knochen. Gelantine enthält verschiedene lösliche Eiweiße, die besonders gut Wasser aufnehmen können. Das Quellen der Gelantine erzeugt ein Zustand, den man als Gel bezeichnet. Er ist sowohl flüssig als auch fest. In der Ernährung bezeichnet man das Gel auch als Gelee, Aspik usw. Solche Gele enthalten sehr viel Wasser in gebundener Form. Das gebundene Wasser kann von Mikroorganismen nur schwer genutzt werden. Sie finden also schlechtere Lebensbedingungen und die Lebensmittel bleiben länger haltbar. Gele befinden sich in einem umkehrbaren (reversiblen) Gleichgewicht. Bei Temperaturerhöhung (schon ab 30 ℃) sinkt das Wasserbindevermögen. Die Gele verflüssigen sich. Bei sinkenden Temeraturen kristallisieren die Kollagen-Moleküle wieder aus und bilden eine wirres Geflecht. Die Gele werden wieder fest und stabil.
Auch gekochtes Eiweiß ist ein guter Speicher für Wasser. Es trocknet insgesamt langsamer aus, als rohes Eiweiß.
Die Wasserbindefähigkeit beschreibt die Gesamtheit der Wasseran- und –einlagerung in einen Stoff. Die Anlagerung von Wasser (Adsorption) wird durch polare und große Oberflächen bestimmt. Das Aufnehmen (Einlagern, Absorption) von Wasser in die Moleküle eines Stoffes beschreibt man vorrangig durch das Quellen. Im Allgemeinen kann eingelagertes (absorbiertes) Wasser schlechter (schwerer und langsamer) wieder abgegeben werden, als adsorbiertes.
Bindefähigkeit für andere Stoffe: Die von uns weniger betrachteten Molekülreste der einzelnen Aminosäuren (Reste) bestimmen ganz wesentlich ihre individuellen Eigenschaften. Die unterschiedlichen Enden sind Andockpunkte für die unterschiedlichsten Stoffe. An diesen Punkten können die Stoffe verschieden stark gebunden werden. Manche Bindungen sind so leicht, dass der andere Stoff sofort wieder abwandert. Andere Bindungen sind so stark, dass sie nicht wieder aufzubrechen sind. Oft verlieren die Eiweiße mit solchen Anbindungen dann ihre biologischen Eigenschaften. Sie können ihre eigentliche Funktion nicht mehr erfüllen - sie sind gewissermaßen vergiftet worden.
Das Bindevermögen wird zum Einen zum Klären von Flüssigkeiten genutzt. Nach dem Einrühren von Eiklar in eine warme Brühe binden sich die verschiedenen Stoffe an den Eiweißen. Erhitzt man nun weiter, dann gerinnen die Eiweiße zu Flocken und binden die angedockten Stoffe fest an sich. Die Flocken lassen sich leicht abfiltern oder abschöpfen und die Brühe ist geklärt.
Das Klären von Butter beruht ebenfalls auf den Gerinnungseffekt der wenigen enthaltenen Butter-Eiweiße. Sind diese bei großer Hitze geronnen, verlieren sie ihre Fähigkeit den emulgierten Zustand von Wasser und Fett in der Butter zu stabilisieren. Das reine Butter-Fett (Butter-Schmalz) und eine Wasser-Eiweiß-Schicht setzen sich ab - die Butter ist geklärt.
Zum Anderen nutzt man die Bindefähigkeit beim Legieren von Soßen und Suppen. Hier bilden die noch nicht geronnenen Eiweiße ein weites Geflecht. Dies gibt die Bindung. Wird dann aber

zu weit erhitzt, denaturieren die Eiweiße und sie verlieren ihre Beweglichkeit - die Bindung geht verloren.
Auch bei der Verwendung als Emulgator nutzt man die ganz unterschiedliche Bindefähigkeit aus. Ein übliches Öl-Wasser-Gemisch kann man zwar zeitweise durch starkes Rühren zu einer einheitlichen Flüssigkeit (Emulsion) machen. Aber schon nach kurzer Zeit trennen sich Fett und Wasser wieder voneinander. Mit einem Emulgatur wird das Gemisch stabilisiert.
Die Bindefähigkeit der Proteine für Wasser haben wir schon den Peptid-Bindungen und den polaren Resten zugeordnet. Die langgestreckten Molekül-Reste der einfachen Aminosäuren sind dagegen besonders gut fettlöslich. Gibt man bestimmte Eiweiße (z.B. Eigelb) in ein Wasser-Öl-Gemisch, dann lagert sich das Eiweiß an der Öl-Wasser-Grenze an. Die Eiweiß-Moleküle ordnen sich dann so an, dass besonders viele hydrophile Molekülteile in die wässrige Richtung zeigen, während z.B. kovalente Aminosäure-Reste mit den Fettsäuren Kontakt aufnehmen. Fette und Wasser werden auf einmal durch eine Eiweißbrücke verträglich zueinander. Das Eiweiß stabilisiert die Verbindung zwischen den beiden Stoffen. Ein so gebildetes Lebensmittel-Produkt ist z.B. die Majonäse. Sie bildet mit ihren wässrigen unf fetten Bereichen fast allen Geschmacksstoffen eine Heimat.
Ähnliche Verhältnisse finden wir in einer Vinaigrette (engl.: French Dressing). Neben Essig und diversen Kräutern od. anderen Zutaten ist bei einer Vinaigrete ungefähr die dreifache Menge Öl enthalten. Öl und Essig werden zu einer Emulsion (Wasser-in-Öl-Emulsion) verschlagen. Zur Stabilisierung werden als Emulgatoren Senf oder hartgekochtes Eigelb verwendet.

Kleberbildung: Viele Mehle lassen sich zu Teigen verarbeiten. Damit der Teig aber zusammenhält und gehen kann, müssen bestimmte Eiweiße anwesend sein. Der Kleber (Gluten (lat.: gluten = Leim)) ist ein Gemisch, das nach dem teilweisen Entfalten des Eiweißes Glutenin (und weiterer Glutenine) durch Kneten und im Zusammenspiel mit anderen faserförmigen Eiweißen (Gliadin und anderer Gliadine) sowie einigen Fetten und Kohlenhydraten eine dichte, klebrige Masse ergibt. Diese ist gasdicht. Das gebildete Cohlendioxid z.B. der Hefezellen (od. künstlicher Triebmittel (Backpulver, Hirschhornsalz)) wird dann festgehalten und läßt den Teig aufgehen. Gluten kann ungefähr das zwei- bis dreifache seines Eigengewichtes an Wasser an sich binden. Der Kleber (mit dem gebundenen Wasser) hält den Teig elastisch, weich und feucht (er lässt sich ziehen).





Das Gluten selbst kann z.B. für die Sorten- oder Mehlprüfung aus einem Teig mittels Salzwasser von Stärke gereinigt werden (bis die Probe mit Iod-Kaliumiodid ungefärbt bleibt). Es bleibt ein kaugummiartiger Rest – das Kleber-Eiweiß-Gerüst. Man kann den Kleber auch mit Kaliumhydroxid lösen und dann nachfolgend mit einer Säure ausfällen. Hierbei kommt es aber schon zu Zerstörungen an den Schwefel-haltigen Gruppen. Es entweicht deutlich riechbarer Schwefelwaserstoff (Geruch nach verfaulten Eiern).
Gliadine sind Alkohol-unlöslich. Die Glutenine dagegen sind in einfachen Alkoholen löslich. Beide Eiweißarten sind in Säuren und Basen gut löslich. Sie enthalten sehr viel Glutaminsäure und relativ wenig Lysin.

Im fertigen Gebäck ist das geronnene (denaturierte) Kleber-Eiweiß-Gerüst für die Stabilität und Festigkeit verantworlich.

Weizen enthält besonders viel Gluten (rund 80 % des Gesamt-Eiweißes). Bei anderen Getreiden – wie Roggen, Dinkel, Grünkern, Einkorn, Emmer usw. - ist weniger Gluten enthalten. Durch Teig-Säurerung quellen noch andere spezielle Proteine, die dann zusätzlich am gasdichten Teig-Gerüst beteiligt sind. Andere Getreidemehle (z.B. Hafer, Mais, Reis, Hirse) enthalten kein Kleber. Werden Sie einzeln verbacken, dann sind die Produkte meist Fladen-artig und wenig fluffig.

Färbung: Nur die wenigsten Eiweiße sind farbig. Oft spielen aber gerade diese dann eine wichtige Rolle in der Küche. Wer mag schon blasses oder graues Fleisch. Viel angenehmer ist Fleisch mit roten bis braunen Farbtönen. Das Eiweiß Myoglobin sorgt entscheidend für die rote Fleischfarbe. In den Muskeln ist es der Sauerstoffspeicher. Schweinefleisch enthält weniger Myoglobin als Rindfleisch. Somit ist Rindfleisch logischerweise dunkler gefärbt. Der Farbton des Myoglobin wird vom Sauerstoffgehalt bestimmt. Frisches Fleisch mit noch genügend Sauerstoff im Gewebe ist rot ("frische Fleischfarbe"). Je mehr der Sauerstoff in den Zersetzungsprozessen verbraucht wird, umso dunkler wird das Fleisch. Braunes Metaglobin steht dann für älteres (ev. verdorbenes) Fleisch.

Bio-Fleisch-Produkte fallen durch ihre natürlich entstehende bräunlich-graue Farbe auf. Diese entsteht ganz normal durch den Zerfall des Hämo- und Myoglobins. Der "moderne" Fleischer setzt Nitrat-Pökelsalz ein, um u.a. die Farbe seiner Produkte rötlicher hin zu bekommen. Bei den Umsetzungen im Fleisch entsteht Stickstoffmonoxid, dass sich an Myo- und Hämoglobin (am Fe-Ion der Häm-Scheibe) festsetzt und eine sehr stabile rötliche Färbung ergibt.

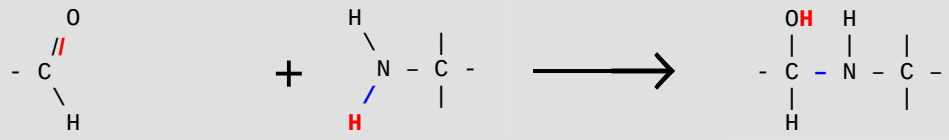
Eine schöne und gewünschte Verfärbung entsteht beim Kochen von Krustentieren. Die frisch eher gelb, blau bis grünlichen Tiere besitzen in der Haut einen Farbstoff-Komplex, der beim Erhitzen in seine Bestandteile zerfällt. Die rote Farbe stammt vom Eiweiß Astaxanthin.

In Verbindung mit Kohlenhydraten können Eiweiße beim kräftigen Erhitzen auch braune Farbstoffe bilden. Diese entstehen über die MAILLARD-Reaktionen (nach Louis Camille MAILLARD [sprich: *mejar*], 1878 - 1936). Bei diesen Reaktionen bilden sich eine Vielzahl aromatischer und zumeist dunkler (brauner) Stoffe (Melanoidine), die der Speise zusätzlichen Geschmack und eine angenehme Farbe geben.

Bei der MAILLARD-Reaktion reagieren die Aldehyd-Gruppen der (reduzierenden) Kohlenhydrate mit den Amino-Gruppen der Eiweiße. Im Reaktionsverlauf sind verschiedene Zufälle enthalten, so dass sehr viele verschiedene Reaktionsprodukte gebildet werden können. Derzeit sind noch nicht alle Abläufe wissenschaftlich geklärt.
Einige Produkte erzeugen bittere Geschmacksempfindungen. Dann ist die MAILLARD-Reaktion u.U. nicht erwünscht. Um die Reaktionsabläufe einzuschränken oder gart zu unterdrücken, bleiben nur die Arbeit bei möglichst geringeren Temperaturen oder eine niedrigerer pH-Wert (saureres Milieu). Desweitern können nicht-reduzierende Zucker eingesetzt werden oder die Menge an freiem Wasser reduziert werden.
Ein weiteres Reaktionsschema, dass die Bildung diverser geschmacksrelevanter Stoffe beschreibt – ist der STRECKER-Abbau. Hier sind es die entstehenden Aldehyde (STRECKER-Aldehyde), die den Geschmack einer Speise beeinflussen. Die STRECKER-Reaktionen laufen vorrangig bei hoher Temperatur und hohem Druck (z.B. diverse Konservierungsverfahren, Grillen, Braten, Rösten, …) sowie vielen freien Aminosäuren ab.

Exkurs: MAILLARD-Reaktion und AMADORI-Umlagerung

MAILLARD-Reaktionen finden zwischen reduzierenden Kohlenhydraten (Carbonyl- / Aldehyd-Gruppe) und der Aminogruppe z.B. einer Aminosäure unter Hitzeeinwirkung statt. Besonders häufig und vielgestaltig laufen diese Reaktionen ab 140 °C ab. Aber auch schon bei Temperaturen unter 0 °C können sie beobachtet werden. Den zugrundeliegenden Reaktionsmechanismus hat der französiche Chemiker Louis Camille MAILLARD (1878 – 1936) zuerst beschrieben. Im 1. Reaktionsschritt reagiert die reduzierende Aldehyd-Gruppe (Carbonyl-Gruppe) mit der basischen Amino-Gruppe. Es kommt zu einer Addition.

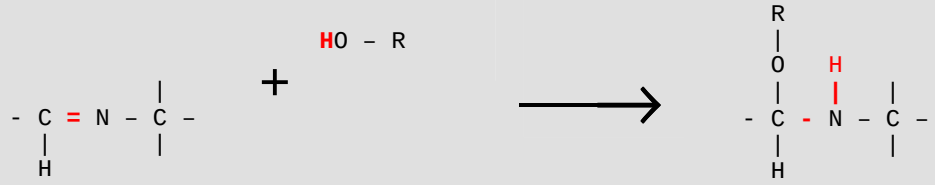


Aldehyd (Kohlenhydrat) | Amino-Verbindung (Aminosäure (Eiweiß)) | [Hydroxyamin]

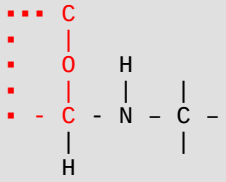
Als nächster Schritt erfolgt die Abspaltung von Wasser (Kondensation). Es entsteht eine sogenannte SCHIFFsche Base. SCHIFFsche Base sind organische Verbindungen, die im Bau an ein Keton – ev. auch ein Aldehyd – erinnern. Statt dem Sauerstoff-Atom ist aber ein Stickstoff-Atom eingebaut. Die dritte Bindung kann durch Wasserstoff oder einen Alkyl-Rest belegt sein. Die "funktionelle Gruppe" der SCHIFFschen Basen ist also die Atom-Konstellation –CH=N– .

[Hydroxyamin] | SCHIFFsche Base | Wasser

Nachfolgend kommt es zumeist zu Cyclisierung. Molekülintern reagiert die SCHIFFsche Base mit einem Alkohol (Hydroxyl-Gruppe).

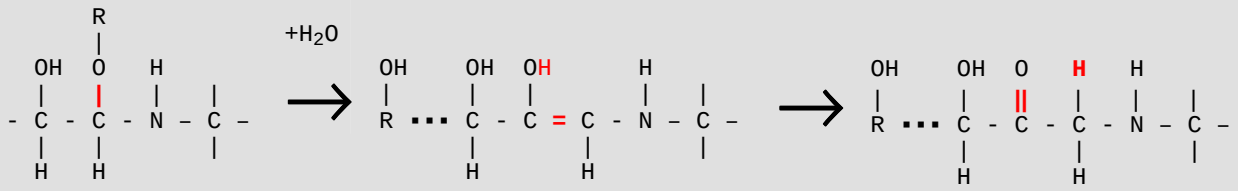


SCHIFFsche Base | Alkohol (z.B. Kohlenhydrat) | Glycosamin



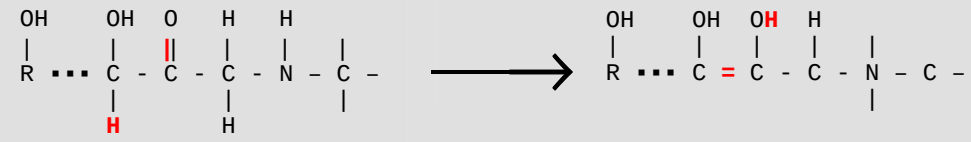
Die alkoholische Hydroxyl-Gruppe und die Carbonyl-Gruppe (1. Teilreaktion; Aldehyd) stammen häufig aus dem gleichen Kohlenhydrat-Molekül. Es enstehen also ringförmige Strukturen, die über ein Sauerstoff-Atom im Ring verfügen. Chemiker sprechen von einem heterocyclischen Ring. Der besprochene Reaktionsschritt ist durch die Vielzahl von OH-Gruppen in den Kohlenhydraten recht variabel, was z.T. die Vielzahl beobachteter Reaktionsprodukte erklärt.
Die letztendlich sehr vielgestaltigen heterocyclischen Ringe bedingen die unterschiedlichsten aromatischen Geschmacksnoten und Färbungen.

Die gebildeten, hochreaktiven, funktionellen Gruppen sind nun in der Lage molekülintern weiter zu reagieren (AMADORI-Umlagerung). Der – ev. bei der Glycosamin-Bildung entstandene – hetrocyclische Ring kann nun aufbrechen und es entsteht ein Molekül-Struktur mit Doppelbindung und zwei Hydroxyl-Gruppen. In diesem Fall sind die Hydroxyl-Gruppen räumlich recht weit voneinander entfernt.
Eine strukturelle Stabilisierung tritt erst mit den sogenannten AMADORI-Produkten (Aminodesoxyketosen) ein.



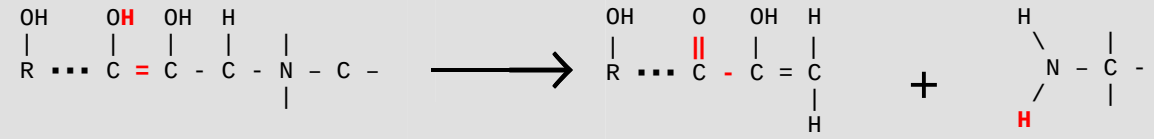
Glycosamin [Endiol-Form] AMADORI-Produkt (Aminodesoxyketose)

Auch das AMADORI-Produkt kann durch Hitze wieder in die Endiol-Form isomerieren. Diesmal liegen die beiden Hydroxyl-Grupen dicht beieinander an der Doppelbindung.



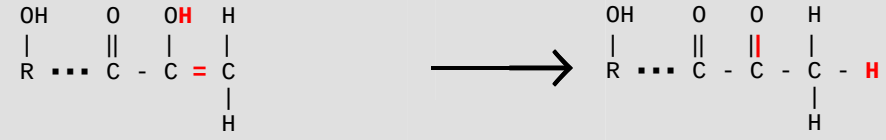
AMADORI-Produkt [Endiol-Form]

Wie wir schon gesehen haben, ist ein solches strukturelles Konstrukt nicht lange stabil. Unter Eleminierung der ursprünglichen Amino-Struktur, kann z.B. ein Hydroxy-Ketenon entstehen.



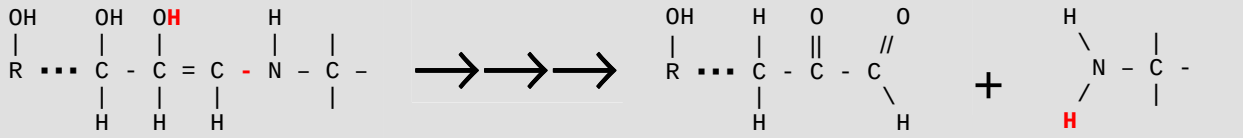
[Endiol-Form] Hydroxyketenon Amino-Verbindung (Aminosäure (Eiweiß))

Durch erneute intramolekulare Umlagerungen – das Wasserstoff-Atom der Hydroxylgruppe wandert zum anderen Cohlenstoff-Atom der Doppelbindung – bildet sich ein Diketon. Diketone sind ebenfalls reaktionsfreudige Substanzen. Mögliche Reaktionsprodukte dieser Linie können dann Hydroxyketone oder Furanone (Ketone mit heterocyclischen Rest) sein.



Hydroxyketenon Desoxy-Verbindung z.B.: 1-Desoxyhexoson

Aber auch schon die Endiol-Form des Glycosamin's, welche zwischenzeitlich vor dem AMADORI-Produkt gebildet wurde, kann andere Reaktionswege einschlagen. Über ein instabiles Zwischenprodukt hinweg wird die – ursprünglich addierte – Amino-Verbindung abgespalten. Übrig bleibt eine Desoxy-Verbindung – ein Ketanal.

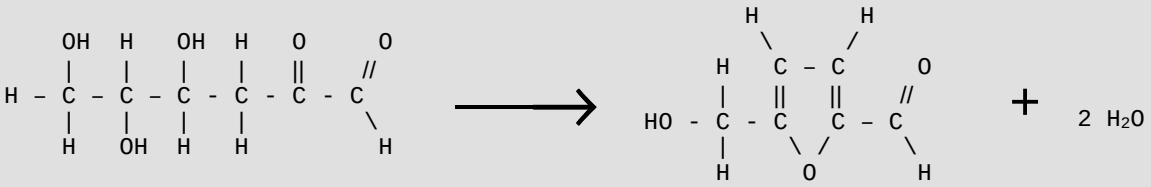


Glycosamin
[Endiol-Form]

Desoxy-Verbindung
z.B.: 3-Desoxyhexoson

Amino-Verbindung
(Aminosäure (Eiweiß))

Unter Eleminierung von zwei Wasser-Molekülen (Dehydratisierung) kann sich z.B. eine hetrocyclische aromatische Verbindung bilden – ein sogenanntes Furfural.



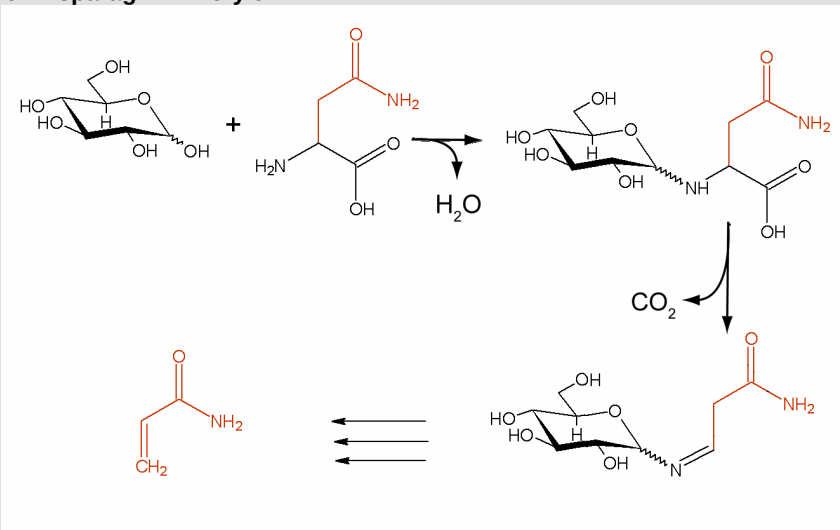
3-Desoxyhexoson

Hydroxymethyfurfural

Die Vielzahl möglicher Zwischenverbindungen und Reaktionsprodukte machen die unterschiedlichen Aromen und Farben von gebratenen, gegrillten, marinierten und wie auch immer behandelten Lebensmitteln aus. Anders herum ergibt sich hieraus aber auch die Gefahr, dass sich darunter gefährliche Stoffe (giftig, krebserregend, …) befinden können. Da die Menge aber praktisch sehr gering ist, geht bei normalem Genuß nur eine schwache Gefahr aus.
Wir sprechen bei den MAILLARD- und AMADORI-Reaktionen sowie den weiteren ablaufenden chemischen Vorgängen von nicht-enzymatische Bräunungsreaktionen, da hier keine Enzyme beteiligt sind. Die Bräunung ist in den meisten Fällen gewünscht.

spezielles Beispiel: Umwandlung von Asparagin in Acryleïn

Acrylein als besonders gefährlicher Stoff (gilt als kanzerogen; s.a. → Fett-Verderb) kann ebenfalls das Reaktionsprodukt einer weitergeführten MAILLARD-Reaktion sein. Reagieren Glucose und Asparagin (eine Aminosäure) miteinander, dann kann das gebildete Glycosamin einmal Cohlendioxid eleminieren. Diese Verbindung kann jetzt – wie oben mehrfach gezeigt – wieder in den Amino-Teil und den Zucker-Teil zerfallen. Der Amino-Teil ist nun aber nicht mehr die unbedenkliche Aminosäure – sonder das hochgefährliche Acroleïn. Acroleïn wird mitlerweile auch als sehr giftig und umweltschädlich eingestuft.



Q: de.wikipedia.org (Pixeltoo)

3.3.4. Nachweise für Eiweiße

Am Einfachsten ist in der Praxis der Nachweis durch Verbrennen einer Probe durchzuführen. Bei einem starken Geruch nach Schwefelwasserstoff kann man sicher auf ein Eiweiß schließen. Besonders gut funktioniert dieser Nachweis bei festen und trockenen Eiweißen, wie z.B. Haare, Fingernägel, Federn usw.
Für feuchte, flüssige oder gelöste Eiweiße bieten sich die Xanthoprotein- oder die Biuret-Reaktion an. Aber auch mit Denaturierungsversuchen (z.B. mit Säuren) kann man schon wichtige **Hinweise auf Eiweiße** bekommen.
Einen kontrollierten Denaturierungsversuch nimmt man an – möglichst klaren – Eiweiß- bzw. Probe-Lösungen vor. Wenn nach Zugabe von Säure (z.B. Zitronensäure, Essigsäure) eine Trübung auftritt, kann man mit dem Vorhandensein von Eiweißen rechnen. Sicher ist dieser Test aber nicht, da auch einige andere Stoffe mit Säuren trübe Lösungen bilden. Man nennt einen solchen Test deshalb auch nur **Hinweisreaktion**.
Bei der Xanthoprotein-Reaktion wird die Probe mit konzentrierter Salpetersäure versetzt **(Vorsicht! Ätzend!)**. Kommt es nach einer kurzen Erwärmung zur Ausflockung und Gelbfärbung, dann enthielt die Probe Eiweiße.

Probe auf Eiweiß mit Xanthoprotein-Reaktion:

	Nachweismittel	*Bedingungen*	*Beobachtungen*	*Ergebnis*
Probe +	**konzentrierte** (ev. verdünnt auf 24%ig) **Salpetersäure**	*leicht erwärmen*	**Gelbfärbung** Ausflockung	**Eiweiß**
	(farblos)		anderes	wahrscheinlich kein Eiweiß

Zur weiteren Absicherung kann man anschließend noch konzentrierte Ammoniaklösung (bis zur basischen Reaktion der Lösung) zugeben. Eine Orangefärbung bestätigt sicher das Vorhandensein von Eiweißen. Die Xanthoproteinreaktion klappt nur bei Eiweißen, die mindestens eine der Aminosäuren Tyrosin, Tryptophan oder Phenylalanin enthalten. Das sind die Meisten, aber z.B. nicht die Gelantine. Bei Gummibärchen würde man also zum falschen Schluß kommen, dass sie keine Proteine enthalten.
Die Biuret-Reaktion testet nicht das Vorhandensein von einzelnen Aminosäuren, sondern auf Peptidbindungen (ev. auch der Phenol-Gruppen). Mit diesem Test haben wir eine allgemeingültige Reaktion zum Nachweis von Eiweißen. Die Probe wird zuerst mit 10%iger Natriumhydroxid-Lösung (Natronlauge) basisch gemacht. Nun werden einige Tropfen einer 10%iger Kupfersulfat-Lösung (auch FEHLING I-Lösung möglich) zugegeben. Die Lösung ist normalerweise hellblau gefärbt. Im alkalischen Milieu bildet sich ein tiefblauer Cupfer-Komplex. Nun wird leicht erwärmt. Eine Verfärbung nach Violett zeigt Peptidbindungen (als umgebildete Biuret-Verbindung) an.
Für den Biuret-Test gibt es auch fertige Buiret-Lösung, mit welcher die Untersuchung sehr einfach durchzuführen ist.
Achtung! Die Violettverfärbung bei Anwesenheit von Peptiden kann aber auch schon bei Zimmertemperatur auftreten!

Probe auf Eiweiß mit Biuret-Reaktion:

	Nachweismittel	*Bedingungen*	*Beobachtungen*	*Ergebnis*
Probe +	**gleiche Menge 10%ige Natronlauge zusetzen + einige Tropfen 10%ige Kupfersulfat-Lösung** ***(hellblau)***	*leicht erwärmen*	**Violettfärbung**	**Eiweiß**
			anderes	kein Eiweiß

Sehr empfindlich – aber auch nicht hundertprozentig spezifisch – ist die Ninhydrin-Reaktion. Mit ihr werden Aminogruppen in den Proteinen nachgewiesen.

Probe auf Eiweiß mit Ninhydrin-Reaktion (MOBERG-Test):

	Nachweismittel	*Bedingungen*	*Beobachtungen*	*Ergebnis*
Probe +	**1%ige Ninhydrin-Lösung** ***(farblos)***	*leicht erwärmen*	**Blau- / Violett-färbung**	**(Aminosäure Peptid) Eiweiß**
			anderes	kein Eiweiß

In der Praxis lassen sich mit Ninhydrin schon Spuren von Aminosäuren (Proteinen) nachweisen. Macht man einen Handabdruck auf Filterpapier oder hat man Chromatogramme von ev. Eiweiß- od. Aminosäure-haltigen Lösungen, dann reicht ein leichtes Einsprühen und nachträgliches Erhitzen (z.B. auch mit einem Bügeleisen), um die typische blaue bis violette Färbung zu erhalten.
Weiterhin werden in der Literatur verschiedene Reaktionen beschrieben, die ebenfalls als Nachweis für bestimmte Aminosäuren oder Stoffgruppen in Eiweißen dienen.
Mit der Blei-Reaktion lassen sich die Schwefel-haltigen Gruppen nachweisen. Dazu wird die Probe mit Bleiacetat (Bleiessig) und Kalilauge versetzt und erhitzt. Beim Vorhandensein von Schwefel-Gruppen entsteht eine Braunfärbung.
Die Phenol-Gruppen – z.B. vom Phenylalanin – lassen sich mit der MILLONschen Reaktion nachweisen. Desweiteren kann man mit ihr p-Hydroxyphenyl-Reste nachweisen, wie sie in Tyrosin vorkommen.
Hier wird Quecksilber(II)-nitrat (salpetersaures Quecksilberoxid, Merkurinitrat) in Anwesenheit von salpetriger Säure zugesetzt.

Beim positiven Nachweis entsteht eine Rot-Färbung. Wegen der starken Giftigkeit von Quecksilber-Verbindungen wird dieser Test nur in Ausnahmefällen unter speziellen Schutzbedingungen verwendet!
Desweiteren sind unbedingt die Vorschriften der einzelnen Länder zum Umgang mit bestimmten Chemikalien in Bildungseinrichtungen zu beachten!!!

Probe auf Eiweiß mittels Quecksilber (MILLONsche Probe):

	Nachweismittel	*Bedingungen*	*Beobachtungen*	*Ergebnis*
Probe +	**einige Tropfen MILLONs-Reagenz**	*erwärmen*	**Rot-Färbung**	**(Tyrosin) (Phenylalanin) Eiweiß**
	()		anderes	kein Eiweiß

Zum Nachweis der Indol-Gruppen – z.B. aus dem Tryptophan – dient die ADAMKIEWICZ-HOPKINsche Reaktion. Im schwefelsauren Milieu entsteht mit Ethanalsäure (Oxoessigsäure, Glyoxylsäure) eine Purpur-Färbung.
Aus der Urin-Analytik gibt es diverse Teststreifen für spezielle Eiweiße. Mit ihnen werden z.B. Albumine (im Urin) mit einem recht einfachen Farbstoff-Indikator nachgewiesen. Dabei nutzt man eigentlich einen Effekt aus, der in der Säure-Base-Analytik als Indikator-Fehler beschrieben wird. Normalerweise zeigen Säure-Base-Indikatoren eine bestimmte für einen bestimmten pH-Wert. Durch bestimmte Eiweiße – eben z.B. die Albumine – entsteht ein fehlerhafter Farbeindruck. Genau diesen nutzt man für die Teststreifen. Praktisch reagieren die Aminogruppen von Proteinen bzw. Aminosäuren direkt mit dem Indikator (Tetrabromphenolblau). Der Indikator übernimmt dabei Wasserstoff-Ionen und reagiert – wie gewöhnlich (bei seinen Säure-Base-Reaktionen) – mit einer Verfärbung.
Moderne Streifen lassen eine semiquantitative Aussage über den Eiweiß-Gehalt in der Lösung zu. (Da die Teststreifen normalerweise für Urin-Proben gedacht sind, ist eine Eichung auf andere Lösungen aber unbedingt erforderlich. Die abgelesenen Werte sind ohne Eichkurve mit Vorsicht zu genießen!)

Nachweis von löslichen Eiweißen (Albuminen) mit Teststreifen:

	Nachweismittel	*Bedingungen*	*Beobachtungen*	*Ergebnis*
flüssige Probe +	**Eiweiß-Teststreifen**	*(siehe Packung)*	**Verfärbung entsprechend Skala**	**Eiweiß (Albumin)**
			Farbe unverändert oder anders	kein Albumin

Aufgaben:

1. *Bereiten Sie ein Protokoll (Aufgabe, Vorbetrachtungen, Durchführung) für die Aufgabe 2 vor!*
2. *Prüfen Sie, ob in Milch und einer Eiklar-Lösung sowie in drei angebotenen Proben (vom Kursleiter gestellt) Eiweiße enthalten sind!*
3. *Vervollständigen Sie das Protokoll (Beobachtungen, Auswertung) während und nach dem Versuch!*

weitere Praktikums-Aufgaben:

1. Verhalten von Proteinen unter verschiedenen Bedingungen (45 min)

Untersuchen Sie das Verhalten einer Eiklar-Lösung unter folgenden Bedingungen bzw. bei folgenden Zusätzen:

- Temperaturerhöhung (auf rund 90 ℃)
- Ethanol (Brennspiritus (96%ig, vergällt)); 1:1
- Essigessenz; 1:1
- gesättigte Ammoniumsulfat-Lösung
- Cupfersulfat; 1 Spatelspitze (auf 2 ml Lösung)
- 0,5 min Mikrowellen 150 W (mind. 5 ml Lösung)
- 0,5 min Mikrowellen 300 W (mind. 5 ml Lösung)

???:

- ev. den Versuch bei gleicher Lösungs-Menge (neue 5 ml) und nochmals erhöhter Watt-Zahl (450 W) nochmals durchführen!

Prüfen Sie jeweils auch auf die Reversibilität ev. ablaufender Vorgänge! (z.B. Abkühlen, Verdünnung der Zusätze mit Wasser)
(ev. müssen Sie die Watt-Zahlen für die Mikrowellen-Versuche an das vorhandene Gerät anpassen (z.B. 200, 400 und 600 W)!)

2. Nachweis von Proteinen (45 min)

Prüfen Sie die folgenden Lösungen bzw. Lebensmittel-Proben auf Eiweiß-Gehalt (quantitativ)!

a) Eiklar-Lösung
b) Milch
c) unbekannte Lösung 1 (vom Kursleiter gestellt)
d) unbekannte Lösung 2 (vom Kursleiter gestellt)
e) selbstmitgebrachte Lebensmittel-Probe 1
f) selbstmitgebrachte Lebensmittel-Probe 2

Verwenden Sie die folgenden Test's:
Xanthoprotein-Reaktion (ev. Demoexperiment durch Kursleiter)

- Biuret-Reaktion
- Ninhydrin-Reaktion
- Test-Streifen (Protein-Test)

3.3.5. Ergänzende Experimente zu und mit Eiweißen

Herstellung einer Eiklar-Lösung

Materialien / Geräte:

Becherglas 200 ml; physiologische Kochsalz-Lösung oder Kochsalz; Filter; Watte oder Küchentuch

Durchführung / Ablauf:

- Trennen Sie das Eidotter (Eiklar) vom Eigelb (Eigelb wird verworfen)
- Mischen Sie das Eiklar mit 100 – 120 ml Wasser (besser: physiologische Kochsalz-Lösung; ersatzweise: 1 Prise Salz)
- Lösung ev. durch Watte oder Küchentuch filtern

Gerinnung von Eiweißen

Materialien / Geräte:

Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Reagenzglaszange, Brenner, Wasser, Zitronensaft (besser Essig bzw. Essigessenz), Alkohol (Ethanol 96%), Kochsalz, Eiklar; gesättigte Ammoniumsulfat-Lösung; gesättigte Cupfersulfat-Lösung; Harnstoff

Durchführung / Ablauf:

- 2 ml Eiklar mit 10 ml dest. Wasser mischen (Eiklar-Lösung)
- in 4 Reagenzgläser je 2 ml Eiklar-Lösung geben, Reagenzgläser durchnummerieren
- folgende Stoffe zufügen bzw. Versuche durchführen

Reagenzglas	Zusatz	Versuch
1	1 ml Zitronensaft	- - -
2	1 ml Alkohol	- - -
3	reichlich Kochsalz	- - -
4	- - -	erwärmen
5	1 ml Ammoniumsulfat-Lösung	- - -
6	1 ml Cupfersulfat-Lösung	- - -
7	1 ml Essigessenz	- - -
8	½ Spatel Harnstoff	- - -
9 (Blindpr.)	1 ml Wasser	- - -

- anschließend alle Proben mit reichlich Wasser verdünnen (und abkühlen lassen) und 1 x umschütten (durchmischen)

Quellvermögen von Eiweißen ("Show"-Experiment mit Gummibärchen)

Materialien / Geräte:

große Reagenzgläser; Gummibärchen

Durchführung / Ablauf:

- je ein Gummibärchen wird ein Reagenzglas mit Wasser getan; alle Stunde wird ein weiteres der gleichen Farbe dazugegeben und die Beobachtungen notiert

Trennung und Unterscheidung von Aminosäure-Gemischen

Grundlagen / Prinzipien:

Aminosäuren unterscheiden sich in diversen Eigenschaften. Sehr unterschiedlich sind die Löslichkeit in verschiedenen Lösungsmitteln und das Adsorptionsverhalten an geeigneten Materialien. Diese beiden Eigenschaften und die unterschiedlichen Molekülgrößen werden bei der Chromatographie zur Trennung genutzt. Als Träger-Material bieten sich Papiere, Stärke oder Gele an. Die Aminosäuren wandern mit dem Lösungsmittel durch die Poren des Träger-Materials (Säule). Je größer die Moleküle sind, umso langsamer wandern sie. Weiterhin wird die Wanderung durch Anhaftung (Adsorption am und Ablösung vom Träger-Material bestimmt.
Stoffgemische lassen sich so gut trennen und die Bestandteile identifizieren. Hierzu benutzt man bekannte Stoffe zum direkten Vergleich.

Materialien / Geräte:

PETRI-Schale groß mit Deckel; PETRI-Schale klein; Rundfilterpapier (Durchmesser größer als die der kleinen PETRI-Schale und kleiner als die der großen Schale); Probelösung (Gemisch); Lösung einzelner Aminosäuren (z.B.: Glycin, Tyrosin, Phenylalanin, …); Laufmittel (Butanol : Essigsäure : Wasser = 4 : 1 : 1); Sprühflasche mit Ninhydrin-Reagenz

Durchführung / Ablauf:

- Mittelpunkt auf dem Filterpapier mit Bleistift kennzeichnen; Bleistiftkreis (mit Zirkel) mit 1 cm Radius zeichnen; auf dem Kreis mit gleichgroßen Abstand Auftragungspunkte (je einer für das zu untersuchende Gemisch und die vermuteten Vergleichs-Komponenten) kennzeichnen und beschriften (1, 2, 3, …)
- auf die Auftragungspunkte werden mehrfach immer sehr kleine Tropfen der jeweiligen Lösungen auftragen und eintrocknen gelassen (unbedingt für jede Lösung eine separate Pipette benutzen!)
- Mittelpunkt klein lochen (1 – 2 mm); aus Filterpapier dichten Docht wickeln und in das Loch stecken; Dochtlänge 1 – 1,5 cm Rest kann über dem Rundfilter (nicht zu knapp) abgeschnitten werden
- kleine PETRI-Schale in der großen anordnen; mit Laufmittel 0,5 cm hoch füllen; Rundfilter mit Docht in die Lauflösung auf der kleinen PETRI-Schale positionieren; große PETRI-Schale verschließen
- warten bis Laufmittel kurz vor Rand der kleine PETRI-Schale angekommen ist, Rundfilter entnehmen und trocknen (z.B. über einer trockenen PETRI-Schale; Docht ruhig als Abstandshalter benutzen)
- mit Ninhydrinlösung besprühen und nochmals heiß trocknen (ev. erwärmen → Ninhydrin-Reaktion)
- Chromatogramm beurteilen

MAILLARD-Reaktion

Grundlagen / Prinzipien:

Aminosäuren (auch Peptide od. Eiweiße) reagieren im basischen Milieu und in der Wärme sehr gut Kohlenhydraten. In einem komplizierten und sehr variablen Reaktionsmechanismus entstehen farbige (vorrangig braune) und aromatisch riechende Stoffe.

Materialien / Geräte:

Aminosäure-Lösung (auch Mischung; optimal 30 mg/ml); Zucker-Lösung (auch Mischung; optimal 60 mg/ml); Base (z.B. Natriumhydroxid); ev. Spektral-Photometer

Durchführung / Ablauf:

- Lösungen mischen und alkalisch machen
- 5 min sieden lassen
- Farb- und Geruchsveränderungen beobachten

Vanillin-Reaktion

Grundlagen / Prinzipien:
Nachweis für Tryptophan, beim positiven Nachweis bildet sich eine kirschrote Färbung

Materialien / Geräte:
5%ige alkoholische Vanillin-Lösung, konz. Schwefelsäure (ätzend!)

Durchführung / Ablauf:
- etwas Vanillin-Lösung zur Probe-Lösung geben, dann vorsichtig einige Tropfen konzentrierte Schwefelsäure dazugeben

Grundlagen / Prinzipien:

Materialien / Geräte:

Durchführung / Ablauf:
-

Zusatzuntersuchung:
-

Hinweise:
-

Herstellung von Joghurt

Materialien / Geräte:

Thermometer, Milch (Frischmilch 3,5% Fett; ESL-Milch vorher abkochen!, sonst wird Joghurt schleimig und zieht Fäden), Joghurt mit lebenden Kulturen (Impfgrundlage)

Durchführung / Ablauf:

- Milch erwärmen und 5 min bei 70 °C halten (pasteu risieren)
- auf 36 °C abkühlen lassen, Joghurt zusetzen, umrü hren
- ein bis zwei Tage bei Temperaturen um die 25 - 38 °C stehen lassen (optimal 36 °C)

Zusatzuntersuchung:

- ev. mit Zucker und Früchten mischen
- es darf gekostet werden (die Versorgung des Kurses mit Brötchen od. frischem Brot gehört zur Pflicht der Kursteilnehmer)

Herstellung von Quark

Materialien / Geräte:

Thermometer, Milch (Frischmilch 3,5% Fett), Buttermilch oder Dickmilch mit lebenden Kulturen (Säuerungskulturen, Impfgrundlage); alternativ Lab-Enzym

Durchführung / Ablauf:

- Milch erwärmen und 5 min bei 70 °C halten (pasteu risieren)
- auf 36 °C abkühlen lassen, Säuerungskulturen oder Lab zusetzen, umrühren
- ein (bis zwei) Tag(e) bei Temperaturen um die 22 - 28 °C stehen lassen (optimal 25 °C); bei Lab-Einsatz verkürzt sich die Dicklegungszeit auf 12 – 15 h
- dickgelegte Masse (Dickete) mittels Küchenhandtuch filtern
- Masse kann mit Salz und Kräutern usw. gewürzt werden
- es darf gekostet werden (die Versorgung des Kurses mit Brötchen od. frischem Brot gehört zur Pflicht der Kursteilnehmer)

Herstellung von Käse

Materialien / Geräte:

Thermometer, Milch (Frischmilch 3,5% Fett), Lab, Kochsalz (iodhaltiges wird empfohlen), eventuell Kräuter oder Gewürze (z.B. Kümmel, grüner Pfeffer), durchlöcherte Plastegefäße (z.B. Sanella-Dosen), eventuell verschiedene Käse als Impfgrundlage (z.B. Blauschimmel, ...)

Durchführung / Ablauf:

- Milch erwärmen und 5 min bei 70 °C halten (pasteu risieren)
- auf 36 °C abkühlen lassen, Lab zusetzen, stehen l assen, ab und zu umrühren
- durch Leinentuch filtern
- Filtermasse je nach Anzahl der Versuche (Geschmacksrichtungen) teilen, in Plastegefäße füllen, leicht salzen, mit Zusätzen (Kräuter, Gewürze, Impfkäse) mischen und einpressen (oft reicht es auch, von Schimmelkäsen etwas Pilzrasen abzuschaben und auf die Oberfläche der Rohmasse zu geben, Blauschimmel muß untergemischt werden)
- einige Tage kühl reifen lassen
- es darf gekostet werden (die Versorgung des Kurses mit Brötchen od. frischem Brot gehört zur Pflicht der Kursteilnehmer)

Herstellung von Gummi-Tierchen usw. usf.

Grundlagen / Prinzipien:

Materialien / Geräte:

Durchführung / Ablauf:

-

Zusatzuntersuchung:

-

Hinweise:

-

Links:
www.gummibaerchen-forschung.de eine Webseite über die "andere" Seite der Gummi-Bärchen, eine schöne Abwechslung z.B. beim Warten (Auskühlen, Festwerden)

Grundlagen / Prinzipien:

Materialien / Geräte:

Durchführung / Ablauf:

-

Zusatzuntersuchung:

-

Hinweise:

-

Grundlagen / Prinzipien:

Materialien / Geräte:

Durchführung / Ablauf:

-

Zusatzuntersuchung:

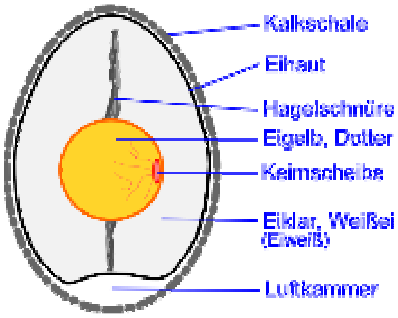
-

Hinweise:

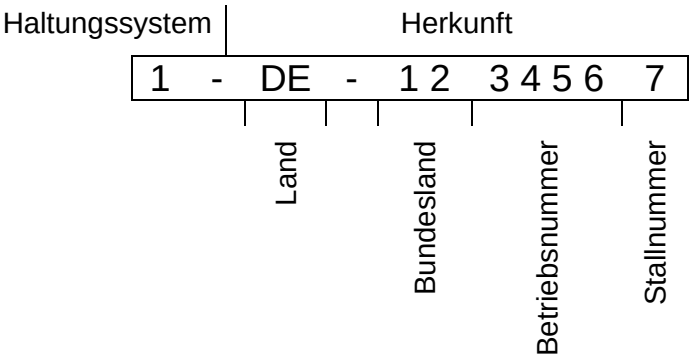
-

3.3.6. ausgewählte Eiweiß-haltige Lebensmittel im Einzelnen

3.3.6.1. (Hühner-)Ei



Kennzeichnung der Eier in der EU



Haltungssystem	Land	Bundesland
0 ökologische Erzeugung (Bio)	AT Östereich	01 Schleswig-Holstein
1 Freilandhanltung	BE Belgien	02 Hamburg
2 Bodenhaltung	DE Deutschland	03 Niedersachsen
3 Käfighaltung	NL Niederlande	04 Bremen
		05 Nordrhein-Westpfahlen
		06 Hessen
		07 Rheinland-Pfalz
		08 Baden-Würtemberg
		09 Bayern
		10 Saarland
		11 Berlin
		12 Brandenburg
		13 Mecklenburg-Vorpommern
		14 Sachsen
		15 Sachsen-Anhalt
		16 Thüringen

Gewichts-klasse	Beschreibung	Gewicht [g]
XL	sehr groß	> 73
L	groß	63 – 73
M	mittel	53 – 63
S	klein	< 53

Güte-Klasse	Qualitätsmerkmale

Klasse A – Extra	max. 7 Tage alt (danach muß Bezeichnung "Extra" entfernt werden) Luftkammer max. 4 mm hoch	sauber, ungereinigt nicht unter 8℃ gekühlt unverletzte Schale
Klasse A	Luftkammer max. 6 mm hoch	
Klasse B	Luftkammer max. 9 mm hoch 2. Qualität	gekühlt od. haltbar gemacht von Klasse A herabgesetzt
Klasse C	aussortierte, aber genuß-taugliche Eier	nicht zu Klasse A od. B gehörend, Verwendung nur im gewerblichen Bereich

einfacher Frische-Test für Eier

- ausreichend großes Wasserglas so mit Wasser füllen, dass das Ei frei schwimmen / tauchen kann

mögliche Beobachtungen	Frische	Hinweis(e)
Ei taucht vollständig unter und liegt auf dem Boden	sehr frisch	
Ei taucht unter und liegt mit dem stumpfen Ende am Boden, die Spitze zeigt leicht nach oben	einige Tage alt	
Ei taucht unter und liegt mit dem stumpfen Ende am Boden, die Spitze zeigt direkt nach oben	ein bis zwei Wochen alt	Ei sollte bald verbraucht werden
Ei schwimmt an der Wasseroberfläche, das stumpfe Ende zeigt aus dem Wasser (nach oben)	etwa zwei Monate alt	nicht mehr gebrauchsfähig

- zum Test, ob es schon gekocht ist, das Ei hinlegen und in Rotation versetzen
- als Zusatztest kann man das Ei (sehr) kurz anhalten und sofort wieder loslassen

mögliche Beobachtungen	gekocht	Zusatztest
Ei läßt sich schwieriger in Rotation versetzen und schlingert, Rotation hört untypisch auf	nein	bleibt liegen
Ei lasst sich problemlos in Rotation versetzen und rotiert mehrfach	ja	fängt sich wieder an zu drehen

technologische Bedeutung

verfeinern Geschmack
verfeinern Porung der Krume bei Gebäck, stabilisiert Krume durch Wasserbindung während der Denaturierung
verlängert Frische-Eigenschaften

Eiklar
läßt sich Eischnee aufschlagen
lockert Cremes und Massen
Glasuren werden spritzfähig

Verwendung für:

- Schaum- und Baiser-Massen
- Makronen-Gebäck
- Spritzglasuren

Eigelb
verleiht Speisen, Cremes, Massen und Gebäck eine gelbe Farbe
Lecethin-Gehalt macht Eigelb zu einem hervorragenden Emulgator

Verwendung für:

- Hefe- und Mürbe-Teige
- Teegebäck
- Ei-Stiche

Vollei
aus minderwertigen (aber genussfähigen) Eiern produziertes Kunstei
flüssiges Vollei enthält Eiklar und Eigelb gemischt
es dürfen neben Hühnereiern auch Perlhuhn-, Puten-, Gänse-, Enten- und Wachtel-Eier verwendet werden
als Zusätze sind Salz, Zucker, Gewürze zulässig
bei Flüssig-Ei darf auch Benzoesäure bzw. Sorbinsäure als Konservierungsmittel zugesetzt sein

Verwendung für:
- Wiener-, Biskuit- und Rührteig-Massen
- Blätter- und Plunder-Teig
- Cremes
- Speise-Eis
- Ei-Stiche
- Teigwaren
- Hefefeingebäck
- Berliner Pfannkuchen

3.3.6.2. Milch

eigentlich Kuh-Milch
lt. Dt. Milch-Gesetz: "das durch regelmäßiges Ausmelken des Euters gewonnene und gründlich durchmischte Gemelk von einer oder mehreren Kühen, aus einer oder mehreren Melkzeiten"

Rohmilch: unveränderte Milch (Gemelk), dass nicht über 40 ℃ (Melktemperatur) erhitzt wurde
darf vom Erzeuger nur am gleichen oder nachfolgenden Tag an der Verbraucher direkt vermarktet werden
mit Vermerk: "Rohmilch, vor dem Verzehr abkochen"
da Keime vorhanden sein können, sind empfindliche Personen und Personengruppen ev. gefährdet
von den Inhaltsstoffen beste Milch; nach dem notwendigen Abkochen werden deutliche Vitamin-Verluste verzeichnet; Abkochen ungünstiger als Pasteurisieren

Vorzugsmilch: abgepackte Rohmilch; besonders strenge Hygenie-Vorschriften für Erzeugung und Verarbeitung;
Manko der Rohmilch (ev. Keimbelastung) beseitigt → beste Milch

Voll-Milch: Milch-Fett-Gehalt: > 3,5 %

entrahmte Milch / fettarme Milch: Milch-Fett-Gehalt: 1,5 – 1,8 %

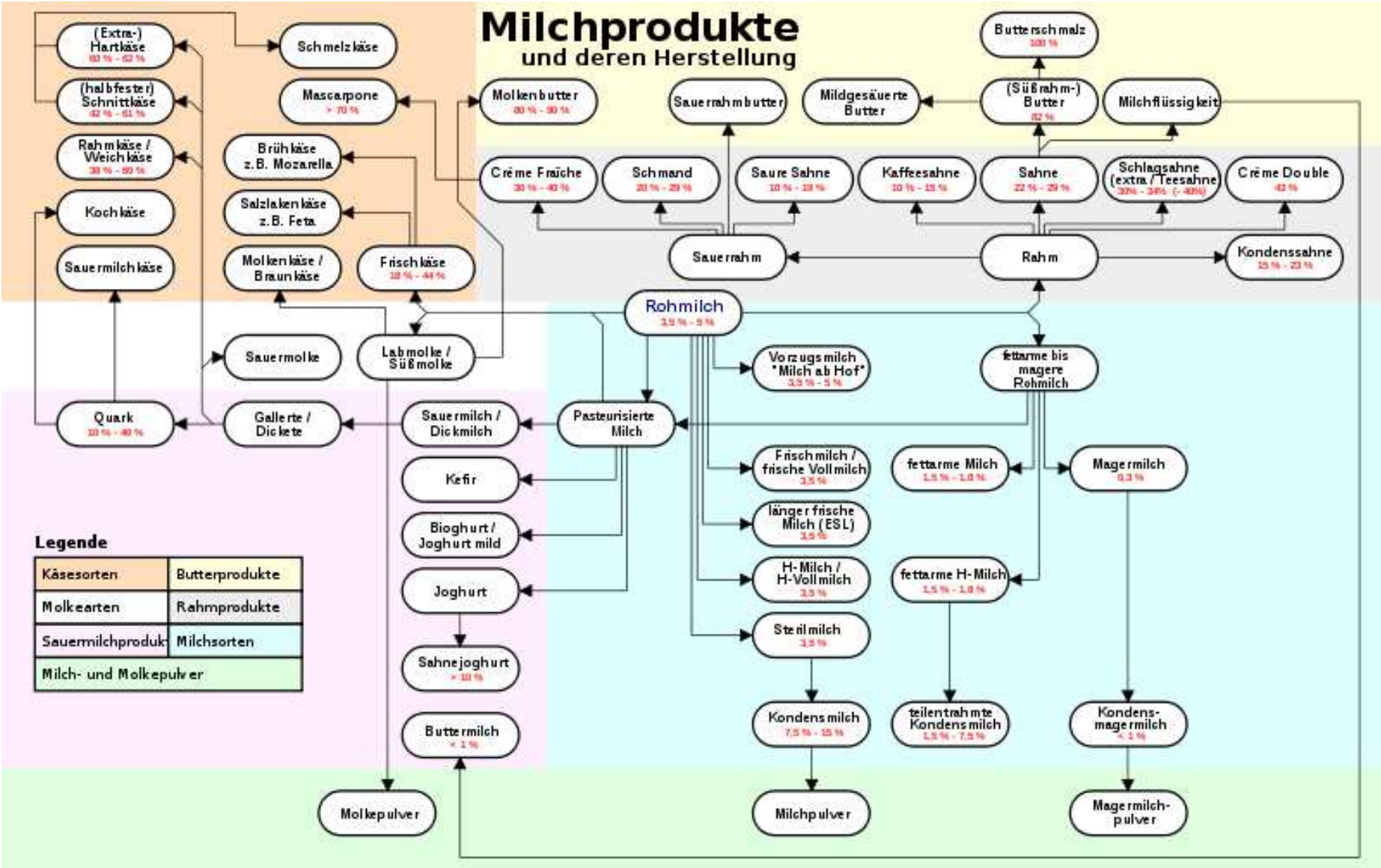
Magermilch: Milch-Fett-Gehalt: < 0,3 %

H-Milch: (Homogenisierte Milch) zumeist ultrahoch (135 – 150 ℃) für kurze Zeit (1 – 2 s) erhitzt; Milch enthält fast keine Keime mehr; feinste Verteilung der Fettröpfchen durch sehr feine Düsen / Filter; Milch kann nicht mehr aufrahmen; sehr deutlich länger haltbar (bis 12 Monate bei Normaltemperatur)
veränderte Sensorik

ESL-Milch: (extended shelf life milk; längerfrische Milch)
deutsche Verpackungsaufdrucke schon gewisser Etiketten-Schwindel, denn Milch wurde mit Dampf hocherhitzt, homogenisiert und gefiltert; keine eindeutige Kennzeichnung, zumal verschiedene Verfahren – auch kombiniert – zur Herstellung verwendet werden; Haltbarkeit liegt mit 12 bis 21 Tage in der geschlossenen, gekühlten Packung; nach Öffnen noch bis zu einer Woche haltbar
leicht veränderte Sensorik

3.3.6.2.1. direkte Folge- und Ab-Produkte

Buttermilch: Milchflüssigkeit, die bei der Produktion von Rahm (für die Herstellung von Süßrahmbutter) anfällt und mit Milchsäure-Bakterien weiterbehandelt wurde → Handelsprodukt



Q: de.wikipedia.org (WikiNight u.a.)

3.3.6.2.2. Käse

Milch-Produkt

3.3.6.3. Analog-Käse – Alles Käse oder was?

Produkt aus pflanzlichen Ölen, Wasser und verschiedenen Eiweißen (z.B. aus Milch, Soja, Bakterien), dazu Emulgatoren und ev. Stärke, für passende Aussehen und Geschmack kommen noch diverse Geschmacks- und Farbstoffe (Fertig-Mischungen) dazu
keine Reife
alles in Allem sehr kostengünstig herzustellen und sensorisch kaum vom echten Käse zu unterscheiden
da Begriff Käse geschützt ist muß das Produkt anders genannt werden
verwendete Namen und Bezeichnungen: geht von Namen, die die Besonderheit des Produktes klarstellen: Kunstkäse, Käseersatz, Käseimitat)
über unklare Bezeichnungen: Schmalzkäse, Oleomargarinekäse, Margarinkäse (alle aber nicht zulässig wegen "…käse…")
bis zu Namen, die (absichtlich?) verschleiern: Pizza-Mix, Gastromix, geriebener Pizzabelag
z:T. mit irreführender Zutatenliste und / oder der völliger Vermeidung von Bezügen zu Käse, dann Verwendung von Marken-Namen z.B. "Fol epi"

interessant für Veganer und Personen mit z.B. Kuhmilch-Verträglichkeits-Problemen; fraglich nur, ob Personen-Gruppen, die sonst sehr auf die Zusammensetzung ihrer Nahrung achten, sich dann so etwas zuführen

3.3.6.4. Getreide, Mehl und Brot

nicht vorrangig Protein-haltig (um die 10 – 12 %), aber wegen der Besonderheiten im Zusammenspiel von Kohlenhydraten und Proteinen bei Teigen und Back-Produkten hier erst bei den Proteinen behandelt
Kohlenhydrate 59 – 72 %
- darunter Ballaststoffe 2,4 – 7 %
Wasser 14 – 15 %
Fett 0,9 – 2,3 %
Mineralstoffe 0,4 – 1,7 %

3.3.6.x. Bohnen

enthalten das giftige Eiweiß Phasin, welches durch Garen zerstört wird. bei besonders Phasin-reichen Bohnen-Arten reicht der Konsum von 4 – 5 rohen Bohnen um Vergiftungserscheinungen (Magen-Darm-Beschwerden, Erbrechen, Durchfall) zu bekommen
Phasin bewirkt das Verklumpen der roten Blutkörperchen, Eintritt der Vergiftung nach 2 – 3 Stunden, aber auch relativ schnelles Abklingen

HAE … Hämagglutinierende Einheit

Sorte	Phasin-Gehalt [HAE]
Rote Nierenbohne, roh	20.000 – 70.000
Weiße Nierenbohne, roh	7.000 – 23.000
Ackerbohne, roh	1000 – 7.000
Rote Nierenbohne, gekocht	200 - 400

Datenquelle(n): http://de.wikipedia.org/wiki/Phasin

3.3.6.x. Soja

8. Literatur und Quellen

/1/ BELITZ, Hans-Dieter; GROSCH, Werner:
Lehrbuch der Lebensmittelchemie.-3. überarb. Aufl.-Berlin, Heidelberg, New York, London; Paris, Tokyo: Springer, 1987
ISBN 3-540-16962-8

/2/ FÜRST, Werner; SCHULER, Konrad:
Gastgewerbliche Berufe - Restaurantfachmann Restaurantfachfrau - Grund- und Fachstufe.-Bad Homburg vor der Höhe: Verl. Gehlen, 1997
ISBN 3-442-92650-1

/3/ Ernährungslehre - zeitgemäß, praxisnah.- Hannover: Schroedel Schulbuchverl., 1990
ISBN 3-441-91392-2

/4/ SCHLIEPER, Cornelia A.:
Ernährung heute.- 6. überarb. Aufl.-Hamburg: Verl. Büchner, Verl. Handwerk und Technik, 1994
ISBN 3-582-04474-2

/5/ SCHLIEPER, Cornelia A.:
Arbeitsbuch Ernährung.-4. überarb. u. erw. Aufl.-Hamburg: Verl. Büchner, Verl. Handwerk und Technik, 1986
ISBN 3-582-04473-4

/6/ BOTSCH, Walter; HÖFLING, Erich; MAUCH, Jürgen:
Chemie in Versuch, Theorie und Übung.- 2. neubearb. Aufl.- Frankfurt am Main, Aarau: Verl. Diesterweg, Verl. Sauerländer; 1984
ISBN 3-425-95421-0, ISBN 3-7941-2522-3

/7/ LIBBERT, Eike:
Kompendium der Allgemeinen Biologie.-2. durchges. Aufl..-Jena: Fischer Verl.; 1977

/8/ KEUNE, Hans (Hrsg.):
Taschenlexikon Chemie.- 1. Aufl. - Leipzig: Dt. Verl. f. Grundstoffind.,1989
ISBN 3-342-00225-5

/9/ LATSCHA, Hans Peter; KLEIN, Helmut Alfons:
CHEMIE - Basiswissen; Anorganische Chemie, Organische Chemie, Analytische Chemie.- Berlin, Heidelberg: Springer-Verl.,
ISBN -99534-X

/10/ SCHARF, Karl-Heinz; WEBER, Wilhelm:
Stoffwechselphysiologie - Materialien für den Sekundarbereich II - Biologie.- Neubearbeitung, Hannover: Schroedel-Schulbuchverl., 1992
ISBN 3-507-10515-2

/11/ BRAUNE, Wolfram; LEMAN, Alfred; TAUBERT, Hans:
Pflanzenanatomisches Praktikum I - Einführung in die Anatomie der Vegetationsorgane der Samenpflanzen.- 4. bearb. Aufl.- Jena: Fischer Verl. 1983

/12/ Alternative Wege bewusster Ernährung
aid Verbraucherdienst informiert Heft-Nr. 1131/1995

/13/ Essen geht durch den Magen - Die kleine Ernährungslehre
aid Verbraucherdienst informiert Heft-Nr. 1231/1995

/14/ POLLMER, Udo; WARMUTH, Susanne:
Lexikon der populären Ernährungsirrtümer – Mißverständnisse, Fehlinterpretationen und Halbwahrheiten.-Frankfurt a. M.: Eichborn Verl. AG 2000

/15/ BARTELS, Heinz; BARTELS, Rut:
Physiologie – Lehrbuch und Atlas – 4. überarb. Aufl.-München, Wien, Baltimore: Urban & Schwarzenberg, 1991
ISBN 3-541-09054-5

/16/ Lexikon Medizin.- Weyarn: Seehamer Verl.
ISBN 3-929626-45-4

/17/ Tabellenbuch Chemie.-8., überarb. Aufl.-Leipzig: Dt. Verl. f. Grundstoffindustrie, 1980

/18/ SCHENCK, Martin; KOLB, Erich:
Grundriss der physiologischen Chemie für Veterinärmediziner, Humanmediziner und Biologen.-5. Aufl.-Jena: G. Fischer Verl.; 1964

/19/ ERHARD, Hubert:
Tierphysiologisches Praktikum.-Jena: Verl. v. G. Fischer; 1916

/20/ STREMPELL, Walter; KOCH, Albert:
Elemente der Tierphysiologie – Ein Hilfsbuch für Vorlesungen und praktische Übungen an Universitäten und höheren Schulen sowie zum Selbststudium – für Zoologen und Mediziner.-Jena: Verl. v. G. Fischer, 1923.-2., neubearb. u. erw. Aufl.

/21/ OEHMICHEN, Jobst:
Chemie für Landwirte.-Alfeld-Hannover: Verl. M. & H. Schaper; 1989.-2. überarb. u. erw. Aufl.
ISBN 3-7944-0147-6

/22/ Bäckerei Konditorei – Verkauf – Grund- und Fachstufe.-Berlin: Cornelsen Verl.;1995.-1. Aufl.
ISBN 3-464-44202-0

/18/

/18/

Die Clipart's entstammen den folgenden Sammlungen:

/A/ microsoft-WORD (R) verschiedene Versionen

/B/

/C/

Die Molekül-Modelle basieren auf:

- RASMOL für Windows
- UnitedDevices / BOINC (Bildschirmschoner, verschiedene Projekte (LigantFit, Rosetta, QMC, …))

Die anderen Abbildungen und Schemata gehören: lern-soft-projekt

⊞- (c,p)1998 - 2011 lern-soft-projekt: drews -⊟
⊞- 18069 Rostock; Luise-Otto-Peters-Ring 25 -⊟
⊞- Tel/AB (0381) 760 12 18 FAX 760 12 11 -⊟