



Biomoleküle

Kohlenhydrate: Disaccharide und Polysaccharide

Arbeitsvideo / 2 Kurzfilme

FWU –
das Medieninstitut
der Länder



Lernziele

Kenntnis der verschiedenen glykosidischen Verknüpfungsmöglichkeiten von Monosacchariden zu Disacchariden; Einsicht, dass Ringöffnung nur bei Disacchariden möglich ist, die noch über eine freie anomere Hydroxy-Gruppe verfügen. Kenntnis der verschiedenen Verknüpfungsmöglichkeiten in Polysacchariden; Verständnis für den Zusammenhang zwischen Molekülstruktur und Eigenschaften bei Polysacchariden; Einsicht in die grundlegende Bedeutung dieser Moleküle für Lebewesen

Vorkenntnisse

Grundlegende Kenntnisse von Struktur und Eigenschaften der Monosaccharide (Glucose, Fructose) sind für das Verständnis der Filme erforderlich

Zum Inhalt

Inhaltsverzeichnis und Zeitangaben

	min/sec Zählerstand
0 Ende FWU-Sigel	00:00
1 Disaccharide	00:15
2 Polysaccharide	09:37

Bei Kassetten im Schularchiv können die Zählwerksangaben des verwendeten Rekorders eingetragen werden.

Zu den Filmen:

Disaccharide

Als Ergebnis der geschlechtlichen Fortpflanzung bilden Pflanzen Samen und Früchte. Aus der Zygote entwickelt sich in der Samenanlage der pflanzliche Embryo. Zur Sicherung der Embryonalentwicklung werden im Samen reichlich Nährstoffe in einem gesonderten Nährgewebe oder in den Keimblättern gespeichert. Auch der Keimling versorgt sich zunächst aus seinen Nährstoffreserven. Mit dem intensiven Stoffwechsel während der Keimung ist eine Freisetzung

von **Maltose** aus den Reservepolysacchariden verbunden. Maltose ist aus zwei Glucose-Molekülen aufgebaut. Für die Darstellung von Maltose wird vom α -Anomer der Glucose ausgegangen, bei dem die Hydroxy-Gruppe am Kohlenstoff-Atom Nr. 1 in der Haworth-Projektion nach unten weist. Das reaktive anomere C-Atom kann mit der Hydroxy-Gruppe eines zweiten Glucose-Moleküls reagieren. Im Fall der Maltose findet diese Reaktion mit der Hydroxy-Gruppe am C4-Atom des Nachbar-Glucose-Moleküls statt. Durch Wasserabspaltung werden die beiden Einheiten über ein Sauerstoff-Brückenatom miteinander verknüpft. Eine derartige Bindung zwischen zwei Zucker-Molekülen nennt man **glykosidische Bindung**. An einer glykosidischen Bindung ist immer mindestens ein anomeres C-Atom beteiligt. Da in der Maltose das anomere C-Atom Nr. 1 über die glykosidische Bindung mit dem C-Atom Nr. 4 des zweiten Glucose-Moleküls verbunden ist, spricht man von einer **1,4-glykosidischen Bindung**. Die α -Stellung der Hydroxy-Gruppe am anomeren C-Atom wird in der genauen Bezeichnung berücksichtigt: In Maltose liegt somit eine **α -1,4-glykosidische Bindung** vor. Da durch diese glykosidische Bindung zwei Einfachzucker verknüpft werden, stellt Maltose ein **Disaccharid** dar. In dem Glucose-Molekül, dessen anomeres C-Atom Bestandteil der glykosidischen Bindung geworden ist (Acetal-Funktion), kann keine Ringöffnung mehr erfolgen: es ist in der α -Form fixiert. Das gilt nicht für den zweiten Zuckerbaustein, dessen anomeres C-Atom jederzeit die Bindung zum Ringsauerstoff lösen kann. In der entstehenden offenkettigen Form kann sich die Carbonyl-Gruppe frei um die Einfachbindung zum C-Atom Nr. 2 drehen. Ein erneuter Ringschluss führt dann auch zur β -Form dieses Bausteins. Im Zellsaft des

embryonalen Gewebes liegt daher ein dynamisches Gleichgewicht zwischen der offenkettigen Form der Maltose und den beiden α - und β -Anomeren vor.

Auch ein β -Glucose-Molekül kann mit einem weiteren Traubenzucker-Baustein glykosidisch verknüpft werden. In der β -Ringform zeigt die Hydroxy-Gruppe am anomeren C-Atom Nr. 1 in der Haworth-Projektion nach oben. Um diese Hydroxy-Gruppe mit der „alkoholischen“ Hydroxy-Gruppe am C-Atom Nr. 4 des anderen Glucose-Moleküls zur Reaktion zu bringen, wird dieses zweite Molekül um 180° gedreht. Die Drehachse verläuft dabei durch die C-Atome Nr. 1 und 4. Durch Kondensationsreaktion bildet sich diesmal eine **β -1,4-glykosidische Bindung**. Das entstehende Disaccharid nennt man **Cellobiose**. Auch in der Cellobiose könnte sich das Glucose-Molekül mit dem freien anomeren C-Atom in die offenkettige Form und in die α - und β -Anomeren umwandeln (dies wird im Film nicht gezeigt).

Das im Alltag bekannteste Disaccharid ist der „Haushaltszucker“, der aus Zuckerrohr oder Zuckerrüben gewonnen wird. Es handelt sich dabei um ein Disaccharid, das einen α -Glucose-Baustein enthält, der mit β -Fructose verknüpft ist. Bei der β -Fructose, die in wässriger Lösung als 5-Ring (Furanose-Form) vorliegt, zeigt die Hydroxy-Gruppe am anomeren C-Atom nach oben. Bei der Fructose ist das anomere C-Atom das C-Atom Nr. 2. Im Gegensatz zu Maltose und Cellobiose wird hier eine glykosidische Bindung zwischen den beiden anomeren C-Atomen der Glucose und der Fructose gebildet. Zur Bindungsbildung muss das Fructose-Molekül um 180° gedreht werden. Die Drehachse verläuft dabei mittig zwischen den C-Atomen Nr. 3 und 4 sowie durch den Ringsauerstoff der Fructose. Durch Wasserabspaltung wird das C-Atom Nr.

1 der Glucose mit dem Kohlenstoff-Atom Nr. 2 der Fructose über eine Sauerstoffbrücke verknüpft. Die chemische Bezeichnung für den Haushaltszucker ist **Saccharose**. Es liegt eine **1,2-glykosidische Bindung** vor. Im Saccharose-Molekül sind die anomeren Kohlenstoff-Atome beider Bindungspartner durch die glykosidische Bindung blockiert. Deswegen kann weder der Glucose- noch der Fructose-Baustein in die offenkettige oder die jeweils andere Ringform wechseln. Im Pflanzenkörper muss der Assimilations-Zucker von den grünen Pflanzenteilen in alle anderen Pflanzenteile transportiert werden. Dieser Transport ist z. B. bei der Bildung von Blüten wichtig.

Der Transport von Zuckern innerhalb der Pflanze geschieht meistens in Form von Saccharose.

Polysaccharide

Weizen wird in großem Maßstab angebaut. Der Grund dafür ist sein hoher Stärkegehalt. Stärke ist ein Hauptnährstoff für den Menschen und kommt in großer Menge im Endosperm des Weizenkorns vor. Die Glucose, die zum Aufbau der Stärke benötigt wird, entsteht in den grünen Pflanzenteilen einer Weizenpflanze durch den Photosynthesevorgang. Während der Samenreifung wird sehr viel Glucose in die Weizenkörner transportiert. Für diesen Transportvorgang wird Glucose vorübergehend in der Saccharose gebunden. Im reifenden Korn wird die Saccharose wieder gespalten. Die freigesetzten Glucose-Moleküle, die sich in der α -Ringform befinden, werden miteinander verknüpft. Wie bei der Maltose werden dabei α -1,4-glykosidische Bindungen zwischen den Glucose-Molekülen ausgebildet. Da diese Bindung leicht gewinkelt aufgebaut ist, bildet sich bei der Verknüpfung vieler Glucose-Moleküle ein langes, spiralförmiges

Molekül. Die chemische Bezeichnung ist **Amylose**. Dieses Molekül besteht aus Hunderten bis Tausenden von Glucose-Bausteinen und wird als **Polysaccharid** bezeichnet. Neben dieser unverzweigten Amylose enthält Weizenstärke auch ein verzweigtes Polysaccharid, das **Amylopektin**. Die Verzweigung entsteht durch glykosidische Verknüpfung eines Glucose-Moleküls mit einem Baustein des spiralförmigen Kettenmoleküls. Auch dieses Glucose-Molekül befindet sich in der α -Ringform. Unter Wasserabspaltung reagiert die Hydroxy-Gruppe an seinem anomeren C-Atom mit der Hydroxy-Gruppe am C-Atom Nr. 6 eines Glucose-Moleküls der Spirale. Es entsteht dabei eine **α -1,6-glykosidische Bindung**. Auch an der Verzweigungsstelle lagern sich Glucose-Moleküle spiralförmig an. Die Bausteine der neuen Spirale sind wieder α -1,4-glykosidisch verknüpft. Diese Verzweigung wiederholt sich alle 24–30 Glucose-Bausteine und führt zu einem buschartig verzweigten Molekül. Natürliche **Stärke** ist ein Gemisch aus 20–30 % unverzweigter Amylose und 70–80 % Amylopektin. Stärke dient den Pflanzen als Zuckerspeicher. Einen ähnlichen Aufbau wie Amylopektin weist das Polysaccharid **Glykogen** auf, das etwa alle 5–12 Glucoseeinheiten eine 1,6-Verzweigung aufweist und damit mehr als doppelt so stark verzweigt ist. Glykogen wird in tierischen Zellen als rasch mobilisierbarer Glucosespeicher genutzt. Da die auf- und abbauenden Enzyme an vielen Verzweigungsenden des Glykogens und des Amylopektins gleichzeitig Glucose anlagern bzw. abspalten können, kann der Glucosegehalt der Zelle rasch in großen Dimensionen verändert werden. Das am häufigsten vorkommende Kohlenhydrat ist die pflanzliche Gerüstsubstanz Cellulose. Über 10 000 Glucoseeinheiten können β -1,4-glykosidisch zu linearen Molekülketten verbunden sein.

Mehrere dieser Molekülketten lagern sich über Wasserstoffbrückenbindungen zu Mikrofibrillen zusammen, die in der Zellwand der Pflanzenzelle zu einem widerstandsfähigen Fasergeflecht verwoben sind. Cellulose-Moleküle werden zum Aufbau haltbarer und tragfähiger pflanzlicher Strukturen verwendet.

Zusätzliche Information

Die Disaccharide sind die einfachsten Oligosaccharide. Die Tatsache, dass bereits auf dieser Ebene erstaunlich viele Verknüpfungsmöglichkeiten existieren, spiegelt die außerordentliche strukturelle Vielfalt der Zucker wieder. Diese Vielfalt übertrifft die Variationsmöglichkeiten bei Oligopeptiden bei weitem. Dementsprechend schwierig gestaltet sich auch die Nomenklatur schon recht einfacher Oligosaccharide und ihrer Derivate. Bei den wenigen im Schulunterricht zu behandelnden Oligosacchariden unterscheidet man die Gruppe der reduzierend wirkenden Disaccharide (z. B. Maltose, Cellobiose, Lactose) von den nichtreduzierenden Disacchariden (z. B. Saccharose, Trehalose).

Bei den letzteren haben zwei Monosaccharide mit den beiden anomeren Hydroxy-Gruppen unter Wasserabspaltung reagiert. Ihre Anordnung in der systematischen Bezeichnung erfolgt alphabetisch, die D,L-Konfiguration, die Anomerenbezeichnung (α , β) und die Ringform (Furanose-, Pyranoseform) der Monosaccharide wird dabei berücksichtigt. Die systematische Bezeichnung für Rohrzucker (Saccharose) lautet somit β -D-Fructofuranosyl- α -D-glucopyranosid. Die systematische Bezeichnung höherer Oligosaccharide wird zunehmend durch Kurzschreibweisen ersetzt. Sie lautet für Saccharose: $[\beta$ -D-Fru_f-(2 \leftrightarrow 1)- α -D-Glc_p].

Bei **reduzierenden** Disacchariden tritt die Komponente mit der „freien Aldehydgruppe“ als Basisbegriff auf, dem wiederum der Wortstamm der nichtreduzierenden Komponente mit der Endung -yl vorangestellt wird. Je nach Anordnung der Stellungsziffern, der miteinander glykosidisch verknüpften C-Atome gibt es zwei Benennungsmöglichkeiten:

In der herkömmlichen Schreibweise werden diese Stellungsziffern in die Wortmitte gestellt und über einen Pfeil verknüpft. Die Bezeichnung für die β -Maltose lautet daher: α -D-Glucopyranosyl-(1 \rightarrow 4)- β -D-glucopyranose;

Kurzbezeichnung: $[\alpha$ -D-Glc_p-(1 \rightarrow 4)- β -D-Glc_p]. Alternativ kann die Stellungsziffer des C-Atoms, das die alkoholische Hydroxy-Gruppe trug, der Bezeichnung vorangestellt werden. Darauf folgt das chemische Symbol des Sauerstoffs, mit dem ausgedrückt wird, dass die glykosidische Verknüpfung über eine Sauerstoffbrücke erfolgt:

4-O- α -D-Glucopyranosyl- β -D-glucopyranose. Konformationsanalysen bei den kristallinen Disacchariden Maltose, Cellobiose und Saccharose haben ergeben, dass trotz freier Drehbarkeit um die C-O-Einfachbindungen der glykosidischen Verknüpfung, die Monosaccharid-Komponenten nicht in beliebigen Drehwinkeln zueinander angeordnet werden können, sondern nur wenige stabile Konformationen vorliegen.

Erstaunlicherweise sind Disaccharide selbst in wässriger Lösung recht starre Moleküle. Dies ist neben den Van-der-Waals-Wechselwirkungen und Wasserstoffbrückenbindungen vor allem auf innermolekulare Dipolabstoßungen („exo-anomerer Effekt“) zurückzuführen.

Saccharose ist in Pflanzen eine wichtige Transportform des Kohlenstoffs. Die glykosidische Verknüpfung der beiden anomeren

C-Atome in der Saccharose wird durch Amylasen und andere häufig vorkommende kohlenhydratspaltende Enzyme nicht angegriffen: die reaktionsfreudigen anomeren C-Atome werden so vor Angriffen durch andere Stoffwechselprodukte, z. B. Aminosäuren, geschützt.

Rohrzucker als Wirtschaftsfaktor ist in Deutschland vor allem der Rübenzucker. Es werden auf 700 000 ha etwa 25 Millionen Jahrestonnen Zuckerrüben geerntet und daraus ca. 4,5 Millionen t Zucker hergestellt (Im Vergleich: die Brotgetreideproduktion liegt um 22 Millionen Jahrestonnen).

Die Riesenmoleküle Amylopektin und Glykogen werden durch die starke Verzweigung verdichtet und wasserlöslicher gemacht. Das Glykogen-Molekül besitzt im Zentrum ein Enzym-Molekül (Glykogenin, 38 kDa). Dieses stellt als „Starter“ (Primer) den Ausgangspunkt für die Glykogen-Ketten dar, die sich buschartig verzweigen und rosettenförmige, kleine Glykogen-Granula bilden. Sie werden im Plasma fast aller Zellen des Tiergewebes, vor allem aber in Leber- und Muskelzellen, abgelagert.

Allein durch ihre Dimensionen unterscheiden sich die kleinen (100–150 nm) Glykogen-Granula (α -Partikel der Leberzellen) von den Stärke-Körnern (50 μ m) der Pflanzen.

Während die Stärkekörner relativ frei von Protein sind, sind die Glykogen-Granula mit abbauenden, aufbauenden und regulierenden Enzymen assoziiert, so dass man von einem Glykogen-Enzym-Komplex sprechen kann.

Polysaccharide sind wichtige Bestandteile in den Zellwänden der Bakterien, Pilze und Landpflanzen. Sie erfüllen dort Stütz- und Schutzfunktion. Durch die hohen Konzentrationen an niedermolekularen Verbindungen in Bakterien und anderen Einzellern kommt es zu hohen osmotischen Druck-

belastungen. Die Polysaccharid-Fasern in den Zellwänden fangen diese enormen Zugbelastungen auf und verhindern das Bersten dieser Zellen. Diese Zellspannung (Turgor) stützt auch den Körper der Landpflanzen. Die langen Cellulose-Moleküle der Pflanzenzellwand werden durch zwischenmolekulare Wasserstoffbrückenbindungen und durch van-der-Waals-Kräfte in Strängen zusammengehalten. Sie bilden neben streng geordneten kristallinen Strangabschnitten auch amorphe, ungeordnete Bereiche. So ergibt sich die hohe Festigkeit und Wasserunlöslichkeit, obwohl dieser Polyhydroxy-Verbindung sehr hydrophil ist.

Zur Verwendung

Das Video enthält 2 Kurzfilme, in denen sich Realaufnahmen und Trickszenen abwechseln. In den Filmen wird der Aufbau von Di- und Polysacchariden durch Kondensationsreaktionen unter Aufbau glykosidischer Verknüpfung dargestellt. Die Monosaccharide werden in einer realitätsnahen räumlichen Darstellung präsentiert, die sich an die perspektivischen Haworth-Projektionsformeln anlehnt.

Während die Knüpfung einer α -1,4-glykosidischen Bindung problemlos auf der Ebene der Haworth-Formeln den Schülern vermittelt werden kann, führen die Darstellungen der β -1,4-glykosidische Verknüpfung und der Bildung nichtreduzierender Disaccharide aus den Monosacchariden oft zu Verständnisschwierigkeiten. Hier müssen Monosaccharid-Moleküle um verschiedene Drehachsen bewegt werden. Die anomeren und „alkoholischen“ Hydroxy-Gruppen werden dabei räumlich so nebeneinander positioniert, dass über einen Kondensationsschritt die glykosidische

Sauerstoffbrücke gebildet werden kann. Diese Drehung ist auf der Tafel bzw. auf Overhead-Folie schwer darzustellen. In der Praxis werden oft Molekülmodelle zur Veranschaulichung eingesetzt. Dieser zeitaufwändige Lernprozess setzt ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen und Vertrautheit mit den Projektionsregeln beim Lernenden voraus, muss doch die Umwandlung der zweidimensionalen Formeldarstellung zum räumlichen Modell, die Drehung des Modells, die Rückprojektion in die Ebene und der Prozess der Acetalbildung bewältigt werden.

Die filmische Aufbereitung der Monosaccharid-Drehung bietet sich hier als Vermittlungshilfe an: die fließende Darstellung der Drehvorgänge durch die Animationen verläuft so einfach und übersichtlich, dass beim Nachvollzug dieser Rotationen in der Zeichenebene die genannten Probleme entfallen. Dem Lernenden wird so die Scheu vor der Projektionsdarstellung komplexer organischer Moleküle genommen und seine Fähigkeit zum sinnvollen Einsatz von Molekülmodellen zur Lösung sterischer Fragestellungen gefördert.

Der Kurzfilm 2 setzt die Verarbeitung der im Kurzfilm 1 gebotenen Grundlagen voraus; beide Kurzfilme sind aber ansonsten unabhängig voneinander einsetzbar. Die Kurzfilme können zur Erarbeitung, aber auch zur Sicherung bereits erworbener Kenntnisse verwendet werden. Beide Kurzfilme können in Sekundarstufe I und II eingesetzt werden. Voraussetzung für einen erfolgreichen Einsatz der Arbeitsvideos sind grundlegende Kenntnisse von Aufbau und Eigenschaften der Monosaccharide.

Literatur:

Fresenius, P, Görlitzer, K.:

Organisch-chemische Nomenklatur,
Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH,
Stuttgart, 1998

D. Nelson, M. Cox:

Lehninger Biochemie, Springer Verlag, Berlin,
Heidelberg, New York, 2001

Lindhorst, T.:

Struktur und Funktion von Kohlenhydraten,
In: Chemie in unserer Zeit 34 (2000) 1, S. 38-52

Lehmann, J.:

Kohlenhydrate, Chemie und Biologie, Stuttgart,
Georg Thieme Verlag, 1996

Pfeiffer, P, Sommer, K. (Hrsg.):

Kohlenhydrate, In: Naturwissenschaften im
Unterricht Chemie Friedrich Velber Verlag,
Seelze, Heft 62, 2/2001

Produktion

FWU Institut für Film und Bild, 2002

Buch und Regie

Dr. Christine Fischer

Animationen

snag multimedia

Begleitkarte und Fachberatung

Bernhard Jablonski

Pädagogische Referentin im FWU

Dr. Christine Fischer

Verleih durch Landes-, Kreis- und
Stadtbildstellen/Medienzentren

Verkauf durch FWU Institut für Film und Bild,
Grünwald

Nur Bildstellen/Medienzentren: öV zulässig

© 2002

FWU Institut für Film und Bild
in Wissenschaft und Unterricht
gemeinnützige GmbH
Geiseltasteig
Bavariafilmplatz 3
D-82031 Grünwald
Telefon (0 89) 64 97-1
Telefax (0 89) 64 97-240
E-Mail Info@fwu.de
Internet <http://www.fwu.de>



FWU Institut für Film und Bild
in Wissenschaft und Unterricht
gemeinnützige GmbH
Geiseltalsteig
Bavariafilmplatz 3
D-82031 Grünwald
Telefon (0 89) 64 97-1
Telefax (0 89) 64 97-240
E-Mail Info@fwu.de
Internet <http://www.fwu.de>

**zentrale Sammelnummern für
unseren Vertrieb:**

Telefon (0 89) 64 97-4 44
Telefax (0 89) 64 97-2 40
E-Mail vertrieb@fwu.de

Alle Urheber- und
Leistungsschutzrechte vor-
behalten.
Keine unerlaubte Vervielfältigung,
Vermietung,
Aufführung, Sendung!

**Freigegeben
o. A. gemäß
§ 7 JÖSchG
FSK**

FWU - Schule und Unterricht/Arbeitsvideo

VHS 42 02662

16 min, Farbe

Biomoleküle

Kohlenhydrate: Disaccharide und Polysaccharide

Arbeitsvideo/2 Kurzfilme

Di- und Polysaccharide spielen in allen Lebewesen eine wichtige Rolle. Moderne Animationen zeigen, wie Monosaccharide durch glykosidische Bindungen zu den Disacchariden Maltose, Cellobiose und Saccharose verknüpft werden. Der zweite Kurzfilm erläutert den chemischen Bau und die räumliche Struktur der Polysaccharide Amylose, Amylopektin, Glykogen und Cellulose. Realszenen binden diese wichtigen Lerninhalte immer wieder in die Erfahrungswelt der Schüler ein und verdeutlichen die Rolle dieser Moleküle für Pflanzen, Tiere und Menschen.

- | | |
|-------------------|----------|
| 1. Disaccharide | 9:22 min |
| 2. Polysaccharide | 5:37 min |

Schlagwörter

Traubenzucker, Glucose, Fructose, Maltose, Cellobiose, Saccharose, Stärke, Amylose, Amylopektin, Glykogen, Cellulose, Monosaccharid, Disaccharid, Polysaccharid

Chemie

Organische Chemie • Stoffe mit funktionellen Gruppen •
Polymere Stoffe, Naturstoffe
Biochemie • Molekulare Grundlagen der Organismen

Allgemeinbildende Schulen (9-13)

Weitere Medien

42 02661 Kohlenhydrate: Monosaccharide.

Arbeitsvideo / 4 Kurzfilme. VHS, 34 min, f