



Haushaltszucker aus chemischer Sicht Isolierung aus Rüben und beteiligte Isomeren

Tanja Schornbaum, SS 05; Janina Degen, SS 10

Gliederung

1	Geschichte und Verbreitung des Haushaltszuckers	2
2	Herstellung von Haushaltszucker	2
2.1	Zuckerrüben-Aufbereitung	3
2.2	Saft-Gewinnung	4
2.3	Saft-Reinigung	4
2.4	Saft-Eindickung	5
2.5	Kristallisation	5
3	Saccharose	6
4	Hydrolyse der Saccharose	6
5	Glucose und Fructose	8
5.1	Glucose	8
5.2	Fructose	8

Einstieg: *Wer von uns hätte noch nie die Helden der Leinwand bewundert, die sich, ohne mit der Wimper zu zucken den größten Gefahren aussetzen oder ihr Leben aufs Spiel setzen? Sie erklimmen die steilsten Wände, entkommen gerade noch so dem Flammen-See oder flüchten mit einem gewagten Sprung durchs Fenster.*

Aber was beeindruckend aussieht, ist doch nur halb so gefährlich. Bei einem Sprung durchs Fenster müsst man sich nicht am ganzen Körper verletzen? Nicht so die Helden auf Celluloid. Denn auch hier greift Hollywood einmal mehr in die Trick-Kiste. Die Scheiben, durch die sie oder vielmehr die Stuntmen springen, bestehen aus nichts anderem als Zucker-Glas, also dem allseits bekannten Haushaltszucker.

Zucker ist für uns heute ein gebräuchliches, ja günstiges Lebensmittel geworden, das in verschiedenen Varianten verwendet wird. Ein Kilo Haushaltszucker kostet im Supermarkt nur 92 Cent. Aber Zucker war nicht immer so günstig.

1 Geschichte und Verbreitung des Haushaltszuckers

Zucker wurde wahrscheinlich erstmals von den Persern um 600 v. Chr. dargestellt. Bis dahin war Honig das einzige Süßungsmittel. Die Perser haben den Saft der Zucker-Rohrs heiß in Ton- oder Holz-Gefäße eingefüllt. Der Sirup mit den nicht zuckerhaltigen Stoffen tropfte dabei durch eine kleine Öffnung in der Kegel-Spitze ab. Zurück blieb der Zucker-Hut, der aber wahrscheinlich noch nicht so schön weiß wie der heute erhältliche ausgesehen haben dürfte.

Zur Zeit der Kreuz-Züge hat man den Anbau des Zucker-Rohrs dann auch in den südlichen Mittelmeer-Ländern stellenweise eingeführt. In einer Reise-Beschreibung heißt es: „In den Feldern bei Tripolis fand man ein Honig-Schilf, welches sie dort „zucra“ nennen.“ Hiervon dürfte sich auch die heutige Bezeichnung ableiten. Bei Königen und Fürsten, die Zucker auch damals schon nach Europa importieren ließen, erfreute er sich großer Beliebtheit. Für das Volk aber war er nicht erschwinglich. Ab ca. 1500 wird das Zucker-Rohr weltweit auf großen Plantagen angepflanzt und verschifft. Aber Zucker bleibt noch immer ein teures Produkt und nur wenigen vorbehalten. Erst als 1747 der Berliner Chemiker Marggraf entdeckte, dass sie heimische Runkel-Rübe den gleichen Zucker enthält wie das Zucker-Rohr, begann sich das Blatt zu wenden. Um 1800 entstehen die ersten Rübenzucker-Fabriken in Schlesien – wobei man natürlich sagen muss, dass die Zucker-Ausbeute bei der Produktion und auch der Zucker-Gehalt der Rübe selbst eine viel geringere war als heute. Durch Verbesserung der Herstellung und Züchtung neuer Sorten konnte diese erheblich erhöht werden. Nachdem es infolge eines Konkurrenz-Kampfes zwischen Rohr- und Rübenzucker zu einem drastischen Preis-Verfall kommt, entwickelt sich der Haushaltszucker langsam, aber sicher zu einem täglichen Bedarfsgut.

Heute beträgt der Pro-Kopf-Verbrauch an reinem Haushaltszucker 6 kg pro Jahr – natürlich mit Spitzen zur bald beginnenden Einmach- und auch zur Weihnachtszeit, wo fleißig gebacken wird. Da aber über 80% des Zucker-Absatzes in Form von Verarbeitungserzeugnissen verzehrt wird, beträgt der tatsächliche Pro-Kopf-Verbrauch weit mehr, nämlich 36,4 kg Zucker pro Jahr und pro Person.

2 Herstellung von Haushaltszucker

Wie aber wird dieses Bedarfsgut, von dem jeder von uns pro Woche mehr als ein halbes Kilogramm verbraucht, hergestellt?

In Europa wird der handelsübliche Haushaltszucker aus Rüben isoliert. Deshalb spricht man auch von Rüben-Zucker. Die Zucker-Rübe ist eine zweijährige Pflanze. Sie sammelt im ersten Jahr Zucker und andere Vorräte an, die dann im zweiten Jahr der blühenden und fruchtenden Pflanze zur Nahrung dienen sollte. Da man aber an den Zucker der Rübe herankommen möchte, müssen sie bereits im ersten Jahr geerntet werden. Die heutigen Züchtungen haben einen Zucker-Gehalt von ungefähr 10 – 20%.

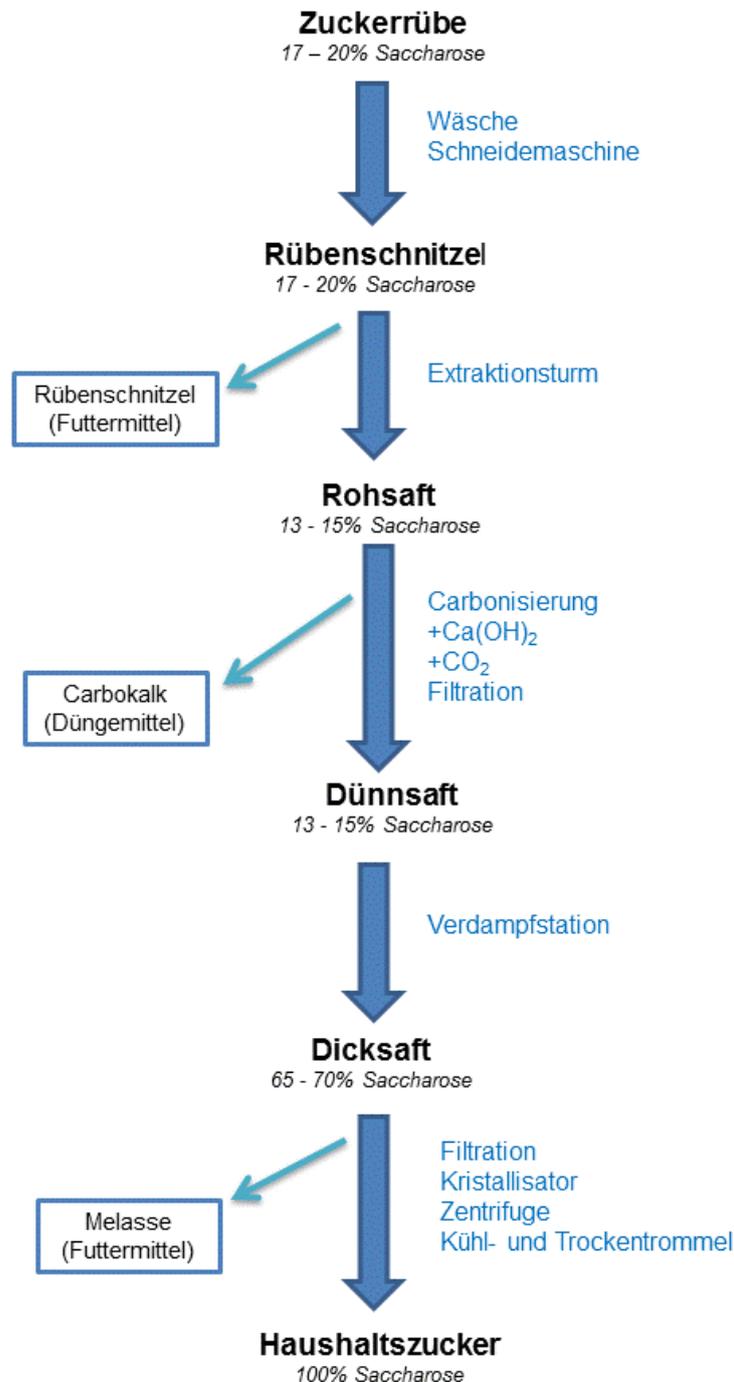


Abb. 1: Von der Rübe zum Haushaltszucker

2.1 Zuckerrüben-Aufbereitung

Die Rüben werden im September geerntet, und damit beginnt auch die Zucker-Gewinnung. Die Zuckerrüben-Fabriken arbeiten nur während der so genannten Kampagne, und zwar meist von Mitte September bis Mitte Dezember. Dafür aber dann rund um die Uhr. Es ist wichtig, dass die Rüben rasch weiterverarbeitet werden, da bei längerem Lagern nach der Ernte erhebliche Zucker-Beträge durch Atmung verloren gehen (monatlich 0,5 – 1%).

In der Zucker-Fabrik werden die geernteten und angelieferten Rüben entladen und über Förder-Bänder oder Schwemm-Rinnen in die Rüben-Waschanlage transportiert. In dieser Anlage wird die noch anhaftende Erde, Steine und das restliche Blattwerk entfernt. Das für das Waschen eingesetzte Wasser wird zurück gewonnen und erneut zur Rüben-Reinigung verwendet.

In Schneide-Maschinen werden die gereinigten Zucker-Rüben von rotierenden Messern zu dünnen Schnitzeln zerkleinert, die 3 – 4 cm lang und nur 2 – 3 mm dünn sind. Dies ist sehr wichtig, denn diese Form gewährleistet durch ihre große Oberfläche, dass der Zucker gut aus den Pflanzen-Zellen gelöst werden kann.



Abb. 2: Schneide-Maschine [7]

2.2 Saft-Gewinnung

Diese dünnen Rüben-Schnitzeln werden auf Förder-Bändern zu ca. 20 m hohen Extraktionstürmen transportiert. Die Rüben-Schnitzeln werden von unten nach oben geleitet, während im Gegenstrom 70°C heißes Wasser von oben nach unten an ihnen vorbeifließt. Durch das heiße Wasser öffnen sich die freiliegenden Zell-Wände der Schnitzeln, und die enthaltenen Zucker-Moleküle werden herausgelöst. Mit Hilfe der Gegenstrom-Extraktion werden über 99% des Zuckers aus der Rübe gewonnen.



Abb. 3: Extraktionsturm [7]

Der Roh-Saft, den man durch dieses Verfahren erhält, hat einen Zucker-Anteil von 13 – 15%.

2.3 Saft-Reinigung

Der Roh-Saft enthält neben dem Zucker aber auch Eiweiß-Kolloide, Pektine, Säuren, Salze und dergleichen. Diese Nicht-Zuckerstoffe werden mit Hilfe von zugesetzter Kalk-Milch oder 1 – 2% gebranntem Kalk vom Roh-Saft getrennt. Durch die Kalkung wird der schwach saure Roh-Saft alkalisch. Phosphorsäure, Oxalsäure, Citronensäure, Eisen-Salze und Magnesium-Verbindungen werden ausgefällt, und Eiweiß-Kolloide schlagen nieder. Eingeleitete Kohlendioxid neutralisiert die überschüssige Kalk-Milch und löst auch wieder den Zucker aus dem sich zum kleinen Teil gebildeten Zucker-Kalk. Zurück bleibt eine klare, hellgelbe Flüssigkeit, der Dünn-Saft, mit einem Saccharose-Anteil von 16%. Der ausgefällte Kalk enthält die o. a. Verunreinigungen und wird Carbo-Kalk genannt (ca. 45% CaCO_3 , 1% MgO , 0,7% P_2O_5 , 0,3% N, Spuren B, Cu, Mn). Er wird abgepresst und findet in der Landwirtschaft als Kalk-Düngemittel Verwendung.

2.4 Saft-Eindickung

In der Verdampf-Station wird dem Dünn-Saft in mehreren hintereinander geschalteten Verdampfungsapparaturen Wasser entzogen. Dadurch erhält man einen dickflüssigen, goldbraunen und klaren Sirup mit einem Zucker-Gehalt von 65 – 70%. Dies ist der so genannte Dick-Saft.

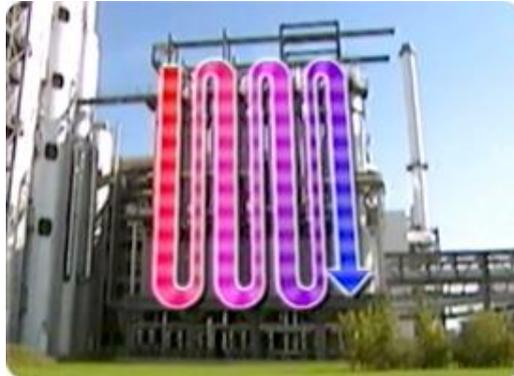


Abb. 4: Verdampf-Station [7]

In der Koch-Station wird der Dick-Saft unter vermindertem Druck weiter eingedampft. Durch den verminderten Druck verdampft das Wasser bereits zwischen 65°C und 80°C, und der Zucker karamellisiert bei dieser schonenden Methode nicht. Die Kristall-Bildung wird häufig durch Zugabe von so genannten Impf-Kristallen in Form feinsten Zuckers angeregt. Dabei entsteht ein dickflüssiger Brei, die so genannte Füll-Masse.

Der Kristall-Brei wird zum Abkühlen in Zwischen-Behälter abgelassen. In diesen Mäschchen halten Rühr-Werke den Brei dabei ständig in Bewegung, die Zucker-Kristalle wachsen in dieser Zeit weiter.

2.5 Kristallisation

Die Zucker-Kristalle werden durch Zentrifugation und Spülen mit Wasserdampf vom restlichen anhaftenden Sirup getrennt. Löst man den erhaltenen weißen Zucker erneut auf und lässt ihn nochmals kristallisieren, entsteht die Raffinade – Kristall-Zucker von höchster Reinheit und Qualität.

Während der abgetrennt Sirup nochmals in die Koch-Station zum Auskristallisieren befördert wird, kommt der reine Kristall-Zucker zunächst in einen Kühl- und Trockenautomat und wird dann in großen Silos gelagert.

Als Melasse bezeichnet man den Sirup, der bei der letzten Kristallisationsstufe anfällt. Melasse ist ein zähflüssiger Sirup mit noch ca. 50% Zucker, der aber nicht mehr auskristallisiert werden kann und deshalb überwiegend als Futter-Mittel in der Landwirtschaft oder zur Hefe-Erzeugung eingesetzt wird.

Der fertige Zucker ist die Grundlage für die verschiedensten Zucker-Stoffe, die auf dem Markt angeboten werden.



Abb. 5: Handelsformen für Zucker [7]

3 Saccharose

Was aber ist Haushaltszucker aus chemischer Sicht, in der Umgangssprache auch einfach „Zucker“ genannt?

Als Haushaltszucker bezeichnet man Saccharose, die auch noch die Namen Rohr-Zucker, Rüben-Zucker oder Sukrose (engl.: sucrose) besitzt. Saccharose ist ein Disaccharid – das vielleicht wichtigste Disaccharid für unsere Ernährung. Sie ist in zahlreichen Pflanzen in kleinen Mengen anzutreffen, z. B. in Süß-Mais, in Palm-Saft als Palm-Zucker, in Früchten (z. B. Dattel-Zucker), in Samen, Baum-Säften (z. B. Ahorn-Zucker aus Ahorn-Saft), Wurzeln und Rhizomen. Größere Mengen an Saccharose findet man aber nur im Zucker-Rohr und in der Zucker-Rübe. Und zwar sind in der Zucker-Rübe 17 – 20% und im Zucker-Rohr rund 14 – 21% Saccharose enthalten. Saccharose bildet farblose, süß schmeckende Prismen. Die Summen-Formel lautet $C_{12}H_{22}O_{11}$. Das Disaccharid Saccharose baut sich aus zwei einfachen Monosaccharid-Molekülen auf – nämlich aus D-Glucose und D-Fructose, die durch eine glykosidische Bindung verknüpft werden. So ist die genaue Bezeichnung für Saccharose α -D-Glucopyranosyl- β -D-fructofuranosid oder β -D-Fructofuranosyl- α -D-glucopyranosid. Da die glykosidische Bindung zwischen den acetalischen Kohlenstoff-Atomen beider Mono-Saccharide (1 bei Aldosen, 2 bei Ketosen) liegt, wird damit die Ring-Form bei beiden fixiert. Saccharose zeigt deshalb keine Mutarotation und wirkt auch nicht – wie viele andere Zucker – reduzierend. Der nicht reduzierende Charakter der Saccharose lässt sich sehr gut mit der Fehlingschen Probe sichtbar machen.

Das von Fehling entwickelte Reagenz dient zum qualitativen und quantitativen Nachweis reduzierender Zucker. Mit Saccharose kommt es – im Gegensatz zu Glucose und Fructose – zu keiner Reaktion, es ist keine Farb-Änderung zu sehen. Der Tartratokupfer(II)-Komplex wird von Zuckern wie Glucose und Fructose reduziert, nicht jedoch von Saccharose.

4 Hydrolyse der Saccharose

Saccharose wird schon durch verdünnte Säuren oder das Enzym Invertase leicht hydrolysiert. Sie wird in ein äquimolares Gemisch von D-Glucose und D-Fructose zerlegt. Die Spaltung der Saccharose wird auch als Inversion bezeichnet.

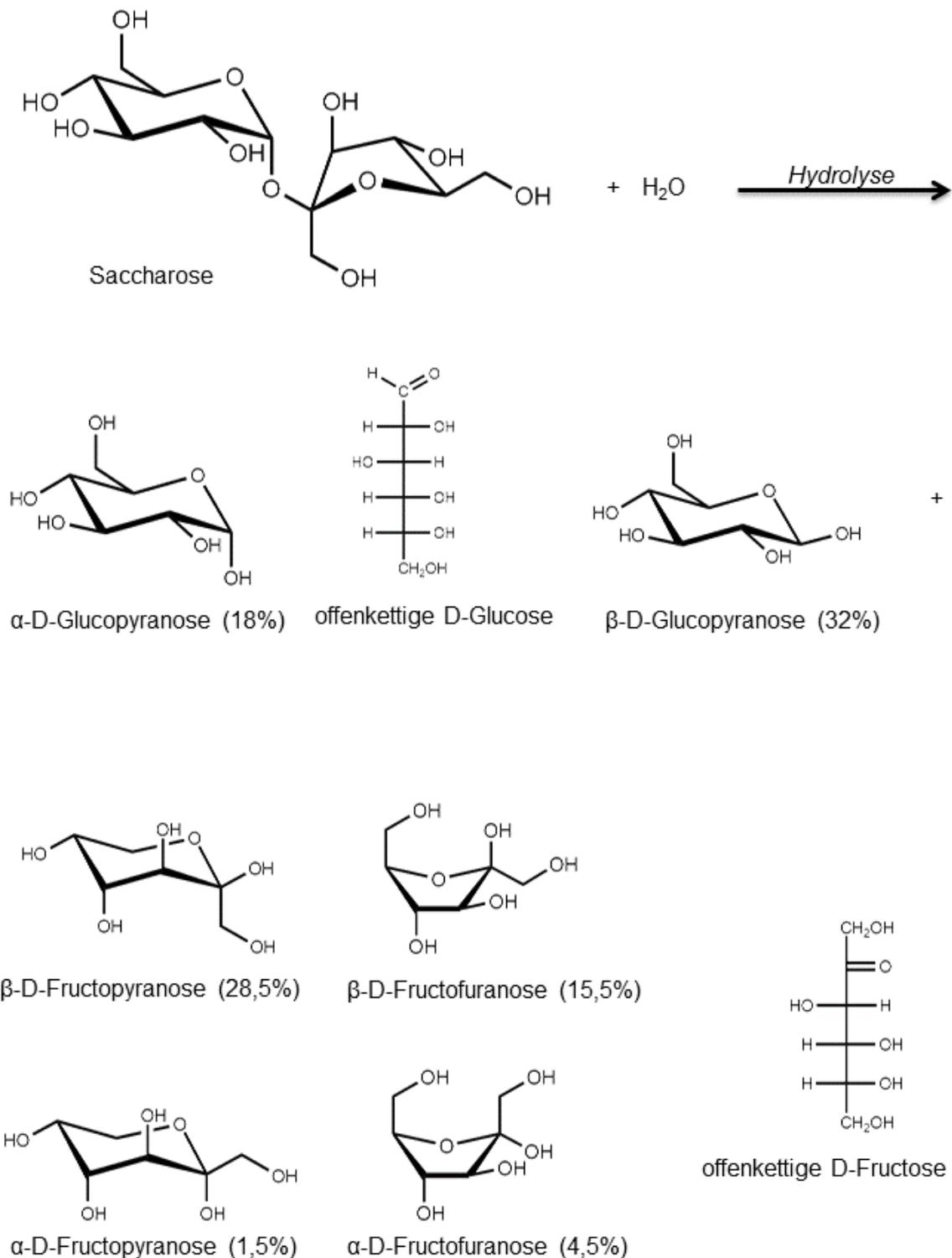


Abb. 6: Hydrolyse von Saccharose. Folge: Inversion (siehe Absatz unten).

Dabei liegt in dieser wässrigen Lösung Glucose als α-D-Glucopyranose zu 18% und β-D-Glucopyranose zu 32% vor Fructose aber in 5 verschiedenen Varianten, nämlich als offenkettige D-Fructose in einem vernachlässigbarem Prozentsatz, als β-D-Fructopyranose (28,5%), als β-D-Fructofuranose (15,5%), als α-D-Fructopyranose (1,5%) und zudem als α-D-Fructofuranose (4,5%). Dieses Gemisch, dass man durch die Hydrolyse erhält, bezeichnet man auch als Invert-Zucker. Die Bezeichnung Inversion rührt daher, dass die optisch aktive Saccharose die Ebene des polarisierten Lichts nach rechts dreht ($[\alpha]_D = +66^\circ$). Das Reaktionsprodukt Fructose ist dagegen stark linksdrehend mit $[\alpha]_D = -92^\circ$. Obwohl die Glucose rechtsdrehend ist ($[\alpha]_D = +52^\circ$), überwiegt der stark linksdrehende

Charakter der Fructose. So dreht der Invert-Zucker die Ebene des polarisierten Lichts nach links mit $[\alpha]_D = -20^\circ$.

Auch Honig ist im Wesentlichen eine konzentrierte wässrige Lösung von Invert-Zucker. Der Blüten-Nektar enthält wenig invertierte Saccharose. Im Bienen-Magen aber wird unter Einfluss von Enzymen die Inversion beschleunigt, so dass der Bienen-Honig im Wesentlichen ein Gemisch aus Glucose und Fructose ist.

5 Glucose und Fructose

5.1 Glucose

Die auch als Dextrose oder Traubenzucker bezeichnete Glucose bildet farb- und geruchlose weiße Kristalle und hat als Hydratdextrose einen Schmelzpunkt von $83 - 86^\circ\text{C}$. Die Glucose ist eine Aldohexose, das sechs C-Atom besitzt, von denen eines eine Aldehyd-Gruppe ist. In der Natur kommt ausschließlich das rechtsdrehende Enantiomer vor, so dass die Bezeichnung „Glucose“ eigentlich stets (+)-Glucose bedeutet.

Mit sehr wenigen Ausnahmen gehören alle natürlichen Zucker und ihre Derivate zur D-Reihe. Die Konfiguration der Kohlehydrate leitet man durch Vergleich mit der Bezugssubstanz D- und L-Glycerinaldehyd her. Die Bezeichnung „D-Glucose“ hat also nichts mit dem optischen Drehsinn zu tun. Die offenkettige D-Glucose ist hier in der so genannten Fischer-Projektion gezeigt. Dasjenige asymmetrische C-Atom mit der höchsten Positionszahl (hier: 5), das als das unterste angeschrieben werden muss, entscheidet über die Zugehörigkeit zur D- oder L-Reihe, je nachdem, ob die betreffende Hydroxy-Gruppe nach rechts oder links zeigt.

Normalerweise liegt aber Glucose als Glucopyranose vor, und die Aldehyd-Gruppe der offenkettigen Glucose tritt nur bei bestimmten Reaktionen in Funktion. So auch bei dem vorher erwähnten Versuch, wo die Fehlingsche Lösung durch Glucose reduziert wurde. Glucose tritt in zwei diastereomeren Formen auf, der α - und der β -D-(+)-Glucopyranose, die sich durch ihren Schmelzpunkt und ihre optische Drehung unterscheiden. α -D-Glucopyranose hat einen Schmelzpunkt von 146°C und der Wert der optischen Drehung liegt bei $[\alpha]_D = +112^\circ$. Der Schmelzpunkt von β -D-Glucopyranose liegt bei 150°C , $[\alpha]_D = +18,7^\circ$. Löst man reine α oder reine β -D-Glucose in Wasser, so ändert sich die spezifische Drehung allmählich, bis ein Wert von $[\alpha]_D = +52,7^\circ$ erreicht wird. Die rechtsdrehende wässrige Lösung der D-Glucose zeigt hier Mutarotation. Dies ist auf die Bildung der beiden Anomeren α - und β -D-Glucopyranose zurückzuführen.

Neben der offenkettigen Form und der pyranosiden 6-Ring-Form kommt bei Zuckern noch die furanoside 5-Ring-Form vor, bei Glucose allerdings im untergeordneten Maße.

5.2 Fructose

Das zweite Monosaccharid als Bestandteil der Saccharose ist wie erwähnt die Fructose. Fructose bildet ebenfalls farb- und geruchlose Kristalle, aber als sehr süß schmeckende Prismen oder aber Nadeln. Fructose ist – anders als die Glucose – eine Ketohexose. Aber auch sie wird zur D-Reihe gerechnet, da die natürliche Form zu D-Glycerinaldehyd abgebaut werden kann.

In wässriger Lösung erhält man Fructose wie bei der Hydrolyse der Saccharose gezeigt, in 5 verschiedenen Formen. Dabei muss man beachten, dass sich natürlich bei einer reinen wässrigen Lösung von Fructose die Prozent-Zahlen verändern. In der wässrigen Lösung sind also 57% β -D-Fructopyranose, 3% α -D-Fructopyranose, 31% β -D-Fructofuranose und 9% α -D-Fructofuranose vorhanden. Die Mutarotation der Fructose in wässriger Lösung liegt darin begründet, dass sich die pyranoside Form in die furanoside Form umwandelt. Der Anteil der offenkettigen Form beträgt weniger als 1% und spielt daher

nur eine untergeordnete Rolle. In Lösung zeigt Fructose so lang Mutarotation, bis sich ein Wert von $[\alpha]_D = -92^\circ$ einstellt (β -D-Fructopyranose: $[\alpha]_D = -133^\circ$).

β -D-Fructopyranose zeigt einen wesentlich stärkeren süßen Geschmack als Traubenzucker oder Rohrzucker. Sie ist für die Süße im Honig verantwortlich. β -D-Fructofuranose ist dagegen fast geschmacklos. Auch dafür, dass der Honig nie ganz auskristallisiert, sondern immer flüssig bleibt, ist die Fructose verantwortlich. Fructose ist nämlich nur schwer zur Kristallisation zu bringen – gerade in wässriger Lösung, wo sie in den 5 Varianten vorliegt. Nur die β -D-Fructopyranose ist bisher kristallin erhalten worden.

Zusammenfassung:

Man kann sagen, dass es sich lohnt, eines unserer süßesten Lebensmittel einmal genauer unter die Lupe zu nehmen. Denn Saccharose ist immerhin die volkswirtschaftlich bedeutendste Zucker-Art und wird in großen Mengen zu einem äußerst günstigen Preis produziert. Aber auch die Art des Zucker-Konsums ist verschiedenen Zeit-Strömungen unterworfen. Heute gilt der braune Zucker als der scheinbar gesündere. So genießen viele ihre tägliche Portion Tee gerne mit Kandis-Zucker.

Das war jedoch nicht immer so: Bis Ende des 19. Jahrhunderts wurde überwiegend brauner Zucker konsumiert. Zu einer Wende kann es durch eine erstaunliche Werbekampagne in den USA. Die amerikanische Zucker-Industrie veröffentlichte Anzeigen mit Abbildungen eines erschreckenden „Laus-Eidechsen-Monstrums“, das sich im braunen Zucker herumtreibe.



Abb. 7: Hausstaub-Milbe [5]

Die Abbildung dieser der Öffentlichkeit nahezu unbekanntes Hausstaub-Milbe verschreckte die Kundschaft derart, dass sie von nun an auf ihren geliebten braunen Zucker verzichtete und lieber zu der teureren Variante griff – der teureren weißen Raffinade.

Quellen:

1. Breitmaier, E.; Jung, G.: Organische Chemie II, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1983
2. Christen, H.R.; Vögtle, F.: Grundlagen der Organischen Chemie, Otto Salle Verlag, Frankfurt am Main 1989
3. Falbe, J.; Regitz, M. (Hrsg.): Römpp Lexikon Chemie, 10. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1997
4. Nagy, Thomas; EU.L.E.n-Spiegel, Heft 1, 2004, 3-10

5. https://www.apoverlag.at/DieApotheke/2003_02/seiten/haupt03_milbe_0203.html
(Quelle verschollen, 21.04.2020)
6. <https://www.suedzucker.de/de> (8.7.2005)
7. <http://www.zuckerverbaende.de/> (8.7.2005)