Jahrb. Bochumer Bot. Ver.	2	269-277	2011

Zucker

CORINNE BUCH & SIMON ENGELS

1 Einleitung

Zucker gehört zur Weihnachtszeit wie Tannenbäume und Kerzen. Jedes Jahr werden in dieser Zeit Unmengen von süßem Gebäck und Schokolade verzehrt. Zucker dient als Energielieferant in der kalten Jahreszeit, tröstet an den dunklen Abenden und bringt Menschen beim Plätzchenbacken, beim Glühweintrinken und beim Feiern in gemütlicher Runde zusammen.

So konsumiert jeder Deutsche durchschnittlich 35 kg Zucker im Jahr – das sind etwa 100 g am Tag – davon 6 kg in reiner Form und den Rest als Bestandteil von Lebensmitteln, ein Drittel aus Süßigkeiten (QUARKS & CO 2010). Das ist ungefähr doppelt so viel, wie die DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNG (o. J.) empfiehlt. Die Folgen eines dauerhaft übermäßigen Verzehrs wie Übergewicht und Diabetes sind bekannt. Doch andererseits gibt in Maßen konsumierter Zucker dem Körper mit vier Kilokalorien pro Gramm schnell Energie, etwa beim Sport. Und so kann man bis Ostern die weihnachtlichen Energiereserven auf den Hüften vielleicht auch wieder loswerden.

2 Zucker

Der Name "Zucker" leitet sich von dem altindischen Wort für "süß" ab. Wie auch Salz ist Haushaltszucker eines der wenigen Lebensmittel ohne Haltbarkeitsdatum. Chemisch betrachtet gehört die Stoffklasse der Zucker zu den Kohlenhydraten. Man teilt sie nach Anzahl der Monomereinheiten im Molekül in Unterklassen ein. Besteht ein Molekül nur aus einer Monomereinheit wie z. B. Glucose, so spricht man von einem Monosaccharid (Einfachzucker), ein Dimer ist ein Disaccharid usw. Oligosaccharide sind Ketten mit bis zu zehn Monosaccharid-Einheiten. Polysaccharide (Mehrfachzucker) können aus mehreren tausend verzweigten und unverzweigten Monomereinheiten aufgebaut sein.

Der gewöhnliche Haushalts- oder Kristallzucker (= Saccharose) besteht aus einem Doppelmolekül (Dimer) aus Glucose und Fructose (Abb. 1). Bereits bei 20°C hat er mit 197 g pro 100 g Wasser eine besonders hohe Löslichkeit. Bei 185°C schmilzt er und karamellisiert (dies und weiteres zur Zuckerchemie siehe: VOLLHARDT & SCHORE 2005).

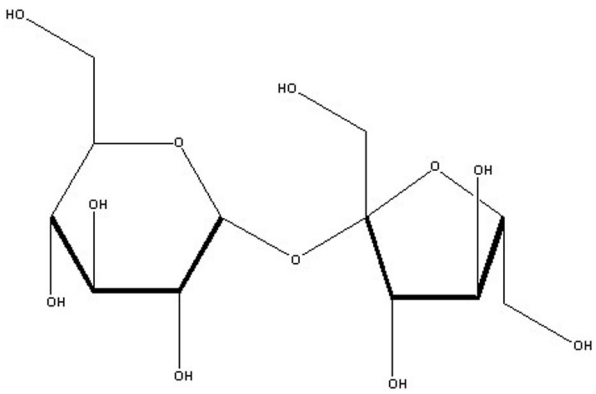

Abb. 1: Strukturformel von Haushaltszucker (= Saccharose) als Dimer aus Glucose (links) und Fructose (rechts) (S. ENGELS).

In der Pflanze entsteht Zucker (als Primärprodukt Glucose, $C_6H_{12}O_6$) durch Photosynthese aus Kohlendioxid (CO_2), Wasser und Lichtenergie. Er dient der Pflanze in erster Linie als Energiespeicher, aber auch der Herabsetzung des Gefrierpunkts des Zellsaftes (vgl. STRASBURGER 2002).

3 Rüben – *Beta vulgaris* s. l.[1]

Der in Deutschland gehandelte Zucker stammt heute fast ausschließlich aus Zuckerrüben. Alle kultivierten Rübenarten stammen von der Wild-Bete oder Meerstands-Rübe (*Beta vulgaris* ssp. *maritima,* Abb. 2) ab. Die halophytische Art wächst in Mitteleuropa vereinzelt an Spülsäumen und Felsspalten der Küsten von Nord- und Ostsee (FLORAWEB o. J., Helgoland: NATURHISTORISCHE GESELLSCHAFT NÜNRBERG o. J., Niederlande: EGGELTE 2007) und ist auf der Roten Liste Deutschlands (KORNECK & al. 1996) als "extrem selten" (R) eingestuft. Im Mittelmeerraum tritt sie etwas häufiger auf. Das gesamte Areal reicht von den Kanaren bis Südnorwegen und im Osten bis Vorderindien (HEGI 1979). Ihre Rübe ist im Vergleich zu den Kultursorten kaum verdickt, weist aber bereits einen erhöhten Zuckergehalt auf, der als osmotischer Gegenspieler zum Salzgehalt des Bodens fungiert (DÜLL & DÜLL 2007).

Die Zuckerrübe (*Beta vulgaris* ssp. *altissima*) wurde aus der Runkel- oder Futterrübe (*Beta vulgaris* ssp. *rapacea*, Abb. 3) gezüchtet (zur Zucht: s. u.). Runkelrüben werden ebenfalls häufig kultiviert und im Wesentlichen für die Tiermast verwendet. Zur selben Art gehört die Rote Beete, auch Rote Rübe oder Salat-Rübe genannt (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *vulgaris,* Abb. 4). Sie ist durch den Farbstoff Betalain, der mehr oder weniger stark konzentriert in allen Beta-Rüben vorkommt, intensiv rot gefärbt. Derzeit in der Küche wieder beliebt ist Mangold (Beta *vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *cicla*, Abb. 5). Er gehört ebenfalls zur selben Art, im Gegensatz zu allen anderen Beta-Rüben werden bei ihm jedoch die Blätter und nicht die Rübe verzehrt. Der Name "Beta" steht im Lateinischen für Mangold.

Abb. 2: Die Wildform der Zuckerrübe, die Meerstrands-Rübe an einem Strand in Frankreich (P. GAUSMANN).

Abb. 3: Futterrüben, die Stammform der Zuckerrüben (C. BUCH).

Abb. 4: Rote Beete ist durch den Farbstoff Betalain rot gefärbt (Längsschnitt) (C. BUCH).

Abb. 5: Bei Mangold (hier eine Ziersorte) werden nicht die Knollen, sondern die Blätter verzehrt (H. STEINECKE).

[1] Die Nomenklatur der Kultursippen richtet sich nach FRANKE (1997)

3.1 Morphologie

Bei allen Sippen von *Beta vulgaris* handelt es um zweijährige Pflanzen, wobei RAUH (1994) Sippen der Wildform beschreibt, die bereits nach einem oder erst nach drei bis vier Jahren zur Blüte kommen. Im Regelfall aber werden im ersten Lebensjahr Blattrosette und Wurzel gebildet, in der zweiten Vegetationsperiode wächst die etwa 1,5 m hohe, rot gestreifte Sprossachse (Abb. 7) mit Stängelblättern und Blütenstand (Abb. 8) empor. Die windbestäubten Blüten sind fünfzählig, grünlichweiß und unscheinbar (Abb. 9). Aus ihnen entstehen bei der Fruchtreife einsamige Nüsse.

Abb. 6: Futterrübe im Ackerboden (C. BUCH).

Abb. 7: Rot gestreifter Stängel (C. BUCH).

Abb. 8: Blütenstand der Futterrübe (C. BUCH).

Abb. 9: Blüte der Futterrübe (C. BUCH).

Der Begriff "Rübe" ist eine Art "Teekesselchen": Zum einen ist es der umgangssprachliche Begriff für Gemüsesorten der Art *Beta vulgaris* und zum anderen ist er im botanischen Sinne eine spezielle Form von unterirdischem Speicherorgan. Es handelt sich dabei um eine Verdickung der Hauptwurzel zusammen mit dem untersten Sprossabschnitt, dem Hypokotyl (= Abschnitt zwischen Wurzel und Keimblättern). Rüben im morphologischen Sinn kommen in mehreren Pflanzenfamilien vor, z. B. bei *Brassicaceen* (Speiserübe – *Brassica rapa* var. *rapa,* Steckrübe – *Brassica napus* var. *napobrassica* oder Rettich – *Raphanus sativus*) sowie bei *Apiaceen* (Pastinak – *Pastinaca sativa* oder Karotte – *Daucus carota*) (STRASBURGER 2002).

Da innerhalb der Blütenpflanzen (Angiospermen) eine Hauptwurzel nur bei zweikeimblättrigen Arten existiert, können auch nur solche eine Rübe bilden. Atypisch für Rüben ist bei *Beta vulgaris* das sekundäre Dickenwachstum des Wurzel-Kambiums. Analog zu Gehölzen entstehen dadurch im Querschnitt konzentrische Ringe aus Xylem und Phloem bzw. Parenchym (RAUH 1994, STRASBURGER 2008, Abb. 10 & 11). Neben den beschriebenen "Beta-Rüben" unterscheidet man Holz- und Bastrüben. Bei Holzrüben (z. B. bei Rettich und Radieschen) fungiert ausschließlich das Xylem als Speichergewebe, bei Bastrüben (z. B. bei Karotten) das Phloem.

Abb. 10: Querschnitt durch eine Zuckerrübe mit Wachstumsringen (A. HÖGGEMEIER).

Abb. 11: Längsschnitt durch eine Zuckerrübe (A. HÖGGEMEIER).

Die verschiedenen Unterarten und Varietäten unterscheiden sich durch den Anteil von Hypokotyl und Wurzel an der Rübe. So besteht die Zuckerrübe hauptsächlich aus der Wurzel, während der Anteil des Hypokotyls an der Futterrübe wesentlich größer ist. Die Rote Beete besteht fast ausschließlich aus verdicktem Hypokotyl (RAUH 1994, STRASBURGER 2008, Abb. 12).

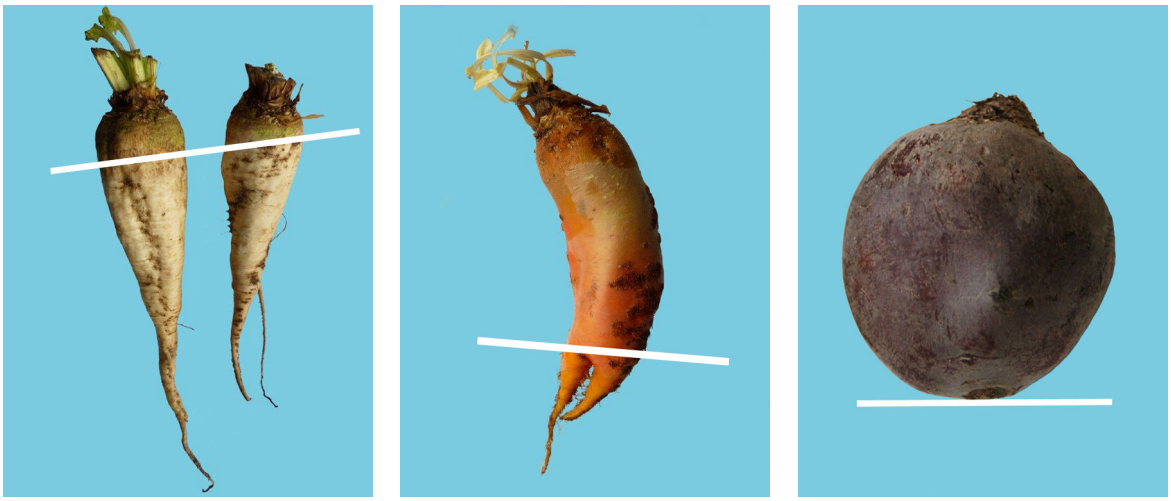

Abb. 12: Verschiedene Rüben: a: Zuckerrübe (A. HÖGGEMEIER), b: Futterrübe (A. HÖGGEMEIER), c: Rote Beete, die Wurzeln wurden für den Verkauf entfernt (C. BUCH). Die weiße Linie markiert die Grenze zwischen Hypokotyl (oben) und Hauptwurzel (unten).

3.2 Anbau

Bei der landwirtschaftlichen Nutzung werden Rüben im Frühjahr ausgesät und im Herbst geerntet (Abb. 6, 13). Da die Sprossachse mit Blättern, Blüten und Früchten wie bei vielen zweijährigen Pflanzen erst in der zweiten Vegetationsperiode aus Speicherreserven (in dem Fall aus der Rübe) gebildet wird, würde die Rübe dann selber zugunsten dieser oberirdischen Organe abgebaut. Deshalb erfolgt die Ernte noch im ersten Lebensjahr der Pflanze.

Abb. 13: Futterrübenacker in Mülheim an der Ruhr im Oktober 2010 (C. BUCH).

Abb. 14: Verwilderte Rüben an einem Abgrabungsgewässer am Niederrhein (C. BUCH).

Da *Beta vulgaris* allelopathische (= auf die Keimung von Pflanzen anderer oder auch derselben Art hemmende) Stoffe produziert, muss eine Fruchtfolge eingehalten werden, die andere oben genannte Vertreter der Art ausschließt. *Beta vulgaris* benötigt nährstoffreiche, tiefgründige und gut wasserversorgte Böden, was zur Folge hat, dass ihre Hauptanbaugebiete in Deutschland in Gegenden mit Lehm- oder Lössböden liegen (diese und weitere Informationen zum Zuckerrübenanbau: Landwirtschaftlicher Informationsdienst o. J.). In Mitteleuropa sind die Hauptanbauländer Frankreich, Deutschland und Polen, aber auch in den USA, Kanada und in den gemäßigten Breiten Asiens werden Zuckerrüben angebaut.

3.3 Verwilderungen

Verwilderungen von Rüben aus Kultur treten nicht besonders häufig auf. Sie werden möglicherweise aber auch vor allem an Ackerrändern übersehen. Im Sommer 2009 wurden am Rand eines Abgrabungsgewässers am Niederrhein im Kreis Wesel zahlreiche Pflanzen von *Beta vulgaris* gefunden (Abb. 14).

LAVEN & THYSSEN (1959) sowie ADOLPHI (1995) berichten über unbeständiges Auftreten der Art im Rheinland z. B. an Wegrändern in Rheinnähe, aber auch in der Kölner Innenstadt am Rand von Parkplätzen (1994, SUMSER in ADOLPHI 1995). DÜLL & KUTZELNIGG (1987) führen einige unbeständige Verwilderungen im Duisburger Raum auf und beschreiben sie als "nicht selten". Für Westfalen berichten sowohl RUNGE (1990) als auch schon BECKHAUS (1893) von seltenen Verwilderungen auf Schutt. Die Herkunft solcher Verwilderungen außerhalb von Ackerrändern ist wohl auf Samen zurückzuführen, die beim Transport von Saatgut verloren gingen. Die Art tritt unbeständig auf.

4 Zuckerrohr

Zuckerrohr gehört zu den Süßgräsern (*Poaceae*, Abb. 15, 16). Es erreicht eine Höhe von 3-6 m mit 40-60 cm langen Blütenrispen. Wie viele Gräser vermag es ausgedehnte Rhizome zu bilden (CLAYTON & al. 2006). Als Anpassung an das heiße und sonnenreiche Klima der Tropen betreibt *Saccharum officinarum* einen C4-Stoffwechsel.

Abb. 15: Dörflicher Straßenmarkt in der Nähe von Farafenni, Gambia (A. HÖGGEMEIER).

Abb. 16: Zuckerrohr-Pflanzen (H. STEINECKE).

5 Zuckerproduktion

5.1 Geschichte

Zuckerrohr (*Saccharum officinarum*, Abb. 15 & 16) ist in Ostasien beheimatet und wurde schon im Altertum im Mittelmeerraum kultiviert. Nach Mitteleuropa musste Zucker importiert werden und war deshalb sehr teuer. Zunächst wurde zum Süßen Zuckerrohrsaft benutzt, bis das Prinzip der Kristallisation entdeckt wurde, was auch den Transport und die Lagerung erleichterte. Mit KOLUMBUS wurden Zuckerrohrpflanzen nach Südamerika eingeführt, wo es auch bis heute in großen Plantagen unter körperlich sehr harten Bedingungen angebaut wird.

Für die einfache Bevölkerung jedoch war Zucker erst in größeren Mengen verfügbar, nachdem FRIEDRICH DER GROßE im Jahr 1747 den Chemiker ANDREAS SIGISMUND MARGGRAF beauftragt hatte, eine andere Zuckerquelle ausfindig zu machen. Ihm gelang der Nachweis von Kristallzucker in der Runkelrübe. Sein Nachfolger FRANZ CARL ACHARD erhöhte den Zuckergehalt durch Züchtung (SÜDZUCKER O. J.). Auf seinen Namen geht die chemische Bezeichnung des Wortstamms "sacchar" z. B. in Saccharose, Saccharin usw. zurück und infolgedessen auch die lateinische Bezeichnung vieler süßlich schmeckender Pflanzen (s. u.). Der folgende flächenhafte Anbau von Zuckerrüben profitierte von der etwa zeitgleichen Erfindung des Kunstdüngers. Im Gegensatz zu den gemäßigten Breiten erfolgt die Gewinnung von Zucker in den Tropen nach wie vor aus Zuckerrohr, wobei weltweit der durch Zuckerrohr produzierte Zucker überwiegt. Brasilien führt mit 24,8 Mio. t die Weltproduktion an, während Deutschland mit 2,4 Mio. t einen Platz im unteren Mittelfeld einnimmt. Ein weiteres wichtiges Produkt ist Zuckerrohrschnaps, auch als Rum bekannt.

Global von weitaus geringerer wirtschaftlicher Bedeutung sind weitere Lieferanten von Zucker wie die Zuckerpalme (*Arenga pinnata*) oder der Zucker-Ahorn (*Acer saccharum*). Letzterer wird im Wesentlichen zur Herstellung von Ahornsirup verwendet, welcher im US-amerikanischen Raum gerne zu Pfannkuchen verzehrt, aber auch zu Süßigkeiten verarbeitet (Abb. 16) wird.

Abb. 17: Zuckerwürfeld für den Tee aus Zucker-Ahorn-Sirup (A. HÖGGEMEIER).

5.2 Produktionsverfahren

Die Herstellung von Zucker aus Zuckerrüben und Zuckerrohr erfolgt technisch betrachtet im Wesentlichen gleich. Zuckerrüben werden nach der Reinigung in kleine Teile gehäckselt. Durch Aufkochen der Stücke (Schnitzel) in 70 °C heißem Wasser löst sich der Zucker aus den Rüben und der Rohsaft wird gewonnen. Zuckerrohr dagegen wird gepresst. Dem Rohsaft mit ca. 16 % Zuckergehalt werden gelöschter Kalk ($Ca(OH)_2$) und CO_2 zugegeben um Nichtzuckerstoffe zu binden und als schwerlösliche Carbonate auszufällen. Durch Erhitzen wird der Zuckersaft weiter eingedickt, bis der Zuckergehalt so hoch ist, dass der Sättigungspunkt überschritten ist und die Kristallisation erfolgt. Man erhält so eine Mischung aus Kristallzucker (Abb. 18) und dem Nebenprodukt Melasse (= Zuckerrübensirup, Abb. 19), deren Trennung mittels einer Zentrifuge erfolgt. Melasse, die immer noch Zucker und weitere Bestandteile enthält, findet als Lebensmittel oder in der Tierfutterindustrie Anwendung (SÜDZUCKER O. J.). Durch ein erneutes Auflösen und Wiederauskristallisieren des gewonnenen Zuckers entsteht hochreine "Raffinade".

Während im Jahre 1820 noch 20 kg Rüben benötigt wurden, um 1 kg Zucker herzustellen, braucht man heute aufgrund der Weiterzüchtung und besserer Technik nur noch etwa 7 kg.

Abb. 18: Haushaltszucker (C. BUCH).

Abb. 19: Zuckerrübensirup (C. BUCH).

5.3 Zuckerprodukte und weitere Verwendung

Neben losem Haushaltszucker (Abb. 18) gibt es den in Würfel- oder Hutform (Zuckerhut) gepressten. Bei Puderzucker (Abb. 20) sind die Kristalle zermahlen, Hagelzucker oder Kandis (Abb. 21) bestehen dagegen aus größeren Zuckermolekülen in Kristallgitterstruktur. Brauner Zucker (Abb. 22) wird entweder nicht so stark gereinigt und enthält noch Melasse-

reste oder aber es wird weißer Zucker mit Karamellsirup gefärbt. Brauner Zucker hat einen leicht malzigen Geschmack. Dabei ist die Annahme, dass brauner Zucker gesünder als weißer ist, falsch, denn der enthaltene Mineralstoffanteil ist verschwindend gering. Auch Honig und Sirup (eingedickter Pflanzensaft) enthalten zwar zusätzlich noch einige Pflanzenstoffe, ihre gesundheitsfördernde Wirkung sollte jedoch nicht überschätzt werden, zumal sie durch den hohen Zuckergehalt bei übermäßigem Verzehr ebenfalls die negativen Wirkungen von Zucker auf den Körper haben können. Gleichfalls machen bestimmte "Diätprodukte", bei denen Haushaltszucker durch die nicht-insulinwirksame Fructose ersetzt ist, den gesunden Menschen genauso dick wie ihre – oft billigeren – "Nicht-Diät"-Verwandten.

Als kalorienarmer Zuckerersatz dienen Süßstoffe (Abb. 23) wie Aspartam oder Cyclamat, die eine vielfache Süßkraft im Vergleich zu Haushaltszucker besitzen. Obwohl sie chemisch nicht mit Zuckern verwandt sind, reizen sie dieselben Rezeptoren auf der Zunge. Oft jedoch wird ihr Geschmack als künstlich empfunden und ihnen wird eine appetitanregende Wirkung nachgesagt, was eine gegenteilige Wirkung erzielen würde. Ein aktuell in den Medien diskutierter, nicht chemisch hergestellter Süßstoff wird aus der Pflanze Stevia (*Stevia rebaudiana*) gewonnen (vgl. HÖGGEMEIER 2011).

Abb. 20: Gemahlener Haushaltszucker wird zu Puderzucker (C. BUCH).

Abb. 21: Kandiszucker (hier als brauner Zucker) besteht aus größeren Kristallen als Haushaltszucker (C. BUCH).

Abb. 22: Brauner Zucker enthält noch Melassereste (C. BUCH).

Abb. 23: Süßstoff dient als kalorienarmer Zuckerersatz (C. BUCH).

Sowohl Zuckerrüben als auch Zuckerrohr sind derzeit als nachwachsender Rohstoff für die Energiewirtschaft (Biogas, Bio-Ethanol) stark in der Diskussion. Im Hinblick auf den dafür nötigen "Flächenverbrauch" und die Verschwendung von potentiellen Nahrungsmitteln ist dies aber durchaus kritisch zu sehen.

6 Bochumer Botanisches Plätzchenrezept

Zutaten: 100 g Zucker, 1 Beutel Vanillezucker, 300 g Mehl, 1 Ei, 200 g Butter oder Margarine, Mehl zum Ausrollen, Zum Verzieren: Zuckerguss (Puderzucker und Wasser/Saft), Schokolade, Perlen, Streusel o. ä.

Die Zutaten mischen und kneten bis ein glatter Teig entsteht. Den Teig in Folie mindestens eine Stunde im Kühlschrank ruhen lassen, danach auf einer mehligen Unterlage ausrollen und Plätzchen ausstechen. Bei 180°C 10-15 min. backen. Nach dem Abkühlen verzieren.

Abb. 24: Bochumer Botanische Plätzchen (C. Buch).

Abb. 25: Nicht nur aus Kürbissen sondern auch aus Futterrüben lassen sich zu Halloween gruselige Figuren schnitzen (C. Buch).

Quellen

Adolphi, K. 1995: Neophytische Kultur- und Anbaupflanzen als Kulturflüchtlinge des Rheinlandes. – Nardus 2.

Beckhaus, K. 1893: Flora von Westfalen. – Münster: Aschendorff (Nachdruck 1993).

Clayton, W. D., Harman, K. T. & Williamson, H. 2006: GrassBase. – The Online World Grass Flora. www.kew.org/data/grasses-db.html (26.11.2010).

Deutsche Gesellschaft für Ernährung o. J.: www.dge.de.

Düll, K. & Düll, I. 2007: Taschenlexikon der Mittelmeerflora. – Wiebelsheim: Quelle & Meyer.

Düll, R. & Kutzelnigg, H. 1987: Punktkartenflora von Duisburg und Umgebung. 2. Aufl. Rheudt: IDH.

Eggelte, H. 2007: Nederlandse Flora. – Zeist: KNNV Uitgeverij.

Floraweb o. J: www.floraweb.de (26.11.2010)

Franke, W. 1997: Nutzpflanzenkunde. 6. Aufl. – Stuttgart: Thieme.

Hegi, G. 1979: Illustrierte Flora von Mitteleuropa. Bd. III/2, 2. Aufl. – Berlin, Hamburg, München: Parey.

Höggemeier, A. 2011: *Stevia rebaudiana* – Süßkraut, Süßblatt. – Jahrb. Bochumer Bot. Ver. 2: 266-268.

Korneck, D., Schnittler, M. & Vollmer, I. 1996: Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen (Pteridophyte et Spermatophyta) Deutschlands. – Schr.R. Vegetationskde. 28: 21-187.

Laven, L. & Thyssen, T. 1959: Flora des Köln-Bonner Wandergebietes. – Decheniana 112(1): 1-179.

Naturhistorische Gesellschaft Nürnberg o. J.: Liste der Flora von Helgoland: www.nhg-nuernberg.de/-main.php?section=Botan&lige=&page=exk_helgolandliste2009.php (26.11.2010).

Landwirtschaftlicher Informationsdienst o. J.: http://www.liz-online.de/ (26.11.2010).

Quarks & Co 2010: Zucker – Süße Lust oder ungesundes Laster? Sendung vom 5.10.2010 (http://www.wdr.de/tv/quarks/global/pdf/Q_Zucker.pdf) (26.11.2010).

Rauh, W. 1994: Morphologie der Nutzpflanzen. 2. Aufl. – Heidelberg: Quelle & Meyer.

Runge, F. 1990: Die Flora Westfalens. 3. Aufl. – Münster: Aschendorff.

Strasburger 2008 (Hrsg. Bresinsky, A., Körner, C., Kadereit J. W., Neuhaus, G. & Sonnewald, U.): Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. 38. Aufl. – Berlin, Heidelberg: Spektrum.

Südzucker o. J.: http://www.suedzucker.de/de/Zucker/Geschichte-des-Zuckers/ (26.11.2010).

Vollhardt, K. P. C. & Schore, N. E. 2005: Organische Chemie. 4. Aufl. – Weinheim: Wiley-VCH.