

# Kohlenhydrate

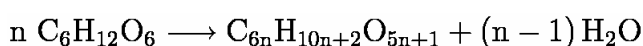
**Kohlenhydrate** oder **Saccharide**, zu denen vor allem die Zucker und Stärken gehören, bilden eine biologisch und chemisch bedeutsame Stoffklasse. Als Produkt der Photosynthese machen Kohlenhydrate den größten Teil der Biomasse aus. Mono-, Di- und Polysaccharide (u. a. Stärke) stellen zusammen mit den Fetten und Proteinen den quantitativ größten verwertbaren und nicht-verwertbaren (Ballaststoffe) Anteil an der Nahrung. Neben ihrer zentralen Rolle als physiologischer Energieträger spielen sie als Stützsubstanz vor allem im Pflanzenreich und in biologischen Signal- und Erkennungsprozessen (z. B. Zell-Zell-Erkennung, Blutgruppen) eine wichtige Rolle. Die Wissenschaft, die sich mit der Biologie der Kohlenhydrate beschäftigt, heißt Glykobiologie.

Chemisch handelt es sich um mehrwertige Alkohole mit einer reaktiven Carbonylfunktion ( $>C=O$ ), also Hydroxyaldehyde (Aldosen) oder Hydroxyketone (Ketosen). Die Carbonylgruppe liegt meist als stabileres Acetal oder Halbacetal vor. Die Reaktion mit den enthaltenen OH-Gruppen ermöglicht einen Ringschluss bzw. die Bildung von Oligo- und Polykondensaten. Am weitesten verbreitet sind Monosaccharide mit entweder fünf oder sechs C-Atomen, da hier ein solcher Ringschluss leicht möglich ist. Einfachzucker können über glykosidische Bindungen durch eine Kondensationsreaktion zu Zwei- und Mehrfachzuckern verketten.

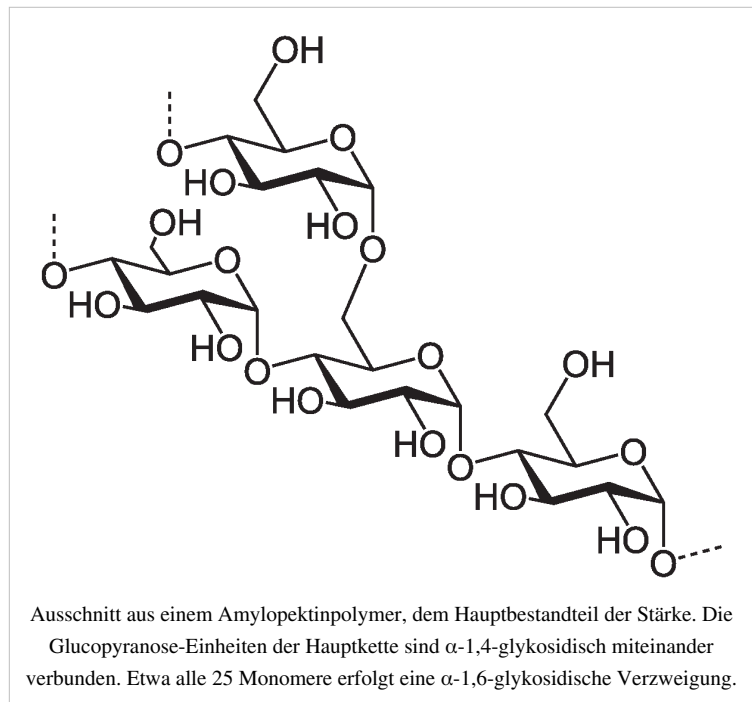
Die Monosaccharide (Einfachzucker, z. B. Traubenzucker, Fruchtzucker), Disaccharide (Zweifachzucker, z. B. Kristallzucker, Milchzucker, Malzzucker) und Oligosaccharide (Mehrfachzucker, z. B. Raffinose) sind wasserlöslich, haben einen süßen Geschmack und werden im engeren Sinne als Zucker bezeichnet. Die Polysaccharide (Vielfachzucker, z. B. Stärke, Cellulose, Chitin) sind hingegen oftmals schlecht oder gar nicht in Wasser löslich und geschmacksneutral.

## Etymologie

Da viele Saccharide die Bruttoformel  $C_n(H_2O)_m$  aufweisen, wurde fälschlicherweise angenommen, dass es sich um Hydrate des Kohlenstoffs handle, weshalb Carl Schmidt 1844 den Begriff Kohlehydrate prägte,<sup>[1]</sup> der bis heute als Kohlenhydrate in abgewandelter Form verwendet wird. Vertreter dieser Stoffklasse können jedoch erheblich von dieser Bruttoformel abweichen und weitere funktionelle Gruppen und Heteroatome wie Stickstoff oder Schwefel enthalten, während andere Verbindungen derselben Formel nicht zu den Kohlenhydraten gehören, da sie keine Hydroxyaldehyde oder Hydroxyketone sind. Allgemein liegen Kohlenhydrate vor, wenn in einem Stoff mindestens eine Aldehydgruppe bzw. Ketogruppe und mindestens zwei Hydroxygruppen anzufinden sind. Für unverzweigte Polysaccharide, die aus demselben Monosaccharid mit der Summenformel  $C_6H_{12}O_6$  (Glucose, Fructose, Galactose etc.) aufgebaut sind, gilt die Formel:



Diese Polysaccharide – ein Beispiel ist die Amylose – zählen zu den Homopolymeren.



## Geschichte

Bereits im Jahr 1811 machte Constantin Kirchhoff die Entdeckung, dass sich beim Kochen von Stärkemehl mit Säure Traubenzucker bildet.<sup>[2]</sup> Auf Anregung von Johann Wolfgang Döbereiner wurde 1812 während der Kontinentalsperre eine Stärkezuckerfabrik errichtet. Henri Braconnot entdeckte 1819, dass durch Einwirkung von konzentrierter Schwefelsäure auf Cellulose Zucker entsteht.<sup>[3]</sup> William Prout gab nach chemischen Analysen des Zuckers, der Stärke durch Joseph Louis Gay-Lussac und Thénard dieser Stoffgruppe den Gruppennamen *Sacharine*.<sup>[4]</sup>

## Physiologische Synthese

Einfachzucker werden von Pflanzen im Calvin-Zyklus durch Photosynthese aus Kohlenstoffdioxid und Wasser aufgebaut, und enthalten Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Zur Speicherung oder zum Zellaufbau werden diese Einfachzucker bei praktisch allen Lebewesen zu Mehrfachzuckern verkettet. Pflanzen synthetisieren in den Plastiden (z. B. Chloroplasten) das Polysaccharid Stärke. Tiere bilden in der Leber aus Glucose den langkettigen Speichersucker Glykogen.

Die Energieversorgung des Gehirns ist hochgradig von Glucose abhängig, da es Fette nicht direkt energetisch verwenden kann. In Hungersituationen ohne Kohlenhydratzufuhr oder bei verstärkter Muskelarbeit wird daher unter Energieaufwand Glucose in der Gluconeogenese aus den Stoffwechselprodukten Lactat, bestimmten Aminosäuren (u. a. Alanin) und Glycerin synthetisiert. Die Gluconeogenese verwendet zwar einige Enzyme der Glycolyse, dem Abbauweg der Glucose zur Erzeugung von energiereichem ATP und  $\text{NADH}+\text{H}^+$ , ist aber keinesfalls als deren Umkehrung zu verstehen, da entscheidende Schritte von eigenen Enzymen wie gesagt unter Energieverbrauch stattfinden. Glycolyse und Gluconeogenese sind reziprok reguliert, d. h. sie schließen einander in ein und derselben Zelle *nahezu* aus. Unterschiedliche Organe können jedoch sehr wohl gleichzeitig den einen und den anderen Weg beschreiten. So findet bei starker Muskelaktivität im Muskel Glycolyse und damit Lactatfreisetzung und in der Leber Gluconeogenese unter Verwendung von Lactat statt. Dadurch wird ein Teil der Stoffwechsellast in die Leber verlagert.

## Nahrung

→ *Hauptartikel: Nahrung und Nährstoff*

Kohlenhydrate sind neben Fett und Eiweiß ein wesentlicher Bestandteil der menschlichen Nahrung. Wichtige Grundnahrungsmittel, die einen hohen Anteil an Kohlenhydraten aufweisen, sind die verschiedenen Getreidesorten, die zu Lebensmitteln verarbeitet werden (Reis, Weizen, Mais, Hirse, Roggen, Hafer) bzw. als Viehfutter genutzt werden (vor allem Gerste, Hafer, Mais, Triticale). Die stärkehaltigen Getreideprodukte sind u. a. Brot, Nudeln, Kuchen u.v.a.m. Die Wurzelknollen der Kartoffel, eines Nachtschattengewächses, und die zu den Hülsenfrüchten gehörenden Erbsen, Bohnen und Linsen weisen einen hohen Kohlenhydratanteil auf.

Pflanzenarten, die vor allem zur Kohlenhydrataufnahme in der Ernährung beitragen, sind im Artikel Nutzpflanzen zusammengestellt.

Die in der Pflanzenwelt als Stützsubstanz in großen Mengen vorkommende Cellulose ist für den Menschen unverdaulich. Sie ist aber von den Wiederkäuern wie Rindern, Schafen und Ziegen verwertbar, da diese sich in ihren Vormägen (Pansen) den mikrobiellen Aufschluss zu Nutze machen.

## Verdauung und Verwertung

Die unmittelbare Energiewährung für biologische Prozesse ist das Adenosintriphosphat (ATP), das zum Beispiel die Muskelkontraktion antreibt und an fast allen energieverbrauchenden Prozessen beteiligt ist. Es liegt jedoch in den Zellen nur in geringer Konzentration vor und muss durch aeroben und anaeroben Abbau energiereicher Verbindungen wie Fette, Kohlenhydrate oder Proteine in den Zellen nachgeliefert werden.

Kohlenhydrate sind der Hauptenergielieferant für den Organismus. Sie sind im Gegensatz zu den Fetten relativ schnell verwertbar, da sie anaerob Energie liefern. Ein wichtiger Kohlenhydratbaustein im Energiehaushalt des Körpers ist die Glucose. Jede Körperzelle kann Glucose durch die Zellmembran aufnehmen bzw. wieder abgeben. In den Zellen der verschiedenen Organe kann sie entweder durch Verstoffwechselung die chemische Energie für Muskelarbeit, anabole Prozesse oder Gehirnaktivität liefern oder in Form von Glucoseketten als Glycogen gespeichert werden.

Die akute Energieversorgung des Körpers wird im Wesentlichen über die im Blut gelöste Glucose gewährleistet. Ihre Konzentration im Blut, der sogenannte Blutzuckerspiegel, wird in engen Grenzen gehalten. Bei der Verdauung wird die Glucose im Dünndarm als Monosaccharid aus dem Nahrungsbrei aufgenommen und in das Blut abgegeben. Nach der Nahrungsaufnahme steigt der Blutzuckerspiegel daher an. Die ins Blut aufgenommene Glucose muss also erst einmal zwischengespeichert werden. Das Signal hierzu gibt das Insulin, ein Peptidhormon. Es signalisiert dem Muskel- und Lebergewebe, verstärkt Glucose aus dem Blut aufzunehmen und zu Glycogen zu verketteten. Bei der Aufnahme (Resorption) der Glucose aus der Nahrung ist es nicht egal, wie schnell das geschieht. Da die Glucose in der Nahrung in mehr oder weniger oligomerisierter, bzw. polymerisierter, genauer: polykondensierter Form vorliegt, müssen die Glucoseketten im Verdauungstrakt aufgespalten werden, was je nach Länge der Ketten unterschiedlich schnell geschieht. Werden z. B. stärkehaltige Nahrungsmittel wie Brot oder Kartoffeln gegessen, so zerlegen die Verdauungsenzyme die Glucosekette der Stärke in einzelne Bruchstücke und schließlich bis zu den einzelnen Glucose-Molekülen, die nach und nach in den Blutkreislauf übergehen. Es vergeht also eine gewisse Zeit, bis die Stärke vollständig zerlegt und die Glucose-Bausteine aufgenommen werden. Der Blutzucker steigt hier daher eher langsam an.

Auch die anderen Nahrungsbestandteile spielen für die Geschwindigkeit des Blutzuckeranstiegs eine Rolle. Dies gibt dem Körper Zeit, die energiereichen Moleküle einzulagern. Je schneller die Glucose im Verdauungstrakt freigesetzt wird, desto schneller steigt der Blutzuckerspiegel an. Wenn sie in Form von Zucker, also direkt als Glucose oder kurzkettigen Di-, Tri- und Oligomeren, aufgenommen wird, so steigt der Blutzuckerspiegel schnell an, welches der Grund für die belebende Wirkung zuckerhaltiger Süßigkeiten und Getränke ist. Bei körperlicher oder geistiger Aktivität wird der Körper so mit schneller Energie versorgt. Wird jedoch „schwer gegessen“, also eine umfangreiche Mahlzeit eingenommen, so wird durch die intensive Durchblutung des Verdauungstraktes dem Muskelgewebe und dem Gehirn Energie entzogen, so dass man eher träge wird. Hierbei spielt das Insulin eine Rolle, da bereits während der Mahlzeit Insulin ausgeschüttet wird, welches den Blutzucker senkt. Der Blutzuckerspiegel steigt also während der Mahlzeit zunächst an, sinkt aufgrund der Einlagerung der Glucose in Muskeln und Leber ab und erreicht wieder einen normalen Wert.

Ein niedriger Blutzuckerspiegel spielt beim Hungergefühl eine entscheidende Rolle. Daher kann es sein, dass man ca. eine halbe bis eine ganze Stunde nach einer Mahlzeit wieder ein leichtes Hungergefühl hat. Es ist daher sinnvoll, das Dessert oder den Kaffee an die Mahlzeit anzuschließen, da Ersteres durch den Zuckergehalt und Letzterer durch die den Blutzuckerspiegel steigernde Wirkung des Koffeins dieses Absinken ausgleicht.

Wenn die Versorgung der Gewebe mit Kohlenhydraten größer ist als ihr Verbrauch, wird der Überschuss in Fett umgewandelt und als Depotfett gespeichert. Fette haben pro Masse einen höheren Energiegehalt als Kohlenhydrate und haben keine Hydrathülle. Sie sind für die langfristige Energiespeicherung also platzsparender als Kohlenhydrate und bewirken eine bessere Wärmedämmung des Körpers.

Entgegen der landläufigen Meinung werden Fettdepots ständig energetisch verwertet und nicht erst, wenn der Glycogenspeicher im Muskel reduziert ist. Dass eine Fettverbrennung erst nach ca. 30-minütiger Ausdauerübung

einsetzt, ist falsch. Tatsächlich verhält es sich so, dass das Adenosintriphosphat (ATP) für intensive Muskelarbeit durch vier Energiequellen geliefert wird. Daran den größten Anteil hat die Verwertung von Creatinphosphat (aus dem Proteinstoffwechsel), das ein höheres Phosphatgruppenübertragungspotential hat als ATP und dieses daher schnell nachliefern kann; es folgt die anaerobe Zuckerverwertung; etwas geringer ist der Anteil der oxidativen Zuckerverbrennung; und den geringsten Anteil hat die Fettverbrennung. Je intensiver die Anstrengung ist, desto stärker nimmt der Anteil der ersten, insbesondere anaeroben Anteile zu. Folglich nimmt der relative Anteil der Fettverbrennung bei erhöhter Pulsfrequenz ab, die absolute Menge des verwerteten Fettes nimmt aber sehr wohl zu, da der Gesamtenergieumsatz ebenfalls zunimmt. Der erhöhte Anteil anaerober Verbrennung hängt mit dem abnehmenden Sauerstoffangebot im Muskel bei starker Muskelarbeit zusammen, da die Fettverbrennung ein aerober Prozess ist.

Untrainierten Sportlern wird oft geraten, ausdauernd und leistungsschwach anzufangen („Laufen, ohne zu schnaufen“). Es gibt jedoch die Ansicht, dass allein die Energiebilanz (Kalorienverbrauch > -aufnahme) beim Sport entscheidend ist, da z. B. nach der Anstrengung noch ein „Nachbrennen“ der Fette stattfindet. Wird also während des Trainings viel Glucose verbrannt, wird in der Erholungsphase umso mehr Fett verbrannt. Weitere Faktoren des Fettabbaus sind die Art und die Frequenz der Nahrungsaufnahme, da mit jedem Insulinausstoß die Fettverbrennung gehemmt wird. Mit zunehmendem Training vergrößert sich die Muskelmasse, die Sauerstoffaufnahme verbessert sich, wodurch ein erhöhter Grundumsatz der Fettverbrennung entsteht.<sup>[5][6]</sup>

Leistungssportler trainieren vor einem Wettkampf durch den geeigneten Zeitpunkt der Nahrungsaufnahme die Optimierung ihres Glycogenspeichers, da dieser ein wichtiger Energiespeicher für kurzfristige Leistungsspitzen ist.

Kohlenhydrate gelten nicht als essentiell, da der Körper sie in der Gluconeogenese unter Energieaufwand aus anderen Nahrungsbestandteilen wie Proteinen und Glycerin selbst herstellen kann. Da insbesondere das Gehirn hochgradig von Glucose als Energieträger abhängig ist und keine Fette verwerten kann, muss der Blutzuckerspiegel in engen Grenzen gehalten werden. Dessen Regulation erfolgt durch das Zusammenspiel von Insulin und Glucagon. Bei Kohlenhydratmangel wird das Gehirn durch Ketonkörper versorgt, was sich z. B. bei einer Diät durch Acetongeruch bemerkbar macht. Eine völlig kohlenhydratfreie Ernährung wurde im Tierversuch bei Hühnern problemlos vertragen.<sup>[7]</sup> Auch eine Langzeitstudie an Kindern und jungen Erwachsenen mit der sehr kohlenhydratreduzierten ketogenen Diät zeigte gesundheitliche Unbedenklichkeit.<sup>[8]</sup> Eine eigenständige Erkrankung des Menschen durch das Fehlen von Kohlenhydraten ist unbekannt.<sup>[9]</sup> Der Energiegehalt eines Gramms Kohlenhydrat beträgt rund 17,2 Kilojoule (4,1 kcal).<sup>[10]</sup>

Die physiologische Energieerzeugung aus Kohlenhydraten erfolgt im Normalfall in der nicht-oxidativen Glycolyse und im oxidativen Citrat-Zyklus. Die Oxidationsschritte im Citrat-Zyklus bestehen in einer Abspaltung von Wasserstoff, der durch Wasserstoffüberträger in die Atmungskette eingespeist und dort mit Sauerstoff zu Wasser oxidiert wird. Das dabei an der Mitochondrienmembran erzeugte Membranpotential liefert mit Abstand die meiste Energie für die ATP-Synthese aus ADP.

## Gärung

→ *Hauptartikel: Gärung*

Die Gärung ist ein Stoffwechselprozess, bei dem unter Sauerstoffabschluss (Anaerobie) Kohlenhydrate zum Energiegewinn abgebaut werden. Sie wird in der Natur vor allem von Mikroorganismen genutzt, jedoch können Pflanzen unter Sauerstoffmangel auf sie zurückgreifen. In den Muskeln findet unter Sauerstoffmangel Milchsäuregärung statt.

Gärungen werden vielfältig zur Herstellung und Veredelung von Lebensmitteln genutzt. So wird bei der Milchsäuregärung Milchzucker zu Milchsäure umgesetzt und zur Herstellung von Joghurt, Quark und Buttermilch genutzt. Die Herstellung von Sauerteig und Silage beruhen auf der Gärung von Kohlenhydraten zu Milchsäure. Bei der Käse-Herstellung ist die Milchsäuregärung ein wichtiger Zwischenschritt.

Bei der alkoholischen Gärung werden verschiedene Zuckerarten zu Alkohol vergoren. Zu nennen wäre hier u. a. Malzzucker beim Bierbrauen und Traubenzucker beim Keltern von Wein. Stärkehaltige Nahrungsmittel wie Kartoffeln, Getreide und Reis werden z.B. zu Schnäpsen, Früchte zu Obstwässern verarbeitet.

Im Vergleich zur Zellatmung wird bei Gärungen nur eine geringe Menge Energie gewonnen, da statt Citratzyklus und anschließender Atmungskette nur die Substratkettenphosphorylierung genutzt werden kann.

## Systematik

Nach ihrer Funktion im Organismus kann man die Kohlenhydrate in Strukturkohlenhydrate und Nicht-Strukturkohlenhydrate unterteilen:

- Nicht-Strukturkohlenhydrate sind u. a. Rohrzucker (Saccharose) sowie das Polysaccharid Stärke. Diese Zucker dienen dem Energiegewinn oder sind Reservestoffe.
- Strukturkohlenhydrate sind am Aufbau der pflanzlichen Zellwand beteiligt und stellen einen Großteil des Fasermaterials der Pflanzen dar: Zellulose, Hemizellulose, u. a.

Strukturkohlenhydrate können von Säugern mit einhöhligen Magen nur bedingt verdaut werden, hingegen weitgehend oder vollständig von Wiederkäuern (Ruminantia), Kamelartigen (Camelidae) (diese sind ebenfalls Wiederkäuer, allerdings nicht im systematischen Sinne, da sich bei ihnen das Wiederkäuen unabhängig entwickelt hat) und Pferdeartigen (Equidae).

Die Einteilung nach chemischer Struktur ist im Absatz "Liste wichtiger Kohlenhydrate" dargestellt.

## Liste wichtiger Kohlenhydrate

Siehe Hauptartikel → Monosaccharide für eine umfangreichere Liste.

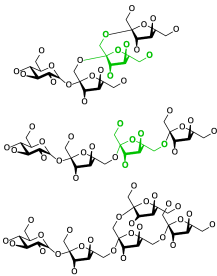
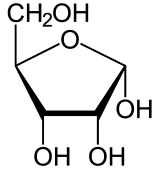
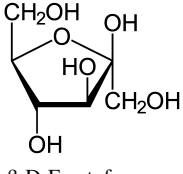
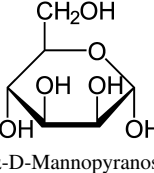
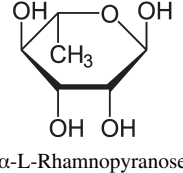
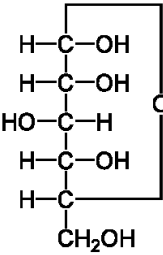
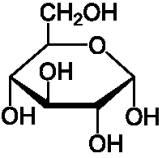
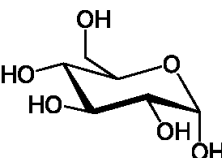
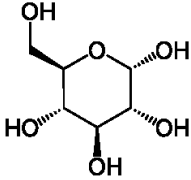
- Einfachzucker (Monosaccharide)
  - Glucose, auch Traubenzucker oder seltener Dextrose
  - Mannose, ein Epimer der Glucose
  - Fructose, auch Fruchtzucker
  - Ribose, Teil der Ribonukleinsäure (RNA)
  - Desoxyribose, Teil der Desoxyribonukleinsäure (DNA)
  - Galactose, auch Schleimzucker
  - Fucose, ein L-Zucker
  - Rhamnose, ein L-Zucker
- Zweifachzucker (Disaccharide)
  - Saccharose, auch Rübenzucker oder Rohrzucker (Glucose + Fructose)
  - Lactose, auch Milchzucker (Glucose + Galactose)
  - Lactulose, ein synthetisch abgewandelter Milchzucker
  - Maltose, auch Malzzucker (Glucose + Glucose)
  - Trehalose, ein nicht-reduzierender Zucker (Glucose + Glucose)
- Dreifachzucker (Trisaccharide)
  - Melezitose, Trisaccharid u.a. im Honig
  - Raffinose, bleibt bei der Zucker-Raffination in der Melasse
  - Umbelliferose
- Vielfachzucker (Polysaccharide)
  - Stärke, wichtiger Nahrungsmittelbestandteil
    - Amylose Struktur der Stärke
    - Amylopektin Struktur der Stärke

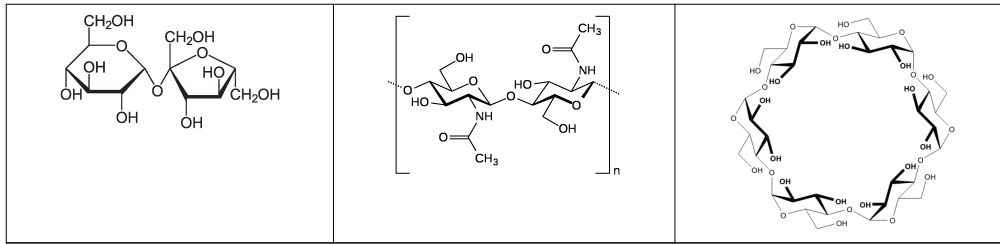
- Zellulose, Stützsubstanz im Pflanzenreich
- Glykogen, Energiespeicher in Muskeln und Leber
- Chitin, Stützsubstanz des Exoskeletts der Gliedertiere
- Callose, Reparaturkohlenhydrat in Pflanzen
- Fruktane, weiteres Speicherkohlenhydrat in Pflanzen
- Dextrane, industriell genutztes, bakterielles Polysaccharid
- Pektine, gehören zu den Ballaststoffen
- Cyclodextrine: cyclische Oligosaccharide mit chiralem Hohlraum
  - $\alpha$ -Cyclodextrin (Ring aus sechs Glucoseeinheiten)
  - $\beta$ -Cyclodextrin (sieben Glucoseeinheiten)
  - $\gamma$ -Cyclodextrin (acht Glucoseeinheiten)

### Strukturbeispiele

Die folgende Tabelle zeigt einige Beispiele für die Vielfalt natürlicher Kohlenhydratstrukturen. Pentosen und Hexosen können im Prinzip sowohl Fünf- als auch Sechsringe bilden, wobei ein neues Chiralitätszentrum entsteht, so dass einschließlich der offenkettigen Form bereits für ein Monosaccharid fünf Isomere existieren. Durch glykosidische Bindungen können sich Monosaccharide zu Oligo- und Polysacchariden verbinden. Dadurch potenziert sich die Anzahl möglicher Kohlenhydratstrukturen theoretisch zu einer schier unendlichen Vielfalt. Die Natur beschränkt sich allerdings auf energetisch günstige Strukturen.

Das Beispiel der  $\alpha$ -D-Glucopyranose zeigt verschiedene gleichwertige Darstellungsformen.

Beispiele der Strukturvielfalt von Kohlenhydraten und Vergleich verschiedener Moleküldarstellungen			
Strukturformeln der Fruktane	verschiedene Monosaccharide		
	 <p><math>\alpha</math>-D-Ribofuranose</p>	 <p><math>\beta</math>-D-Fructofuranose</p>	
	 <p><math>\alpha</math>-D-Mannopyranose</p>	 <p><math>\alpha</math>-L-Rhamnopyranose (6-Desoxy-<math>\alpha</math>-L-mannopyranose)</p>	
<b><math>\alpha</math>-D-Glucopyranose in (1) Fischer- bzw. Tollens- (2) Haworth- (3) Sessel- (4) stereochemischer Darstellung</b>			
 <p>1</p>	 <p>2</p>	 <p>3</p>	 <p>4</p>
Saccharose, ein Disaccharid	Ausschnitt aus dem Chitin-Polymer	Strukturformel für $\alpha$ -Cyclodextrin	

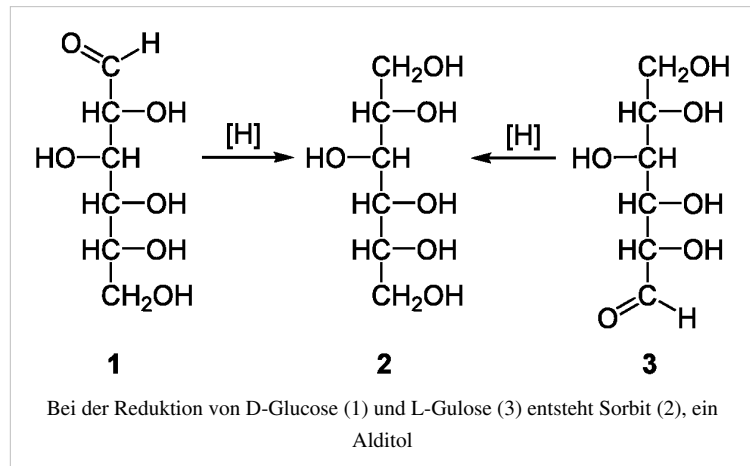


## Chemie

Kohlenhydrate sind Hydroxyaldehyde oder Hydroxyketone sowie davon abgeleitete Verbindungen, haben in ihrer offenkettigen Form also neben mindestens zwei Hydroxygruppen auch mindestens eine Aldehydgruppe oder Ketogruppe. Handelt es sich um ein Hydroxyaldehyd (Carbonylgruppe an einem terminalen C-Atom (Aldehyd)), so spricht man von einer Aldose, handelt es sich um ein Hydroxyketon (Carbonylgruppe an einem internen C-Atom (Ketone)), bezeichnet man den Zucker als Ketose. Die Carbonylfunktion ist eine hochreaktive funktionelle Gruppe: Zu nennen sind hier besonders die leichte Oxidierbarkeit zur Carbonsäure, die Reduktion zum Alkohol und der leichte nukleophile Angriff am Kohlenstoffatom der Carbonylgruppe.

## Nachweis

Ein genereller Nachweis von Kohlenhydraten kann durch die Molisch-Probe und die PAS-Reaktion erfolgen. Die Unterscheidung von Monosacchariden von Di-, Oligo- oder Polysacchariden ist durch die Barfoed'sche Probe möglich. Aldosen und Ketosen können durch die Seliwanow-Probe mit Resorcin unterschieden werden. Reduzierende Zucker können mit der Fehling-Probe nachgewiesen werden, bei



der sich bei Anwesenheit von Aldehyden und reduzierenden Zuckern (Aldosen und Acyloine) rot-braunes Kupfer(I)-oxid bildet. Neben der Fehling-Probe können reduzierende Zucker auch mit Hilfe des Benedict-Reagenz (durch die Farbe des ausfallenden Produkts), mit Nylanders Reagenz, mit 3,5-Dinitrosalicylsäure oder aufgrund der Entfärbung einer Kaliumpermanganat-Lösung nachgewiesen werden. Die Unterscheidung von Pentosen und Hexosen kann durch die *Mejbaum-Probe* mit Orcin oder durch die Bial-Probe (ebenfalls mit Orcin) erfolgen. Durch die Dische-Probe kann mit Diphenylamin Desoxyribose nachgewiesen werden.<sup>[11]</sup>

## Oxidation

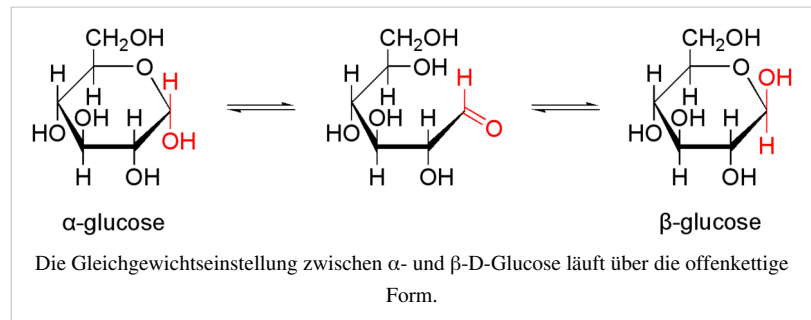
Durch Oxidationsmittel werden Kohlenhydrate zu Aldonsäuren oxidiert. Dies gilt unter basischen Bedingungen nicht nur für die Aldosen, sondern auch für die Ketosen, die durch die Base in einer komplexen Reaktion umgelagert werden (dabei wird die im Zuge der Keto-Enol-Tautomerie auftretende Aldose-Form stabilisiert). Beim Nachweis durch das Fehling-Reagenz wird ein blauer Cu(II)-Weinsäure-Komplex zu unlöslichem, roten Cu(I)oxid reduziert.

## Reduktion

Wird die Carbonylfunktion zur Hydroxygruppe reduziert, erhält man ein sogenanntes Alditol.

## Cyclisierung zum Halbacetal und Mutarotation

Durch intramolekularen nukleophilen Angriff einer der Hydroxygruppen auf das Carbonylkohlenstoffatom bildet sich ein zyklisches Halbacetal, welches energetisch meist sehr günstig ist. Hierbei werden überwiegend Sechsringe (pyranose Form) gebildet, die eine sehr niedrige Ringspannung aufweisen, es entstehen aber auch in



geringerem Maße Fünfringe (furanose Form). Andere Ringgrößen treten nicht auf, da sie eine zu hohe Ringspannung aufweisen. Es entsteht ferner ein neues Chiralitätszentrum. Die beiden resultierenden Diastereomere werden mit  $\alpha$  und  $\beta$  bezeichnet. In wässriger Lösung bilden  $\alpha$ - und  $\beta$ -pyranose und -furanose Form eine Gleichgewichtsreaktion miteinander und mit der offenkettigen Form. Eine wässrige Lösung von reiner  $\alpha$ -Glukopyranose wird daher nach einiger Zeit zu einer Gleichgewichtsmischung aus  $\alpha$ - und  $\beta$ -Glukopyranose und -furanose (38 %  $\alpha$ -Glc<sub>p</sub>, 62 %  $\beta$ -Glc<sub>p</sub>, 0 %  $\alpha$ -Glc<sub>f</sub>, 0,14 %  $\beta$ -Glc<sub>f</sub>, 0,002 % offenkettig). Die hierbei messbare Veränderung des Drehwertes wird als Mutarotation bezeichnet. Während aliphatische Aldehyde bereits von Luftsauerstoff allmählich zur Carbonsäure oxidiert werden, sind Kohlenhydrate durch die Acetalbildung erheblich unempfindlicher, was zweifelsohne für eine so wichtige Biomolekülklasse von enormer Bedeutung ist.

## Glykosylierung

→ Hauptartikel: Glykosylierung

→ Hauptartikel: Glykosid

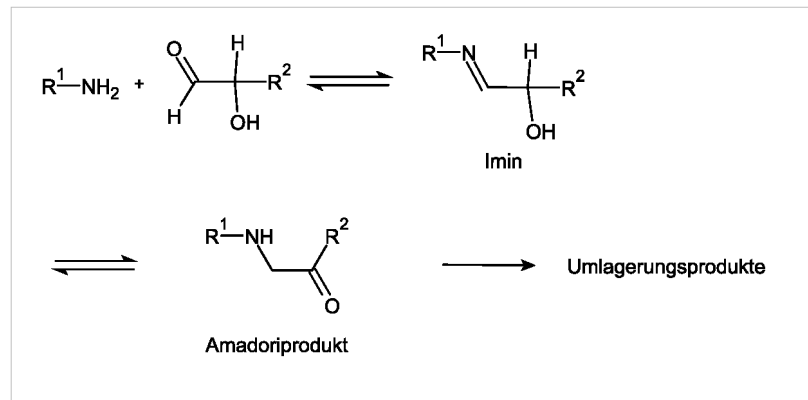
Von zentraler Bedeutung in der Kohlenhydratchemie und Biochemie ist ferner die glykosidische Bindung. Das hierbei gebildete zyklische Vollacetal eines Zuckers bezeichnet man als Glykosid.

## Amadori-Produkte und Maillard-Reaktion

Mit Aminen (z. B. in Aminosäuren, Proteinen) reagiert der offenkettige Aldehyd des Kohlenhydrates über ein Imin reversibel zu Amadori-Produkten, welches wiederum ebenfalls mit Aminen oder Aminosäuren kondensieren kann und sich irreversibel umlagert:



Diese nichtenzymatische Reaktion erfolgt im Organismus mit Aminosäuren und Eiweißen relativ häufig und ist einer der zentralen Vorgänge beim Altern (z. B. Altersflecken), da die Reaktionsprodukte vom Körper nicht abgebaut werden können. Ferner spielt sie eine wichtige Rolle bei der thermischen Zubereitung von Lebensmitteln, z. B. beim Braten und



Kochen. Es kommt zu der typischen Bräunung, da sich konjugierte Ringsysteme bilden, die farbig sind. Diese Produkte der sogenannten Maillard-Reaktion sind auch für den Geschmack zubereiteter Lebensmittel entscheidend.

## Chemiker, die bei der Erforschung der Kohlenhydrate mitgewirkt haben

- Emil Fischer (1852–1919)
- Burckhardt Helferich (1887–1982)
- Bernhard Tollens (1841–1918)
- Walter Norman Haworth (1883–1950)
- Wilhelm Koenigs (1856–1906)
- Eduard Knorr (1867–1926)

## Einzelnachweise

- [1] Annalen der Chemie, **51**, 30 (1844).
- [2] Schweigers Journal für Chemie und Physik **14**, 389 (1814).
- [3] Annales de chimie et des physique (2) **12**, 172 (1819).
- [4] Phil. Tr. 1827, 355.
- [5] Ingo Froböse: "Morgens vor dem Frühstück laufen verbrennt mehr Fett!" Und: "Nach dem Muskeltraining soll man dehnen!" ([http://www.daserste.de/moma/beitrag\\_dyn~uid,18wifh0qgm7mhiwv~cm.asp](http://www.daserste.de/moma/beitrag_dyn~uid,18wifh0qgm7mhiwv~cm.asp)) Die größten Sport-Irrtümer, Folge 1, im ARD-Morgenmagazin.
- [6] "FETTVERBRENNUNG" im Sport: Mythos und Wahrheit (<http://www.alemagne.de/pdf/fettverbrennungspulsmythos.pdf>), Dr. Kurt A. Moosburger, Facharzt für Innere Medizin und Sportarzt, Institut für Biostatistik und Dokumentation an der Universität Innsbruck
- [7] R. Renner, A. M. Elcombe: „Metabolic effects of feeding "carbohydrate-free" diets to chicks“. In: *The journal of nutrition*. Band 93, 1967, S. 31–36.
- [10] *Römpp Lexikon Lebensmittelchemie*. 2. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2006, ISBN 978-3-13-143462-3, S. 618 (Band 1, A–L).
- [11] L. Jaenicke: *Erinnerungsbild Zacharias Dische: Tausendsassa, im Gedächtnis durch obsoleete Reaktion und aktuelle Realisation*. In: *Biospektrum* Band 1, S.106-108. PDF ([http://www.biospektrum.de/blatt/d\\_bs\\_pdf&\\_id=981604](http://www.biospektrum.de/blatt/d_bs_pdf&_id=981604)).

## Literatur

- Thisbe K. Lindhorst: *Struktur und Funktion von Kohlenhydraten*. In: *Chemie in unserer Zeit*. Band 34, 2000, Nr. 1, S. 38–52. ISSN 0009-2851 (<http://dispatch.opac.d-nb.de/DB=1.1/CMD?ACT=SRCHA&IKT=8&TRM=0009-2851>)
- Thomas K. Ritter und Chi-Huey Wong: *Kohlenhydrate in der Antibiotikaforschung – ein neuer Ansatz zur Resistenzbekämpfung*. In: *Angewandte Chemie*. Band 113, 2001, Nr. 19, S. 3616–3641. ISSN 0044-8249 (<http://dispatch.opac.d-nb.de/DB=1.1/CMD?ACT=SRCHA&IKT=8&TRM=0044-8249>)
- Jochen Lehmann: *Kohlenhydrate. Chemie und Biologie*. Thieme, Stuttgart und New York 1996, 2001 (2. Auflage), ISBN 3-13-532902-X
- *Structure and Catalysis*. In: A. L. Lehninger, D. L. Nelson, M. M. Cox (Hrsg.): *Principles of Biochemistry*. Worth Publishers, New York 1993, S. 252–252.

- G. L. Zubay, W. W. Parson und D. E. Vance: *Principles of Biochemistry*. Wm. C. Brown, Dubuque, IA 1995.
  - I. Macdonald: *Carbohydrates*. In: M. E. Shils, J. A. Olson und M. Shike (Hrsg.): *Modern Nutrition in Health and Disease*. Lea and Febiger, Malvern 1994, S. 36–44.
  - British Society for Allergy and Environmental Medicine, British Society for Nutritional Medicine: *Effective nutritional medicine. The application of nutrition to major health problems*. In: *Journal of Nutritional & Environmental Medicine*. Band 6, 1996, S. 191–232.
  - G. Alton, M. Hasilik, R. Niehues et al.: *Direct utilization of mannose for mammalian glycoprotein biosynthesis*. In: *Glycobiology*. Band 8, 1998, S. 285–295.
  - V. Berger, S. Perier, C. Pachiaudi, S. Normand, P. Louisot und A. Martin: *Dietary specific sugars for serum protein enzymatic glycosylation in man*. In: *Metabolism*. Band 47, 1998, S. 1499–1503.
  - A. Martin, C. Rambal, V. Berger, S. Perier, P. Louisot: *Availability of specific sugars for glycoconjugate biosynthesis. A need for further investigations in man*. In: *Biochimie*. Band 80, 1998, S. 75–86.
  - H. H. Freeze: *Disorders in protein glycosylation and potential therapy. Tip of an iceberg?* In: *The journal of pediatrics*. Band 133, 1998, S. 593–600.
-

# Quelle(n) und Bearbeiter des/der Artikel(s)

**Kohlenhydrate** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=119367381> *Bearbeiter:* A-4-E, A.Savin, Aglarech, Aka, Alfred Grudszus, Alnilam, Aloiswuest, Altaix, AndreasMas, Anhi, Antikreationist1, Aschmidt, Avoided, Ayacop, BMK, Baird's Tapir, Baumfreund-FFM, Bdk, Berlin-Jurist, Bernardissimo, Bertonymus, Bierdimpfl, Brassmonkey, Brodkey65, Brudersohn, Burgkirsch, Callidior, Carol.Christiansen, Chemiewikibm, ChrisHamburg, ChristianBier, Christopher, Codespoetry, Cokeser, Complex, Contributor, Conversion script, Curtis Newton, Cvf-ps, DTetz, DaSch, DasBee, Dashed, Dealerofsalvation, DerGraueWolf, DerHexer, DerSchnüffler, Diba, Dietzel65, Dinah, Dnaber, Don Magnifico, Dr. Schnuffel, DrAlchemie, Drahtloser, Dreiundvierzig, Drpagel, Dundak, EIRaki, Elchbauer, Elwe, Engie, Ephraim33, Eschenmoser, FEZI, Fedi, Fibonius, Fragestell, FranzR, Frosty79, Fuzztone, Gerbil, Gerd-HH, Gerhardvalentin, Ghilt, Gleiberg, Grammer, Graphikus, Griensteidl, Guandalug, Gustavf, Habubi, Hans J. Castorp, HardDisk, Hatnixzuverlirn, He3nry, Heinte, Helmut Klein, Hendrik J., Hin-Tse, Holger666, Honefjell, Horst Gräbner, Howwi, Hybridbus, Hystrix, Inkowik, Itti, JWBE, Jackie72, Joerg Winkelmann, Jogo30, Johnny Controletti, Joshua, Jpp, Juesch, Jömy, Jü, Karl-Henner, Kingputzi, Krawi, Kreativnix, Kridld, Kubrick, Kuebi, LKD, Lb9000, Leichtbau, Leyo, Linksfluss, Lode, Louis BaFrance, Ly, Löschfix, MAK, Mabschaaf, Magnummandel, Manecke, ManfredMann, MarkusZi, Martin Bahmann, Martin Stettler, Martin-vogel, Martin1978, Matthias M., Mathäus Wander, MikePhobos, Milvus, Minutemen, Mipani, Mkleine, Mnh, Mo4jolo, Moguntiner, Mondmotte, Myrios, NEUROtiker, NSX-Racer, Ne discere cessa!, Nescius, Nikkis, Nina, Nolispanmo, Normalo, Olei, Olenz, Onkelkoeln, Orci, Ot, Ottomanisch, PDD, Panacea, PaulT, Pendulin, Peter200, Philipd, Philippdula, Philipp Wetzlar, Pittimann, Plasmagunman, Pöt, Rdb, Redecke, Regi51, Reinhard Kraasch, Reinhardhauke, Rjh, RobertLechner, Robodoc, Roland chem, Roland1952, Roo1812, Römert, Saehriminr, Saibo, Schaele de, Schewek, Schlurher, Schmafu, Seewolf, Semper, Shaddim, Shidata, Simonb, Simply, Sinn, Small Axe, Soebe, Sommerkom, Southpark, Speedmayer, Sprachpfleger, Spuk968, Stachelratte, Steffen, Stepri2003, Strombomboli, Subamaguss, Suhadi Sadono, TAXman, Tafkas, The cRaCkEr, Thiesi, Timk70, Titus36, Tobias Bergemann, Tobias1983, Tsor, Tönjes, UMW, USI, Uschebit, Uwe Gille, Veton, Vodimivado, WAH, Webwegweiser, Wiegand, WikiBene, Wissen, WissensDürster, Wnme, Wollw, Xls, Yahp, Yikrazuul, YourEyesOnly, Yoursmile, Zundelfrieder, Übergangsmantel, 392 anonyme Bearbeitungen

# Quelle(n), Lizenz(en) und Autor(en) des Bildes

**Datei: Amylopektin Sessel.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Amylopektin\\_Sessel.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Amylopektin_Sessel.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* NEUROtiker

**Datei: Fructans.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Fructans.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User: Ayacop

**Datei: Alpha-D-Ribofuranose.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Alpha-D-Ribofuranose.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* NEUROtiker

**Datei: Beta-D-Fructofuranose.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Beta-D-Fructofuranose.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* NEUROtiker

**Datei: Alpha-D-Mannopyranose.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Alpha-D-Mannopyranose.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* NEUROtiker

**Datei: Alpha-L-Rhamnopyranose.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Alpha-L-Rhamnopyranose.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* NEUROtiker

**Datei: Alpha glucose views.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Alpha\\_glucose\\_views.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Alpha_glucose_views.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Yikrazuul

**Datei: Saccharose2.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Saccharose2.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* NEUROtiker

**Datei: Chitin.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Chitin.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Dschanz

**Datei: AlphaCyclodextrin structure.png** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: AlphaCyclodextrin\\_structure.png](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: AlphaCyclodextrin_structure.png) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Edgar181, Fvasconcellos, H Padleckas, Plugwash, SV Resolution, Sponk, Timichal

**Datei: Synthesis of sorbitol.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Synthesis\\_of\\_sorbitol.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Synthesis_of_sorbitol.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Yikrazuul

**Datei: Glucose equilibrium.png** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Glucose\\_equilibrium.png](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Glucose_equilibrium.png) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Calvero.

**Datei: Amadori Maillard.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Amadori\\_Maillard.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei: Amadori_Maillard.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Roland Mattern

# Lizenz

## Wichtiger Hinweis zu den Lizenzen

Die nachfolgenden Lizenzen beziehen sich auf den Artikeltext. Im Artikel gezeigte Bilder und Grafiken können unter einer anderen Lizenz stehen sowie von Autoren erstellt worden sein, die nicht in der Autorenliste erscheinen. Durch eine noch vorhandene technische Einschränkung werden die Lizenzinformationen für Bilder und Grafiken daher nicht angezeigt. An der Behebung dieser Einschränkung wird gearbeitet. Das PDF ist daher nur für den privaten Gebrauch bestimmt. Eine Weiterverbreitung kann eine Urheberrechtsverletzung bedeuten.

### Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported - Deed

Diese „Commons Deed“ ist lediglich eine vereinfachte Zusammenfassung des rechtsverbindlichen Lizenzvertrages ([http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Lizenzbestimmungen\\_Commons\\_Attribution-ShareAlike\\_3.0\\_Unported](http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Lizenzbestimmungen_Commons_Attribution-ShareAlike_3.0_Unported)) in allgemeinverständlicher Sprache.

Sie dürfen:

- das Werk bzw. den Inhalt **vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen**
- Abwandlungen und Bearbeitungen** des Werkes bzw. Inhaltes anfertigen

Zu den folgenden Bedingungen:

- Namensnennung** — Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen.
- Weitergabe unter gleichen Bedingungen** — Wenn Sie das lizenzierte Werk bzw. den lizenzierten Inhalt bearbeiten, abwandeln oder in anderer Weise erkennbar als Grundlage für eigenes Schaffen verwenden, dürfen Sie die daraufhin neu entstandenen Werke bzw. Inhalte nur unter Verwendung von Lizenzbedingungen weitergeben, die mit denen dieses Lizenzvertrages identisch, vergleichbar oder kompatibel sind.

Wobei gilt:

- Verzichtserklärung** — Jede der vorgenannten Bedingungen kann aufgehoben werden, sofern Sie die ausdrückliche Einwilligung des Rechteinhabers dazu erhalten.
- Sonstige Rechte** — Die Lizenz hat keinerlei Einfluss auf die folgenden Rechte:

- Die gesetzlichen Schranken des Urheberrechts und sonstigen Befugnisse zur privaten Nutzung;
- Das Urheberpersönlichkeitsrecht des Rechteinhabers;
- Rechte anderer Personen, entweder am Lizenzgegenstand selber oder bezüglich seiner Verwendung, zum Beispiel Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen.

- Hinweis** — Im Falle einer Verbreitung müssen Sie anderen alle Lizenzbedingungen mitteilen, die für dieses Werk gelten. Am einfachsten ist es, an entsprechender Stelle einen Link auf <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.de> einzubinden.

### Haftungsbeschränkung

Die „Commons Deed“ ist kein Lizenzvertrag. Sie ist lediglich ein Referenztext, der den zugrundeliegenden Lizenzvertrag übersichtlich und in allgemeinverständlicher Sprache, aber auch stark vereinfacht wiedergibt. Die Deed selbst entfaltet keine juristische Wirkung und erscheint im eigentlichen Lizenzvertrag nicht.

## GNU Free Documentation License

Version 1.2, November 2002

Copyright (C) 2000,2001,2002 Free Software Foundation, Inc.

51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA

Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies

of this license document, but changing it is not allowed.

### 0. PREAMBLE

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document "free" in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or noncommercially. Secondly, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.

This License is a kind of "copyleft", which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

### 1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The "Document", below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as "you". You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A "Modified Version" of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A "Secondary Section" is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The "Invariant Sections" are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The "Cover Texts" are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A "Transparent" copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not "Transparent" is called "Opaque". Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only.

The "Title Page" means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, "Title Page" means the text near the most prominent appearance of the work's title, preceding the beginning of the body of the text.

A section "Entitled XYZ" means a named section of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as "Acknowledgements", "Dedications", "Endorsements", or "History".) To "Preserve the Title" of such a section when you modify the Document means that it remains a section "Entitled XYZ" according to this definition.

The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties; any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

## 2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or noncommercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3. You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

## 3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest on adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

If it is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

## 4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

- **A.** Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
- **B.** List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
- **C.** State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
- **D.** Preserve all the copyright notices of the Document.
- **E.** Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
- **F.** Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
- **G.** Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
- **H.** Include an unaltered copy of this License.
- **I.** Preserve the section entitled "History", Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.
- **J.** Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the "History" section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.
- **K.** For any section entitled "Acknowledgements" or "Dedications", Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
- **L.** Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
- **M.** Delete any section entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version.
- **N.** Do not retitle any existing section to be entitled "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.
- **O.** Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles. You may add a section entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties—for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words to a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words to a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

## 5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers. The combined work need not contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections entitled "History" in the various original documents, forming one section entitled "History"; likewise combine any sections entitled "Acknowledgements", and any sections entitled "Dedications". You must delete all sections entitled "Endorsements".

## 6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects. You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

## 7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an "aggregate" if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

## 8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is entitled "Acknowledgements", "Dedications", or "History", the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

## 9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided for under this License. Any other attempt to copy, modify, sublicense or distribute the Document is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

## 10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See <http://www.gnu.org/copyleft/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation.

## ADDENDUM: How to use this License for your documents

To use this License in a document you have written, include a copy of the License in the document and put the following copyright and license notices just after the title page:

Copyright (c) YEAR YOUR NAME.

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document

under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.2

or any later version published by the Free Software Foundation;

with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.

A copy of the license is included in the section entitled

"GNU Free Documentation License".

If you have Invariant Sections, Front-Cover Texts and Back-Cover Texts, replace the "with...Texts." line with this:

with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the

Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST.

If you have Invariant Sections without Cover Texts, or some other combination of the three, merge those two alternatives to suit the situation.

If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free software.