



Internet-Akademie

Serie

„Streifzüge durch die Naturwissenschaften“

Autor: Hans Stobinsky

Folge 08

Kohlenhydrate

„Kohlenhydrate“ – Was bedeutet das eigentlich?

1. Der Name

Sicher ist Ihnen die Bezeichnung „Kohlenhydrate“ in der Liste der Inhaltsstoffe von Lebensmitteln schon begegnet. Die Bezeichnung beruht, wie viele andere Namen (nicht nur in der Chemie) auf einem historischen Irrtum: Als man begann, Naturstoffe chemisch genauer zu untersuchen, war es zunächst nicht möglich, ihre genaue Molekülstruktur, d. h. die Anordnung der Atome im Molekül, aufzuklären. Man konnte nur eine sog. „Summenformel“ angeben, die die Anzahlen der verschiedenen Atomsorten (Elemente) im Molekül wiedergibt. Dabei stellte man fest, dass eine Reihe von Naturstoffen, wie Zucker und Stärke, neben dem Element Kohlenstoff die Elemente Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O) im Verhältnis 2:1 enthalten. Da das das gleiche Verhältnis wie im Wassermolekül (H_2O) ist, stellte man sich vor, dass diese Stoffe aus Kohlenstoffatomen mit angelagerten Wassermolekülen bestünden. So entstand der Name „Kohlenhydrat“ von gr. *hydor*, Wasser. Heute weiß man, dass die Moleküle aus einer Kette von Kohlenstoffatomen bestehen, an denen die H- und O-Atome gebunden sind.

2. Wichtige Beispiele

In der chemischen Systematik unterteilt man die Kohlenhydrate in

- Einfachzucker (Monosaccharide),
- Doppelzucker (Disaccharide) und
- Vielfachzucker (Polysaccharide).

Ich stelle Ihnen diese Einteilung deshalb vor, weil man damit auch die Verarbeitung der Stoffe im Körper besser verstehen kann.

2.1. Einfachzucker

2.1.1. Traubenzucker

Wie der Name schon andeutet, sind „Einfachzucker“ die kleinsten Moleküle der Kohlenhydrat-Familie. Für unseren Stoffwechsel ist darunter der Traubenzucker (Glukose, früher auch Dextrose genannt) der wichtigste.

Entdeckt in Trauben, kommt er in der Natur in vielen Früchten vor, ebenfalls im Honig. In der Ernährung spielt er eine untergeordnete Rolle, da er in unseren gängigen Lebensmitteln nur in kleinen Mengen enthalten ist. In unserem Körper dient er als „Blutzucker“ als universelle Energiequelle für alle Lebensvorgänge. An seiner (Summen-)Formel $C_6H_{12}O_6$ kann man das Wasserstoff- Sauerstoff-Verhältnis schön erkennen. Heute wird Traubenzucker schon lange nicht mehr aus Trauben oder anderen Früchten, sondern durch enzymatische Spaltung von Stärke gewonnen.

An dieser Stelle möchte ich Sie auf einen leider weit verbreiteten Irrtum hinweisen: Die Moleküle einer Substanz enthalten keine „Herkunftsmarkierung“. Ob ein Glukose-Molekül in einer Weinbeere oder im Reaktionskessel der chemischen Industrie „geboren“ wurde, kann daher unser Körper nicht unterscheiden. Lassen Sie sich nicht durch geschickte Werbesprüche wie „natürlicher“ oder „Bio“-Traubenzucker dazu verleiten, für ein billiges Massenprodukt überhöhte Preise zu zahlen. Dies ist ein trauriges Beispiel für den alten Spruch: „Mit der Dummheit (hier im Sinne von Unkenntnis) seiner Mitmenschen kann man die besten Geschäfte machen“!

Traubenzucker muss im Darm chemisch nicht verändert werden und kann unmittelbar von der Darmwand aufgenommen und in das Blut abgegeben werden. Daraus entwickelte sich die (ebenfalls von der Werbung genutzte) Vorstellung, man könne seine körperliche und geistige Leistungsfähigkeit durch Glucose-Verzehr steigern, ein unter Umständen sogar gefährlicher Irrtum: Größere Traubenzuckermengen bringen unseren fein austarierten Blutzuckerhaushalt völlig aus dem Gleichgewicht und können zu den gleichen gefährlichen Überzuckerungszuständen führen wie bei einem Diabetiker mit Insulinmangel.

2.1.2. Fruchtzucker

Die „Fructose“ war in früheren Zeiten ebenfalls relativ teuer, heute ist sie industriell sehr preiswert herzustellen. Bekannt war sie als „Diabetikerzucker“: Sie schmeckt etwa fünffach stärker als normaler Zucker und bewirkt keinen sofortigen Anstieg des Blutzuckerspiegels, man stellte daher spezielle Süßwaren (Gebäck, Schokolade) für Zuckerkrankte unter Verwendung von Fruchtzucker her. In der modernen Diabetikerbehandlung betrachtet man dies als überholt. Wegen seiner hohen Süßkraft wird aber Fruchtzucker oft in „Light“-Produkten mit vermindertem Kaloriengehalt als Süßmittel (nicht zu verwechseln mit Süßstoffen wie Cyclamat oder Saccharin) eingesetzt. Empfindliche Personen reagieren aber auf erhöhten Fruchtzuckerverzehr leicht mit Durchfall.

2.2. Doppelzucker

2.2.1. Saccharose

Hinter dieser wissenschaftlichen Bezeichnung verbirgt sich der „Zucker“ schlechthin, der mit der wohl längsten Liste von „alias“ aufwarten kann: Rohrzucker, Rübenzucker, Kristallzucker, Weißzucker. Nun raten Sie: was schreibt ein Werbetexter wohl lieber auf die Packung: „Kristallzucker“ oder „Rübenzucker“?! Die Moleküle, wären sie intelligente Wesen, würden sich sicher köstlich amüsieren, wie sie vermarktet werden.

Chemisch ist die Saccharose ein Zwillingmolekül: Ein Traubenzucker- und ein Fruchtzuckermolekül sind aneinander gekoppelt. Daher muss Rohrzucker „verdaut“, d. h. chemisch verändert werden, es wird in seine beiden Zwillingsschwestern gespalten. Es entsteht also eine Mischung aus Frucht- und Traubenzucker, die dann in die Blutbahn übergeben werden kann. Die gleiche Spaltung geschieht auch im Magen einer Biene, nachdem sie zuckerhaltigen Nektar aufgesogen hat: Honig besteht zu gleichen Teilen aus Trauben- und Fruchtzucker. Für seine (wissenschaftlich immer noch umstrittene) gesundheitliche Wirkung sind die Zusätze aus dem Bienenmagen, insbesondere Enzyme, verantwortlich, für seinen Geschmack die Duftstoffe aus den Blüten. Die gleiche Mischung kann man auch (durch Kochen mit Säuren, heute auch enzymatisch) aus Rohrzucker gewinnen, sie wurde früher als „Kunsthonig“ gehandelt, heute trägt sie Bezeichnung „Invertzucker“. Invertzucker wird als billiger Ersatz für Honig für Backwaren verwendet.

Beachten Sie bitte: „Gesünder“ im Sinne von „kalorienärmer“ (energieärmer) ist Honig nicht! Das Gleiche gilt für andere Süßungsmittel wie Rübendicksaft, Agavensaft oder Ahornsirup. Leider wird oft in der Werbung, aber auch in pseudowissenschaftlichen Artikeln, der Eindruck erweckt, Saccharose sei ein „Chemieprodukt“. Die Moleküle des „Industriezuckers“ sind in der Zuckerrübe auf biochemischem Wege entstanden und werden beim Herstellungsprozess nur herausgelöst und gereinigt auskristallisiert. Auch die anderen Süßungsmittel werden durch Press- und Eindampfungsprozesse hergestellt, „naturbelassen“ ist ein höchst fragwürdige Bezeichnung. Die in diesen „alternativen“ Süßungsmitteln enthaltenen Ballaststoffe sind mengenmäßig kaum bedeutend. Hier wird ein sinnvoller Effekt, wie er bei der Verwendung von Vollkornmehl anstelle von hoch ausgemahlenem Weißmehl vorliegt, unkritisch übertragen. Insbesondere sollte die ökologisch wesentliche Frage nach der Herkunft nicht ausgeklammert werden: Rüben-Saccharose stammt aus einheimischer Herstellung, schauen Sie doch einmal auf die Etiketten der anderen Süßungsmittel, welche Reise diese Produkte zurückgelegt haben.

2.2.1. Weitere Doppelzucker

Erwähnt seien noch zwei weitere Doppelzucker: der Malzzucker (Maltose) und der Milchzucker (Laktose). Die relativ häufige „Laktose-Unverträglichkeit“ beruht darauf, dass die Patienten das spaltende Verdauungsenzym (Lactase) nicht bilden können, die unverdaute Laktose wirkt als Gift und führt zu schweren Verdauungsstörungen. Wenn ein Baby auf Milchgenuss (auch Muttermilch!) negativ reagiert, sollte unbedingt auf diese Erkrankung geprüft werden (bei Geburten in der Klinik eine Standard-Untersuchung). Dies ist übrigens wieder ein gutes Beispiel dafür, wie problematisch die Bezeichnung „Gift“ ist! Auch hier sei eine Warnung vor Werbeaufdrucken angefügt: Für Menschen, die nicht an einer Laktose-Unverträglichkeit leiden, ist der Laktose-Gehalt in Lebensmitteln völlig unerheblich, laktosefreie Produkte sind in keiner Weise „gesünder“ (nur oft teurer!). Außerdem sind manche Produkte (z.B. viele Hartkäsesorten) von Natur aus laktosefrei.

2.3. Vielfachzucker

Von der Menge her sind sowohl die Einfach- als auch die Doppelzucker in unserer Ernährung nebensächlich. Der „dicke Brocken“ ist die Stärke. Die Bezeichnung „Vielfachzucker“ ist eine Untertreibung: viele Hundert, meist Tausende von Glucose-Molekülen sind zu langen, teilweise verzweigten Ketten vereinigt. Beim Kauen werden die Ketten im Mund zu Doppelzucker-(Maltose-)molekülen gespalten, daher schmeckt z.B. Weißbrot leicht süßlich. Und wer die Köchin oder den Koch ärgern will, der spuckt in den Pudding: das stärkespaltende Enzym aus dem Speichel verdaut die Stärke, der Pudding wird nie fest! Im Darm werden die langen Ketten Stück für Stück in Glucosemoleküle zerhackt. Da dieser Vorgang Zeit braucht, gelangt der entstehende Traubenzucker langsam ins Blut, unser Stoffwechsel hat genügend Zeit, den dadurch erhöhten Blutzuckerspiegel wieder zu normalisieren. Eine ordentliche Portion Pasta ist daher der richtige Energievorrat für einen Langstreckenläufer.

Stärkehaltige Nahrungsmittel gelten oft als „Dickmacher“, was aber nur bedingt richtig ist. „Allzuviel ist ungesund“ gilt natürlich auch hier und mancher schiebt seinen „Nudelfriedhof“ vor sich her, aber in Maßen sind Kohlenhydrate erheblich harmloser als Fette. Das liegt wieder an ihrer Chemie. Wir kommen damit zurück zum Anfang: Kohlenhydrate bestehen zwar nicht aus Wassermolekülen an Kohlenstoffatomen, aber viele Kohlenstoffatome tragen die Atomgruppe „Hydroxyl“: ein Sauerstoff- und ein daran gekoppeltes Wasserstoffatom. Diese Gruppierung ist im Prinzip ein Wassermolekül (H-O-H), dem man „hinten“ ein Wasserstoffatom abgebissen hat. Für Wassermoleküle „sieht“ sie „von vorne“ (H-O-) wie ein anderes Wasserteilchen aus. Da sich Wassermoleküle gegenseitig sehr heftig anziehen (das spüren Sie beim „Bauchplatscher“!), heften sie sich auch sehr leicht an die Hydroxylgruppen der Kohlenhydrate. Deshalb sind die kleinen Mono- und Disaccharide wasserlöslich, die großmolekulare Stärke quillt in Wasser auf. Wir nehmen Stärke praktisch immer in stark gequollenem Zustand auf (es sei denn, Sie knabbern gerne trockene Spaghetti). Dadurch enthalten stärkehaltige Nahrungsmittel, wie wir sie essen, mindestens zwei Drittel Wasser, dadurch bewirken sie ein starke Füllung des Magens, wodurch das Sättigungsgefühl hervorgerufen wird. Fette dagegen können kein Wasser aufnehmen, ihre Füllwirkung ist daher sehr viel geringer. Die Butter auf dem Brot trägt zum „Füllstandsgefühl“ praktisch nichts bei, wohl aber zum Kaloriengehalt!

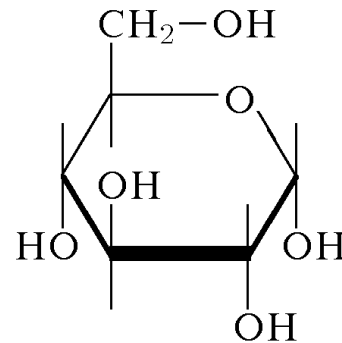
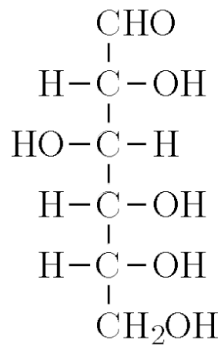
Die Quellbarkeit der Polysaccharide ist auch für einen anderen Effekt verantwortlich: das „Einlaufen“ von Baumwolltextilien. Baumwolle besteht, wie Stärke aus langen Glucosemolekülketten. Der Unterschied liegt in der Art der Verknüpfung, deshalb ist das Polysaccharid der Baumwolle ein anderer Stoff: „Zellstoff“ oder Zellulose. Pflanzen produzieren sie als Hauptbestandteil ihrer Zellwände. Zellulose ist wegen der andersartigen Verkopplung der Traubenzuckermoleküle zwar nicht wasserlöslich, aber auch an ihre Hydroxylgruppen können sich Wassermoleküle anhängen. Beim Waschen drängen sehr viele der kleinen Wasserteilchen die Zelluloseketten auseinander. Beim anschließenden Trocknen entweichen sie wieder, die Zellulosemoleküle lagern sich enger aneinander, wodurch die Faser schrumpft.

Die andersartige Verknüpfung der Glucosemoleküle ist auch der Grund dafür, dass wir Zellulose nicht verdauen können: wir besitzen über kein geeignetes Verdauungsenzym. Dieses wertvolle Spaltwerkzeug besitzen einige Bakterien, sie sorgen dafür, dass z.B. das Laub der Bäume im Wald sich nicht im Laufe der Jahre meterhoch anhäuft. Wiederkäuer, wie das Rind, halten sich in ihrem Gärmagen, dem Pansen, solche Bakterien als „Verdauungssklaven“, die für sie die Zellulose des Grases verdauen. Sie werden dann von anderen Mikroorganismen gefressen, die dann die eigentliche Nahrung für das Tier darstellen. So „blöd“ ist also die Kuh doch nicht!

Der nachfolgende Formelanhang kann allen chemisch Interessierten zur Vertiefung und Veranschaulichung dienen. Ich möchte aber auch alle, die chemischen Formeln gegenüber eher zurückhaltend reagieren, auffordern, ihre Vorbehalte zu überwinden: Formeln, insbesondere Strukturformeln sind eine eigentlich ganz einfache „Bildersprache“. Stellen Sie sich doch vor, es wären Hieroglyphen einer versunkenen Kultur oder (stark vergrößert) Konstruktionen von Stararchitekten, vielleicht fällt es Ihnen dann leichter!

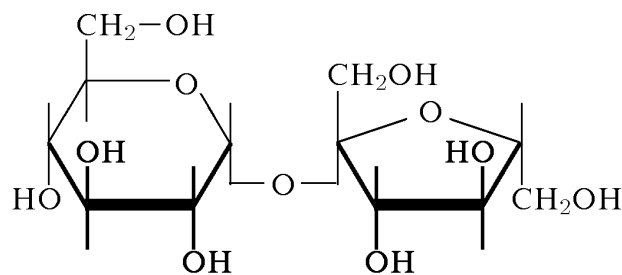
Formelanhang

Glucose



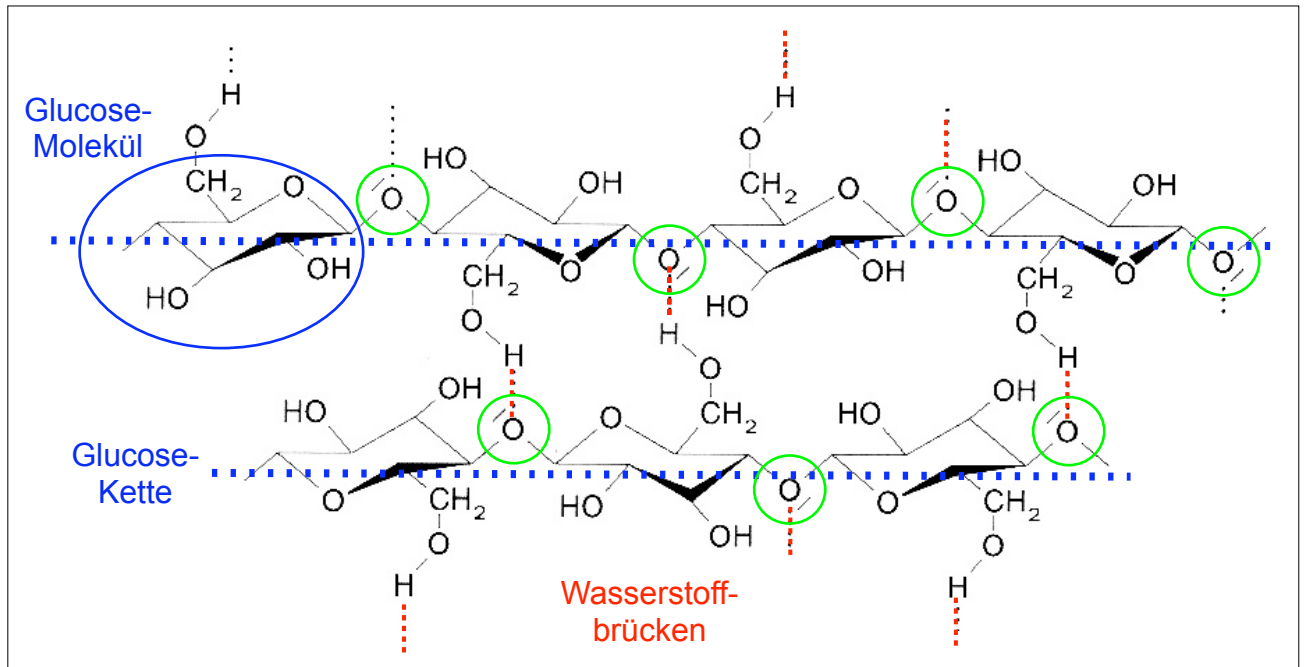
Für Kohlenhydrate werden verschiedene Formeldarstellungen verwendet, je nachdem, welche Eigenheiten der Moleküle hervorgehoben werden sollen. Links wird die Kette der C-Atome mit den H-Atomen und Hydroxylgruppen deutlich. Die rechte Darstellung gibt die Tatsache wieder, dass das Molekül meist in Form eines Ringes vorliegt, wobei der Ringschluss über ein O-Atom erfolgt. Der Übersichtlichkeit halber sind die C-Atome nicht ausgedruckt, man muss sie sich jeweils an den Ecken des Sechsecks vorstellen.

Saccharose



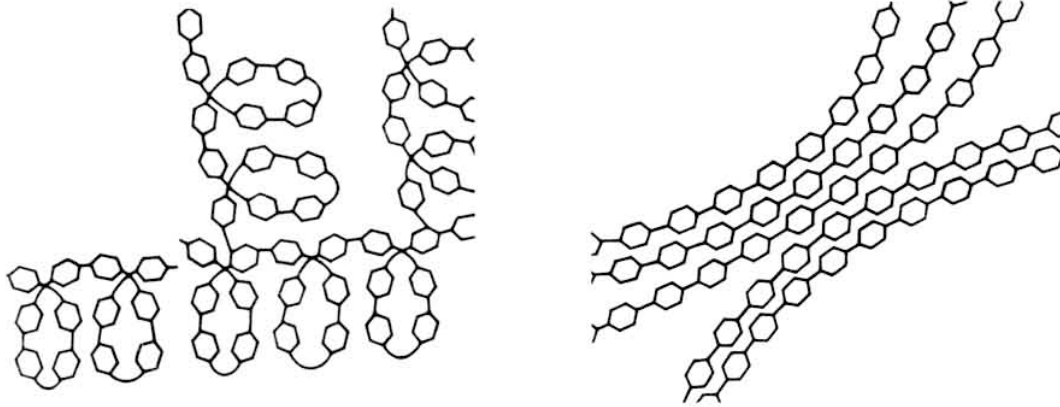
Die beiden „Zwillingsschwestern“ Glucose (links) und Fructose (rechts) liegen wieder in Ringform vor, die Verknüpfung zwischen ihnen erfolgt über ein O-Atom als „Brücke“. Im Gegensatz zur Glucose, bei der nur ein C-Atom außerhalb des Ringes steht, liegen bei der Fructose nur 4 der 6 C-Atome im Ring.

Cellulose



Nicht erschrecken! Es ist eigentlich ganz einfach: Sie sehen zwei Molekülketten übereinander (blau gestrichelte Linien). Jede besteht aus etwas „verbogenen“ Sechsecken, den Glucose-Molekülen. (Dies ist eine dritte Darstellungsweise, die die wahre Raumstruktur der Moleküle am besten wiedergibt.) Zwischen den Ringen erkennt man, abwechselnd nach oben und unten gewinkelt, die „Brücken“-O-Atome (grün umrandet), die Sie schon von der Saccharose kennen. Die rot punktierten Verbindungslinien zwischen H- und O-Atomen der beiden Ketten symbolisieren die sog. „Wasserstoffbrücken“. Das sind die gleichen Anziehungskräfte, wie sie zwischen Wassermolekülen wirken (und z.B. Eis so hart werden lassen, vgl. die Lektion 07 „Winter“ dieser Reihe). Da die Ketten in Wirklichkeit nicht nur aus 3 oder 4, sondern aus Hunderten von Glucose-Bausteinen bestehen und zwischen allen diese Verknüpfungen aufgebaut werden, bilden die Moleküle lange, sich überlappende Bündel, die dann in der Zellwand noch in einem sperrholzartigen Schichtsystem gegeneinander verspannt sind.

Vergleich Stärke und Zellulose



Stärke

Zellulose

Durch die unterschiedliche Art der Verknüpfung sind in den beiden Stoffen die Kettenglieder gegeneinander verschieden räumlich angeordnet (die Brücke zwischen den Kettengliedern hat einen anderen Winkel). In der Stärke entstehen schraubenförmige Gebilde, die auch seitliche Verzweigungen haben können. Das Molekül ist relativ „locker“, zwischen die Glucosemoleküle können leicht Wassermoleküle schlüpfen und bei etwas erhöhter Temperatur können sich die Ketten soweit voneinander entfernen, dass eine dickflüssige „Lösung“ entsteht, die Sie als Stärkekleister kennen. Falls Sie sich noch an die „Jod-Stärke-Reaktion“ erinnern können (eine Nachweisreaktion für Stärke: bei Jodzugabe färbt sich die Stärke schwarz): Die Jod-Moleküle passen genau in die Stärke-„Röhren“ hinein. Durch die starke Beeinflussung ihrer Elektronenhüllen in der Röhre verändert sich ihre Lichtabsorption und damit ihre Farbe.

In der Zellulose dagegen entstehen, wie schon oben gezeigt, lineare Ketten, die sich eng aneinander lagern und durch Wasserstoffbrücken sehr fest verknüpfen können.

Fachbegriff-Erklärungen

Disaccharide (Doppelzucker)

Aus 2 Monosaccharid-Molekülen aufgebaute Kohlenhydrate. Verknüpfung durch Kondensation. Fest, wasserlöslich, durch Säuren zu Monosacchariden gespalten; wichtige Naturstoffe
z. B: Saccharose (Rohr- oder Rübenzucker; Glucose-Fructose); Maltose (Malzzucker; Glucose-Glucose)
Laktose (Milchzucker; Glucose-Galaktose)

Enzyme

Biologische Katalysatoren; Proteine, arbeiten meist hochgradig substrat- und reaktionsspezifisch. Namensendung „-ase“.

gr. *en* ἔν in, *zyma* ζύμη Sauerteig (Hefe, hier zuerst entdeckt)

Hydroxylgruppe

–OH, funktionelle Gruppe der Alkanole (Alkohole);
hydrophil, stark polar, oxidierbar zu Carbonyl- bzw. Carboxylgruppe

Kohlenhydrate

Sammelbezeichnung für organische Verbindungen mit der Summenformel $C_nH_{2m}O_m$. Wegen mehrerer OH-Gruppen stark polar, außerdem eine Keto- oder Aldehyd-Gruppe.

Einteilung in Mono-, Di- und Polysaccharide

z. B.: Zucker, Stärke

Molekül

In sich abgeschlossenes Teilchen, das aus mindestens zwei (gleichen oder verschiedenen) Atomen, i.A. in einer charakteristischen Anzahl, zusammengesetzt ist.

z.B: H_2O

Monosaccharide

Einfachzucker, einfach gebaute Kohlenhydrate.

z. B.: Fructose, Glucose

Polysaccharide

Kohlenhydrate aus sehr vielen Monosaccharid-Bausteinen

z. B.: Stärke, Cellulose

Wasserstoffbrücken

Besonders starke Dipol-Dipol-Wechselwirkung. W. treten auf, wenn ein H-Atom durch die Bindung an ein Atom mit hohem EN-Wert (F, O, N) stark positiv polarisiert ist.

Weitere Fachbegriffserklärungen aus der Biologie und den angrenzenden Wissenschaftsgebieten Physik und Chemie finden Sie auch in meiner Homepage www.die-reise-maus.de in der Rubrik „Lexika“ in der Datei „Biologie_LX.pdf“.