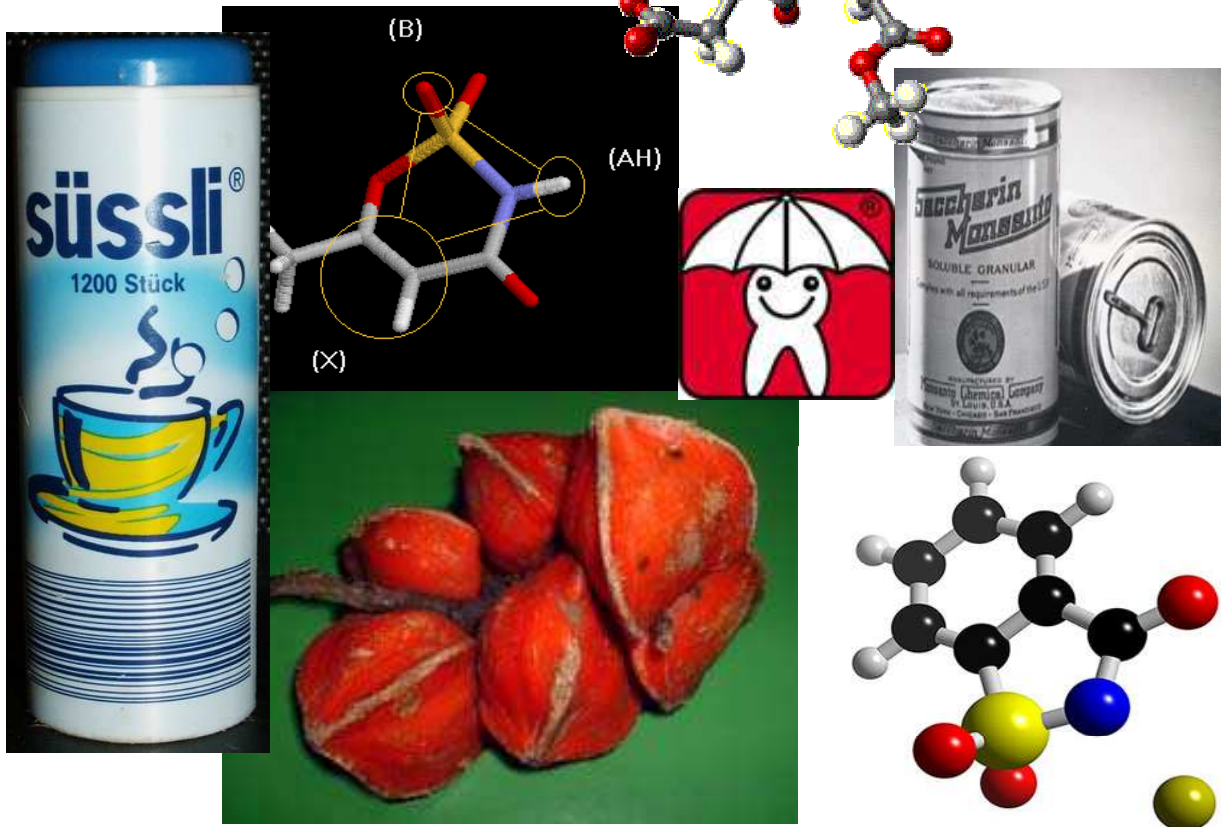


# Süßstoffe



Eike Peters  
Stromberg-Gymnasium  
Klasse 13  
GFS Chemie  
Betreuer: Herr Stark

# Inhaltsverzeichnis:

Seite

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>05</b>
<b>2. Geschichte .....</b>	<b>07</b>
2.1. Entdeckung von Saccharin .....	07
2.2. Saccharin um 1900 .....	10
2.3. Süßstoff bis heute .....	14
<b>3. Struktur und süßer Geschmack .....</b>	<b>17</b>
3.1. Theorie von Shallenberger und Acree .....	17
3.1.1. Ergänzung von Kier .....	18
3.2. Süßkraft .....	20
3.3. Geschmackliche Wechselwirkungen mit Lebensmittelinhaltsstoffen .....	23
3.4. Physiologie der Zuckeralkohole .....	24
<b>4. Gewinnung von natürlichen Süßstoffen am Beispiel der Stevioside ....</b>	<b>26</b>
4.1. Botanik und Anbau .....	26
4.2. Süßstoffe in den Blättern von <i>Stevia rebaudiana</i> .....	28
4.2.1. Andere Inhaltsstoffe der <i>Stevia</i> -Blätter .....	30
4.2.2. Eigenschaften der Diterpenglycoside .....	31
4.2.3. Physiologie und Toxikologie .....	33
4.3. Herstellungsverfahren für Süßstoffe aus <i>Stevia rebaudiana</i> .....	34
4.3.1. Extraktion .....	34
4.3.2. Reinigung der Rohextrakte mit anorganischen Salzen .....	34
4.3.3. Weitere Verfahren zur Reinigung der Extrakte .....	35
4.3.4. Isolierung der Diterpenglycoside .....	35
4.3.5. Gewinnung von Rebaudiosid A .....	36
4.3.6. Synthetische Analoge der Diterpenglycoside .....	37
4.3.7. Handelsformen der <i>Stevia</i> -Süßstoffe und deren Derivate .....	38
<b>5. Verschiedene synthetische Süßstoffe .....</b>	<b>39</b>
5.1. Saccharin .....	39
5.1.1. Herstellung .....	39
5.1.2. Spezielle Reinheitsanforderungen .....	40
5.1.3. Chemische und physikalische Eigenschaften .....	40
5.1.4. Geschmackliche Eigenschaften .....	41
5.1.5. Anwendungsgebiete .....	41
5.2. Acesulfam-K .....	42
5.2.1. Herstellung .....	42
5.2.2. Spezielle Reinheitsanforderungen .....	43
5.2.3. Chemische und physikalische Eigenschaften .....	43
5.2.4. Geschmackliche Eigenschaften .....	44
5.2.5. Anwendungsgebiete .....	44
5.3. Aspartam .....	45
5.3.1. Geschichte .....	45
5.3.2. Herstellung .....	46
5.3.3. Spezielle Reinheitsanforderungen .....	46
5.3.4. Chemische und physikalische Eigenschaften .....	47



6.4.6. Lebensmittelrechtliche Zulassung.....	80
<b>7. Süße Proteine .....</b>	<b>81</b>
7.1. Thaumatin .....	81
7.2. Monellin.....	82
<b>8. Gesundheitswissenschaftliche Betrachtung .....</b>	<b>84</b>
8.1. Süßstoffe und Krebs .....	86
8.2. Abführende Wirkung von Süßstoffen.....	86
8.3. Lösen Süßstoffe Allergien aus? .....	88
8.4. Süßstoffe während der Schwangerschaft und in der Stillzeit.....	88
8.5. Machen Süßstoffe hungrig? .....	89
8.6. Süßstoffe und Karies .....	89
<b>9. Süßstoffe und das Gesetz.....</b>	<b>90</b>
9.1. Süßstoffgesetz von 1898 .....	90
9.2. Süßstoffgesetz von 1902 .....	90
9.3. Saccharin im Deutschen Reich und in der Weimarer Republik.....	93
9.4. Süßstoffgesetz von 1922 .....	94
9.5. Süßstoffsteuer .....	95
9.6. Auszug aus dem Bundesgesetzbuch.....	96
<b>10. Aktuelle Zeitungsartikel zum Thema Süßstoffe .....</b>	<b>97</b>
<b>11. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>104</b>

# 1. Einleitung

Süßungsmittel werden in Lebensmitteln vordergründig wegen ihres süßen Geschmacks verwendet. In Wirklichkeit haben sie, bis auf Süßstoffe, daneben als Zutat eine körpergebende Funktion (**sweet bulking agent**) und sind von ernährungsphysiologischer Bedeutung. So entfallen rund 11% der täglichen Kalorienaufnahme der Einwohner industrialisierter Länder auf Zucker.

Süßungsmittel lassen sich in **drei Gruppen** unterteilen:

- ⇒ Nutritive insulinabhängige verwertbare Kohlenhydrate wie Zucker, Stärkeverzuckerungsprodukte, Milchzucker, Glucose usw.
- ⇒ Insulinabhängig verwertbare Kohlenhydrate wie Mono- und Disaccharidalkohole und Fructose, wobei Polyole einen physiologischen Brennwert von 10kJ/g aufweisen.
- ⇒ Süßstoffe, entweder synthetisch hergestellt oder aus Pflanzenteilen gewonnen, deren Süßkraft ein Vielfaches der von Zucker beträgt, z.B. bei Cyclamat 35fach, bei Saccharin 550fach, bei Thaumatin ca. 3000fach

Da von diesen Substanzen den einzelnen Lebensmitteln und Getränken nur geringe Mengen zugesetzt werden, beeinflussen Süßstoffe selbst die physikalischen Eigenschaften von Lebensmitteln in der Regel nicht bzw. nur unwesentlich. Wichtig ist lediglich, dass sie eine ausreichende Löslichkeit haben, chemisch während der Lebensmittelherstellung und –lagerung stabil sind und den Geschmack der Produkte nicht verändern. Die bei Zusatz von Süßstoffen fehlende Masse muss meistens bei wasserarmen bzw. wasserfreien Lebensmitteln durch andere Zutaten wie **Zuckeralkohole, Polydextrose** usw. ausgeglichen werden.

Zucker und Stärkeverzuckerungsmittel werden seit über 150 Jahren bei der industriellen Lebensmittel- und Getränkeherstellung eingesetzt. Sie werden im großem Umfang produziert (weltweit Zucker ca. 120 Mio. t/a, Stärkeverzuckerungsmittel ca. 20 Mio. t/a) und sind Rezepturbestandteil vieler Produkte geworden.

**Süßstoffe** hingegen haben heute in Zuckeräquivalenten gerechnet weltweit **einen Marktanteil von ca. 6 % des gesamten Süßungsmittelmarktes**, wobei sehr große Unterschiede zwischen den einzelnen Ländern bestehen. Den höchsten Anteil an Süßstoffen haben die USA mit etwa 10 %.

Zucker (Saccharose, Sucrose) hat seine dominierende Stellung als Zutat für die Herstellung von Lebensmitteln und Getränken erreicht, einmal wegen seiner chemischen, physikalischen und technologischen Eigenschaften:

- ⇒ Nicht reduzierendes Disaccharid, somit während der Lebensmittelzubereitung und –lagerung in weiten Temperatur- und pH-Bereichen chemisch stabil
- ⇒ Kristallin, nicht hygroskopisch, daher als Rohstoff gut lager- und transportfähig, durch mikrobiologische Kontamination praktisch nicht gefährdet
- ⇒ Gute Verarbeitungsfähigkeit als Zutat bei der industriellen Lebensmittelherstellung

Und zum anderen wegen seiner sensorischen Qualitäten, das Geschmacksprofil „süß“ ist mit dem des Zuckers identisch.

Zucker und Stärkeverzuckerungsprodukte werden im menschlichen Organismus metabolisiert und aklorisch voll verwertet. Ihr Gehalt an Glucosepolymeren und Glucoseoligomeren neben Fructose in der Saccharose hat zur Folge, dass die Verstoffwechslung insulinabhängig verläuft.

Nicht zuletzt das Bedürfnis, auch für Diabetiker süß schmeckende Lebensmittel bereitstellen zu können, förderte die Entwicklung und Produktion von Substanzen, die auch bei Insulinmangel mindestens begrenzt verträglich sind. Diese Süßungsmittel gehören zu den Zuckeralkoholen und speziellen Ketosen wie D-Fructose, L-Sorbose, Isomaltulose, Leucrose usw.. Da die Produktion und diätischer Lebensmittel und die Bedeutung solcher Ersatzstoffe für Zucker in den letzten Jahren sehr stark angestiegen ist, möchte ich im Folgenden näher auf die **Eigenschaften** und **Anwendungsgebiete** solcher **Austauschstoffe** eingehen.

## 2. Geschichte

### 2.1. Entdeckung des Saccharins

Während Jahrtausenden war der **Honig** Hauptsüßungsmittel des Menschen, in der frühen Neuzeit musste er allmählich dem **Rohrzucker** Platz machen. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts erwuchs dem kolonialen Zuckerrohr in der europäischen Zuckerrübe ein erbitterter Konkurrent. Damals begann auch die Produktion von Süßungsmitteln auf Stärkebasis, die den Süßungsmittelmarkt seit kurzem massiv beeinflussen.

Vor einem Jahrhundert ergab sich für die Süßungsmittel-Industrie eine völlig neue Konstellation: Mit dem **Saccharin** trat im September 1887 zum ersten Mal ein sogenannter „Süßstoff“ auf den Plan, ein Süßungsmittel, das nicht aus Pflanzen extrahiert, sondern synthetisch und von der Landwirtschaft unabhängig hergestellt worden war. Seither sind einige neue Süßstoffe hinzugekommen wie z.B. Cyclamat, Aspartam, Acesulfam-K, und mehrere stehe vor ihrer Zulassung. Es ist möglich, dass diese Süßstoffe den Zucker schon in den nächsten Jahrzehnten von seinem Spitzenplatz verdrängen könnten.

Nach **§1 des deutschen Süßstoffgesetzes** von 1902 sind Süßstoffe:

***„Alle auf künstlichen Wege gewonnenen Stoffe, welche als Süßungsmittel dienen können und eine höhere Süßungskraft als raffinierter Rohr- oder Rübenzucker haben, nicht aber entsprechenden Nährwert besitzen.“***

Diese Definition gilt noch heute und muss nur insofern modifiziert werden, als Süßstoffe mittlerweile nicht bloß synthetisch hergestellt werden, sondern **auch aus Pflanzen** isoliert werden können.

Darüber, wie die Moleküle geschaffen sein müssen und wie deren Struktur aussehen muss, damit es einen süßen Geschmack erhält, weiß die Wissenschaft bemerkenswert wenig. Das hängt vermutlich damit zusammen, dass in der philosophischen Tradition des Abendlandes weder dem Geruchsinn noch dem Geschmacksinn ein wichtiger, d.h. erkenntnisgewinnender Wert beigemessen wurde. Die molekularen Modell-Vorstellungen, die man bis jetzt gewonnen hat, erlauben noch keine systematische Suche nach süß schmeckenden Stoffen. Alle „Entdeckungen“ süß schmeckender Stoffe verdanken wir deshalb dem Zufall.

Auch das Benzoessäuresulfimid wurde im Juni 1878 per Zufall entdeckt. Kein Zufall war hingegen die Erfindung des Saccharins, d.h. der Umwandlung der Substanz  $C_7H_5NO_3S$  in ein Genussmittel.

Den Anstoß zur **Erfindung des Saccharins** gab eine amerikanische Firma, die auf den Import von Zucker spezialisiert war: Perot in Baltimore. Sie engagierte im Herbst 1877 den jungen Chemiker Dr. Constantin Fahlberg als Sachverständigen für einen Prozess um die Qualität einer Lieferung Zucker. Fahlberg arbeitete damals als Inspizient auf einer westindischen Zucker-Plantage und hielt sich eigentlich nur besuchsweise in New York auf, als ihn die Inhaber von Perot ansprachen. Der gebürtige Deutsch-Balte hatte seinen Meister als Zuckerchemiker zwischen 1869 und 1871 dort gelernt, wo später seine schärfsten Gegner sitzen sollten: am Institut der deutschen Zuckerindustrie in Berlin. Das Gutachten für den Prozess sollte er an der Hopkins University in Baltimore abfassen, im Laboratorium von Professor Ira Remsen, dem späteren Präsidenten der prestigeträchtigen Academy of Science. Schon nach

wenigen Wochen hatte Fahlberg die Expertise erstellt, sein Auftritt vor Gericht war aber erst für den Herbst 1878 geplant. Er blieb als „fellow“ an der Universität und analysierte dort, von Remsen dazu autorisiert, einen von ihm entdeckten Farbstoff. Ende April oder Anfang Mai 1878 bat er Institutsleiter Remsen, ob er sich an dessen Arbeiten über die Oxidation von Toluol-Derivaten beteiligen dürfe – Remsen willigte ein. Welches Dienstverhältnis zwischen Remsen und Fahlberg bestand, kann heute nicht mehr geklärt werden. Sicher ist nur, dass Fahlberg das Benzoessäuresulfimid im Rahmen von Remsens Forschung fand.



Der Entdecker des Saccharins, Constantin Fahlberg (stehend, 2.v.r.), als Praktikant im Laboratorium der deutschen Zuckerindustrie (1870), Zuckermuseum Berlin.

Fahlberg beschäftigte sich mit Orthotoluolsulfamid, das er mit Kaliumpermanganat oxidierte. Irgendwann im Juni 1878 kochte ihm bei einem seiner verschiedenen Experimente ein Gefäß über. Beim Mittagessen bemerkte er, dass nicht nur sein Brot, sondern auch seine Hände intensiv süß schmeckten. Das ließ ihm keine Ruhe und noch am selben Abend ging er noch einmal ins Institut zurück, um an seinem Arbeitsplatz alle Gefäße und Becher durchzukosten. Dabei fand er den süß schmeckenden Stoff: Benzoessäuresulfimid.

Die Synthese von Benzoessäuresulfimid geht aus von **Toluol** (Methylbenzol), einem aromatischen Kohlenwasserstoff, der aus Erdöl, Erdgas oder Steinkohlenteer gewonnen und unter anderem auch für die Herstellung von Sprengstoff benötigt wird (Trinitrotoluol, TNT). Toluol war bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts ein mehr oder weniger lästiges Nebenprodukt, das bei der Fabrikation von Leuchtgas anfiel.

Die **Entdeckung von Benzoessäuresulfimid** lag damals in der Luft: Auch andere Forscher dachten über die Oxidation von Toluolsulfosäuren nach, nur verwendeten sie als Oxidationsmittel Chromsäure statt Kaliumpermanganat. Alle diese Forschungen waren Teil der Benzin-Chemie, die nach der theoretischen Rekonstruktion des Benzolmoleküls durch Kekulé (1865) einen großen Aufschwung genommen hatte

und die die aufstrebende Teerfarben-Industrie zu immer neuen Innovationen animierte. Die Industrie der organischen Chemie war in den 50er, 60er und 70er Jahren des 19. Jahrhunderts entstanden, nachdem es gelungen war, aus Steinkohlenteer künstliche Farbstoffe herzustellen. Seit den 1880er Jahren erweiterte sich die synthetischen Farbenindustrie zur synthetischen chemischen Industrie im allgemeinen, die Pharmazeutika, Sprengstoffe, fotografische Chemikalien, Duft- und Geschmacksstoffe oder eben Süßstoffe produzierte.

Im November 1878 führte Fahlberg beim Perot-Prozess sein Benzoessäuresulfimid den anderen Zuckersachverständigen vor, doch dachte er dabei vermutlich noch nicht an eine kommerzielle Verwertung seiner Entdeckung. Im März 1879 publizierte er zusammen mit Remsen in den Berichten der Deutschen Chemischen Gesellschaft einen Artikel, in dem der spezielle Geschmack des neuen Stoffs nicht etwa im Zentrum stand, sondern nur nebensächlich erwähnt wurde: „Die Säure schmeckt angenehm süß, sogar süßer als Rohrzucker“. Offensichtlich maßen die beiden Chemiker ihrer Entdeckung keine praktische Bedeutung zu, meldeten sie doch den neuen Körper weder zum Patent an, noch bemühten sie sich, die Herstellung technisch zu verbessern. Fahlberg verließ Remsens Institut im Juni 1880 und fand in Philadelphia bei der chemischen Fabrik „Harrison Bros.“ eine neue Stelle.

Im Sommer 1882 reiste er nach Europa, um in Leipzig seinen Onkel Adolph List zu besuchen, der ihm einen Teil seiner Ausbildung finanziert hatte. List selber hatte schon sein erstes Geld als Kaufmann in den 1850er und 60er Jahren im Zuckergeschäft verdient, unter anderem als Gründer und Leiter einer Fabrik, welche die Zuckerindustrie mit Maschinen belieferte. Die Frage, wer von den beiden zuerst auf die Idee kam, das **Benzoessäuresulfimid als „Versüßungsmittel“** zu lancieren, der Zuckerchemiker Fahlberg oder der Zuckerindustrielle List, kann heute ebenso wenig beantwortet werden wie die Frage nach dem eigentlichen Entdecker von Benzoessäuresulfimid. Auf jeden Fall testete Fahlberg nach seiner Rückkehr in die USA im Herbst 1882 die Bekömmlichkeit von Benzoessäuresulfimid zuerst an Hunden und dann in einem mutigen Versuch an sich selbst, um anschließend in seinem Haus in Philadelphia das Herstellungsverfahren zu perfektionieren. Bei einem weiteren Europa-Aufenthalt im Herbst 1884, meldete er zusammen mit List zwei Produktionsverfahren zum Patent an. Allerdings konsultierte er dabei Remsen nicht, was dieser ihm nie verzieh. Mit dem **Patent** sicherte sich Fahlberg auch den zukünftigen Namen **„Saccharin“**, den er aus dem Lateinischen entlehnte (saccharum: Zucker). Zurück in Philadelphia, kündigte er bei „Harrison Bros.“ und zog nach New York, um am East River mit finanzieller Hilfe seines Onkels eine Versuchsfabrik einzurichten. Im Laufe des Jahres 1885 präsentierte Fahlberg sein Saccharin zum ersten Mal einer breiten Öffentlichkeit. Sowohl auf der Weltausstellung in Antwerpen als auch auf der Internationalen Ausstellung für Erfindungen in London, wo die Muster großen Anklang fanden und sogar mit dem Ehrendiplom ausgezeichnet wurden.

Fahlberg dachte in erster Linie daran, Saccharin dem billigen, aber nicht sehr süßen Stärkezucker zuzusetzen, um ihn so aufzuwerten und in einen ernsthaften Rivalen des arrivierten Zuckers zu verwandeln.

Nachdem alle 3 klinischen Gutachten, die Fahlberg in Auftrag gegeben hatte, zu einem positiven Ergebnis gekommen waren, stand der industriellen Verwertung von Saccharin nichts mehr im Wege. Die geplante **Errichtung einer Fabrik** in den USA

scheiterte jedoch an den hohen Lohn- und Nebenkosten. In Leipzig wiederum, dem Wohnort von List senior, soll den Honoratioren der Gestank der chemischen Fabrik missfallen haben. Die Wahl fiel schließlich auf ein kleines, damals noch nicht eingemeindetes Dorf südöstlich von Magdeburg: **Salbke-Westerhüsen**. Die Parzelle lag äußerst verkehrsgünstig zwischen der Bahnlinie Magdeburg-Halle und an der Elbe, die das Brauchwasser lieferte und die Abfälle mitnahm.

Am 21. Oktober 1885, als die Vorbereitungen für die Firmengründung einem erfolgreichen Ende zuliefen, verstarb Adolph List senior und einer seiner Söhne, der gerade 24 Jahre alt gewordene Adolph List junior, der im Mai 1885 seine Ausbildung als Landwirt mit dem Titel „Dr. phil.“ abgeschlossen hatte, musste für ihn einspringen. Zusammen mit seinem Vetter gründete Fahlberg am 24. April 1886 in Leipzig die **Kommanditgesellschaft „Fahlberg, List & Co.“**, wobei neben den beiden persönlich haftenden Gesellschaftern jene neuen Teilhaber unterzeichneten, die die 600.000 Mark Gründungskapital zusammengetragen hatten.

Im März 1887 konnte die Produktion aufgenommen werden, doch traten schon bald Schwierigkeiten auf. So mussten im April und im Mai 1887 an der Produktionsanlage verschiedene Änderungen vorgenommen werden, weil die Nachbarschaft sich zahlreich und dringend beschwert hatte. Im Juni 1887 konnte die Fabrik ihren Betrieb wieder aufnehmen und sukzessive auch die letzten technischen Probleme beseitigen.

Im September 1887 konnte Fahlberg, List & Co. ihr erstes Saccharin auf den Markt bringen. Der erste Posten, der die Fabrik in Magdeburg verließ, wurde einer Berliner Apotheke geliefert.

## 2.2. Saccharin um 1900

Alarmiert durch die Zuckerindustrie, war man bei der Finanzverwaltung auf das Saccharin aufmerksam geworden, noch ehe es im Handel war. So wurde der Reichsbevollmächtigte für Zölle und Steuern in Magdeburg im Frühjahr 1887 angewiesen, die Entwicklung der Fabrik im Auge zu behalten. Diese Kontrolle ging anfänglich in unauffälliger Weise vor sich, bevor sie mit dem Zuckersteuergesetz vom Juli 1887 eine gesetzliche Grundlage erhielt. Die Fahlberg, List & Co. KG musste besondere Fabrikbücher führen, die sie der **Steuerverwaltung** jederzeit zur Einsicht vorzulegen hatte. Die Zahlen und Beobachtungen, die damals im Reichsschatzamt zusammenkamen, erlauben uns heute, die allmähliche Einbürgerung des Saccharins in der Lebensmittelindustrie und im Haushalt verhältnismäßig genau nachzuzeichnen. Trotzdem ist die empirische Basis ziemlich schmal. Gründe dafür sind z.B.:

- ⇒ Grundsätzlich ist zu bedenken, dass das Saccharin nur während weniger Jahre ohne Einschränkungen erhältlich war, es also kaum Zeit hatte, sich richtig einzubürgern.
- ⇒ Man wusste zwar ziemlich genau über die Produktion von Saccharin Bescheid, nicht aber über den Konsum. Detaillierte Außenhandelszahlen liegen nur für die Zeit nach 1899 vor, wobei man lediglich das Gewicht der verzollten Ware kennt, nicht aber deren Süßkraft, die sehr stark schwanken konnte.

- ⇒ Saccharin wurde in der Regel in so kleinen Mengen verbraucht, dass es in den Rechnungen privater Haushalte keinen Eingang fand.

Saccharin ist ein schneeweißes, geruchloses Pulver, das sich in kaltem Wasser kaum, in warmen etwas besser löst. Im ersten Jahr seiner industriellen Produktion, also bis etwa Mitte 1888, kam es nur in dieser Form in den Handel. In der Regel wurde es vom **Apotheker**, der es anbot, mit Mannit und Natriumbikarbonat angereichert und zu **Pastillen** gepresst, wobei das doppelkohlensäure Natron den Zweck hatte, die Löslichkeit der Pastillen zu erhöhen. Im Herbst 1888 brachte die Fahlberg, List & Co. selber ein „leicht lösliches Saccharin“ auf den Markt. Zugleich begann sie mit der Produktion von **Tabletten**.

Bis 1892 mussten die Kunden mit einem Saccharin vorliebnehmen, das neben 60% süß schmeckendem o-Benzoesäuresulfimid noch 40% der geschmacklosen p-Sulfaminbenzoesäure enthielt. Dieses Gemisch erreichte eine Süßkraft von höchstens 300 und trug den irritierenden Namen „reines Saccharin“. Als es der Fahlberg, List & Co. zu Beginn der 90er Jahre gelang, wirklich „reines“ Saccharin herzustellen, gab man ihm in Anlehnung an die Bezeichnung für hochwertigen Zucker den Namen „**raffiniertes Saccharin**“. Das Pulver wurde in Glasflaschen und Zinkbüchsen abgepackt, die Tabletten in Flakons oder Röhrchen. Eine Tablette von 0,07 g Gewicht enthielt 0,0175 g raffiniertes Saccharin, was ihr die Süßkraft von einem 12 g schweren Würfelzucker verlieh. Schon 1893 war die Produktpalette komplett. Wirklich neue Fabrikate kamen später nicht mehr hinzu.

Nur weil der Preis in den ersten Jahren seiner Fabrikation dramatisch fiel, konnte sich das Saccharin überhaupt zu einem **Surrogat** entwickeln und allmählich mit dem Zucker in Konkurrenz treten. Ein direkter Preisvergleich zwischen den beiden Süßungsmitteln ist allerdings problematisch. Probleme ergeben sich zum Beispiel daraus, den Nährwert des Zuckers zu kalkulieren und vor allem das Prestige zu bewerten, das er damals genoss. Selbst wenn man beide Genussmittel auf ihre essentielle Eigenschaft, nämlich „das Süßen“ einschränkt, bleiben die Frage offen, mit welchem Preis sollte man die beiden vergleichen und nach welchen Mengenverhältnis.

Nimmt man die **Süßkraft als Maßstab**, war das Saccharin von Beginn an konkurrenzfähig: 1888 kostet 1 kg „reines“ Saccharin mit der Süßkraft 300 bei direktem Bezug in der Fabrik 100 DM; für 300 kg Zucker musste man hingegen 180 Mark bezahlen. Dieser Vergleich hinkt jedoch insofern, als es sich dabei um sehr große Mengen handelte, die allenfalls für industrielle Nutzungen in Frage kamen. Im Haushalt hingegen, konnte das Saccharin den Zucker fast nur als Tablette gefährden: sie war handlich, leicht zu dosieren und auch einzeln erhältlich. 1888 war ein Glasröhrchen mit Tabletten jedoch vergleichsmäßig teuer: 25 Stück kosteten 40 Pfennig. Die entsprechende Menge Zucker war, bezogen auf die Süßkraft, sogar billiger, und zwar um rund 40%. Zehn Jahre später hatte sich die Relation auch hier dank massiver Preisabschläge grundsätzlich geändert. Ende 1897 warb die Chemische Fabrik von Heyden damit, dass eine Tablette „Zuckerin“ mit der man zwei Liter Kaffee süßen könne, für zwei Pfennig zu haben sei. Der Süßstoff war damit selbst als Einzeltablette nur noch halb so teuer wie die entsprechende Menge Zucker.

Saccharin kann nicht nur als Lebensmittel verwendet werden. Seit 1955 wird es beispielsweise galvanischen Bädern zur **Vernickelung** beigegeben, um den Glanz und

die Elastizität der Nickelschicht zu erhöhen – ein Wirkung die kein anderer Süßstoff hat. Schon vor hundert Jahren verwendete man es nicht nur als Genussmittel im Haushalt und in der Lebensmittelindustrie. Es diente unter anderem dazu, den **Geschmack bitterer Arzneien** erträglich zu machen oder dem **Zigarettenpapier** eine besondere Note zu verleihen. Man versetzte **Mundwässer** und **Zahnpasten** damit, aber auch **Lebertran** und **Kautabak**. Dass auch Ratten und Mäuse Saccharin mögen, wurde vielen von ihnen zum Verhängnis: Schon 1888 wurde vergifteter Weizen mit Saccharin versüßt, nachdem man entdeckt hatte, dass Tiere das Genussmittel mit Vorliebe fraßen. Saccharin für solche Zwecke zu verwenden, blieb selbstverständlich auch unter dem drakonischen Süßstoffgesetz von 1902 möglich.

PHARMACEUTISCHE ZEITUNG. 1894. No. 42. 17. November 1894.



### Saccharin- Strychnin-Hafer und -Weizen,

beide aus geschältem besten Rohmaterial hergestellt, garantiert 0,5 % Strychnin nitr. Ph. Germ. III enthaltend, worauf besonders zu achten bitte, vorrätig in jeder Packung und zu billigsten Konkurrenzpreisen, sofort lieferbar.

Für grössere Entfernungen Frachtvorgütung nach Vereinbarung. Prospekte zum Vertheilen gratis. [187]

**Giftapparat**, ausserordentlich praktisch, Stück 2,70 M., **grössere Posten billiger.**

**Phosphorpillen**, trocken, haltbar und sehr wirksam in Packung zu 500,0, 250,0 grm und lose.

**Ernst Freyberg, Delitzsch.**

Reklame für „Freybergs Gifthafer“ in der Pharmazeutischen Zeitung (1894): Um die Ratten zum Fressen des Strychnin-Hafers zu verleiten, wurde diesem als Lockmittel Saccharin zugesetzt.

Um 1896/97 begann der Verbrauch von Saccharin exponentiell zuzunehmen. Jahr für Jahr verdoppelte er sich, um im Betriebsjahr 1900/01 ungefähr 120 t zu erreichen. Für die Zeit danach sind exakte Schätzungen nicht mehr möglich, denn die detaillierten Rechenschaftsberichte, die die Reichsbevollmächtigten für Zölle und Steuern jeden Monat abzuliefern hatten, brachen Februar 1901 ab. Da aber sowohl die Produktion als auch die Einfuhr von Saccharin weiter anwuchsen, kann man für das Jahr vor dem Verbot einen Verbrauch von etwa 200 t annehmen. 200 t raffiniertes Saccharin: das wären 110.000 t Zuckeräquivalent oder 15% des konsumierten Zuckers.

### *Saccharin-Verbrauch im Deutschen Reich (1888-1900)*

Jahr	Saccharin-Konsum in t (Süßkraft 550)	Saccharin-Konsum in t Zuckeräquivalent	Saccharin-Konsum in % des Zuckerverbrauchs
1888	0,15	83	0,02%
1890	0,8	440	
1892	1,6	880	0,17%
1894	2,3	1 265	
1896	5,7	3 135	0,52%
1898/99	32,2	17 710	2,54%
1900/01	118,9	65 392	9,17%

*Quelle: Merki 1991, S. 71*

Es gibt mehrere Gründe für den „Süßstoff-Boom“:

- ⇒ Der **Preis des Saccharins** fiel noch immer, und zwar von 30 Mark pro Kilo Raffinade (1898) auf 15 Mark (1902)
- ⇒ Andererseits zog der Preis des Zuckers wieder an, nachdem er während Jahrzehnten gesunken und 1895 mit 59 Pfennig pro Kilo auf einem historischen Tiefstand angelangt war. Die **konsumentenfeindliche Steuer- und Kartellpolitik** strebte damals ihrem Höhepunkt zu.
- ⇒ Mit jeder Fabrik, die sich dem lukrativen Süßstoff-Geschäft verschrieb, nahm die **Konkurrenz** zu: 1898 gab es allein in Deutschland bereits deren 6. Auch die chemische Industrie des Auslandes wurde allmählich auf diesen prosperierenden Markt aufmerksam.
- ⇒ Die konkurrierenden Unternehmen entfalteten eine außerordentliche **Reklame**, über deren „Unverfrorenheit“ sich die Zuckerindustrie immer wieder ärgerte
- ⇒ Schließlich sorgte der scharfe **Wettbewerb** dafür, dass das Vertriebsnetz immer feiner geknüpft wurde. Hatte man früher das Saccharin nur über die großen Apotheken beziehen können, gingen die „bekannten Tabletten“ nun selbst in den kleinsten Läden über den Tisch.

### *2.3. Süßstoff bis heute*

Seit dem **Zweiten Weltkrieg** hat der Wettstreit zwischen dem Zucker und dem Saccharin eine völlig neue Dimension erhalten: Saccharin wird nicht mehr verwendet als preiswerter Zuckerersatz, sondern weil es keinen Nährwert hat. In wenigen Jahrzehnten ist es vom billigen Zucker der unterernährten Armen zum nährwertlosen Zucker der überernährten Reichen emporgestiegen. Aus dem Surrogat für „arme Schlucker“ wurde es ein Süßungsmittel für fitnessbewusste Wohlstandsbürger.

Saccharin blieb nicht lange der einzige kommerziell genutzte Süßstoff. Schon 1893 kam das **Dulcin**, ein Derivat des Kohlenwasserstoffs Phenol, auf den Markt. Seine Verbreitung ließ jedoch zu wünschen übrig. Im Ersten Weltkrieg kam das Dulcin im Deutschen Reich trotz toxikologischer Bedenken auf breiter Front zum Einsatz, als das Toluol, der wichtigste Rohstoff für das Saccharin, knapp wurde. Andere Süßstoffe wie das **Glucin**, das **Suosan** oder das **Douxan** waren nur vorübergehend erhältlich, ihr Scheitern hatte toxikologische, technische, geschmackliche oder wirtschaftliche Gründe.

Wirkliche Konkurrenz im eigenen Lager erhielt das Saccharin erst 1950, als das 13 Jahre zuvor entdeckte **Cyclamat** auf den Plan trat. Wie das Saccharin war auch das Cyclamat zu Beginn seiner Produktion teuer, und erst 1958 erreicht sein Preis umgerechnet, den des Zuckers. Da das Cyclamat dem Saccharin geschmacklich überlegen war und sein Preis weiter fiel, konnte es sich schon bald als zweiter Süßstoff etablieren. Ganz so billig wie das Saccharin wurden das Cyclamat indessen nie: Dafür ist seine Süßkraft, die je nach Konzentration zwischen 22 und 33 schwanken kann, zu gering. Deshalb werden heute in der Praxis oft **Mischungen aus Cyclamat und Saccharin** verwendet, und zwar meistens in einem Verhältnis von zehn zu eins. In dieser Kombination verliert das Saccharin nicht nur seinen bitteren Beigeschmack, es tritt zusätzlich eine **synergistische Geschmacksverstärkung** auf, die ebenfalls Süßstoff sparen hilft.

Als in den 60er Jahren der Süßstoff-Konsum zunahm, kamen die beiden arrivierten Süßstoffe Saccharin und Cyclamat ins Gerede: Cyclamat wurde 1970 in den USA verboten, nachdem eine bis heute umstrittene Studie den Verdacht auf Karzinogenität bestätigt hatte. Die Zweifel an der toxikologischen Unbedenklichkeit der beiden Süßstoffe hatten aber nicht nur Zulassungsbeschränkungen zur Folge, sie stimulierten auch die Suche nach alternativen Süßungsmitteln. Als Resultat dieser intensiven Forschungen wurden in den 80er Jahren zwei neue Süßstoffe eingeführt: **Aspartam** (Monsanto) und **Acesulfam-K** (Hoechst); andere wie **Suclarose** (Tate & Lyle) und **Alitam** (Pfizer) stehen kurz vor der Zulassung.

Besonders erfolgreich ist das **Dipeptid Aspartam**, das sich aus den beiden Aminosäuren Asparagin und Phenylalanin zusammensetzt und das, anders als etwa Saccharin, vom Organismus aufgenommen und wie ein gewöhnlicher Eiweißbaustoff verarbeitet wird. Wegen seiner hohen Süßkraft (um 200) trägt es allerdings kaum zum Nährwert der mit ihm gesüßten Lebensmittel bei und kann ohne weiteres zu den Süßstoffen gerechnet werden. Aspartam wird zwar auf chemischem oder biotechnischem Wege synthetisiert, doch seine an und für sich „natürliche“ Beschaffenheit dient der Werbung als willkommenes Argument, um es gegenüber den anderen Süßstoffen zu profilieren.

Der Süßstoffmarkt befindet sich momentan in einem tiefgreifenden Wandel, und es wäre falsch anzunehmen, dass die Entwicklung neuer Süßstoffe mit der Lancierung von Aspartam und Acesulfam-K zum Stillstand gekommen ist - im Gegenteil, sie hat erst begonnen. Die Zuckerindustrie wird sich davor hüten müssen, das Interesse der chemischen Industrie, die über ein ungeheures Forschungspotential verfügt, zu unterschätzen. Zur Zeit werden weltweit Hunderte von synthetischen Süßstoffen im Hinblick auf eine mögliche industrielle Verwendung getestet, und die chemische Industrie ist dabei, sich eines der letzten Refugien der Natur gefügig zu machen, den

Geschmack, der zu einem beliebig gestaltbaren Faktor der Ernährung zu verkümmern droht.

Der **Trend** geht nicht nur in die Richtung immer **neuer Süßungsmittel** und neuer Kombinationen unter ihnen, sondern auch in die Richtung immer **süßerer Süßungsmitteln**. So hat die französische Firma Anvar ein ultraintensives „Superaspartam“ mit der Süßkraft 55.000 patentieren lassen, von dem schon eine Handvoll genügen würde, um den Süßungsmittelbedarf eines Menschen auf Lebenszeit zu decken. Auch beginnen sich in diesem Bereich die Grenzen zwischen Natur und Kultur, zwischen „**natürlichem**“, „**naturidentischem**“ und „**künstlichem**“ Süßungsmittel aufzulösen.

Mehrere „**natürliche**“ **Süßstoffe**, die aus Pflanzen gewonnen werden, befinden sich gegenwärtig im Zulassungsprozess oder sind, wie das Thaumatin und das Steviosid, in einigen Ländern bereits zugelassen. **Steviosid** extrahiert man aus den Blättern der Stevia rebaudiana, einer Chrysanthemen-Art (später mehr), die von den Indianern im Nordosten Paraguays seit langem als Süßungsmitteln verwendet wird. **Thaumatin** kommt in den Beerensamen des westafrikanischen Strauches Thaumatococcus daniellii vor und wird unter dem Markennamen „Talin“ von Tate & Lale vertrieben, vom größten Zuckerkonzern der Welt, der ganz offensichtlich bestrebt ist, sich von der Saccharose zu emanzipieren.

Bis sich ein neuer Süßstoff um die Gunst des Publikums bemühen darf, verstreichen in der Regel mehrere Jahre, in denen ihn die zuständige Behörde auf Herz und Nieren prüft. Hierbei ist festzustellen, dass Süßstoffgesetze wie das deutsche Süßstoffgesetz von 1902 heute undenkbar wären. Einige Länder betreiben sogar eine ausgesprochen liberale Zulassungspolitik, die das **Risiko gesundheitlicher Schädigung** durch die Verwendung möglichst verschiedener Süßstoffe minimieren soll. Den Süßstoffgesetzen der Jahrhundertwende lagen vor allem drei Motive zugrunde, auch wenn diese Motive ihre Überzeugungskraft, zumindest in den hochindustrialisierten Staaten des Westens, inzwischen eingebüßt haben:

- ⇒ Zwar ist die wirtschaftspolitische Macht der Zuckerindustrie noch heute beträchtlich, ihre Bedeutung als Schlüsselindustrie der agrarischen Modernisierung hat sich aber weitgehend überlebt.
- ⇒ Die Zuckersteuer gehörte vor dem Ersten Weltkrieg zu den wichtigsten Einnahmequellen des Fiskus und machte diesen zum natürlichen Verbündeten der Zuckerindustrie. Seither ist die Zuckersteuer zu einer Bagatelsteuer degradiert.
- ⇒ Das ernährungsphysiologische Argument, dass das Saccharin die Aufnahme wichtiger Zuckerkalorien verhindere, hat sich inzwischen in sein Gegenteil verkehrt.

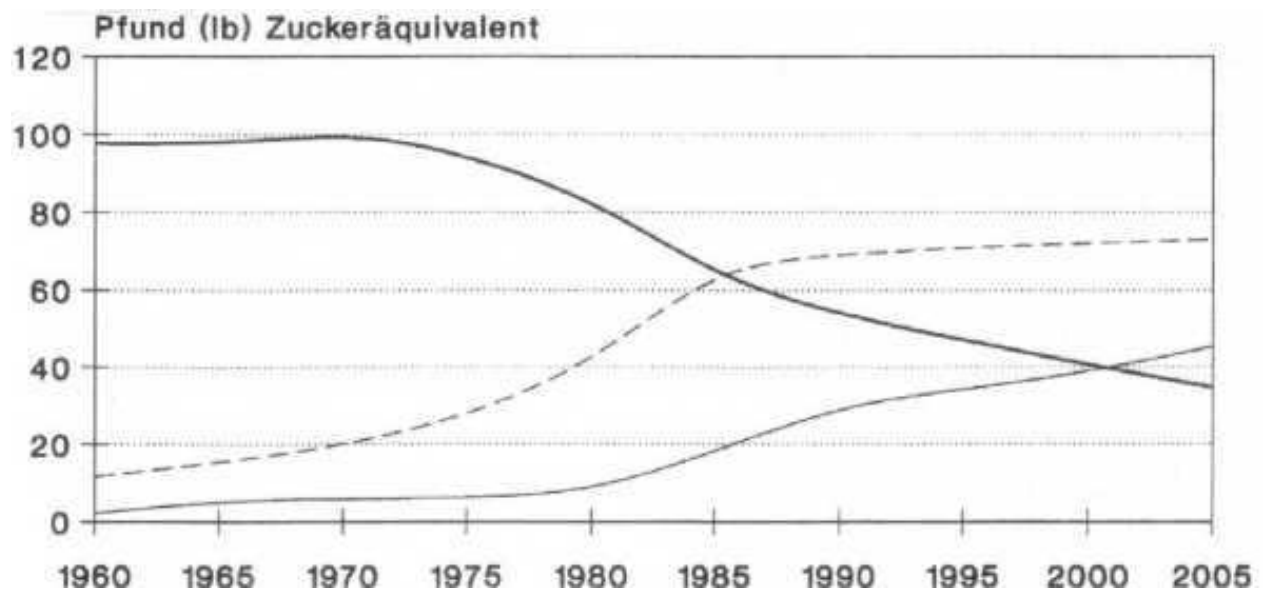
In der Bundesrepublik Deutschland ging der Süßstoffverbrauch nach der Währungsreform und mit der Normalisierung der Zuckerversorgung rapide zurück. Hatte es 1948 in den Westzonen noch 38 konzessionierte Süßstoffhersteller gegeben, so waren es 1950 nur noch fünf. Ende der 60er Jahre begann der Süßstoffverbrauch wieder zuzunehmen, und zwar von rund 19.000 t Zuckeräquivalent 1967 auf 89.000 t Zuckeräquivalent 1976. Die 89.000 t des Jahres 1976 entsprechen einem Jahres-

pro-Kopf-Konsum von 1,46 kg Zucker oder von gut 4% des damaligen Konsums. Wiederrum zehn Jahre später erreichte der Jahres-pro-Kopf-Konsum bereits 2,6 kg Zuckeräquivalent oder 7,5% des Zuckerkonsums.

Die Verwendung von Süßstoffen ist seit Juni 1990 bei der Herstellung vieler Lebensmittel genehmigungsfrei, und diese gehören nun auch nicht mehr zu den Diätetika, sondern zu den **Lebensmitteln des „allgemeinen Verzehr“**. Auch auf Ebene der Europäischen Gemeinschaft sind im Zuge von Harmonisierungsbemühungen ähnliche Änderungen im Gang.

Hohe Zuwachsraten weisen weniger die Tafel-Süßstoffe als die Fertigprodukte auf. Besonders dynamisch entwickelt sich der Markt der **Diätgetränke**, die in der offiziellen Nomenklatur in den 1990er Jahren zu „brennwertgeminderten Erfrischungsgetränken“ aufgewertet worden sind. In den alten Bundesländern betrug der Umsatz der **Light-Getränke** 1990 bereits 850 Mio. Mark.

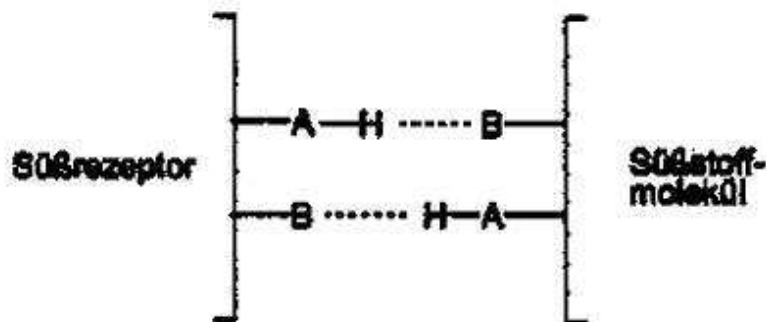
Weltweit betrug der Süßstoffkonsum 1987 schätzungsweise 7,04 Mio. t Zuckeräquivalent oder 6% bis 7% des Zuckerverbrauchs, wobei die Hälfte dieses Konsums auf die USA entfiel.



## 3. Struktur und süßer Geschmack

### 3.1. Theorie von Shallenberger und Acree

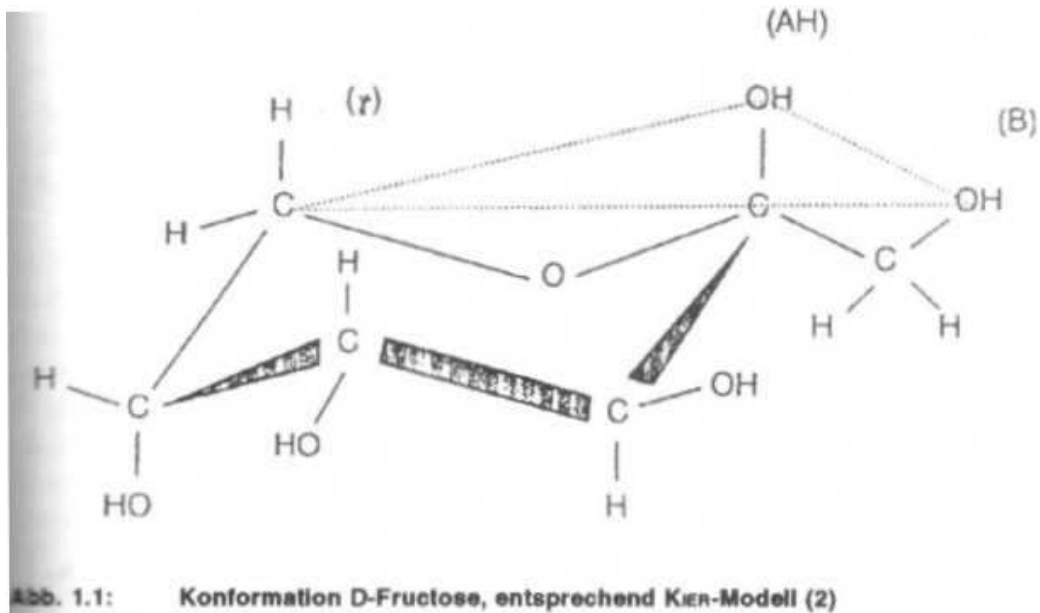
Nach der Theorie von Shallenberger und Acree aus dem Jahre 1967 beruht der süße Geschmack von Verbindungen auf der Ausbildung von **Wasserstoffbrücken** zwischen den Geschmacksrezeptoren und den süß schmeckenden Molekülen. Ein süßer Geschmack soll nach der Theorie dann auftreten, wenn die Verbindung ein dem Rezeptor komplementäres System aus Protonendonator und -akzeptor (AH-B-System) mit gleichem Abstand beider Gruppen wie der Geschmacksrezeptor aufweist. Das Rezeptorsystem ist in den Membranen der Geschmacksknospen lokalisiert. Der Abstand beider Gruppen im AH-B-System muss im Bereich zwischen 0,25 und 0,4 nm liegen.



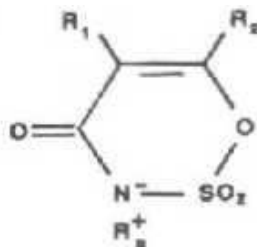
Alle Verbindungen mit süßem Geschmack besitzen ein Protonendonator- und -akzeptor-System in der von Shallenberger und Acree angegebenen Art. Viele Verbindungen mit entsprechenden Strukturen schmecken aber nicht süß. Deshalb wurde die ursprüngliche Theorie später von anderen Autoren modifiziert oder erweitert.

#### 3.1.1. Ergänzung von Kier

Kier gibt an, dass im Abstand von etwa 0,55 nm das Molekül eine **hydrophobe Gruppe** tragen muss, die mit einer dritten Bindungsstelle des Rezeptors in hydrophobe Wechselwirkung treten kann. Auch die von Kier postulierte dritte Bindungsstelle lässt sich in der Regel für süß schmeckende Verbindungen angeben. Aber auch dieses Modell offenbarte einige Schwächen: Bei der Saccharose z.B. gelang es der Forschung nicht, eine dritte Bindungsstelle zu lokalisieren. Deshalb modifizierte man das Schallenberg-Kier-Modell wie folgt: Anstelle der spezifischen Bindungsstelle ist eine deutlich ausgedehnte Molekülregion für die hydrophobe Wechselwirkung verantwortlich. Dieser hydrophobe Bereich muss dem AH-B-System gegenüberliegen. Des Weiteren geht man davon aus, dass die Süßkraft deutlich größer ist, wenn das AH-B-System in einem hydrophilen Bereich lokalisiert ist.



Die Theorien von Shallenberger und Acree sowie von Kier erlauben nach wie vor **keine zuverlässigen Aussagen** über das Auftreten eines Süßgeschmacks. Sie geben auch keine Erklärung für unterschiedliche Süßintensitäten bei verschiedenen Stoffgruppen, für den Einfluss unterschiedlicher Substituenten eines Grundmoleküls auf das Auftreten eines Süßgeschmacks oder für die erheblichen Schwankungen in der Süßkraft bei Variation von Substituenten an einem Grundkörper.



R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	relative Süße <sup>a</sup>
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	CH <sub>3</sub>	Na	250
H	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	Na	150
H	CH <sub>3</sub>	K	130 <sup>b</sup>
H	CH <sub>3</sub>	Ca	130
H	CH <sub>3</sub>	Na	130
CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub>	Na	130
CH <sub>3</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	Na	130
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	<i>n</i> -C <sub>8</sub> H <sub>17</sub>	Na	70
<i>i</i> -C <sub>8</sub> H <sub>17</sub>	CH <sub>3</sub>	Na	50
CH=CH-CH=CH		Na	ca. 50
H	<i>n</i> -C <sub>4</sub> H <sub>9</sub>	Na	30
<i>n</i> -C <sub>5</sub> H <sub>11</sub>	CH <sub>3</sub>	Na	30
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	H	Na	20
CH <sub>3</sub>	H	Na	20
H	H	Na	10

a) im Vergleich zu einer 4 % Saccharoselösung  
 b) Aceulfam-K

Abb. 1.2: Abhängigkeit der relativen Süße von strukturellen Modifikationen des Aceulfam

## 3.2 Süßkraft

Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur Angabe und Charakterisierung der **Intensität des Süßgeschmacks** von Verbindungen. Diese Angaben sind der intensiven Süße wegen für Süßstoffe von besonderem Interesse. Angegeben werden beispielsweise die Süßkraft, der Süßungsgrad, der molekulare Süßungsgrad, die Süßungseinheit, die Schwellenwertkonzentration oder die maximale Unterschiedsschwellenzahl. Während Süßkraft, Süßungsgrade und Süßungseinheit auf Zuckerlösungen einer bestimmten Konzentration bezogen werden, deren Süßkraft definitionsmäßig als 1 gesetzt wird, ist die Angabe der maximalen Unterschiedsschwellenzahl unabhängig von einer Bezugssubstanz.

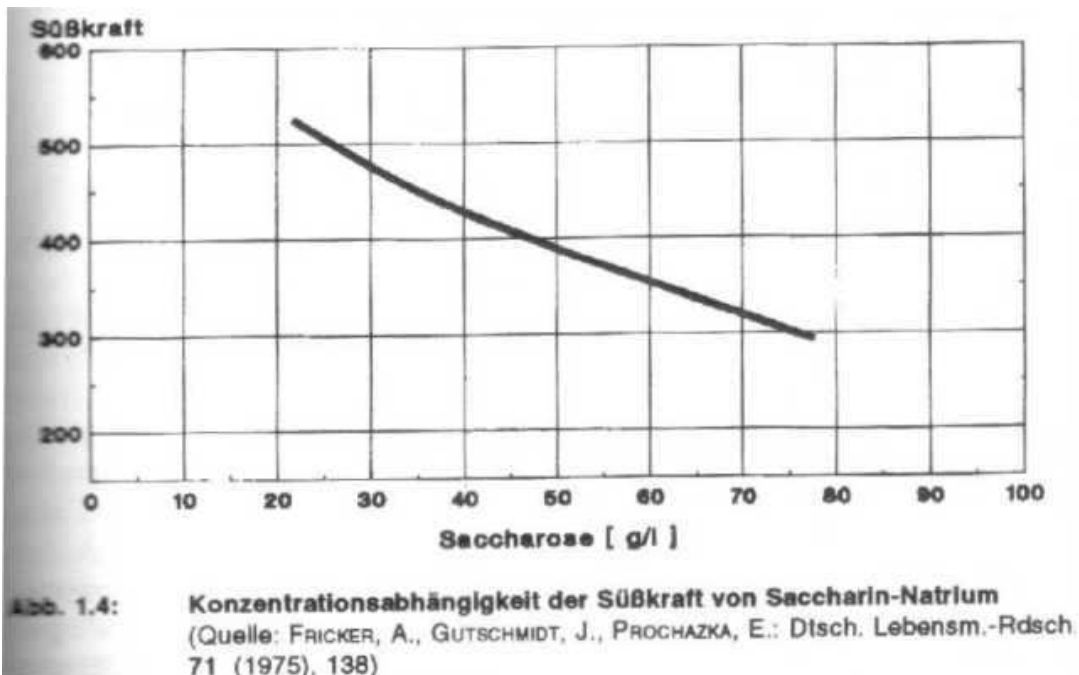
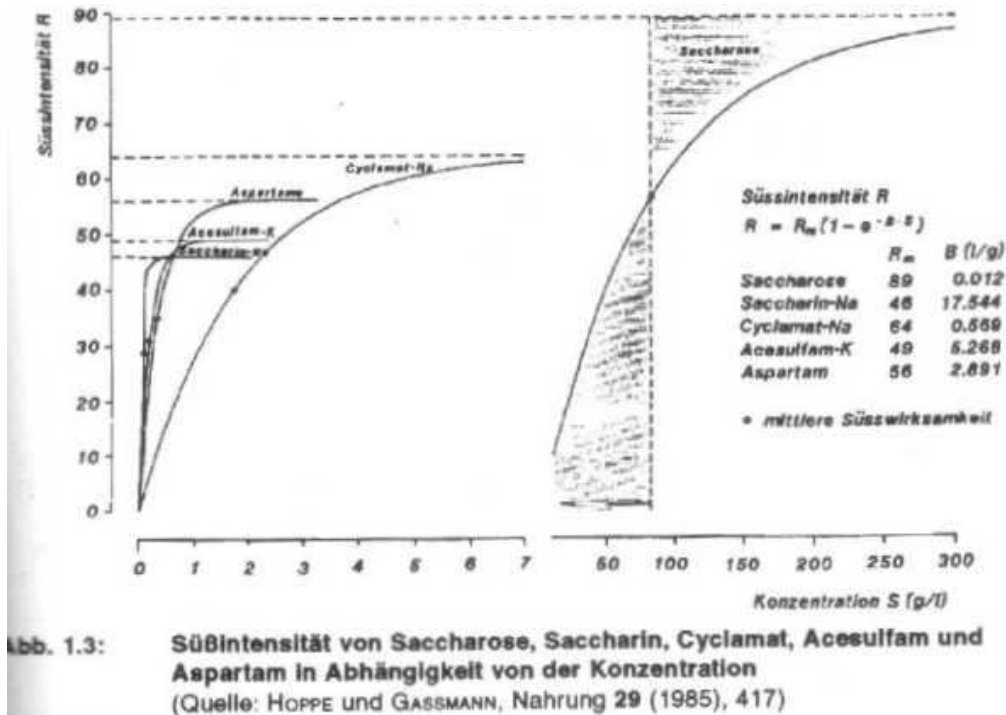
Alle Werte müssen in **sensorischen Untersuchungen** ermittelt werden. Für solche Untersuchungen werden meistens wässrige Lösungen in einem Konzentrationsbereich, der der Süßkraft einer 2-10 gewichtsprozentigen Zuckerlösung entspricht, eingesetzt. Es ist wenig sinnvoll, Festsubstanzen für sensorische Untersuchungen zur Ermittlung der Süßintensität zu benutzen, da sich z.B. durch eine unterschiedliche Oberfläche verschiedene Auflöseraten auf der Zunge einstellen und bei manchen Süßstoffen ein Beigeschmack auftreten kann, woraus sich erhebliche methodische Probleme ergeben. Darüber hinaus ist darauf hinzuweisen, dass nur im Speichel gelöste Moleküle auf die Rezeptoren der Mundhöhle einwirken können.

Der **Süßungsgrad** ist definiert als Verhältnis „g bzw. mol Zucker pro Liter“ geteilt durch „g bzw. mol zu untersuchender Substanz pro Liter“ in gleich süßen Lösungen. Praktisch wird die Süßkraft z.B. von Süßstoffen ermittelt, indem man feststellt, wieviel Gramm Zucker in einem bestimmten Volumen Wasser gelöst werden müssen, um den gleich süßen Geschmackseindruck wie bei einer Lösung von 1 g süß schmeckendem Stoff in dem gleichen Volumen Wasser zu erreichen. Entsprechend wird der molekulare Süßungsgrad festgestellt, bei dem die Mole Zucker in einem bestimmten Volumen Wasser angegeben werden, die 1 mol süß schmeckenden Stoff in dem gleichen Volumen entsprechen.

Als **Süßungseinheit** wird die Menge in Gramm des Zuckeräquivalents in einem bestimmten Volumen Wasser verstanden, da in der Süße 1kg Zucker im gleichen Volumen Wasser entspricht.

In der Praxis wird oft der Begriff „**Süßkraft**“ benutzt. Dieser Begriff steht für den Faktor, um den eine Zuckerlösung bei gleicher Süße konzentrierter oder verdünnter als eine gleich süß schmeckende Lösung des zu vergleichenden Stoffes ist. Damit kann der Begriff der Süßkraft auf verschiedene Konzentrationen bezogen werden. Bei Süßkraftwerten ist eine Angabe der Konzentration der zum Vergleich herangezogenen Zuckerlösung wichtig, da bei allen Substanzen eine deutliche Konzentrationsabhängigkeit der Süßkraft beobachtet wird. Bei Süßstoffen sind die höchsten Werte nahe der Geschmacksschwelle feststellbar. Mit steigender Konzentration sinkt die Süßkraft mehr oder weniger stark ab. Bei Zuckeralkoholen und anderen nutritiven Süßungsmitteln ist dagegen eher die umgekehrte Erscheinung beobachten, dass nämlich die Süßkraft mit steigender Konzentration ansteigt. Diese ist darauf zurückzuführen, dass die Süßintensität von Zucker in Anhängigkeit von der Konzentration einem Grenzwert zustrebt.

Die in der Literatur veröffentlichten, sehr unterschiedlichen Süßkraftwerte für Süßstoffe und Zuckeralkohole dürften in erster Linie darauf zurückzuführen sein, dass nicht immer die gleiche Saccharosekonzentration als Basis für die sensorischen Vergleiche herangezogen wurde. Bei Süßstoffen werden ohne Vermerk der Vergleichskonzentration an Zucker in der Regel Angaben auf Lösungen im Bereich von 3-4 Gewichtsprozent oder auf 0,1 molare Zuckerlösungen bezogen; denn diesem Konzentrationsbereich wird Zucker meist zum Süßen von Aufgussgetränken wie Kaffee und Tee im Haushalt benutzt.

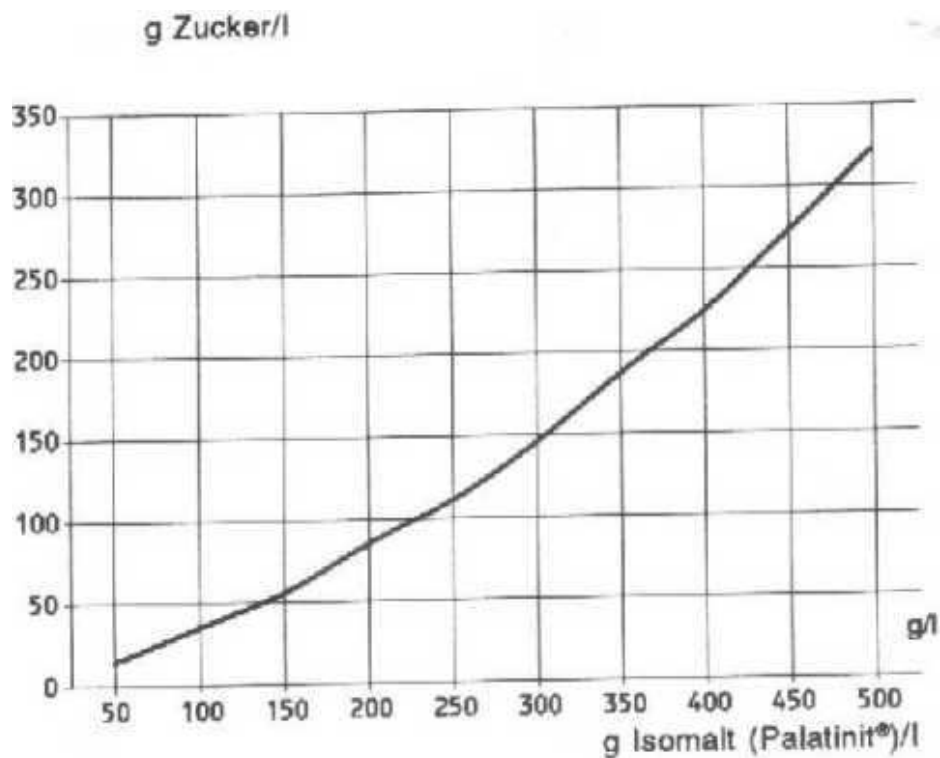


### Süßkraft einiger Süßstoffe im Vergleich zu 0,1 molarer Zuckerlösung (34g/l)

Zucker	1
Cyclamat	35
Acesulfam-K	200
Aspartam	200
Saccharin-Na	450
Saccharin	550

### Süßkraft einiger Zuckeralkohole gegenüber 10%igen Zuckerlösung

Zucker	1
Xylit	~1
Sorbit	0,5-0,6
Mannit	0,35-0,6
Isomalt (Palatinit)	~ 0,45
Lactit	0,4-0,5
Maltit	0,5-0,6



**Konzentrationsabhängigkeit der Süßkraft eines Zuckeralkohols;  
wässrige isosüße Lösungen bei 20°C von Palatinit® gegenüber  
Saccharose in g/l**  
(Quelle: Zentrallabor der Südzucker AG, Offstein, 1979)

### 3.3. Geschmackliche Wechselwirkungen mit Lebensmittelinhaltsstoffen

Süßkraftwerte sind für die Praxis grundsätzlich nur als **Orientierungswerte** geeignet. In zusammengesetzten Lebensmitteln ist die tatsächlich wahrgenommene Süßintensität von der Temperatur, dem pH-Wert, der Viskosität und den anderen Zutaten abhängig. Sie modifizieren die Wahrnehmung und den zeitlichen Verlauf des Süßempfindens. Deshalb ist in der Regel eine **sensorische Abstimmung** der günstigen Konzentrationen an Süßungsmitteln erforderlich, wobei auch synergistische Effekte zu berücksichtigen sind. **Synergistische Effekte** treten bei Mischungen von Süßstoffen untereinander, aber auch bei Mischungen zwischen nutritiven Süßungsmitteln und Süßstoffen auf. Am frühesten untersucht wurden synergistische Effekte bei Mischungen zwischen Fructose und Saccharin sowie Cyclamat und Saccharin.

Beim Verzehr von Produktgruppen, in denen die Süßungsmittel in **kristalliner Form** enthalten sind (z.B. Schokoladen, Weichkaramell, Kaugummi) kommt es beim In-Lösung-Gehen der festen Saccharide in den Speichel auf der Zunge noch zu anderen Empfindungen, es tritt ein kühlender Effekt auf. Dieser **kühlende Effekt** wird durch unterschiedliche **Lösungsenthalpie** der einzelnen Saccharide verursacht.

Lösungsenthalpie von Sacchariden

	kJ/mol	kJ/kg
Saccharose <sup>1)</sup>	-6.21	-18.16
Dextrose-Anhydrid <sup>5)</sup>	-10.98	-60.61
Dextrose-Monohydrat <sup>5)</sup>	-20.96	-105.34
Fructose	-6.79	-37.69
Isomaltulose	-21.66	-60.17
-----		
Isomaltit (GPS)	-7.37	-21.42
Glucopyranosido-1-1-Mannit	-21.82	-57.42
Isomalt (Palatinit®)	14.60	-39.40
Lactit-Monohydrat <sup>3)</sup>	-19.20	-53.20
Maltit <sup>4)</sup>	-23.00	-79.12
Sorbit <sup>2)</sup>	-20.20	-110.96
Mannit <sup>2)</sup>	-22.00	-120.86
Xylit <sup>1)</sup>	-23.27	-153.07

Die Zuckeralkohole Xylit, Maltit und Sorbit haben hohe negative Lösungswärmen, aber auch Dextrosemonohydrat. Diese Produkte werden daher bevorzugt in **Komprierten** eingesetzt, einer Produktgruppe, von denen der Verbraucher diesen kühlenden Effekt erwartet. Durch Aromen wie Pfefferminz/Menthol wird dieser Effekt verstärkt.

Anderen Süßwaren z.B. Hartkaramellen, Schokoladen oder auch Backwaren geben Zuckeralkohole mit einer hohen **negativen Lösungsenthalpie** einen atypischen Geschmack. Hier verlangt der Verbraucher einen der Saccharose ähnlichen Geschmackseindruck, d.h. für diese Produktgruppen eignen sich Disaccharidalkohole, die eine geringere **negative Lösungswärme** haben.

### 3.4. *Physiologie der Zuckeralkohole*

Nach oraler Aufnahme werden Monosaccharidmoleküle passiv, somit verlangsamt, resorbiert, so dass ein Teil davon in den Dickdarm gelangen kann; dort werden die Saccharidalkohole von der Bakterienflora verstoffwechselt und unterliegen somit nicht dem Kohlenhydratabbau des menschlichen Organismus. Auf der anderen Seite können sie jedoch auch osmotisch bedingte laxierende Wirkungen auslösen.

**Resorption und Verstoffwechslung der Monosaccharidalkohole** Xylit, Sorbit, Mannit, erfolgen weitgehend **insulinunabhängig**. Daher sind alle drei als Süßungsmittel für Diabetiker geeignet und werden darüber hinaus auch als Kohlenhydrate in der parentalen Ernährung eingesetzt.

Im Gegensatz zu den Monosacchariden müssen **Disaccharide** vor der Resorption und der weiteren Verstoffwechslung zuerst **enzymatisch** an der Dünndarmwand in ihre Bausteine gespalten werden.

Von der Art der Disaccharidbildung und der Zusammensetzung der Disaccharide hängt es weitgehend ab, ob nach der oralen Aufnahme das Molekül bei der Dünndarmpassage ganz (z.B. Zucker) oder praktisch nicht gespalten wird (z.B. Lactulose). Im letzteren Fall gelangt ein Teil des verzehrten Disaccharides oder -alkohols in den Dickdarm, in dem es von der dort angesiedelten Bakterienflora als Substrat genutzt werden kann. Dieser im Dünndarm nicht resorbierte Anteil an Mono- und Disacchariden und Polyolen unterliegt nicht mehr dem normalen Stoffwechselweg der Mono-, Die- und Oligosacchariden und damit auch nicht der üblichen **kalorischen Nutzung**.

Über die genaue **energetische Mindernutzung** herrscht zur Zeit keine einheitliche wissenschaftliche Auffassung. Folgende Tabelle wird von einer niederländischen Expertenkommission empfohlen und enthält den physiologischen Brennwert einiger Polyole:

<b>Xylit</b>	<b>15,0 kJ/g</b>
<b>Sorbit</b>	<b>12,0 kJ/g</b>
<b>Mannit</b>	<b>8,5 kJ/g</b>
<b>Isomalt</b>	<b>10,0 kJ/g</b>
<b>Lactit</b>	<b>8,5 kJ/g</b>

An Stoffwechselgesunden und an Diabetes-mellitus-Patienten wurde nachgewiesen, dass Disaccharidalkohole weitgehend insulinunabhängig verwertet werden, so dass diese Stoffklasse als Zuckeraustauschsstoff im klassischen Sinne zur Diabetikerdiät geeignet ist. Auch hier gilt, wie schon für die Kalorienreduktion gesagt, dass die Höhe der Insulinsekretion nach oraler Aufnahme bei den einzelnen Disaccharidalkoholen unterschiedlich ist.

## 4. Gewinnung von Süßstoffen am Beispiel der *Stevia rebaudiana*

Die Blätter der ***Stevia rebaudiana*** werden bereits seit Jahrhunderten von in **Paraguay** beheimateten Indianerstämmen als **natürliches Süßungsmittel** verwendet. Die süß schmeckenden Stoffe im Blatt sind Diterpenglycoside mit den wichtigsten Vertretern Steviosid und Rebaudiosid A. Extrakte aus *Stevia rebaudiana* haben als Süßungsmittel vor allem in Japan eine große wirtschaftliche Bedeutung erlangt; dort wurden im Jahr 1988 41% des Umsatzes an Süßstoffen mit solchen Produkten gemacht. Anfang der 70er Jahre trieb die japanische Industrie die Entwicklung von Stevia-Süßstoffen stark voran und wurde dabei von der japanischen Regierung unterstützt, die die Stevia-Süßstoffe umgehend für die Verwendung in Lebensmitteln zuließ. Gründe für die damaligen Bemühungen war ein Mangel an Süßstoffen, da Cyclamat 1969 in Japan verboten wurde und die toxikologischen Unbedenklichkeit von Saccharin umstritten war; zudem sollte der Saccharoseverbrauch eingeschränkt werden. Ein weiterer Grund für die rasche Zulassung der Stevia-Süßstoffe in Japan war die dort herrschende Auffassung, dass Produkte natürlichen Ursprungs der menschlichen Gesundheit prinzipiell weniger schaden als synthetisch hergestellte Substanzen, sofern keine objektiven Tatsachen dagegen sprachen.

### 4.1. Botanik und Anbau

Das ursprüngliche Verbreitungsgebiet der Staude *Stevia rebaudiana* ist der Nordosten Paraguays, wo sie den dort einheimischen Guarani-Indianern seit Jahrhunderten als **Caá-Hê-é** (süßes Kraut) oder unter ähnlichen Bezeichnungen bekannt ist. Von diesen wurde die süß schmeckende Pflanze als **Volksmedizin** und als Süßstoff für Diabetiker eingesetzt. Bertoni, der Direktor des agronomischen Instituts von Asunción (Paraguay), klassifizierte die Pflanze im Jahr 1899 als erster. Er ordnete sie zunächst der Gattung *Eupatorium* zu und benannte sie nach dem **portugiesischen Chemiker Rebaudi**, der sich um die Erforschung der in Paraguay vorkommenden Naturstoffe große Dienste erworben hatte, als *Eupatorium Rebaudianum*. Später korrigierte sich Bertoni selbst, indem er die Pflanze der **Gattung *Stevia*** zuordnete, seither trägt sie den Namen ***Stevia rebaudiana bertonii***, wird aber in der Literatur meist als *Stevia rebaudiana* bezeichnet. Botanisch eingeordnet wird *Stevia rebaudiana* in die **Familie der Asteraceae**, Unterfamilie *Aseroideae*, Tribus *Eupatorieae* und Gattung *Stevia*. Die Pflanze ist ein **ein- bis zweijähriges Kraut**, welches eine Höhe von 60-80 cm erreicht. Die Blätter sind 3 bis 4 cm lang, 1 cm breit, eiförmig-elliptisch geformt, dreinervig und am Rande leicht gezähnt. Sie sind ebenso wie die Stengel leicht behaart und gegenständig inseriert. Die Blütenkörbchen enthalten 2-6 selbststerile weiße Röhrenblüten. Die Samen fallen aus den reifen Hüllkelchen leicht aus und keimen unmittelbar, wenn der Boden feucht ist. Die Jungpflanzen sind gegen austrocknende Hitze sehr empfindlich.



Die **Vermehrung von Stevia rebaudiana** erfolgt meistens vegetativ durch Stecklinge, die aus den Ausläufern der Wurzeln gewonnen werden, da die Samen als wenig fruchtbar gelten. Ein Wurzelstock produziert dabei 15-20 neue Pflanzen. Eine In-vitro-Vermehrung durch Sprosstheilung in der Petrischale ist ebenfalls möglich. Die Stecklinge werden in der nördlichen Hemisphäre zwischen April und Mai gepflanzt, geerntet wird ein- bis dreimal im Jahr. Bei einer Anpflanzung in Paraguay konnten

von einem Hektar 1-1,2 t getrocknete Blätter im Jahr bei einmaligen Schnitt geerntet werden. Anbauversuche in Spanien brachten 5 Jahre lang konstante Blatt-Trockensubstanzerträge von 6 t/ha/Jahr, in Deutschland 3 t/ha/Jahr, wobei ebenfalls einmal im Jahr geerntet wurde. Die Ernte und das Abtrennen der Blätter von den Stengeln erfolgte von Hand.

#### 4.2. Süßstoffe in den Blättern von *Stevia rebaudiana*

Die als Süßstoffe bedeutsamen Inhaltsstoffe der Blätter von *Stevia rebaudiana* sind **Diterpenglycoside**. Das häufigste Diterpenglycosid Steviosid wurde erstmals anfangs des Jahrhunderts von Rasenack und Dietrich in kristalliner Form isoliert. Bridel und Lavielle berichteten im Jahr 1931, dass bei der **enzymatischen Hydrolyse** des Steviosids mit dem **Pankreasaft der Schnecke *Helix Pomatia*** das Aglycon Steviol gebildet wird und analysierten die Molmassen von Steviosid (804,9 g/mol) und Steviol (318,5 g/mol). Weiterhin konnten sie feststellen, dass durch saure Hydrolyse ein Aglycon „Isosteviol“ entsteht, welches sich vom Steviol bei gleicher Molmasse durch Kristallstruktur und Schmelzpunkt unterscheidet. Bei der sauren Hydrolyse werden sämtliche Zuckergruppen abgespalten, wobei sich das Aglycon Steviol nach Wagner-Meerwein zum Isosteviol umlagert. Im Jahr 1955 wurde die genaue Struktur des Steviosids sowie des Aglycons Steviol und dem zum Aglycon Isomeren Isosteviol ermittelt. Das Steviol ist eine tricyclische Hydroxyditerpensäure. Die zwei Kohlenhydratgruppen des Steviosids sind an den entgegengesetzten Enden des Aglycons gebunden, nämlich ein Sophorosemolekül  $\beta$ -glycosidisch an die C-13 Hydroxylgruppe und ein Glucosemolekül an die C-19 Carboxylgruppe. Kernresonanzspektroskopische Untersuchungen zeigten die Richtigkeit dieser Strukturformeln. Zudem wurde eine weitere Glycosidkomponente, das Rebaudiosid A, isoliert und seine Struktur ermittelt. Kurz darauf wurden die Komponenten Rebaudiosid C, D, E sowie Dulcosid A und B aus den *Stevia*-Blättern präparativ isoliert und identifiziert. Es stellte sich heraus, dass es sich bei Dulcosid B und Rebaudiosid C um identische Verbindungen handelt. Durch alkalische Hydrolyse wird die Ester Verbindung an C-19 gespalten, aus dem Steviosid entsteht, unter Abspaltung von Glucose, Steviolbiosid, aus Rebaudiosid A das Rebaudiosid B.

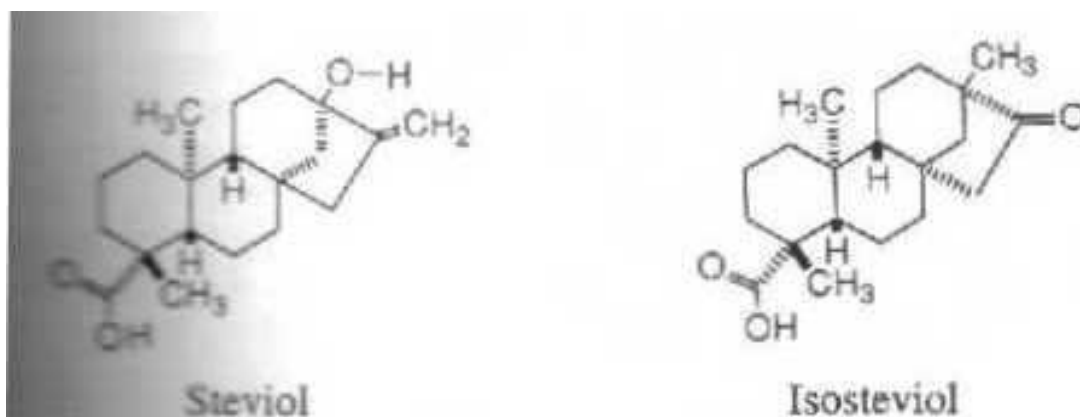
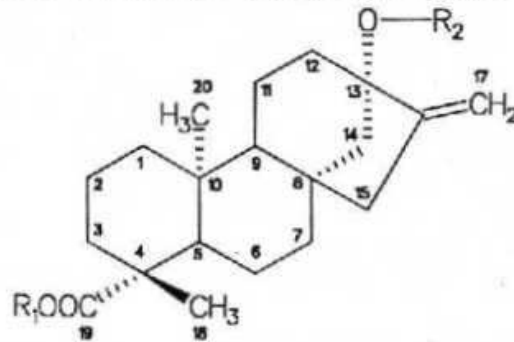


ABB. 2-1: Aus den Blättern von *Stevia rebaudiana* isolierte Diterpenglycoside deren Abbauprodukte nach alkalischer Hydrolyse (Crammer/Ikan, 1987)



Diterpenglycosid	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	Molmasse
Steviolbiosid	H	glc <sup>2</sup> — <sup>1</sup> glc	643
Steviosid	glc	glc <sup>2</sup> — <sup>1</sup> glc	805
Rebaudiosid A	glc	glc <sup>3</sup> — <sup>1</sup> glc <sup>1</sup> glc	967
Rebaudiosid B	H	glc <sup>3</sup> — <sup>1</sup> glc <sup>1</sup> glc	805
Rebaudiosid C	glc	glc <sup>3</sup> — <sup>1</sup> rham <sup>1</sup> glc	951
Rebaudiosid D	glc <sup>2</sup> — <sup>1</sup> glc	glc <sup>3</sup> — <sup>1</sup> glc <sup>1</sup> glc	1129
Rebaudiosid E	glc <sup>3</sup> — <sup>1</sup> glc	glc <sup>2</sup> — <sup>1</sup> glc	967
Dulcosid A	glc	glc <sup>2</sup> — <sup>1</sup> rham	789

glc: β-D-glycopyranosyl; rham: α-L-rhamnopyranosyl

Der **Anteil des Steviosids** an der Trockensubstanz der Blätter variiert zwischen 4,5 und 8,4%, Rebaudiosid A ist zu 1,5 – 4,2% enthalten. Der **Anteil von Rebaudiosid C** beträgt ungefähr 0,9 – 2,1% und der von Dulcosin A ist mit 0,4 bis 0,7% angegeben. Der Gehalt der anderen Diterpenglycoside lag in den Untersuchungen unterhalb der Nachweisgrenze.

Durch Untersuchungen von gentechnologisch differenzierten Stevia-Kallus-Kulturen wurde geschlossen, dass die **Synthese der Diterpenglycoside im Blatt** erfolgt und nicht in den Wurzeln stattfindet. Eine Studie von Swanson zeigte ebenfalls, dass die **Biosynthese** von Steviosid von der Differenzierung des Zellgewebes abhängt. Dieser Autor schloss, dass zur Biosynthese von Steviol Wurzeln und Blätter der Stevia-Pflanze erforderlich sind, wogegen die Glycosilierung des Steviols in allen Differenzierungsstadien des Zellgewebes der Stevia-Pflanze erfolgt.

Bei Untersuchungen von 110 Blattproben verschiedener Spezies der Gattung Stevia - dieses entspricht rund 50% aller bekannten Stevia-Spezies - konnte außer in Stevia rebaudiana nur in Stevia phlebophylla der Süßstoff Steviosid nachgewiesen werden, Rebaudiosid A und C waren ausschließlich in Stevia rebaudiana detektierbar. Die Probe von Stevia phlebophylla wurde allerdings in Mexiko im Jahre 1889 gesammelt, die Spezies gilt inzwischen als ausgestorben. Brücher fand 1974 eine andere süß schmeckende Stevia-Spezies (Stevia artistata) in Paraguay, führte aber keine Analysen dieser Probe durch.

#### 4.2.1. Andere Inhaltsstoffe der Stevia-Blätter

Neben den Steviolglycosiden wurden in den Blättern andere Inhaltsstoffe wie eine Gruppe Diterpenoide, die Sterebine A, B, C, D, E, F, G, H in Spuren nachgewiesen. Weiterhin konnte die Flavonoidglycoside Apigenin-4-O-Glycosid, Luteolin-7-Glycosid, Kaempferol-3-O-Rhamnosid, Quercitrin, Quercetin-3-O-Glycosid, Quercetin-3-O-Arabinosid, die insgesamt 0,3% der Blatt-Trockensubstanz ausmachten, und ein methoxyliertes Flavon, das Centaureidin, in Spuren aus den Stevia-Blättern isoliert werden. Ebenfalls in Spuren enthalten sind Rutin, welches in einer Stevia-Kultur nachgewiesen wurde, sowie Labdanditerpene, Sterole und flüchtige Öle, von denen 31 identifiziert werden konnten.

#### 4.2.2. Eigenschaften der Diterpenglycoside

Die **Intensitäten** des süßen Geschmacks der wässrig gelösten Diterpenglycoside aus *Stevia rebaudiana* steigen, wie diejenigen von anderen Süßstoffen, nicht linear mit der Erhöhung der Konzentration. Die Süßkraft der Diterpenglycoside sinkt mit der Steigerung der Konzentration. Angaben zur Süßkraft der Diterpenglycoside findet man in Zusammenstellungen von Crammer und Ikan sowie Phillips.

TAB. 2-2: Süßkraft der Diterpenglycoside aus *Stevia rebaudiana* (Crammer/Ikan 1987; Phillips, 1987)

Diterpenglycosid	Süßkraft [%] <sup>1</sup>	Äquivalente Saccharosekonzentration [%]											
		0,7	2,0	3,5	4,0	4,5	5,5	6,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
Steviosid	150-300		240	143	150				149			89-	100-
Rebaudiosid A	250-450		288					166-	149		85		133
Rebaudiosid D	250-450						221			163		89	
Rebaudiosid E	150-300					174		125			85		
Dulcosid A	50-120	54											
Rebaudiosid C (Dulcosid B)	50-120	54											
Rebaudiosid B	300-350												
Steviolbiosid	100-125												

<sup>1</sup> Crammer/Ikan (1987), ohne Angabe der äquivalenten Saccharosekonzentrationen  
<sup>2</sup> Phillips (1987), mit Angabe der äquivalenten Saccharosekonzentrationen

Wichtig für den süßen Geschmack der Stevia-Diterpenglycoside ist die Doppelbindung zwischen C16 und C17 (siehe Abbildung oben), wie eine Untersuchung verschiedener chemisch hergestellter Derivate der Diterpenglycoside zeigte.

Der Geschmack der Stevia-Süßstoffe ist **abhängig von deren Reinheit**, aber auch von Variablen der Temperatur, pH-Wert und der Präsenz anderer Inhaltsstoffe. Es tritt ein Neben- oder Nachgeschmack auf, das als bitter oder mentholartig beschrei-

ben wird. Eine exakte **sensorische Beurteilung** versuchte Du Bois. Eine Gruppe von 12 Personen ordnete in ihren Untersuchungen verschiedenen Süßstoffen, darunter auch Steviosid und Rebaudiosid A, die Attribute süß/sauer/salzig/bitter anders zu, wobei die Bewertungsskala bei jedem Attribut von 0-100% reichte. Die untersuchten Substanzen waren nach Angaben der Autoren reiner als 95%. Die eingestellte Süßintensität entsprach jeweils einer 10%igen Saccharoselösung in Wasser.

Substanz	sauer/salzig	süß	bitter	anders
Steviosid	0/0	62	30	8
Rebaudiosid A	0/0	85	12	3
Saccharose	0/0	100	0	0
Saccharin (Na)	0/0	85	12	3
Acesulfam (K)	0/0	83	16	1
Cyclamat (Na)	0/0	94	2	4
Aspartam	0/0	100	0	0
Neohesperidin-dihydrochalcon	0/0	81	3	16
Monoammonium-glycyrrhizinat	0/0	84	3	13

Die **Löslichkeit von Steviosid in Wasser** bei Raumtemperatur beträgt 0,12%. Die höher glycosylierten Diterpenglycoside wie Rebaudiosid A sind besser wasserlöslich als das Steviosid.

Chang und Cook überprüften die Stabilität von Steviosid und Rebaudiosid A im sauren pH-Bereich. In einer durch Zitronensäure gepufferten Lösung mit einem pH-Wert von 2,6 waren nach 13 Stunden bei 100°C 68% des Steviosids und 76% des Rebaudiosid A hydrolysiert. In einer durch Phosphorsäure auf pH 2,4 gepufferten Lösung verlief der Abbau der Diterpenglycoside bei gleicher Temperatur etwas schneller. In auf 100°C temperierten neutralen Lösung hydrolysierten in 48 Stunden 32-34% des Steviosids und des Rebaudiosids A.

		Neutrale Lösungen			
Zeit [h]	Steviosid [%]		Rebaudiosid A [%]		
	0	100	100	100	100
12	83,7	-	-	-	
22	79,4	-	88,6	-	
48	66,0	-	68,5	-	
65	38,2	-	-	-	
		Saure Lösungen			
Zeit [h]	(1)		(2)		
	Steviosid [%]	Steviosid [%]	Rebaudiosid A [%]	Rebaudiosid A [%]	
0	100	100	100	100	
4	46,2	54,0	56,8	59,8	
10	21,9	29,9	19,3	32,2	
13	13,7	32,2	13,2	24,1	

(1) Phosphorsäurepuffer (pH 2,6)

(2) Citronensäurepuffer (pH 2,4)

Während einer Langzeitlagerung im sauren Milieu, in den gleichen Pufferlösungen wie oben, war die Lagerungstemperatur ausschlaggebend für die Glycosidverluste. Bei Raumtemperatur konnten auch nach 4 monatiger Lagerung keine Verluste festgestellt werden, wogegen bei 37°C nach 2 Monaten je etwa 19% Steviosid und Rebaudiosid A zu Glucose, Isosteviol, Steviolbiosid, Rebaudiosid B und einigen nicht identifizierten Substanzen abgebaut wurden.

Eine Reaktion von Steviosid mit Nahrungsmittelinhaltsstoffen konnte bisher nicht beobachtet werden, so verursacht das Steviosid auch keine Bräunungen von Lebensmitteln beim Erhitzen.

#### 4.2.3. *Physiologie und Toxikologie*

Nach einer Studie von Phillips im Jahr 1987 wurden selbst bei der Verfütterung von bis zu 8 g/kg Körpergewicht Steviosid an Ratten und Mäuse keine akute **Toxizität** festgestellt. Der kritische Wert liegt also zumindest höher als 8 g Steviosid/kg Körpergewicht; eine Menge, die beim Verzehr durch einen Menschen bei weitem nicht erreicht würde. In Untersuchungen an Ratten wurde ebenfalls keine subchronische Toxizität von Steviosid bzw. verschieden stark gereinigten Stevia-Extrakten gefunden. In einer zweijährigen Langzeitstudie mit männlichen und weiblichen Ratten konnte bei einer Gabe von bis zu 0,55 g Stevia Extrakt (75% Steviosid, 16% Rebaudiosid A)/kg Körpergewicht/Tag keine chronische Toxizität festgestellt werden.

Wingard zeigte 1980, dass das Steviosid in vitro in einer Zellsuspension von Bakterien aus dem Blinddarm der Ratte in 2 Tagen, das Rebaudiosid A in 6 Tagen, komplett zu Steviol hydrolysiert wird. Weiterhin fanden sie bei den Versuchen in vivo mit <sup>14</sup>C-markiertem Steviol, dass dieses im unteren Teil des Darms der Ratte nahezu vollständig absorbiert wird. Nakayama konnte bei Versuchen (1986) in vivo mit <sup>3</sup>H-markiertem Steviosid bestätigen, dass im Blinddarm der Ratte ein Abbau von Steviosid zu Steviol und Glucose stattfindet, das Steviol anschließend vor allem über den Kot ausgeschieden wird. Gemessene Radioaktivität in der Atemluft wurde auf Abbauprodukte der vom Steviosid abgespaltenen Glucose zurückgeführt. Es wurde allerdings **keine cancerogene Wirkung** der Stevia-Süßstoffe bei Tier oder Mensch beobachtet.

Weil man die Stevia-Süßstoffe wegen ihrer hohen Süßkraft in kleinen Konzentrationen im Lebensmittel einsetzt und diese von der mikrobiellen Flora im Mund nach bisherigen Kenntnisstand nicht abgebaut werden können, besitzen sie **keinen kariogenen Effekt**. Bei Untersuchungen an Ratten fand man kein kariogenes Verhalten von Steviosid und Rebaudiosid A. Dem Steviosid werden sogar **antikariogene Effekte** zugeschrieben. Das Wachstum von Streptococcus mutans wurde deutlich, das von Lactobacillus plantarum mäßig und das von Lactobacillus casei völlig bei Zugabe von 0,5% Steviosid zum Nährmedium gehemmt. So hohe Konzentrationen werden allerdings beim Konsum der Diterpenglycoside als Süßungsmittel durch den Menschen in der Mundhöhle nicht erreicht.

Melis konnte 1991 durch die intravenöse Infusion von 16 mg Steviosid/kg Körpergewicht/h bei der Ratte gefäßerweiternde und damit **blutdrucksenkende Eigenschaften**

ten von Steviosid nachweisen, ebenso wurde die Nierentätigkeit und damit der Harnfluss sowie die Ausscheidung von Natrium und Kalium im Harn erhöht.

Stevia-Diterpenglycoside **eignen sich für Diabetiker**, weil sie aufgrund ihrer hohen Süßkraft nur in sehr geringen Mengen konsumiert werden, deshalb entstehen selbst bei einem Abbau im Körper, bei dem Glucose freigesetzt würde, keine für Diabetiker gefährliche Mengen dieses Monosaccharids.

Lebensmittelrechtlich zugelassen wurden Stevia-Produkte als Süßstoffe in Japan, Brasilien, Paraguay, Süd-Korea, Indonesien und der Volksrepublik China. In Südkorea gilt die Einschränkung, dass nur Steviosid mit einer Reinheit >98% verwendet werden darf. In Paraguay und der Volksrepublik China sind Stevia-Produkte auch zu anderen Zwecken, beispielsweise als Appetitanreger und als Teezubereitung mit pharmazeutischen Wirkungen, zugelassen.

### 4.3. Herstellungsverfahren für Süßstoffe aus *Stevia rebaudiana*

#### 4.3.1. Extraktion

Der häufigst beschriebenen Vorgehensweise zur Extraktion der **Stevia-Blätter** wird das Rohmaterial mit heißem Wasser durch Digestion extrahiert. Für die Extraktion kommen Temperaturen von 20-80°C, bei einem Massenverhältnis von H<sub>2</sub>O/getrocknete Blätter = 6-8/1, zur Anwendung. Die Miscella wird anschließend durch Filtration vom Blatt-Rückstand getrennt. In einigen Patentschriften wird Ethanol als Extraktionsmittel empfohlen.

	Extraktionsmittel	Temperatur [°C]	Massenverhältnis H <sub>2</sub> O/getrocknetes Blatt
Asano et al. (1975)	Wasser	50	8/1
Giovanetto (1989)	Wasser	20-65	keine Angaben
De Cemedas/Pryluka (1985)	Wasser	20	6/1
Li (1984)	Wasser	80	6/1
Research... (1982)	Ethanol	keine Angaben	keine Angaben
Kashiro (1980)	Ethanol	70	7,8/1

#### 4.3.2. Reinigung der Rohextrakte mit anorganischen Salzen

Zur Entfernung von **Pigmenten** und anderen **Unreinheiten** aus den wässrigen Stevia-Extrakten ist die Fällung dieser Verunreinigungen durch Zugabe von Calciumhydroxid und Kohlendioxid eine gebräuchliche Methode. Fuh und Chiang (1990) verglichen verschiedene Reinigungsprozeduren, die alle bei **Raumtemperatur** durchgeführt wurden. Sie erreichten bei einer Behandlung der Extrakte mit 75% Aluminiumchlorid, bezogen auf die Blatttrockensubstanz, die zur Herstellung des wässrigen Extraktes eingesetzt wurde, und Neutralisation mit Calciumhydroxid, eine gute **Entfärbung**, wobei allerdings 22% des Steviosids verloren gingen. Ebenfalls eine gute Entfärbung, bei Verlusten von 28% Steviosids, erzielten sie durch die Behandlung mit

75% Eisen-2-Sulfat, bezogen auf die Blatttrockensubstanz, und Neutralisation mit Natronlauge. Nach Behandlung des Extraktes mit Calciumhydroxid bis zur Sättigung der Lösung und Neutralisation mit  $\text{CO}_2$  lag die Entfärbung zwar nur bei 70%, dafür war die Wiederfindung von Steviosid mit 87% wesentlich besser. Außerdem waren die erzielten Gehalte an Diterpenglycosiden in der Extrakt-Trockensubstanz mit 28% ( Steviosid und Rebaudiosid A) nach der  $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-CO}_2$ -Behandlung wesentlich höher, als nach der Reinigung mit den beiden anderen Salzen; dort wurden nur Gehalte an Diterpenglycosiden von 9-11% der Extraktrockensubstanz erzielt.

Weiterhin als Fällungsmittel vorgeschlagen wurden Calciumorthophosphat, Bariumhydroxid, Bariumacetat, Bariumsulfat sowie Calciumhydroxid in Kombination mit Eisensulfat.

#### 4.3.3. Weitere Verfahren zur Reinigung der Extrakte

Um die Extrakte zu entfärben bzw. weiter zu reinigen, kann mit Wasserstoffperoxid behandelt, eine **Elektrolyse** oder eine **Ultrafiltration** durchgeführt werden. Zur Abtrennung von Verunreinigungen werden weiterhin Ether, Organchlorverbindungen und Kohlenwasserstoffe wie Hexan eingesetzt, wobei diese Lösungsmittel meist zur Entfernung von Verunreinigungen wie Chlorophyll aus alkoholischen Extrakten der Stevia-Blätter verwendet werden. Mit C4-C8-Alkoholen sind die Diterpenglycoside aus wässriger Lösung extrahierbar.

Die häufigste beschriebene Methode die Stevia-Extrakte zu reinigen, ist die Anwendung von **kationischen und anionischen Ionenaustauscherharzen**, bei der mit Verlusten von 20-25% der Diterpenglycosiden gerechnet werden muss.

Eine Möglichkeit, die Extrakte zu entfärben, ist die Anwendung von **Aktivkohle**, wobei die Behandlung als letzte Reinigung vor der Fällung oder Kristallisation durchgeführt wird. Die Aktivkohle hat allerdings auch gegenüber dem Steviosid adsorptive Eigenschaften. Mizufune (1987) adsorbierte das Steviosid aus einem wässrigen, durch  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Kohlendioxid-Behandlung gereinigten Extrakt an Aktivkohle zur Entfärbung und eluierte das Steviosid anschließend mit Methanol. Wird Aktivkohle zur Entfärbung von wässrigen Stevia-Extrakten eingesetzt, sind also Glycosidverluste zu erwarten. Andere Adsorptionsmittel, die zur Reinigung von Stevia-Extrakten verwendet wurden sind **synthetische makroporöse Harze**. Ionenaustauscherharze und Aktivkohle werden meist nach der Behandlung des Rohextraktes mit anorganischen Salzen eingesetzt.

#### 4.3.4 Isolierung der Diterpenglycoside

Die abschließende **Isolierung** des Steviosids und der anderen Diterpenglycoside, wird im Labormaßstab nach der chromatographischen Trennung der einzelnen Komponenten an präparativen Kieselgel-Säulen mit Chloroform/Methanol/Wasser-Eluenten sowie mehrfachen Umkristallisieren der Fraktionen mit C1-C3-Alkoholen, oder deren Mischungen mit Wasser, erreicht.

Zur Isolierung im technischen Maßstab wird die **Kristallisation** von Steviosid nach dem Trocknen der gereinigten Extrakte durch die Wiederaufnahme mit Methanol ausgelöst oder es wird durch **Ausfällen** des Steviosids mit Methanol eine Isolierung aus der wässrigen Lösung erreicht. Auf diese Weise kann das Steviosid bereits aus Extrakten gewonnen werden, die nicht mit aufwendigen chromatographischen Techniken aufgearbeitet wurden. Die Kristallisation aus ethanolischer Lösung ist seltener beschreiben. Möglichkeiten zur Isolierung der anderen Diterpenglycoside aus den Stevia-Blättern, ohne Anwendung chromatographischer Verfahren, wurden bisher nicht beschrieben.

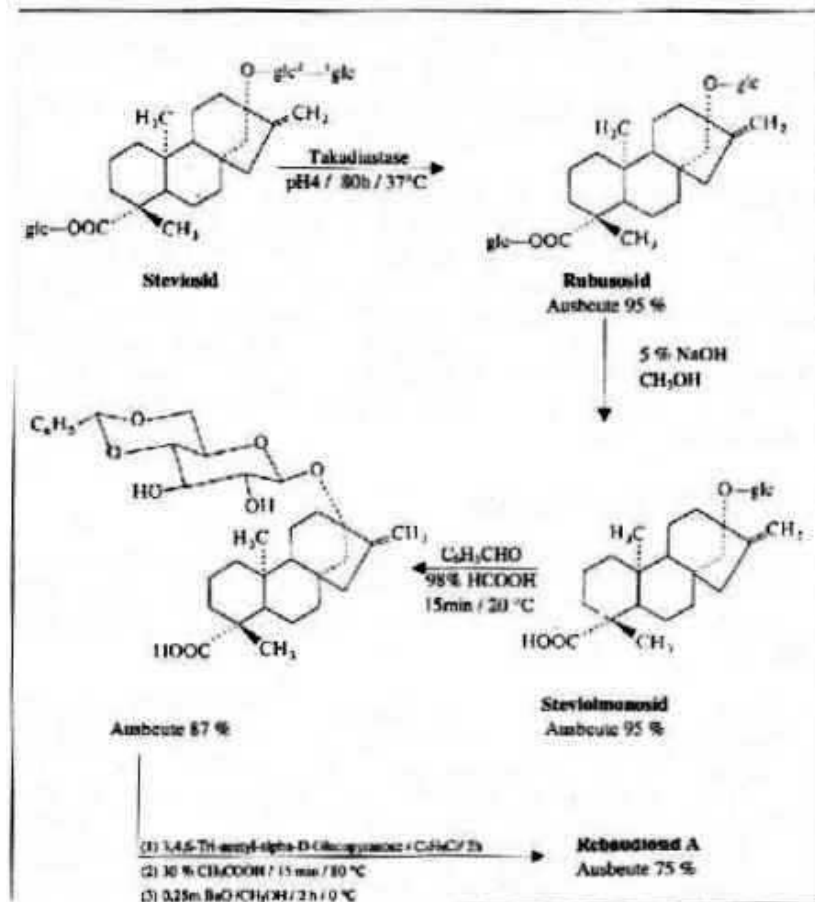
#### 4.3.5. Gewinnung von Rebaudiosid A

Da das Rebaudiosid A bessere geschmackliche Eigenschaften als das Steviosid aufweisen soll, wurde versucht, dieses Glycosid in reiner Form zu gewinnen oder Stevia-Produkte herzustellen, die einen erhöhten Anteil dieses Glycosids enthalten.

Rebaudiosid A kann nach der **Chromatographie** von Stevia-Extrakten an einer Kieselgelkolonne mit einem Propanol/Wasser/Ethylacetat Eluenten und Umkristallisation der entsprechenden Fraktionen aus wässrigen Amylalkohol gewonnen werden. Die Ausbeute bei diesem Prozess liegt allerdings bei nur 0,5% Rebaudiosid A, bezogen auf die Blatttrockensubstanz. Kohda erzielte 1976 bei der Chromatographie über Kieselgel mit Chloroform/Methanol/Wasser eine Ausbeute an Rebaudiosid A von 1,4%, bezogen auf die Blatttrockensubstanz. Da das Steviosid bis zu 8,4% der Blatttrockensubstanz ausmacht und wesentlich leichter zu isolieren ist, wurde in Japan eine **enzymatisch-chemische Methode** für die Umwandlung von Steviosid zu Rebaudiosid A entwickelt. Die Umwandlung beruht auf einer durch Takadiastase (kann aus *Aspergillus oryzae* gewonnen werden) **katalysierten, enzymatischen Hydrolyse** des Steviosids zu Rubusosid, welches dann chemisch in 3 Schritten in Rebaudiosid A übergeführt wird. Dieses Verfahren erfordert jedoch einem sehr großen technischen Aufwand.



Schimmelpilz: *Aspergillus oryzae*



(Enzymatisch-chemische Umwandlung von Steviosid in Rebaudiosid in Rebaudiosid A)

Es existieren bereits **gezüchtete Stämme** von *Stevia rebaudiana*, die bis zu 2,5mal mehr Rebaudiosid A als Steviosid enthalten. Verschiedene Unternehmen ließen solche Züchtungen patentieren. Bei einem so hohen Gehalt müsste das Rebaudiosid auf die gleiche Weise isolierbar sein, wie das aus den Extrakten konventioneller Pflanzen gewonnene Steviosid. In der Literatur finden sich aber keine Hinweise darauf, dass solche Stämme bereits im größeren Maßstab für die Produktion von Stevia-Süßstoffen angebaut werden.

#### 4.3.6. Synthetische Analoge der Diterpenglycoside

Außer der Umwandlung von Steviosid in Rebaudiosid A wurden andere **Modifikationen** der Diterpenglycoside aus *Stevia rebaudiana* empfohlen, um beispielsweise den Geschmack der Süßstoffe zu verbessern.

Du Bois (1981,1985) stellte mittels Substitution der 19\_O-Glycosylgruppe des Steviolosids bzw. des Rebaudiosids A durch eine Natriumsulfopropylester-Gruppe Derivate her, die mit der Methode nach Wingard von der Mikroflora aus dem Blinddarm der Ratte in vitro nicht zu Steviol abbaubar sind. Der Geschmack beider Derivate war weniger bitter als der von Rebaudiosid A, wobei der Sulfopropylester des Rebaudiosids A geschmacklich mit Aspartam vergleichbar sein soll.

Es wurde festgestellt, dass aus Steviosid durch eine Verlängerung der 13-O-Sophorosylgruppe mit mehreren Glycosylgruppen süßere und geschmacklich verbesserte Produkte hergestellt werden können, wogegen eine Erhöhung der Anzahl der Glycosylgruppen an C19 einen schlechteren Geschmack bewirkt. Mit löslicher Stärke als Donor, katalysiert durch Cyclodextringlycosyltransferase aus *Bacillus steaerothermophilus*, kann die 13-O-Sophorosylgruppe alpha-1-4-glycolisiert werden. Ersetzt man die 19-O-Glycosylgruppe des Steviosids vor der enzymatischen Behandlung durch D-Galactose, wird eine Glycosylierung an dieser Stelle verhindert. Der Geschmack der anschließend chromatographisch getrennten Reaktionsprodukte, wurde sensorisch beurteilt. Produkte mit drei oder vier Glycosylgruppen an C13 hatten gegenüber Rebaudiosid A eine intensivere und qualitativ verbesserte Süße, während Produkte mit fünf oder sechs Glycosylgruppen weniger süß als das Steviosid waren. Die zur Herstellung verwendete aufwendige Methodik und der Einsatz problematischer Chemikalien wie Dichlorethan und  $\text{Ag}_2\text{CO}_3$ -Celite ist für die Zulassung solcher Süßstoffe bzw. deren wirtschaftliche Herstellung allerdings wenig geeignet.

Falls die Diterpenglycoside auf die beschriebene Weise verändert werden, hat dies den Nachteil, dass bei den daraus hergestellten Süßstoffen nicht mehr von „Naturprodukten“ gesprochen werden kann. Gerade dies ist aber eine Marktlücke, die aus *Stevia rebaudiana* gewonnen Süßstoffe füllen können.

#### 4.3.7. Handelsformen der Stevia-Süßstoffe und deren Derivate

In Japan sind unterschiedliche Handelsformen der Stevia-Süßstoffe auf dem Markt. Neben Rohextrakten werden verschieden stark gereinigte Extrakte eingesetzt. Kalorienreduzierte Cola-Produkte werden mit Mischungen aus Steviosid und Fructose bzw. mit enzymatisch modifizierten Stevia-Süßstoffen gesüßt. Süßungsmittel wie **Marumilon 50** der Maruzen Pharmaceutical Company, welches gleiche Teile Steviosid und an Rebaudiosiden enthalten soll, lassen vermuten, dass dort Stevia Stämme zur Herstellung dieser Süßstoffe verwendet wurden, die erhöhte Gehalte an Rebaudiosiden aufweisen oder dass Teile des Steviosids mit Verfahren in Rebaudiosid A umgewandelt wurden. Eine Mischung von Marumilon 50 mit Glycerhizin, welche als Marumilon A vermarktet wird, soll die bittere Geschmackskomponente, welche häufig mit Stevia-Produkten in Verbindung gebracht wird, nicht aufweisen.

Wegen der guten Stabilität von Steviosid und Rebaudiosid A im sauren Milieu bei Raumtemperatur, werden die Diterpenglycoside oft in alkoholfreien Erfrischungsgetränken eingesetzt. Ein anderes Einsatzgebiet der Süßstoffe aus *Stevia rebaudiana* sind typisch japanische Zubereitungen. Dazu zählen stark gesalzene Speisen mit niedrigem pH-Wert wie verschiedene Pickles und Sojasoße sowie gekochte, zerkleinerte, fermentierte Fischprodukte. Die Diterpenglycoside aus *Stevia rebaudiana* sind für diese Anwendungen die idealen Süßungsmittel, da sie den salzigen Geschmack mildern. Ein weiterer Vorteil der Diterpenglycoside besteht darin, dass sie von der mikrobiellen Flora in Lebensmitteln nicht fermentiert werden können und so der Geschmack von fermentierten Produkten nach dem Süßen nicht verändert wird. Zudem steigt bei einer Salzkonzentration von 5% die Süßkraft der Diterpenglycoside um den Faktor 2-3.

Anwendung von Steviosid in Japan im Jahr 1988:

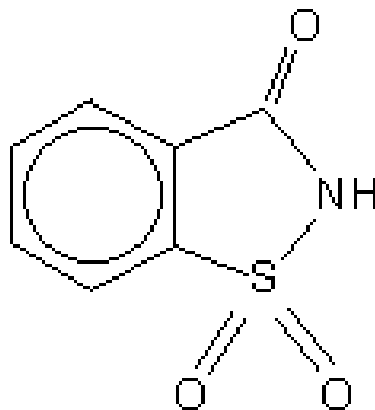
	Tonnen Süßstoff
<b>Stark salzhaltige Lebensmittel</b>	66
<b>Getränke</b>	50
<b>Verarbeitete Meeresfrüchte</b>	30
<b>Delikatessen</b>	20
<b>Tafelsüße</b>	14
<b>Andere</b>	20

## 5. Verschiedene synthetische Süßstoffe

### 5.1. Saccharin

Saccharin ist der generische Name für 1, 2, Benzisothiazol-3(2H)-on-1, 1-dioxid (o-Benzoesäuresulfimid).

Saccharin ist der älteste der verwendeten Süßstoffe. Es wurde 1878 von Fahlberg und Remsen gefunden und wird seit 1884 produziert.

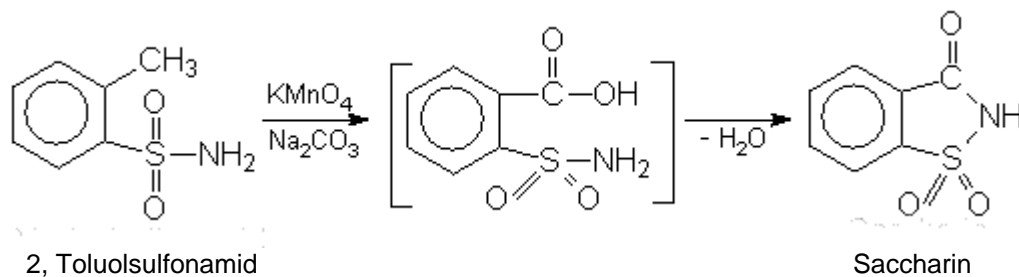
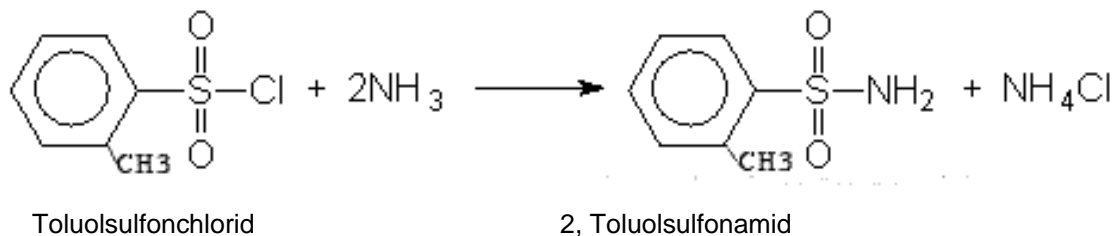
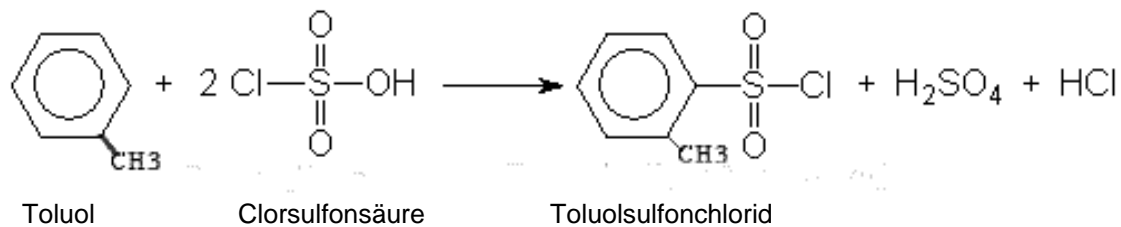


Saccharin

Die Summenformel von Saccharin ist  $\text{C}_7\text{H}_5\text{NO}_3\text{S}$ , die Molmasse 183,2.

### 5.1.1. Herstellung

Handelsübliches Saccharin wird überwiegend durch **Sulfochlorierung von Toluol**, Überführung des o-Sulfochlorids in das Sulfamid und Oxidation zur o-Sulfamidbenzoesäure hergestellt, die unter Wasserabspaltung in Saccharin übergeht.



Ein zweites Verfahren geht von Phthalsäureanhydrid oder Anthranilsäuremethylester aus, die in mehreren Schritten in p-Sulfamidbenzoesäuremethylester überführt werden, aus dem nach Verseifung Saccharin erhalten wird.

### 5.1.2. Spezielle Reinheitsanforderungen

Über die allgemeinen Reinheitsanforderungen hinaus gelten für Saccharin folgende spezielle Reinheitsanforderungen:

Gehalt:	mind. 98% in der Trockensubstanz
Trocknungsverlust des Saccharins:	max. 1%
Trocknungsverluste der Saccharin-Salze:	max. 15%
Schmelzbereich des Saccharins:	225-230°C
p-Toluolsulfonamidgehalt:	max. 10mg/kg
o-Toluolsulfonamidgehalt:	max. 10mg/kg
Selengehalt:	max. 30mg/kg
Aussehen:	weißes Kristallpulver

### 5.1.3. Chemische und physikalische Eigenschaften

Bei Raumtemperatur ist das freie Saccharin mit ca. 3 g in 1l Wasser nur wenig löslich. In heißen Wasser steigt die Löslichkeit an. In 1l Ethanol könnten ca. 30 g Saccharin gelöst werden. Wässrige Lösungen des Saccharins reagieren sauer.

Die **Löslichkeit** in 1l Wasser für Saccharinnatrium liegt bei Raumtemperatur bei ca. 650g, für Saccharincalcium bei ca. 400g. In organischen Lösungsmitteln lösen sich die Salze weniger gut.

Der **Schmelzpunkt** von reinem Saccharin liegt bei 228-230°C. Die Salze zersetzen sich ohne zu schmelzen.

Saccharin ist in wässrigen Lösungen gut **hydrolysestabil**. Bei den in der Lebensmittelverarbeitung üblichen Erhitzungsverfahren wie nach längeren Lagerzeiten tritt in der Regel kein Rückgang der Süße ein. Gegenüber von Inhaltsstoffen von Lebensmitteln verhält sich Saccharin inert.

**Mischungen** mit anderen Süßstoffen wie Cyclamat, Thaumatin oder Acesulfam verfolgen den Zweck, die Nachteile der verschiedenen Süßstoffe gegenseitig auszubalancieren. Eine Mischung von Cyclamat und Saccharin im Verhältnis von 10:1 ist in Ländern, in denen beide Süßstoffe legal sind, üblich - hier verdecken beide Stoffe gegenseitig ihren (unangenehmen) Nachgeschmack.

Saccharin verursacht **kein Karies**. Saccharin ist **farblos**. Es wird vom menschlichen Körper schnell aufgenommen und unverändert mit dem Urin wieder ausgeschieden (innerhalb von 24 Stunden sind 90 % wieder eliminiert). Die **Energie** des Saccharins wird vom menschlichen Organismus so gut wie nicht aufgenommen und ist daher, wie alle Süßstoffe, auch für Diabetiker verträglich.

### 5.1.4. Geschmackliche Eigenschaften

In der Regel wird angegeben, dass Saccharin etwa 550fach und Saccharinnatrium etwa 450fach süßer als Zucker ist. In einer vergleichenden Untersuchung mit verschiedenen Süßungsmitteln wurden in Wasser folgende Werte ermittelt:

Saccharoselösung (g/l)	Süßkraft von Saccharinnatrium (xfach Saccharose)
9,9	707
18,8	664
28,8	606
40,1	522
49,7	428

Dem Saccharin wird bereits bei praxisüblichen Konzentrationen ein **Beigeschmack** zugeschrieben, dessen Stärke bei gleicher Konzentration von Lebensmittel zu Lebensmittel allerdings variieren kann. Dieser Beigeschmack wird in der Regel als **bitter** bis **metallisch** charakterisiert. In Mischungen mit anderen Süßstoffen, beispielsweise mit Cyclamat, gelingt es, den Beigeschmack je nach Konzentration weitgehend zu eliminieren oder erheblich abzumildern.

Die Süße von Saccharin setzt ohne größere Verzögerungen ein und ist bei den aus geschmacklicher Sicht vertretbaren Konzentrationen nicht sehr nachhaltig.

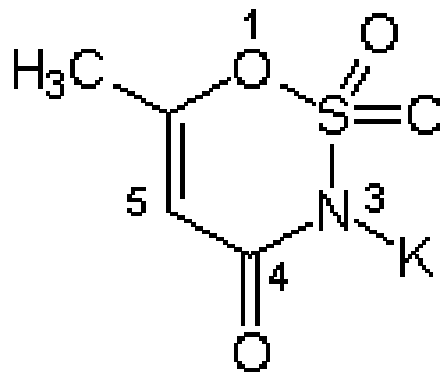
In Mischungen mit Aspartam und Cyclamat zeigt Saccharin **ausgeprägte synergistische Effekte**, die in schwächerer Form auch in Mischungen mit Zuckeralkoholen und süß schmeckenden Kohlenhydraten auftreten.

### 5.1.5. Anwendungsgebiete

Saccharin ist grundsätzlich für **alle Anwendungsgebiete** von Süßstoffen geeignet. Aus geschmacklichen Gründen wird meist aber Mischungen mit anderen Süßstoffen, beispielsweise Cyclamat oder Aspartam, der Vorzug vor der Verwendung des reinen Saccharins gegeben. Für wasserhaltige Lebensmittel wird in der Regel Saccharinnatrium eingesetzt. Das freie Saccharin hat Bedeutung in den Fällen, in denen das mit dem Kristallwasser des Saccharinnatriums eingebrachte Wasser stören könnte und die Säuerungswirkung günstig ist, beispielsweise bei brausenden Süßstofftabletten, in denen es aus Kohlensäureträgern CO<sub>2</sub> freisetzen kann.

## 5.2. Acesulfam

Der generische Name für Acesulfam ist 6-Methyl-3,4-dihydro-1,2,3-oxathiazin-4-on-2,2-dioxid. Angeboten wird ausschließlich das Kaliumsalz, Acesulfam-K. Der Süßgeschmack der Oxathiazinondioxid-Süßstoffe wurde 1967 von Clauss und Jensen entdeckt.



Acesulfam-K

Die Summenformel von Acesulfam-K ist  $\text{C}_4\text{H}_4\text{KNO}_4\text{S}$ , die Molmasse 201,2 g/mol

### 5.2.1. Herstellung

1973 berichteten Clauss und Jensen über die Eigenschaften von Oxathiazinondioxiden, einer neuen Gruppe Süßstoffen. Sie synthetisierten diese Verbindungen zuerst ausgehend von 2-Butin und Fluorsulfonylisocyanat mit anschließender Hydrolyse und Salzbildung.

Sobald der Süßgeschmack dieser Stoffklasse bekannt war, versuchten die Autoren, den Syntheseweg auf **nichttoxische Ausgangsverbindungen** umzustellen, um damit sichere, unbedenkliche Verbindungen zu synthetisieren. Schließlich wurde die Umsetzung von beta-Dicarbonylverbindungen mit Chlorsulfonylisocyanat als die bestgeeignete gefunden.

Eine andere Methode geht von den Ausgangsmaterialien oder Zwischenprodukten der Herstellung von Acesulfam-K, den Acetessigsäurederivaten aus. Der Ringschluss zum Dihydrooxathiazinondioxidring lässt sich ausgehend von Acetoacetamid-N-sulfofluorid in Gegenwart von Alkalien oder von Acetoacetamid-N-sulfonsäure in Gegenwart wasserabspaltender Mittel erreichen.

### 5.2.2. Spezielle Reinheitsanforderungen

Gehalt:	mind. 99% in der Trockensubstanz
pH-Wert in 1%iger wässriger Lösung	6,5-7,5
Trocknungsverlust	max. 1%
Fluorgehalt	max. 30mg/kg
Selengehalt:	max. 30mg/kg
Aussehen:	weißes Kristallpulver

### 5.2.3. Chemische und physikalische Eigenschaften

Acesulfam-K ist gut **wasserlöslich**. Bei Raumtemperatur lösen sich in 1l Wasser ca. 270 g. Die Löslichkeit steigt bis zum Siedepunkt des Wassers bis auf über 1300 g/l Wasser an. In Ethanol ist die Löslichkeit mit ca. 1 g/l gering. Sie steigt in Ethanol-Wasser-Mischungen mit steigendem Wassergehalt stark an.

Acesulfam-K hat **keinen definierten Schmelzpunkt**. Für schnelles Erhitzen wird ein Zersetzungspunkt von ca. 225°C angegeben.

Acesulfam-K zeichnet sich durch **gute Hydrolysestabilität** aus. In Getränken ist es **geschmacksstabil**. Auch in anderen Lebensmitteln übersteht es normale Lagerzeiten und -bedingungen, ohne dass Süßverluste erkennbar werden. Acesulfam-K kann auch bei Produkten verwendet werden, die im Verlauf der Verarbeitung erwärmt werden. Es ist **backstabil** und übersteht die üblichen Pasteurisations- und Sterilisationsverfahren sowie eine UHT-Behandlung ohne Süßeverlust.

Gegenüber den gängigen Inhaltsstoffen von Lebensmitteln verhält sich Acesulfam-K inert.

### 5.2.4. Geschmackliche Eigenschaften

In der Regel wird angegeben, dass Acesulfam-K etwa 200fach süßer als Zucker ist.

Saccharoselösung (g/l)	Süßkraft von Acesulfam-K (xfach Saccharose)
9,9	229
18,8	216
28,8	200
40,1	178
49,7	154
60,6	114

Ein **Beigeschmack** wird in der Regel erst bei höheren Konzentrationen und stärkerer Süße erkennbar. Der Süßgeschmack von Acesulfam-K setzt schnell ein und flacht meistens auch relativ schnell wieder ab.

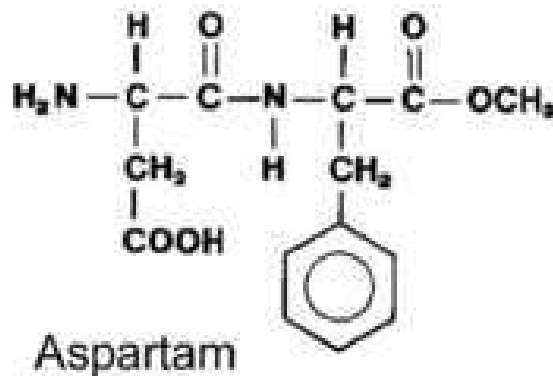
In Mischungen mit Aspartam und Cyclamat zeigt Acesulfam-K ausgeprägte **synergetische Effekte**, die in schwächerer Form auch in Mischungen mit Zuckeralkoholen und süßschmeckenden Kohlenhydraten auftreten.

### 5.2.5. Anwendungsgebiete

Wegen seiner Hitzebeständigkeit kann Acesulfam-K auch **zum Kochen und Backen** verwendet werden. Aber auch für fast alle anderen Lebensmittelbereiche ist Acesulfam-K aufgrund seiner Eigenschaften geeignet. Aufgrund **synergetischer Wirkung** wird es oft in Mischung mit anderen Süßstoffen eingesetzt.

## 5.3. Aspartam

Aspartam ist der alpha-L-Aspartyl-L-phenylalanin-1-methylester. Der süße Geschmack von Aspartam wurde 1966 von J. Schlatter entdeckt, obwohl das Molekül vorher bereits beschrieben worden war.



Die Summenformel von Aspartam ist **C<sub>14</sub>H<sub>18</sub>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**, die Molmasse 294,3 g/mol.

### 5.3.1. Geschichte

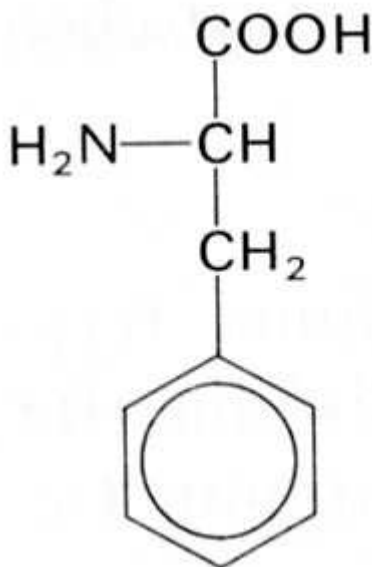
Aspartam wurde 1966 durch Zufall von James M. Schlatter, einem Chemiker des pharmazeutischen Unternehmens G.D. Searle & Company, entdeckt. Es wurde in den frühen 80er Jahren in den USA als Lebensmittelzusatzstoff zugelassen und erzielte rasch erhebliche kommerzielle Erfolge. Searle patentierte den Stoff und vermarktete ihn unter dem Handelsnamen **NutraSweet**. 1986 wurde Searle von dem

Unternehmen Monsanto übernommen, welches die Süßstoffproduktion unter dem Namen NutraSweet Company als selbständigen Unternehmensteil fortführte und im Jahr 2000 wieder abstieß. Die NutraSweet Company gehört heute dem privaten Investmentfond J.W. Childs Equity Partners II L.P. Da das Patent bereits 1992 abgelaufen ist, wird der weltweite Aspartam-Markt heute von verschiedenen Wettbewerbern versorgt.

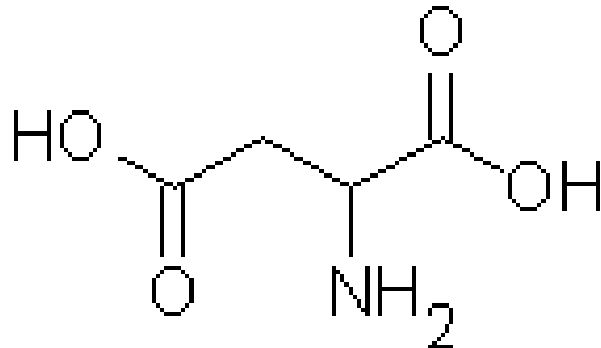
In Deutschland wurde Aspartam am 13. Juni 1990 gemäß der Zusatzstoffzulassungsverordnung zugelassen. Seit 1997 müssen aspartamhaltige Lebensmittel in Deutschland mit dem **Hinweis "enthält eine Phenylalaninquelle"** versehen werden.

### 5.3.2. Herstellung

Ausgangsmaterialien für die Herstellung von Aspartam sind die beiden **Aminosäuren** L-Phenylalanin und L-Asparaginsäure sowie **Methanol**. Zur Herstellung ist eine Reihe verschiedener Verfahren beschreiben worden. Zur Anwendung kommen übliche Methoden der Peptidsynthese, in denen unter Verwendung einer Schutzgruppe Asparaginsäure und Phenylalaninmethylester verknüpft werden, aber auch die enzymatische Verknüpfung von Asparaginsäure und Phenylalaninmethylester mit Hilfe von Proteasen.



Phenylalanin



Asparaginsäure

### 5.3.3. Spezielle Reinheitsanforderungen

Gehalt:	mind. 98% in der Trockensubstanz
pH-Wert in 1%iger wässriger Lösung:	4-6,5
$[\alpha]^{20}_D$ (4%iger Ameisensäure):	+12,5° - +17,5°
Trocknungsverlust:	max. 4,5%
Sulfataschegehalt:	max. 0,2%
Dioxopiperazingehalt:	max. 1,5%
Aussehen:	weißes Kristallpulver

### 5.3.4. Chemische und physikalische Eigenschaften

Aspartam ist **wenig wasserlöslich**. Am isoelektrischen Punkt (pH 5,2) lösen sich bei Raumtemperatur ca. 10 g in 1l Wasser. Mit fallendem pH-Wert steigt die Löslichkeit bis pH 2,2 an, ebenso steigt sie bei steigendem pH-Wert. Temperaturerhöhung verbessert die Löslichkeit von Aspartam. In 1l Ethanol lösen sich bei Raumtemperatur ca. 3,7g.

Aspartam besitzt **keine definierten Schmelzpunkt**. Es lagert sich bei 196°C in 5-benzyl-3,6-dioxopiperazin-2-essigsäuremethylester um.

Aspartam ist **nicht völlig hydrolysestabil**. Bei höheren Temperaturen tritt in wässriger Lösung hydrolytischer Abbau ein. Längere Einwirkung höherer Temperaturen kann einen Rückgang der Süße zur Folge haben, der durch Überdosierung kompensiert werden muss. Auch bei längerer Lagerung wässriger Medien kann ein langsamer Abbau eintreten. Die Stabilität von Aspartam in wässrigen Lösungen ist bei pH-Werten etwas oberhalb von 4 am besten und nimmt mit fallendem und steigendem pH-Wert ab.

Als peptidähnliche Verbindung kann Aspartam in besonderen **Reaktionen mit Lebensmittelinhaltsstoffen** eingehen.

### 5.3.5. Geschmackliche Eigenschaften

Saccharoselösung (g/l)	Süßkraft von Aspartam (xfach Saccharose)
3,4	400
24	240
40	200
59	148
66	132

Die geschmacklichen Eigenschaften von Aspartam sind günstig. Bei den üblichen Anwendungskonzentrationen tritt in aller Regel **kein störender Beigeschmack** auf. Die Süße kann verzögert einsetzen und nachhaltig sein.

Aspartam zeigt in Mischungen mit Acesulfam, Cyclamat und Saccharin deutliche **synergistische Geschmacksverstärkungen**, die in schwächerer Form auch in Mischungen mit Zuckeralkoholen und süß schmeckenden Kohlenhydraten auftreten.

### 5.3.6. Physiologie

Als dipeptidähnliche Verbindung wird Aspartam **im menschlichen Körper verstoffwechselt**. Der physiologische Brennwert beträgt 16,8 kJ/g. Aufgrund der geringen Einsatzmengen trägt es aber praktisch zum Brennwert von Lebensmitteln nicht bei.

Bei der Verdauung wird Aspartam in die beiden Eiweißbausteine L-Asparaginsäure und L-Phenylalanin, die von Natur aus in den meisten proteinhaltigen Nahrungsmitteln wie Fleisch, Milchprodukten und Gemüse vorkommen sowie in kleine Mengen Methanol aufgespaltet. Phenylalanin ist eine lebenswichtige Aminosäure. Methanol findet sich von Natur aus im menschlichen Körper und auch in vielen Lebensmitteln. Der Methanol-Anteil von Aspartam ist im Vergleich zu dem Anteil in vielen natürlichen Lebensmitteln äußerst gering. Zum Beispiel liefert ein Glas Tomatensaft 5 bis 6mal mehr Methanol als dieselbe Portion eines mit Aspartam gesüßten Erfrischungsgetränkes.

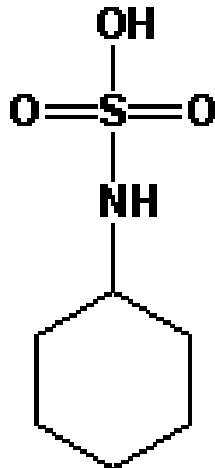
### 5.3.7. Anwendungsgebiete

Aspartam kann in fast **allen Anwendungsbereichen** in der Lebensmittelindustrie verwendet werden. Limitierungen können sich ergeben, wenn im Verlauf der Verarbeitung von Lebensmitteln längere Zeit höhere Temperaturen eintreten oder längere Lagerung wasserhaltiger Produkte vorgesehen ist. In diesen Fällen ist eine Prüfung ratsam, ob Süßstoffverluste eintreten und ob ein Ausgleich durch geänderte Dosierung möglich ist. Es wird daran gearbeitet, Aspartam durch **Umhüllung mit geeigneten Überzugstoffen** auch für Anwendungsgebiete verfügbar zu machen, bei denen bisher im praktischen Einsatz nicht tragbare Abbauraten eintreten, beispielsweise für Backwaren.

Aspartam wird zum Teil als Einzelsüßstoff eingesetzt, zum Teil aber auch in **synergistischen Mischungen** mit anderen Süßstoffen, in denen bei kritischen Verarbeitungs- oder Lagerungsbedingungen auch die Stabilität verbessert wird.

## 5.4. Cyclamat

Cyclamate sind die **Salze** der Cyclohexylsulfaminsäure oder Cyclohexylaminsulfonsäure. Bedeutung hat in erster Linie das Natriumcyclamat, verwendet wird aber ebenfalls das Calciumcyclamat. Der süße Geschmack der Cyclamate wurde von Audrieth und Sveda 1937 entdeckt.



Cyclohexylaminsulfonsäure

Die Summenformel der Cyclohexylaminsulfonsäure ist **C<sub>6</sub>H<sub>13</sub>NO<sub>3</sub>S**,  
die Molmasse 179,2 g/mol.

### 5.4.1. Herstellung

Cyclamate werden durch Umsetzung von Cyclohexylamin mit Sulfonierungsmitteln, z.B. Amidsulfonsäure, hergestellt.

### 5.4.2. Spezielle Reinheitsanforderungen

Gehalt:	Mind. 98% in der Trockensubstanz
pH-Wert in 1%ig wässriger Lösung:	6,5-7,5
Trocknungsverlust der freien Säure und des Natriumsalzes:	Max. 1%
Trocknungsverlust des Calciumsalzes:	6-9%
Selengehalt:	Max. 30mg/kg
Cyclohexylamingehalt:	Max. 10mg/kg
Dicyclohexylamingehalt:	Max. 1mg/kg
Anilingehalt:	Max. 1mg/kg
Aussehen:	Weißes, mehr oder weniger feinkristallines Pulver

### 5.4.3. Eigenschaften

Natriumcyclamat, das mit Abstand am häufigsten verwendete Cyclamat, **löst sich** bei Raumtemperatur **gut in Wasser**. Es lassen sich etwa 20%ige Lösungen herstellen. In den meisten organischen Lösungsmitteln ist es dagegen schwer- bis unlöslich. Calciumcyclamat, das mit 2 mol Wasser kristallisiert, löst sich ebenfalls gut in Wasser.

Cyclohexylsulfonsäure schmilzt bei 169-170°C, Natriumcyclamat zersetzt sich bei etwa 260°C ohne zu schmelzen.

Cyclamate zeichnen sich in wässrigen Medien durch **gute Stabilität** aus. Bei den in der Lebensmittelverarbeitung üblichen Erhitzungsprozessen wie Pasteurisation, Sterilisation und UHT-Behandlung und bei längerer Lagerung wässriger Lebensmittel tritt kein Süßungsverlust ein.

Gegenüber Inhaltsstoffen von Lebensmittel verhalten sich Cyclamate inert.

### 5.4.4. Geschmackliche Eigenschaften

Saccharoselösung (g/l)	Süßkraft von Cyclamat(xfach Saccharose)
9,9	33
18,8	32
28,8	31
40,1	30
49,7	29
60,6	27

Die geschmacklichen Eigenschaften erlauben die Verwendung von Cyclamat als einzigem Süßstoff. Ein **Beigeschmack** wird in der Regel erst bei höheren Konzentrationen und stärkerer Süße erkennbar. Der Süßgeschmack von Cyclamat setzt schnell ein und flacht meistens auch relativ schnell wieder ab.

Cyclamate zeigen in **Mischungen** mit Acesulfam, Aspartam und Saccharin deutlich **synergistische Geschmacksverstärkungen**, die in schwächerer Form auch in Mischungen mit Zuckeralkoholen und süßschmeckenden Kohlenhydraten auftreten.

### 5.4.5. Physiologie

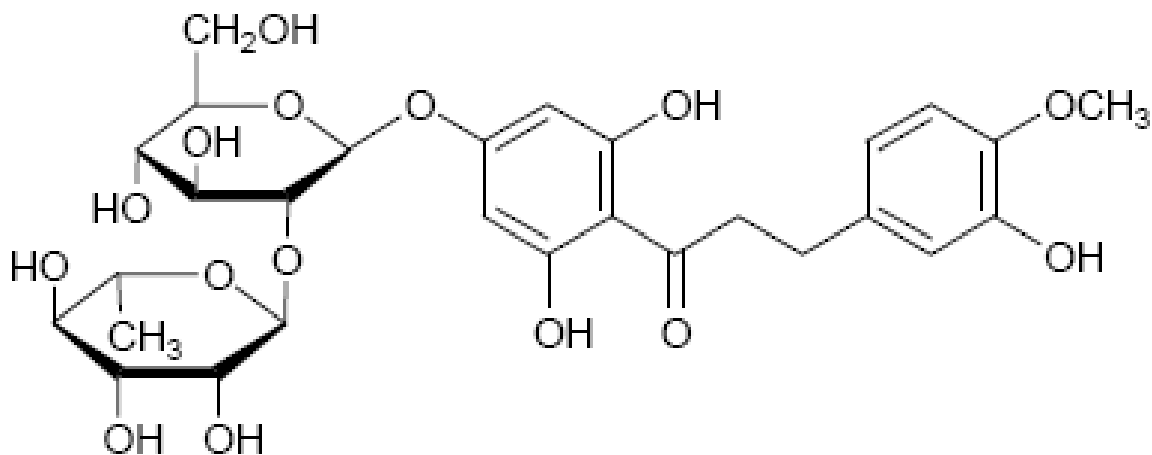
Cyclamat **wird nicht verstoffwechselt** und verlässt den Organismus der meisten Verbraucher unverändert über die Nieren. Darin ist es den Süßstoffen Acesulfam und Saccharin vergleichbar. Nur sehr wenige Menschen verfügen über Bakterien in der Darmflora, die das Cyclamat zu einem geringen Teil umwandeln können. Das eventuell anfallende Abbauprodukt Cyclohexylamin hat einen niedrigeren ADI-Wert, als das Cyclamat selbst - ist jedoch in den geringen Mengen zu vernachlässigen.

### 5.4.6. Anwendungsbereiche

Cyclamate sind grundsätzlich wie Aspartam für **alle Bereiche der Lebensmittelindustrie** eingesetzt werden. Sie werden jedoch aufgrund der geringeren Süßkraft nicht oft alleine eingesetzt, sondern in den meisten Fällen in Stoffmischungen, vorzugsweise in Mischungen mit Saccharin.

### 5.5. Neohesperidin DC

Der generelle Name für Neohesperidin Dihydrochalcon ist 2, 3, 4, 6-Tetrahydro-4-methoxy-dihydrochalcon-4-β-neohesperidosid oder 1-[4-[(2-O-(6-deoxy-L-mannopyranosyl)-D-gluco-pyranosyl)-oxy]-2,6-dihydroxyphenyl]-3-(3-hydroxy-4-methoxyphenyl)-1-propanon



Die Summenformel von Neohesperidin-Dihydrochalcon ist **C<sub>26</sub>H<sub>36</sub>O<sub>15</sub>**,  
die Molmasse 612,2 g/mol.

Neohesperidin-DC ist ein **partialsynthetischer Süßstoff** mit mentolischem Nachgeschmack und wird aus dem in Zitrusfrüchten enthaltenen Flavonglykosid „Neohesperidin“ durch **katalytische Hydrierung** gewonnen.

In Wasser ist Neohesperidin-DC bei Raumtemperatur mit etwa 0,5g/l nur **wenig löslich**. In 1l Ethanol können etwa 20g gelöst werden.

Der **Schmelzpunkt** wird mit 152-154°C angegeben. Die Stabilität von Neohesperidin-DC in wässrigen Medien bei höheren Temperaturen wie bei längerer Lagerung ist gut.

Die für Neohesperidin-DC angegebenen sehr hohen Süßkraftwerte, gelten nur bei sehr niedrigen Konzentrationen. In dem für praktische Anwendungen relevanten Bereich wurden folgende Werte ermittelt:

Saccharoselösung (g/l)	Süßkraft von NHDC (xfach Saccharose)
5	927
10	667
20	400
25	368
50	250
100	167

Die geschmacklichen Eigenschaften von Neohesperidin-DC sind bei niedrigen Konzentrationen gut, bei höheren Konzentrationen tritt aber relativ bald ein **mentholartiger Beigeschmack** hervor. Aus diesem Grunde lässt sich NHDC vorzugsweise in Süßstoffmischungen einsetzen, in denen es im begrenzten Maße zur Süße beitragen und den Geschmack abrunden kann.

Neohesperidin DC wird nur in unbedeutenden Mengen vom Körper aufgenommen und dann wie natürlich vorkommende verwandte Stoffe abgebaut. Es **kann bittere Geschmacksnoten unterdrücken**, weshalb es sich auch besonders gut zum Einsatz bei **Arzneimittel** wie Tropfen, Sirups und Brausetabletten eignet. Als Einzelsüßstoff hat es einen **anhaltenden Nachgeschmack**, der an Lakritze oder Menthol erinnert. Aufgrund seiner **synergistischen Effekte** zeigt Neohesperidin DC in Kombination mit anderen Süßstoffen sehr gute Geschmackseigenschaften.



### Löslichkeit in Wasser:

Temperatur in °C	4	20	25	40	50	60
g/100g Lösung	55,0	62,5	64,3	74,2	80,0	85,1
g/100g Wasser	122,0	168,8	179,3	291,3	400,0	571,1

Löslichkeit in Ethanol bei 20°C	ca. 1,2g /100ml
Schmelzbereich	92-96°C
Siedepunkt	216°C
Optische Aktivität	inaktiv
Sorptionsisotherme für kristallinen Xylit	bei 20-22°C

<u>Viskosität ( bei 20°C):</u>	10%ige wässrige Lösung:	1,23mPas
	20%ige wässrige Lösung:	1,67mPas
	30%ige wässrige Lösung:	4,18mPas
	40%ige wässrige Lösung:	8,04mPas
	50%ige wässrige Lösung:	20,63mPas

Xylit ist nur **schwach hygroscopisch**. Bei sehr hohen relativen Luftfeuchtigkeiten (ab 80%) steigt die Hygroscopizität stark an.

Xylit ist auch in wässrigen Lösungen gegenüber Licht-, Luft- und Wärmeeinflüssen sowie gegenüber den in der Lebensmittelindustrie bei technischen Prozessen üblicherweise auftretenden Bedingungen stabil. Xylit nimmt an der Maillard-Reaktion nicht teil und bildet somit **keine gefärbte Verbindungen** beim Erhitzen in Gegenwart von Proteinen und Aminosäuren.

#### **6.1.2.2. Reinheitsanforderungen**

<b>Trockensubstanz-Gehalt:</b> (4 Std. Vakuum über P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> bei 80°C)	mind. 98,5%; max. 100,0%
<b>Gewichtsverlust:</b> (4 Std. Vakuum über P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> bei 80°C)	max. 0,5%
<b>Sulfataschegehalt:</b>	max. 0,1%
<b>pH einer 10%igen wässrigen Lösung:</b>	5,0-7,0
<b>Gehalt an reduzierenden Zuckern:</b>	max. 0,2%
<b>Gehalt an anderen Polyolen:</b> davon	max. 1%
<b>Arabinitgehalt:</b>	max. 0,2%
<b>Galactitgehalt:</b>	max. 0,2%
<b>Mannitgehalt:</b>	max. 0,5%
<b>Sorbitgehalt:</b>	max. 0,5%

### 6.1.2.3. Süßkraft

Xylit besitzt etwa die gleiche **Süßkraft wie Saccharose**. Bei höheren Temperaturen nimmt die Süßkraft etwas ab. Eine 5%ige wässrige Lösung von Xylit verliert beim Erhitzen von 20° auf 50°C rund 20% ihrer Süßkraft. Während durch organische Säuren die Süßkraft nur wenig beeinflusst wird, kann sie schon durch relativ geringe Phosphorsäurekonzentration erniedrigt werden.

Mit Xylit als einzigem Süßungsmittel hergestellte bestimmte Lebensmittel zeigten im Vergleich zu mit Zucker gesüßten Produkten keine Unterschiede.

Auf synergistische Effekte wurde das System Xylit-Sorbit untersucht. Eine Mischung aus 60% Xylit und 40% Sorbit weist die gleiche Süßkraft wie Zucker auf. Ebenso gelingt es, mit Gemischen von Xylit mit Aspartam auf die gleiche Süße bzw. den Süßgeschmack wie mit Zucker zu kommen.

### 6.1.3. Einsatz in der Lebensmittelindustrie

Xylit wird in **Lebensmitteln** sowohl aus physiologischen als auch technologischen Gründen verwendet. Sein physiologischer Brennwert beträgt 10 kJ/g nach der EG-Nährwertkennzeichnungsrichtlinie vom 24.09.1990.

#### 6.1.3.1. Lebensmittel für Diabetiker

Bedingt durch die weitgehend **insulinabhängige Verwertung** des Xylits im Organismus, kann er zur Herstellung von Diabetikerlebensmittel aller Art anstelle von Zucker eingesetzt werden. 12 g Xylit entsprechen einer Broteinheit. Wegen des neu festgelegten physiologischen Brennwertes, ist eine Änderung der Broteinheit vorgesehen (1BE ≈ 23g Xylit)

#### 6.1.3.2. Nichtkariogene Süßwaren

Xylit wird allgemein durch Mikroorganismen nicht vergoren. Insbesondere die **Unvergärbarkeit** zu zahnaggressiven Säuren durch die Mikroflora der Mundhöhle lassen Süßwaren auf Xylitbasis als Möglichkeit in der **Kariesprävention** erscheinen.

#### 6.1.3.3. Produkte mit Kühleffekt

Lebensmittel, insbesondere Süßwaren auf Xylitbasis, zeigen den **Refreshment-Effekt**. Die mit dem Auflösen des Xylits im Speichel verbundene Temperaturerniedrigung in der Mundhöhle wird als angenehm empfunden.

#### 6.1.3.4. Allgemeines

In der Regel kann Xylit ohne größere technologischen Schwierigkeiten anstelle von Zucker in Lebensmittel eingesetzt werden. In einigen Fällen sollten aber die spezifischen Eigenschaften des Xylits, die sowohl neue Verfahren als auch neue Produkte eröffnen können, beachtet werden.

### 6.1.3.5.Beispiele

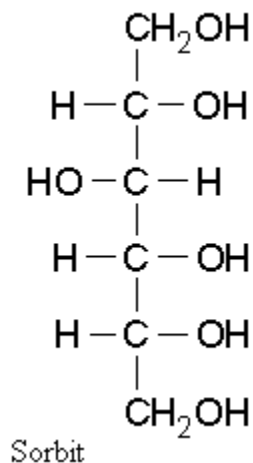
<b>Dragees</b>	<p>Xylit lässt sich durch direkte Verpressung zu Drageekernen verarbeiten. Das Dragerieren selbst kann entweder entsprechend dem klassischen Verfahren mittels Xylitsirup erfolgen oder aufgrund des niedrigen Schmelzpunktes des Xylits sowie seiner Kristallisationsfreudigkeit mittels des neuen Verfahrens der Heißluftstromtechnik.</p> <p>Bei dem neuen Verfahren werden die Presslinge entweder im Dragierkessel oder besser im Fließbett im Heißluft von 102°C 5 Minuten lang behandelt. Es kommt zu einem oberflächlichen Schmelzen der Kerne. Die dünnen Schmelzen erstarren bei Behandlung mit Kaltluft schnell zu einer harten, glänzenden Drageehülle. Ebenso wie Xylitkerne lassen sich auch Drageekerne bzw. Presslinge aus anderen Produkten mit Xylit dragieren.</p>
<b>Hartkaramellen</b>	<p>Xylitschmelzen kristallisieren beim Abkühlen spontan und ergeben brüchige trübe Körper. Ein Einsatz von Glucosesirup als Kristallisationshemmer ist bei zuckerfreien zahnschonenden Hartkaramellen nicht möglich. Feste Bonbonkörper lassen sich durch Kristallisation aus einem Zweiphasen-System herstellen. Hierzu wird Xylit genau auf die Schmelztemperatur gebracht. In die Schmelze werden 20-25% pulverisiertes Xylit mit einer Korngröße von 60-100µm unter Rühren beigegeben. Das viskose Zweiphasen-System erstarrt nach dem Gießen in Formen etwa innerhalb einer Minute zu festen Körpern mit glasartiger Struktur</p>
<b>Kaugummi</b>	<p>Xylit eignet sich zur Herstellung von Kaugummiartikeln besonders gut. Die Grundvoraussetzung für die Herstellung entsprechender Produkte ist die Verwendung einer geeigneten Base. Xylit sollte in feingepulverte Form, durchschnittliche Korngröße ca. 170 µm, zur Anwendung kommen, wobei etwa 10% der benötigten Xylitmenge zur Erhöhung der Bindung als konzentrierte wässrige Lösung zu Beginn des Knetens der Base zugesetzt werden. Während des Knetprozesses sollte die Temperatur 50°C nicht überschreiten. Zur Verbesserung der Plastizität bei der Lagerung können Sorbitsirup, Glycerin oder 5%ige wässrige Lösungen von Gummi arabicum zugegeben werden. Zur Vermeidung des Klebens bei der Formgebung hat sich der Einsatz von gepulvertem Mannit bewährt.</p>

<b>Konfitüren, Marmeladen</b>	Bei der Herstellung von Konfitüren oder Marmeladen unter Mitverwendung von Pektinen ist die Pektinqualität von Wichtigkeit. Grundsätzlich sollten nur hochreservierte Pektine zur Anwendung kommen.
<b>Geleeartikel</b>	Die Verfahren zur Herstellung von Gelee beruhen auf dem Prinzip, dass durch den Einsatz von pflanzlicher Hydrokolloide wie Pektinen, Agar-Agar, Alginaten etc. oder Gelatine, in Größenordnungen von 5-10%, die Rekristallisation des Xylit unterdrückt wird. Die Verfahren unterscheiden sich im übrigen nicht von den bekannten üblichen Herstellungsverfahren.
<b>Schokolade</b>	Die Herstellung von Schokolade auf Xylitbasis unterscheidet sich nicht wesentlich von der normalen Produktionsweise. Es ist darauf zu achten, dass Xylit in feingepulverter Form eingesetzt wird und während der gesamten Produktion, insbesondere aber während des Conchierprozesses, die relative Luftfeuchte im Luftraum der Conche 85% nicht übersteigt. Andernfalls resultieren „sandige“ Produkte, die besonders bei der Lagerung an Qualität verlieren. Dies wird auf die Ausbildung eines Hydratfilmes um die einzelnen Xylitpartikel zurückgeführt.

## 6.2. Sorbit

### 6.2.1. Vorkommen und Herstellung

Der Zuckeralkohol Sorbit wurde bereits 1868 entdeckt. Er ist ein **natürlicher Inhaltsstoff** zahlreicher Pflanzen und Früchte wie der Eberesche, des Weißdorns, des Feuerdorns, der Bergmistel, der Pflaume, der Birne, des Pfirsichs und des Apfels. Sorbit wird durch **katalytische Hydrierung von Glucose** hergestellt, die wiederum durch Hydrolyse, bevorzugt aus Stärke oder auch aus Saccharose, gewonnen wird. Die Hydrierung erfolgt im Chargen- oder kontinuierlichen Durchlaufverfahren bei Temperaturen zwischen 120° und 190°C und 50-200 bar innerhalb von 1-3 Stunden. Nach Reinigung über Filterhilfsmittel wird die hydrierte Lösung über Ionenaustauscher vollentsalzt, bei verminderten Druck zu einer wasserhellen 70%igen Sorbitlösung eingedampft. Durch **Kristallisation** bzw. **Sprühtrocknung** werden die entsprechenden Pulverqualitäten gewonnen.



Summenformel  $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6$  bei einer Molmasse von 182,2 g/mol.

Folgende chemischen Namen sind für Sorbit gebräuchlich: D-Glucitol, D-Glucit, S-Sorbitol, D-Gluco-hexan-1, 2, 3, 4, 5, 6-hexaol

## 6.2.2. Eigenschaften

### 6.2.2.1. Chemische und physikalische Eigenschaften

<b>Markennamen des Handels:</b>	Karion®, Neosorb®, Sionon®, Sorbex®, Sorbidex®, Sorbitol®, Sorbofin®, Sorbo®, u.a.
<b>Produkte des Herstellers:</b>	Sorbit-Pulver, Sorbit-Instant sowie 70%ige wässrige Lösungen als Sorbit flüssig, Sorbitsirup
<b>Kristallstruktur:</b>	gamma-polyamorph, feinkristallin
<b>Aussehen:</b>	weißes, kristallines Pulver, geruchlos, gut rieselfähig, leicht hygroskopisch
<b>Geschmack:</b>	süß, kühlend, etwa die Hälfte der Süßkraft von Zucker
<b>Physiologischer Brennwert:</b>	10 kJ/g 12 g = 1 Broteinheit
<b>Löslichkeit:</b>	sehr leicht löslich in Wasser; löslich in verdünnter Essigsäure, Methanol, löslich im heißen Methanol, praktisch unlöslich in organischen Lösungsmitteln
<b>Schmelzbereich:</b>	92-96°C

<b>Optische Aktivität:</b>	$\alpha_D^{25} = -1,9^\circ$ (10 g in 100 ml Wasser) $\alpha_D^{25} + 4,0^\circ$ bis $7,0^\circ$ (10 g in 100 ml Wasser, Boratokomplex)
<b>Schüttgewicht (abhängig von der Partikelgröße):</b>	instantisierte Qualitäten 40-50g/100ml kristallisierte Qualitäten 60-70g/100ml

Viskosität und Dichte in wässriger Lösungen:

Sorbitlösung in %	5	10	25	50	60	70
<b>Dichte in g/cm<sup>3</sup></b> (1,299 bei 100%iger Lösung)	1	1,014	1,038	1,099	1,198	1,249
<b>Viskosität in mPas</b>	1,230	1,429	2,689	11,09	35,73	185,00

Stabilität:

Sorbit kristallin ist **hygroskopisch** und muss deshalb stets gut verschlossen und vor Feuchtigkeit geschützt aufbewahrt werden. Unter diesen Voraussetzungen ist Sorbit unbegrenzt haltbar.

Unter den allgemeinen Bedingungen der Lebensmittelproduktion ist Sorbit gegenüber Licht-, Sauerstoff- und Wärmeeinfluss **stabil** sowohl in trockenen Zubereitungen als auch in wässriger Lösung. Auch während des Backprozesses bei hohen Temperaturen reagiert Sorbit nicht, wie reduzierende Zucker mit Aminosäuren bzw. Eiweißstoffen, nach der Maillard-Reaktion zu gelb- bis braunefärbten Melanoiden.

Sorbit ist **säurebeständig** und nicht wasserdampflich.

### 6.2.2.2. Reinheitsanforderungen

<b>Gehalt:</b>	Mind. 91% D-Sorbit in der Trockensubstanz, mind. 98% Zuckeralkohole der allgemeinen Formel $\text{CH}_2\text{OH}(\text{CHOH})_n\text{CH}_2\text{OH}$ in der Trockensubstanz, wobei n eine ganze Zahl ist. Der Nicht-Sorbit-Gehalt setzt sich hauptsächlich aus Mannit sowie kleineren Mengen anderer Zuckeralkohole der allgemeinen Formel $\text{CH}_2\text{OH}(\text{CHOH})_n\text{CH}_2\text{OH}$ , bei denen $n \leq 4$ ist, und geringfügigen Mengen hydrierter Oligosaccharide zusammen.
<b>Wassergehalt:</b>	max. 1%
<b>Gehalt an reduzierenden Zuckern:</b>	max. 0,3% i.T.

<b>Gesamtzuckergehalt:</b>	max.1% i.T.
<b>Sulfataschegehalt:</b>	max. 0,1% i.T.
<b>Sulfatgehalt:</b>	max.0,01% i.T.
<b>Chloridgehalt:</b>	max.0,005% i.T.
<b>pH-Wert(10%ige wässrige Lösung)</b>	5-7

### 6.2.2.3. Süßkraft

Die Süßkraft von Sorbit beträgt etwa 50-60% der von Zucker. Sie ist **temperaturenabhängig**.

### 6.2.3. Verwendung in der Lebensmittelindustrie

Sorbit findet in der **Lebensmittelindustrie** vielfältige Verwendung, wofür die folgenden ernährungsphysiologischen und technologischen Vorteile maßgeblich sind:

- ⇒ Zuckeraustauschstoff für Diabetiker, bedingt durch seine insulinunabhängige Verwendung
- ⇒ Sorbit ist nicht kariogen, d.h. keine oder nur sehr geringe Säurebildung durch Mikroorganismen des Zahnplaques
- ⇒ Süßungsmittel mit geringer Süßkraft zur Geschmacksabrundung
- ⇒ Wasserstabilisator durch begrenzte Hygroskopizität
- ⇒ Kristallisationshemmer von anderen Sacchariden wie Zucker, Glucose in Süßwaren
- ⇒ nicht vergärbare durch Hefen
- ⇒ Komplexbildner für Spurenmetalle
- ⇒ Temperaturstabil bis 150°C

#### 6.2.3.1. Zuckeraustauschstoff für Diabetiker

Infolge seiner **insulinunabhängigen** Verwendung zählt Sorbit zu den klassischen Zuckeraustauschstoffen für den Diabetiker. Dieser aufgrund seiner veränderten Stoffwechsellage gezwungen, eine kalorienkontrollierte Diät einzuhalten, die eine möglichst geringe Insulinfreisetzung bewirkt. Der Diabetiker muss nicht auf den angenehmen Geschmackseindruck süß verzichten und erhält gleichzeitig die für ihn notwendigen Kohlenhydrat-Kalorien.

Auch die antiketogene Wirkung von Sorbit ist für den diabetischen Patienten grundsätzlich positiv zu bewerten. Die Gefahr unerwünschter Nebenwirkungen wie z.B. Veränderungen im Fett-, Purin-, Kohlenhydratwechsel ist für Sorbit nicht zu erwarten.

Kristallisierter oder instantisierter Sorbit wird auch aufgesüßt mit Süßstoffen als Zuckeraustauschstoff für die industrielle und häusliche Lebensmittelzubereitung angeboten. Auch Schokoladenerzeugnisse, Pralinen, Hartkaramellen, Komprimat, Kaugummi, Marmeladen, Konfitüren und andere süße Brotaufstriche, Backwaren, Konditoreierzeugnisse, Dauerbackwaren und süß schmeckende Diabetikererzeugnisse werden mit Sorbit, zum Teil in Kombination mit Fructose (Fruchtzucker) hergestellt.

#### **6.2.3.2. Verwendung für nichtkariogene Süßwaren**

Da Sorbit von der Bakterienflora des Zahnplaques nicht bzw. nur unbedeutend zu Säuren abgebaut wird, die den Zahnschmelz angreifen, können zahnfremde Süßwaren auf Basis Sorbit hergestellt werden.

#### **6.2.3.3. Verwendung aus technologischen Gründen**

Die bereits erwähnten besonderen Eigenschaften des Sorbits, insbesondere seine **wasserstabilisierende Wirkung**, eröffnen Sorbit bei der allgemeinen Lebensmittelherstellung vielfältige Verwendungsmöglichkeiten. Die Einsatzmengen liegen je nach Zweck zwischen 2 und 10%, bezogen auf das verzehrfertige Lebensmittel. Bei folgenden Lebensmitteln können Sorbitlösungen als **Stabilisator** eingesetzt werden: wasserhaltige, weiche Süßwaren (Geleeartikel, Kokosartikel, Marzipan- und Persipanerzeugnisse, Marshmallows, Fudges, Schaumzuckerwaren, Cremefüllungen); Backwaren (Biskuit- und Sandkuchenmassen), Dauerbackwaren (Lebkuchen, Kokos- und Mandelmakronen), pastenförmige Backemulgatoren, Grund- und Aromastoffe, Feinkosterzeugnisse aller Art, Fisch-, Krabben- und Roggenerzeugnisse, Würzstoffe und Dressings (Tomaten-Ketchup), Belegfrüchte, Kunst- und Naturdärme, Sauerkraut, Speiseeis, Tonika als Trägerstoff für Enzympräparate u.a.

Besondere Verarbeitungsbedingungen sind im allgemeinen nicht zu beachten. Die Süßkraft von 1 kg Sorbitlösung entspricht etwa der von 350 g Zucker.

#### **6.2.3.4. Beispiele**

Im Vergleich zu Zucker besitzt Sorbit andere physikalisch-chemische Eigenschaften, die bei der Herstellung von bestimmten Erzeugnissen mit Sorbit zu beachten sind. Vor allem der **niedrige Schmelzpunkt** und die **Hygroskopizität** zwingen bei der Produktion von bestimmten Lebensmitteln zur Einhaltung besonderer Bedingungen. Die nach unterschiedlichen Herstellungsverfahren (Kristallisation oder Sprühtrocknung) gewonnenen Sorbit-Qualitäten werden deshalb als Pulversorten mit unterschiedlicher Korngröße, abgestimmt auf den jeweiligen Verwendungszweck, angeboten. Auch 70%ige Sorbitlösung ist in besonderen Qualitäten für verschiedene Verwendungszwecke im Handel.

<p><b>Sorbit-Komprimat</b></p>	<p>Infolge des niedrigen Schmelzbereiches sintern Sorbit-Kristalle unter den üblichen Pressbedingungen zusammen und geben sehr harte und glatte Tabletten. Zum Direktpressen muss Sorbit in einer bestimmten Korngrößenverteilung vorliegen, gut rieselfähig sein und der Wassergehalt darf 0,5 % Wasser nicht überschreiten.</p> <p>Infolge seiner großen Oberfläche bindet „Sorbit Instant“ große Mengen feingepulverter Zusatzstoffe, sichert eine homogene Verteilung der zugesetzten Wirkstoffe, Aromastoffe und der Tablettierhilfsmittel; eine Granulation kann entfallen. Als Tablettierhilfsmittel werden für die Herstellung von Sorbit-Tabletten bevorzugt Magnesium- oder Calciumstearate (etwa 0,5%) eingesetzt.</p> <p>Mit Farbstoffen vor dem Instantisieren oder Kristallisieren eingefärbte Sorbit-Qualitäten besitzen gleich gute Tablettiereigenschaften. Die Tabletten zeigen eine gleichmäßige Einfärbung.</p> <p>Sorbit-Tabletten sollten in klimatisierten Räumen hergestellt werden (keine hohe Luftfeuchte). Sorbit-Tabletten müssen feuchtigkeitsgeschützt verpackt werden.</p>
<p><b>Sorbit in Schokolade</b></p>	<p>Bei der Herstellung von Schokolade sind besondere Verarbeitungsvorschriften zu beachten, da diese Erzeugnisse ein völlig anderes rheologisches Verhalten zeigen als Saccharose- oder Fructose-Schokoladen. Maßgeblich dafür ist auch wiederum der verhältnismäßig niedrige Schmelzbereich von Sorbit. Sorbit-Schokolade muss daher bei wesentlich niedrigeren Temperaturen (um 40°C) conchiert werden, um zu verhindern, dass Sorbit aus der Schmelze rekristallisiert und zu einer unerwünschten Verfestigung der Schokoladenmasse führt.</p> <p>Zur Entfernung des Wassers ist es deshalb empfehlenswert, die Schokoladenmasse ohne Sorbit bei höheren Temperaturen zu conchieren und erst nachträglich Sorbit zuzusetzen. Die Temperierung vor dem Austafeln erfolgt, wie üblich, bei 33°C. Die Sorbit-Schokoladenmasse lässt sich nur unter ständigem Rühren bei dieser Temperatur flüssig halten.</p> <p>Sorbit kann auch in Kombination mit Fructose zur Herstellung von Diabetikerschokoladen eingesetzt werden.</p>
<p><b>Sorbit in Hartkaramellen</b></p>	<p>Hartkaramellen auf Basis Sorbit lassen sich nur nach dem Gießverfahren herstellen. Dies hängt mit dem gegenüber Zucker unterschiedlichen Verhalten der Sorbitschmelze zusammen. Sorbit bildet einmal eine metastabile Kristallform mit einem Schmelzpunkt von etwa</p>

	<p>93°C und zum anderen eine stabile Form, deren Schmelzpunkt bei etwa 98°C liegt. Beim Abkühlen aus der Schmelze bildet sich zunächst eine glasartige, später aber eine kristallartige Zustandsform; in der Übergangsphase zwischen beiden Kristallformen wird Wärme frei. Der Kristallisationsprozess und auch die Stabilität der Hartbonbons wird durch einen Zusatz von etwa 3-5% Mannit begünstigt. Die Sorbitlösung wird durch Einkochen auf Temperaturen zwischen 155° und 165°C auf einen Wassergehalt gebracht, der unter 2% liegen muss. In die Schmelze werden nach Abkühlen auf Temperaturen zwischen 100° und 110°C die Aromastoffe, Genussäuren und ggf. Farbstoffe eingearbeitet. Anschließend wird die Schmelze in Plastik bzw. Metallformen ausgegossen und in einer Wärmekammer bei 30°-35°C und niedriger relativer Luftfeuchte (unter 30%) zum Erstarren gebracht. Dieser Prozess kann bis zu 8 Stunden in Anspruch nehmen. Die Hartkaramellen müssen feuchtigkeitsgeschützt verpackt werden.</p>
<p><b>Sorbit in Kaugummi</b></p>	<p>Für die Herstellung von Kaugummi auf Basis Sorbit wird eine Qualität mit einer Korngrößenverteilung zwischen 40µm und 300µm bevorzugt. Zu fein gepulverte Sorbit-Qualität neigen beim Einkneten zum „Klumpen“, die sich nicht mehr zerkleinern lassen. Zu grober Sorbit führt zum „Grießigwerden“ des Kaugummis. Zur Vermeidung der Klumpenbildung sollte deshalb Sorbit kontinuierlich im Knetprozess beigemischt werden. Zur Weichhaltung hat sich ein Zusatz von etwa 12% Sorbit flüssig und 3-4% Glycerin bewährt. Zur Verhinderung des Klebens beim Ausformen zu Streifen oder Kissen kann Mannit- oder Isomalt-Pulver eingesetzt werden, das nicht hygroskopisch ist.</p>
<p><b>Sorbit-Kombinationen</b></p>	<p>Für zuckerfreie zahnfreundliche Süßwaren wird Sorbit auch in Kombinationen mit Xylit und anderen Polyolen (Isomalt, Mannit) ohne Nachteile eingesetzt.</p> <p>Lebensmittel für Diabetiker werden auch durch Kombination von Sorbit mit Fructose gesüßt. Durch den Zusatz von Süßstoffen (0,1%-0,5% Saccharin) kann die Süßkraft auf die von Zucker oder ein Mehrfaches davon erhöht werden. Eine homogene Verteilung des Süßstoffes lässt sich bei kristallinem Sorbit nur durch den Zusatz in der Schmelze bzw. bei sprühgetrocknetem Sorbit durch den Zusatz in der wässrigen Phase vor dem Instantisieren erzielen.</p> <p>Physikalische Mischungen von instantisiertem Sorbit mit mikronisierten Süßstoffen neigen aufgrund der adsorptiven Oberflächenstruktur des sprühgetrockneten Sorbits nicht zur Entmischung.</p>

### 6.2.3.5. Weltweite Produktion

Schätzungen zufolge werden zur Zeit in der westlichen Welt ca. 500.000 t Sorbit (berechnet als Trockensubstanz) produziert; davon entfallen etwa 70% auf 70%ige wässrige Lösung einschließlich Sorbitlösung, der Rest auf Sorbit-Pulver. Etwa 25% der Lösungen werden für die Ascorbinsäure-Synthese verwendet.

Die wichtigsten Hersteller sind: Roquette/Frankreich, Cerestar/Deutschland, E. Merck/ Deutschland, FRAGD/Italien, CCA-Biochem/Niederlande, Finn-Sugar/Finnland, Hefti/Schweiz, ICI-Atlas/USA, Lonza/USA, Pfizer/USA, Towa Kasei/Japan, Nikkem Chemicals/Japan, Tokai Togyho/Japan, Sentrachem/Südafrika, Getec /Brasilien u.a.

### 6.2.4. Sorbitsirup

Neben Sorbit-Pulver und 70%igen wässrigen Sorbitlösungen, wird in der Lebensmittelindustrie bevorzugt **nichtkristallisierender Sorbitsirup** als Wasserstabilisator und Weichhaltemittel (also aus technologischen Gründen) eingesetzt. Nichtkristallisierender Sorbitsirup ist eine durch Hydrierung von Glucosesirup gewonnene wässrige Lösung mit 70% Trockensubstanzgehalt.

#### 6.2.4.1. Zusammensetzung und Eigenschaften

Als Rohstoff für die Herstellung dient **Glucosesirup** mit einem Glucosegehalt von mind. 50%. Die Hydrierung erfolgt unter gleichen Bedingungen wie bei der Herstellung von Sorbit (siehe oben).

Die wässrige Lösung besteht aus Sorbit und hydrierten Oligosacchariden mit mind. 69% Trockensubstanzgehalt und mind. 50% D-Glucose-Gehalt. Die Nicht-S-Sorbit-Anteile sind vorwiegend hydrierte Oligosaccharide, die durch Hydrierung von Glucosesirup als Ausgangsmaterial erzeugt werden, oder Mannit. Kleinere Mengen von **Zuckeralkoholen** der Formel  $\text{CH}_2\text{OH}(\text{CHOH})_n\text{CH}_2\text{OH}$ , bei  $n \leq 4$  können vorhanden sein. Zuckeralkohole sind Verbindungen mit der allgemeinen Formel  $\text{CH}_2\text{OH}(\text{CHOH})_n\text{CH}_2\text{OH}$ , bei der  $n$  eine ganze Zahl ist.

<b>Aussehen:</b>	klare, wässrige, farblose Lösung
<b>Geruch:</b>	geruchlos
<b>Geschmack:</b>	süß
<b>Löslichkeit:</b>	mit Wasser in jedem Verhältnis mischbar, mit Ethanol in niedriger Konzentration mischbar
<b>Viskosität (20°C):</b>	0,19-0,21 Pas
<b>Brechungsindex <math>n_D^{20}</math>:</b>	1,45-1,46
<b>Dichte <math>d_4^{20}</math>:</b>	1,28- 1,3 g/cm <sup>3</sup>

<b>pH- Wert(10%ige wässrige Lösung):</b>	6-7
<b>Süßkraft:</b>	1 kg Sorbitsirup entspricht in der Süßkraft etwa 350 g Saccharose (Süßkraft ist temperaturunabhängig)

#### 6.2.4.2. Reinheitsanforderungen

<b>Gehalt:</b>	nicht weniger als 69% Trockensubstanzgehalt und nicht weniger als 50% D-Sorbit-Gehalt
<b>Sulfataschegehalt:</b>	max. 0,1%
<b>Sulfatgehalt:</b>	max. 0,01%
<b>Chloridgehalt:</b>	max. 0,005%
<b>Gehalt an reduzierenden Zuckern:</b>	max. 0,3%
<b>Gesamtzuckergehalt:</b>	mehr als 1,5%

#### Haltbarkeit und Lagerung:

In randvoll gefüllten Gebinden, gut verschlossen und vor Feuchtigkeit geschützt, ist Sorbitsirup praktisch **unbegrenzt haltbar**, Teilkristallisation unter -10°C ist möglich.

#### 6.2.4.3. Verwendung in der Lebensmittelindustrie und für technische Zwecke

Sorbitsirup wird überwiegend aus technologischen Gründen zur Stabilisierung des Wassergehaltes und zum Weichhalten ähnlich Sorbitlösungen verwendet. **Sorbitsirup** ist aufgrund seines Gehaltes an reduzierenden Zuckern nach Hydrolyse > 1% **nicht für Diabetiker geeignet**.

70%ige Sorbitlösungen (Sorbitsirup) werden zur **Stabilisierung der Feuchtigkeit** als Glycerinersatz und als Weichmacher

- ⇒ in der **Kosmetik** verwendet, z.B. für Zahnpasten, Cremes, Lotionen
- ⇒ in der **Pharmazie** als Trägerstoff für Flüssigpräparate, Tonika, Infusionslösungen, Leberschutzpräparate als Weichhalter für Gelatinekapseln; zur Herstellung von Sorbitanestern als Emulgatoren und Lösungsvermittler (Sorbitanmonopalmitat, -stearat, -laurat, -oleat, trioleat und – polyoxyethylenderivaten);
- ⇒ zur **Verhinderung der Versprödung von Papieren** aller Art (Pergaminpapier, Pergamentersatzpapier, Leichtpergament, Wachspapier, gestrichene Papiere, Lichtpauspapier, gummierte Papiere);
- ⇒ in der **Textilindustrie** zum Appretieren in der Leder- und Pelzveredelung; für Klebstoffe, Leime und Gelatineprodukten;
- ⇒ zur **Verhinderung des Austrocknens von Polyurethanschäumen**; als Rohstoff für die Synthese von Ascorbinsäure.

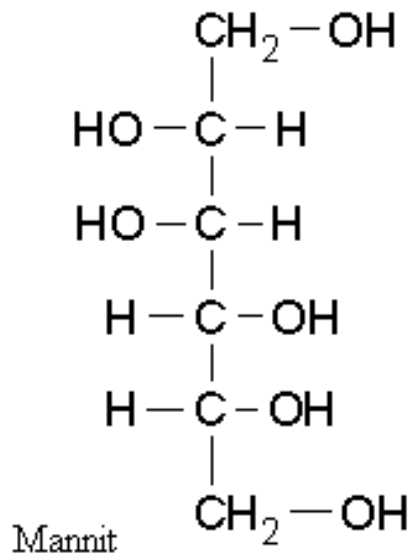
## 6.3. Mannit

### 6.3.1. Vorkommen und Herstellung

Mannit ist in der Pflanzenwelt weit verbreitet. Der eingetrocknete Saft der **Mannaesche** enthält etwa 13% Mannit. Außerdem kommt Mannit insbesondere in **Braunalgen** (z.B. *Laminaria cloustoni*) vor; der Gehalt kann über 20% liegen. Mannit wurde ferner in Kürbis, Sellerie, Jasmin, in Pilzmycelen und in verschiedenen Speisepilzen (in Reizker, Champignon, Butterpilz mit Gehalten zwischen 1 und 1,5%) nachgewiesen.

Bei der **Fermentation von Pflanzensäften** sowie in **Silage** entsteht Mannit durch **bakterielle Reduktion von Fructose**.

D-Mannit wird durch **katalytische Hydrierung** von Invertzucker (Fructose) oder von Isoglucosen-Sirupen unter ähnlichen Bedingungen hergestellt, wie sie bei der Hydrierung von Glucose zu Sorbit oben beschrieben wird. Die Abtrennung des schwerer löslichen Mannits vom Sorbit erfolgt durch **Kristallisation** aus wässrigen Lösungen



Die Summenformel von Mannit ist  $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6$  und seine Molmasse beträgt 182,18 g/mol.

### 6.3.2. Eigenschaften

<b>Chemische Bezeichnung:</b>	D-Mannohexan-1,2,3,4,5,6-hexaol, D-Mannitol, Mannazucker								
<b>Aussehen:</b>	weißes, kristallines Pulver								
<b>Geruch:</b>	geruchlos								
<b>Geschmack:</b>	süß, etwa 50% der Süßkraft von Zucker								
<b>Löslichkeit:</b>	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Temperatur in °C</td> <td>4</td> <td>20</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>g/100g Wasser</td> <td>10</td> <td>18,6</td> <td>11,5</td> </tr> </table> <p>Wenig löslich in Ethanol (etwa 1,2g in 100ml bei 20°C), schwer löslich in höheren Alkoholen, unlöslich in Ether und anderen organischen Lösungsmitteln</p>	Temperatur in °C	4	20	80	g/100g Wasser	10	18,6	11,5
Temperatur in °C	4	20	80						
g/100g Wasser	10	18,6	11,5						
<b>Schmelzbereich:</b>	166-168°C								
<b>Optische Aktivität:</b>	$\alpha_D^{25} = -0,48$ (c= 7g/100ml Wasser) Nach Zusatz von Borax und von Ammoniummolybdat nimmt die Drehung stark zu und wird positiv $\alpha_D^{25} = +28,6^\circ$ (c=10g/100ml 20%ige Borax-Lösung) $\alpha_D^{25} = +138^\circ$ bis $+142^\circ$ (c=1g/100ml Wasser als Ammoniummolybdat-Komplex)								
<b>Schüttvolumen:</b>	60-65g/100ml (abhängig von der Korngröße)								
<b>Stabilität:</b>	Mannit ist nicht hygroskopisch und nimmt bei hoher relativer Luftfeuchte kaum Wasser auf. Gegenüber verdünnten Säuren und Alkalien ist er bei Raumtemperatur beständig und kann bei Abwesenheit von Säuren und Alkalien ohne Zersetzung auf 250°C erhitzt werden. Stabil gegenüber Licht-, Sauerstoff- und Wärmeeinfluss auch in wässrigen Lösungen und unter den üblichen technischen Prozessbedingungen bei der Lebensmittelherstellung.								
<b>Süßkraft:</b>	Die im Vergleich zu den anderen Polyolen geringere Löslichkeit vermindert auch den Süßeindruck von Mannit. Die Süßkraft liegt zwischen 50-60% des Zuckers.								

Mannit bildet **keine gefärbten Verbindungen** beim Erhitzen in Gegenwart von Proteinen und Aminosäuren (Maillard Reaktion). Bei fermentativer Oxidation mit *Acetobacter suboxydans* entsteht aus Mannit D-Fructose. Gut verschlossen aufbewahrt ist Mannit praktisch **unbegrenzt haltbar**.

### 6.3.3. Reinheitsanforderungen

Die Spezifikationen sind in der „Richtlinie des Rates vom 25.07.1978 zur Festlegung spezifischer Reinheitskriterien für Emulgatoren, Stabilisatoren, Verdickungs- und Geliermittel, die in Lebensmitteln verwendet werden dürfen“ festgelegt.

<b>Gehalt:</b>	mind. 98% an Mannit in der von flüchtigen Bestandteilen freien Substanz
<b>Gehalt an flüchtigen Anteilen:</b>	max. 0,3%
<b>Gehalt an reduzierenden Zuckern:</b>	max. 0,05%
<b>Sulfatgehalt:</b>	max. 0,01%
<b>Chloridgehalt:</b>	max. 0,007%
<b>Sulfataschegehalt:</b>	max. 0,1%

### 6.3.4. Verwendung in der Lebensmittelindustrie

Aufgrund seines erhöhten **laxativen Effekts** wird Mannit nur in **sehr begrenztem Umfang in der Lebensmittelindustrie eingesetzt**. So dient er als Zuckeraustauschstoff bei diätischen Lebensmittel für Diabetiker zum Pudern der Oberfläche von Backwaren und in Kombination mit Sorbit, auch aufgesüßt mit Süßstoffen, als kalorienreduziertes Süßungsmittel, wobei allerdings der Mannit-Anteil in solchen Lebensmitteln in der Regel die 10%ige-Grenze nicht übersteigt. Dies mag zum einem an dem negativen Effekt des Mannits liegen, andererseits hat Mannit den gleichen physiologischen Brennwert von ungefähr 17 kJ/g wie Zucker. Was ihn aber dennoch für Diabetiker geeignet macht ist die Tatsache, dass Mannit **insulinunabhängig** ist im Gegensatz zu Zucker.

Auch als **pulverförmiges Gleitmittel** bei der Herstellung von Streifen-Kaugummi hat sich Mannit bewährt.

Mannit ist ferner ein sehr **guter Trägerstoff für Multivitamin-Kautabletten** und **Brausetabletten**, die speziell auch für Diabetiker angeboten werden können.

Da Mannit nicht hygroskopisch ist, sind bei der Verarbeitung keine besonderen Maßnahmen zu beachten.

Die **Hauptanwendung** von Mannit liegt in der **pharmazeutischen Industrie** als Trägerstoff für Tabletten, für parenterale Infusionslösungen und für die orale Anwendung als mildes Laxan.

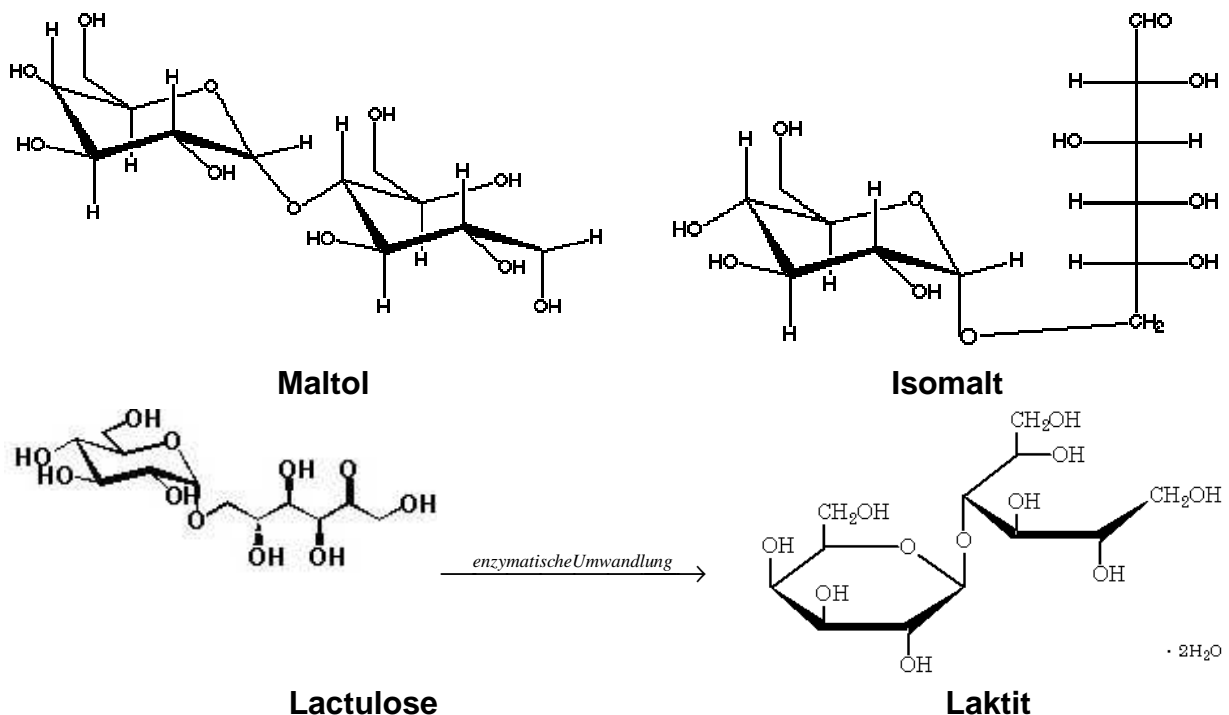
## 6.4. Disaccharidalkohole

### 6.4.1. Herstellung

Die Herstellung hydrierter Glukosesirupe oder von Disaccharidalkoholen geht von den unhydrierten Glukose - hochmaltosehaltigen - Sirupen oder den Disacchariden **Maltose**, **Laktose**, **Isomaltose** aus. Die Zusammensetzung der Glukosesirupe oder die Reinheit der Disaccharide ist also entscheidend für die Zusammensetzung und Reinheit der hydrierten Produkte.

Die **Hydrierung der Glukosesirupe bzw. Disaccharide** erfolgt technisch mit Wasserstoff und einem Katalysator, z.B. Raney-Nickel. Dabei müssen spezielle Hydrierbedingungen wie pH-Wert, Temperatur, Wasserstoffdruck und Verweilzeit eingehalten werden, um eine Spaltung der Disaccharidbindung und unerwünschte Nebenreaktionen zu verhindern. Die Hydrierung erfolgt batchweise oder kontinuierlich, die angewendeten technischen Verfahren sind denen bei der Hydrierung von Monosacchariden ähnlich.

Die Herstellung hydrierter Glukosesirupe mit einem nennenswerten Anteil an **Maltit** begann 1964 in der Stadtfabrik Lyckeby in Schweden und erfolgt jetzt vornehmlich bei den Firmen Roquette Frères in Lestrem und Cerestar, Krefeld. Die Herstellung von Maltit, zuerst lediglich in Sirupform, dann zusammen mit einem Träger sprühgetrocknet, begann Ende der 60er Jahre in Japan. Heute ist es gelungen, auch Maltit kristallin herzustellen. Als Ausgangsprodukt für die Herstellung von Maltit dient **hochreine Maltose**. Ebenso kann **Lactit**, das zuerst nur als Sirup zur Verfügung stand, jetzt als Mono- bzw. Dihydrat aus wässrigen Lösungen kristallisiert werden. **Isomalt** wird durch die Hydrierung von Isomaltulose in kristalliner Form gewonnen; Isomaltulose durch enzymatische Umlagerung von Zucker.



	hydr. Glucose- sirup (Lycasin® 80/55, Maldex 200)	Maltit kristallin Maltose	Maldex 100 Maltose- Sirup	Laktit- Monohydrat	Laktit- Dihydrat	Isomalt Palaetin®	$\alpha$ -D-Glucose- pyranosyl-1,6- mannit	$\alpha$ -D-Glucose- pyranosyl-1,6- sorbit
Sorbit	6-8 %	1-3 %	2,5-3,5 %	0,7 % max.	0,8 % max.	- 0,5 %	-	0,03 %
Maltit	50-55 %	85-90 %	73-77 %					
Laktit				93,5-96 %	88-90 %			
Mannit				0,3 % max.	0,3 % max.	- 0,5 %	-	0,03 %
Dulcitol				0,2 % max.	0,1 % max.			
Isomaltulose						< 0,2 %	0 %	0 %
$\alpha$ -D-Glucosepyranosyl-1,6-mannit						- 49,5 %	100 %	0,26 %
$\alpha$ -D-Glucosepyranosyl-1,6-sorbit						- 49,5 %	-	99,42 %
Tri- bis Hexa- saccharidalkohole	20-25 %							
über DP-6- Saccharidalkohole	15-20 %							
davon über DP-20- Saccharidalkohole	< 3 %							
Trisaccharidalkohole		5-8 %	9,5-13,5 %					
Oligosaccharid- alkohole		2-6 %	8,5-14 %					

### Saccharidzusammensetzung für hydrierte Glucosesirupe, Maltit, Lactit und Isomalt

	hydr. Glucose- sirup (Lycasin® 80/55, Maldex 200)	Maltit kristallin Maltose	Maldex 100 Maltose- Sirup	Laktit- Monohydrat	Laktit- Dihydrat	Isomalt Palaetin®	$\alpha$ -D-Glucose- pyranosyl-1,6- mannit	$\alpha$ -D-Glucose- pyranosyl-1,6- sorbit
Geschmack	süß	süß	süß	süß	süß	süß	süß	süß
Geruch		geruchlos		geruchlos	geruchlos	geruchlos	geruchlos	geruchlos
Farbe		weiß		weiß	weiß	weiß	weiß	weiß
Zustand		kristallin		kristallin	kristallin	kristallin	kristallin	kristallin
Summenformel				$C_{12}H_{24}O_{11} \cdot x H_2O$	$C_{12}H_{24}O_{11} \cdot x 2H_2O$		$C_{12}H_{24}O_{11} \cdot x 2H_2O$	$C_{12}H_{24}O_{11}$
Molekulargewicht				362	380		380,32	344,32
Schmelzbereich		134-136° C		115-125° C	70-80° C		162° C	165,7-168,5° C
Sinterungspunkt						145-150° C		
Wassergehalt <sup>1)</sup>	24-26 %			5,5 % max.	9,5-10,5 %	5-7 %	9,77 %	0,03 %
spez. Drehung $\alpha_D^{20}$	+115°-120°			+14,0°	+14,6°	+91,5° <sup>2)</sup>	+88,7°	+92,9° ± 0,99°
Bruchzahl $n_D^{20}$	1,4762-1,4855							
Viskosität (20° C)	ca. 2.000 mPas		1.500 mPas					
pH-Wert	6-7	5-7	5-7	4,5-7,0	4,5-7,0			
TS-Gehalt		99 %	74 %					
Gehalte an:								
Sulfatanteile	0,1 % max.	0,1 % max.	0,1 % max.	500 ppm max.		<0,005 %	0,04 %	0 %
davon $SO_4^{2-}$	0,01 % max.			20 ppm max.				
davon Cl <sup>-</sup>	0,005 % max.	0,002 %	0,002 %	20 ppm max.				
red. Zucker als Glucose	0,2 % max.	0,3 % max.	0,3 % max.	0,04 % max.	0,1 % max.	0,8 % <sup>3)</sup>		

<sup>1)</sup>nach Fischer (Scholtz, E., Karl-Fischer-Titration: Methoden zur Wasserbestimmung, Springer-Verlag, Berlin (1984))

<sup>2)</sup>90-92° laut JECFA

<sup>3)</sup>als Palaetinose

### Spezifikation und Zusammensetzung für hydrierte Glucosesirupe, Maltit, Lactit und Isomalt

## 6.4.2. Süßkraft und Geschmacksbild

Dissaccharidalkohole werden in erster Linie als **Bulk Sweetner** verwendet; ihr Geschmacksbild ist rein süß, ähnlich dem des Zucker und ohne einen Nebengeschmack.

Die Süßkraft einzelner Saccharidalkohole unterscheidet sich nicht sehr von der der reduzierenden Saccharide, aus denen sie hergestellt werden.

Lee und Birch geben für Disaccharidalkohole folgende **relative Süßkraftwerte** an:

<b>Maltit:</b>	<b>0,63</b>
<b>Lactit:</b>	<b>0,34</b>
<b>Cellobiit:</b>	<b>0,11</b>
<b>Melibiit:</b>	<b>0,09</b>

Die durch Schwellenkonzentrationsmessung und die normalerweise durch Vergleich mit 5-10%iger wässriger Zuckerlösung ermittelten Süßkraftwerte von Saccharidlösungen, können lediglich als Anhaltswert für die „Süße“ von zubereiteten Lebensmitteln und Getränken bei gleicher Rezeptur gelten, da die tatsächlich empfundene Süße beim Verzehr eines Produktes u.a. von der Temperatur, dem pH-Wert, der Viskosität, der Textur und der absoluten Konzentration des Saccharids abhängig ist.

Selbst in wässrigen Lösungen ist die **Süßkraft von Sacchariden** konzentrationsabhängig. (siehe Abbildung unter 3.2. /Seite 21) Wie man hier erkennt, entspricht eine 150 g/l enthaltende Isomaltlösung in der Süßkraft einer 50 g/l enthaltenden Zuckerlösung, eine 450 g/l Palatinitlösung jedoch einer 270 g/l Zuckerlösung bei 20°C. In Lebensmitteln, in denen der gesamte Zuckeranteil noch höher liegt, z.B. in Konfitüren oder Zuckerwaren, verlieren die Süßkraftunterschiede einzelner Saccharide immer mehr an Bedeutung, da das gewünschte Süßempfinden aktiv beim Verzehr vom Verbraucher selbst durch Intensität der Kau- und Lutschbewegungen beeinflusst wird.

## 6.4.3. Zustandsform, Schmelzpunkt, Löslichkeit, Viskosität, thermodynamische Kennzahlen

Nicht nur für die **Lagerung** und den **Transport** ist es von Wichtigkeit, in welcher Form ein als Rohstoff gehandelter Süßungsmittel vorliegt, sondern auch für die **Verarbeitungstechnologie** und die **Eigenschaften der Fertigprodukte**. Liegt z.B. ein Saccharid wegen Nichtkristallisierbarkeit nur in Sirupform vor, dann ist es zum Teil zur Herstellung von wasserfreien Lebensmitteln wie Schokolade nicht bzw. für die Herstellung von Hartkaramellen nur bedingt geeignet, weil Wasser zusätzlich verdampft bzw. abgetrocknet werden muss. Meistens sind nichtkristallisierbare Saccharide überdies hygroskopisch, d.h. auf der Oberfläche der mit ihnen hergestellten wasserarmen Lebensmittel bildet sich unter normalen Lagerungs- und Aufbewahrungsbedingungen eine Sirupschicht, durch die die Produkte **klebrig** und auch schnell **unansehnlich** werden. Auch mit einer aufwendigen Verpackung lässt sich dieses Handikap kaum verhindern.

Daher ist ein ideales Süßungsmittel kristallin und nicht hygroskopisch, letzteres auch, um eine **mikrobiologische Kontamination** nach der Herstellung weitgehend auszuschließen.

relative Luftfeuchte	Lagerung in Tagen	% Feuchtaufnahme bei 25° C			
		Lactit	Sorbit	Xylit	Mannit
55	1	0,1	0,8	0,1	0,1
	2	0,1	0,8	0,1	0,1
	3	0,1	0,8	0,1	0,1
65	1	0,1	2,2	0,1	0,2
	2	0,1	2,2	0,1	0,2
	3	0,1	2,2	0,1	0,2
75	1	0,3	5,5	0,3	0,7
	2	0,3	7,7	0,3	0,7
85	1	1,7	12,0	4,3	1,0
	2	2,1	22,4	9,6	1,0
	3	2,3	32,3	15,1	1,0
95	1	5,4	17,3	11,5	1,9
	2	10,3	31,7	23,1	1,9
	3	16,1	42,8	34,5	2,0

Wasseraufnahme von einigen kristallinen Zuckeralkoholen in Anhängigkeit von der relativen Luftfeuchte und der Zeit

Von den technisch hergestellten Disaccharidalkoholen kristallisieren die wasserfreien Maltit und Isomalt aus, während Lactit mit 1 bzw. 2 mol Wasser und Glucopyranosido-1 zu 1-Mannit (GPM), mit 2 mol Wasser auskristallisieren.

Beim Röntgen der Kristallstruktur von **GPM** wurde von Lindner und Lichtenthaler herausgefunden, dass die Sauerstoffatome beider Wassermoleküle über Wasserstoffbrücken einmal untereinander und zum anderen mit den Sauerstoffatomen O<sub>2</sub> und O<sub>5</sub> des Mannitteiles verbunden sind. Die gestreckte Anordnung der C-Kette des Mannitteiles von GPM bzw. des Sorbitteiles von Isomalt setzen sich über die glykosidischen Sauerstoffatome in den **pyranoiden Glucoseringen** fort, so dass die Disaccharidbindung räumlich sehr geschützt vorliegt. Diese „geschützte Position“ des glykosidischen Sauerstoffs von GPM und **GPS** (Glucopyranosido-1,→1-Sorbit, Isomalt) ist sicherlich ein Grund für die sehr schlechte H<sup>+</sup>-Ionen oder enzymatisch aktivierte Spaltbarkeit beider Disaccharidalkohole, da die räumlich Struktur im Molekülaufbau nach neueren Erkenntnissen auch in wässrigen Systemen weitgehend erhalten bleibt.

Der feste Einbau der Wassermoleküle in die Struktur des GPM ist sicherlich auch ein Grund dafür, dass sich Isomalt durch eine **sehr geringe Hygroskopizität** im kristallinen und geschmolzenen Zustand und der Fähigkeit auszeichnet, Wasser aus dem Molekülverband auf- und abzugeben, so dass es zu keiner Veränderung der Oberflä-

che und zu keiner Ausbildung einer Sirupschicht bei geschmolzenen oder dragierten Oberflächen kommt.

Durch die neue **Verpackungsverordnung** ist die Hygroskopizität von Polyolen und der aus ihnen hergestellten wasserarmen Lebensmittel zu einer wichtigen technologischen Eigenschaft geworden.

Die **Schmelzbereiche** der einzelnen Disaccharidalkohole sind:

<b>Lactit (wasserfrei aus Alkohol):</b>	<b>146°C</b>
<b>Monohydrat:</b>	<b>115-125°C</b>
<b>Dihydrat:</b>	<b>70-80°C</b>
<b>Maltit:</b>	<b>146-147°C</b>
<b>Isomaltit:</b>	<b>168°C</b>
<b>GPM</b>	<b>173,5°C</b>
<b>Isomalt</b>	<b>145°C</b>

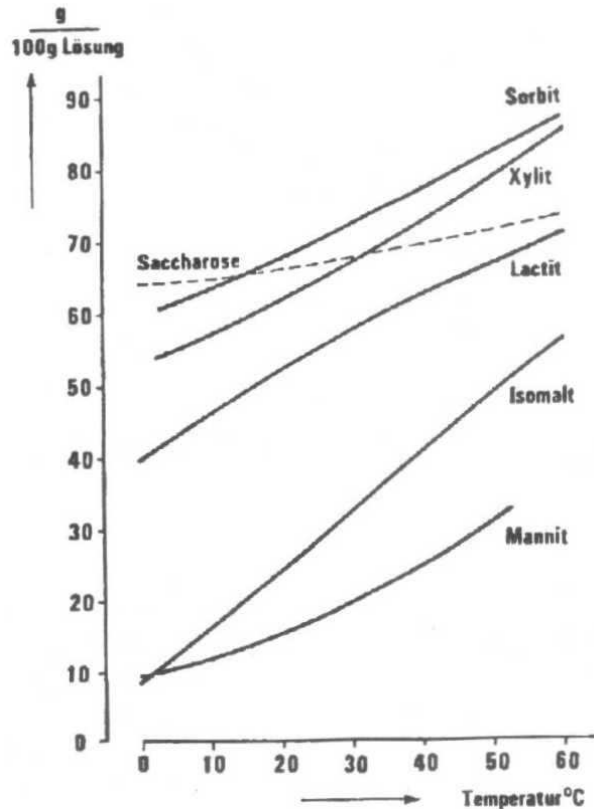
Der **Schmelzpunkt** ist wichtig für die **mechanischen Eigenschaften** der einzelnen Zuckerarten. So lassen sich nur Saccharide mit einem ausreichend hohen Schmelzpunkt (>110°C):

- ⇒ zu einem **mikrokristallinen Haufwerk** (< 100 µm) vermahlen, um so direkt, z.B. Kaugummi- oder Schokoladenherstellung verwendet zu werden oder um dieses Haufwerk wieder zu **Agglomeraten** zu instantisieren, die zu **Komprimaten** verpresst werden können.
- ⇒ in Walzwerken zu noch **kleineren Haufwerken** (<30 µm) zerkleinern, eine Voraussetzung zur Herstellung von Schokoladen und Kuvertüren mit einem feinen Schmelz. Beim Zerkleinerungsvorgang und beim sich daran anschließenden Conchieren, Warmhalten und Eintafeln von Schokoladen ist darauf zu achten, dass die einzelnen Partikel durch Kakao- oder Fettteilchen (>100 µm) agglomerieren können. Vom Einfluss auf die **Verarbeitungs- und Agglomerationseigenschaft** von Zucker ist weiter ihre Fähigkeit zum Übergang in den amorphen Zustand beim Zerkleinern mit anschließender Rekristallisation unter Wasseraufnahme abhängig
- ⇒ zu einer wenig viskosen Flüssigkeit mit einem Wassergehalt < 2% aufschmelzen oder durch Wasserverdampfung zu einer Schmelze aufkonzentrieren, die beim Ankühlen zu einer **glasklaren Schmelze** erstarrt.

Dabei ist es vom chemischen Standpunkt aus wichtig, dass bei den in er Schmelze auftretenden Temperaturen die Polyole auch bei Zusatz von Säuren chemisch stabil sind und nicht unter Wasserabspaltung zu **Anhydroverbindungen** cyclieren oder im verstärkten Ausmaße mit Säuren Ester bilden. Anhydroverbindungen sind von den Hexiten Sorbit und Mannit sowie von dem Disaccharid Lactit bekannt.

Die **Löslichkeit** von Sacchariden in Wasser ist vor allen Dingen für die Herstellung von Konfitüren mit einem TS-Gehalt (Trockensubstanz-Gehalt) von 60%, von Süßwaren auf Agar-Agar- oder Pektinbasis und beim Einsatz von Backwaren von Bedeutung. Liegt die Löslichkeit der Saccharide bei 20°C unter 60% und ist die Kristallisati-

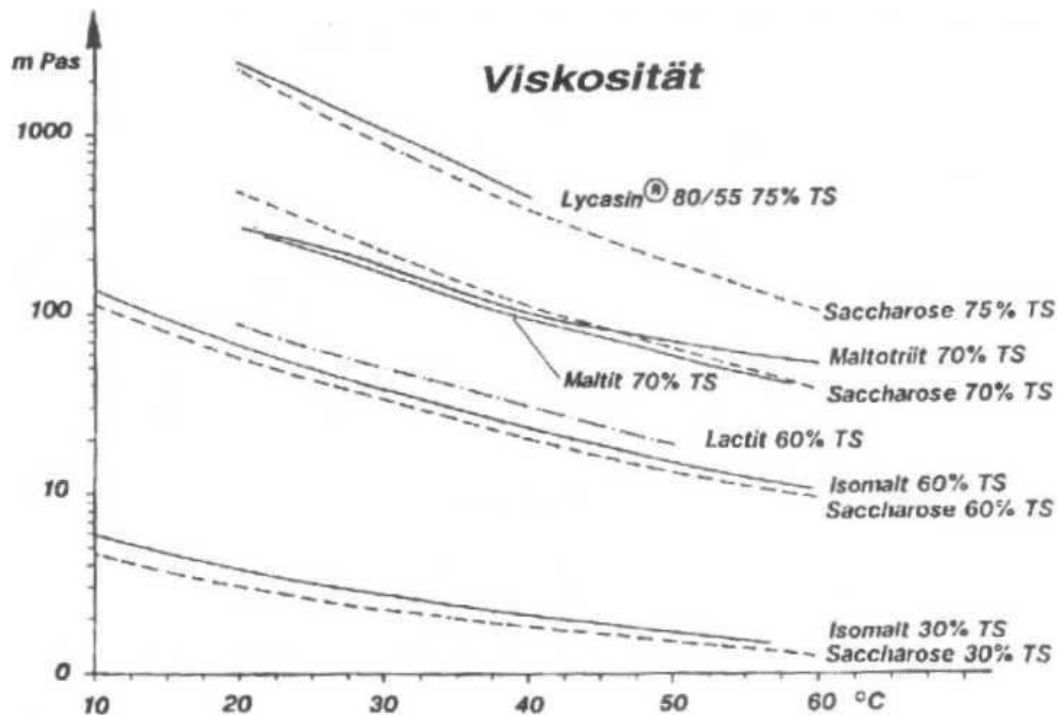
onsneigung auch aus stark viskosen Lösungen groß, kommt es zu einer **unerwünschten Rekrystallisation** des entsprechenden Saccharids aus den Systemen. Nur durch eine Erniedrigung des TS-Gehaltes oder durch eine Mischung mit anderen Sacchariden lässt sich diesem Problem beikommen.



Löslichkeit von Mannit, Sorbit, Lactit, Isomalt und Saccharose

Die **Viskositäten** wässriger Lösungen hydrierter Glukosesirupe unterscheiden sich nicht signifikant von denen der nichthydrierten Sirupe, wie Keasley und Birch herausfanden. Die Viskositäten wässriger Disaccharidalkohollösungen bei gleicher Temperatur und gleichem TS-Gehalt sind praktisch gleich groß wie die Viskositäten von Zuckerlösungen unter denselben Bedingungen. Damit lassen sich Lösungen von Disaccharidalkoholen genauso gut verarbeiten wie Zuckerlösungen.

Wie bei den Viskositäten unterscheiden sich die **physikalischen Eigenschaften** von wässrigen Disaccharidalkohollösungen, die im Wesentlichen von der Teilchenzahl in Vol. wie Gefrierpunktniedrigung, Siedepunkterhöhung, Osmolarität usw., nicht signifikant von denen von Zuckerlösungen. Erst in hochkonzentrierten Lösungen (>60%) kann es zu einer Veränderung von **physikalischen Daten** wie Viskosität, Siedepunkt usw. kommen, wenn z.B. Wassermoleküle über H-Brücken in den Molekülverband der Saccharide eingelagert werden (Clusterbildung) oder wenn es zu Konformationsänderungen kommt.



Ähnliches gilt für die Werte der Dichte, die Brechzahl (über die Brechzahl lässt sich am einfachsten der TS-Gehalt feststellen) und solche **thermodynamischen Kennzahlen** wie spezifische Wärme, Wärmeleitfähigkeit, Verdampfungswärme usw. In all diesen Fällen kann man, ohne einen großen Fehler zu machen, mit den gut zugänglichen Werten für reine Zuckerlösungen rechnen.

#### 6.4.4. Chemische und mikrobiologische Stabilität

Bei der Lebensmittelzubereitung sowie bei der Lagerung sollen sich die einzelnen Rezepturbestandteile nicht chemisch verändern oder miteinander reagieren, d.h. sie sollen:

- ⇒ im Temperaturbereich -20 bis 150°C liegen,
- ⇒ im pH-Bereich von 1-9 chemisch stabil sein und nicht in andere Verbindungen umgewandelt werden,
- ⇒ mit anderen Zutaten wie Säuren, Aminosäuren, Peptiden usw. nicht reagieren.

Bei Kohlehydraten bedeutet dies im Speziellen, dass:

- ⇒ Di- und Oligosaccharide im Säuren nicht zu Monosacchariden gespalten werden,
- ⇒ Monosaccharide nicht zu HMF oder furanartigen Derivaten abgebaut werden,
- ⇒ Saccharide in der Hitze unter Wasserabspaltungen nicht zu Anhydroverbindungen umgelagert werden,

- ⇒ Reduzierende Saccharide im Alkalischen nicht enolisieren, was letztendlich zu einer C-C-Kettenspaltung unter Bildung von Radikalen, Aldehyden oder Säuren führt.

Reduzierende Saccharide reagieren mit Aminosäuren zu **Maillardprodukten** (nichtenzymatische Bräunung) oder unterliegen dem Streckerischem Abbau. Diese Reaktionen sind zum Teil unerwünscht, zum Teil zur Aromabildung und zur Farbgebung erwünscht.

Da Disaccharidalkohole, solange sie nicht gespalten werden, keine freien Carbonylgruppen haben, sind sie chemisch sehr stabil und reagieren nicht mit den anderen Rezepturbestandteilen.

#### *6.4.5. Anwendungstechnische Eigenschaften*

Die Disaccharidalkohole sind dem Zucker anwendungstechnisch wesentlich ähnlicher als die Hexite bzw. Pentite. Somit ist es möglich, praktisch alle Lebensmittel und Getränke auf vorhandenen Produktionsanlagen mit einzelnen Disaccharidalkoholen oder Mischungen mehrerer anstelle von Zucker als Süßungsmittel in vergleichbarer Qualität und sensorischer Akzeptanz herzustellen.

Dennoch ergeben sich aus den unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften für die einzelnen Disaccharidalkohole deutliche **Unterschiede bei der Verarbeitung** in Lebensmitteln und Getränken.

#### *6.4.5. Lebensmittelrechtliche Zulassung*

Genauso wie Sorbit, Mannit, Xylit ist auch Isomalt in Deutschland für bestimmte Lebensmittel ohne Mengenbegrenzung zugelassen. Die anderen Produkte bedürfen vor dem In-Verkehr-Bringen einer Ausnahmegenehmigung nach §37 LMBG.

Nach Inkrafttreten der **EG-Süßungsmittelrichtlinie** im Jahre 1996 sind alle hier beschriebenen Polyole und Polyolsirupe für die Herstellung bestimmter „brennwertverminderter“ - 30%ige Reduktion gegenüber normalen Lebensmitteln - und „ohne Zuckerzusatz“ zubereiteter Produktgruppen „quantum satis“ zugelassen. Die Zahl der Produktgruppen ist gegenüber der früheren Rechtslage erweitert worden.

Im letzten Jahrzehnt wurden die kristallinen Disaccharidalkohole als Zuckeraustauschstoff anerkannt. **22 g Polyole entsprechen einer Broteinheit.**

## 7. Süße Proteine

### 7.1. Thaumatin

Thaumatin ist ein **Lebensmittelzusatzstoff**, der zu den Süßstoffen zählt. Er wird aus den Samen der westafrikanischen **Katemfestaude** (bot.: *Thaumatococcus daniellii*) gewonnen. Der Süßstoff Thaumatin, der erst 1994 mit der EU-Süßstoff-Richtlinie (94/35/EG) in Europa eine gewisse Bedeutung erhalten hat, ist am längsten bekannt. Schon 1855 beschrieb der britische Afrika-Reisende Danielli den besonderen süßen Geschmack der westafrikanischen Katemfefrucht (*Thaumatococcus*), aus deren Samenmantel er gewonnen wird.

Der Katemfestrauch (*Thaumatococcus daniellii*) lässt sich gut unter Plantagenbäumen im afrikanischen Regenwald anbauen. Aus den **Samenschalen** (Arili) seiner Früchte lässt sich das **Protein Thaumatin** gewinnen. Es ist rund 3.000 mal süßer als Saccharose und in vielen Bereichen der Lebensmitteltechnik als Süßstoff und **Geschmacksverstärker** einsetzbar, z. B. in Kaugummi und Desserts. Thaumatin ist in der gesamten Europäischen Union und vielen anderen Ländern der Welt als Lebensmittel-Zusatzstoff zugelassen. Zur Zeit wird der Süßstoff von einem englischen Unternehmen vertrieben. Deren Pflanzenmaterial stammt von der Elfenbeinküste, wird jedoch in Großbritannien verarbeitet.



Katemfestrauch



Früchte der Katemfepflanze



Samen der Katemfepflanze mit Samenschale



Gefriergetrocknetes Thaumatin

1972 isolierte Van der Wel aus *Thaumatococcus* das Thaumatin, das er nach der Gelelektrophorese als Thaumatin 1 und 2 charakterisierte.

Die beiden Thaumatine bestehen aus allen natürlich vorkommenden Aminosäuren mit Ausnahme des Histidins. Beide **Polypeptide** sind nach sensorischer Beurteilung **intensiv süß mit mentholischem Nachgeschmack** und verlieren ihren Süßgeschmack beim Erhitzen oder unterhalb pH 2,5.

Die Süße von Thaumatin setzt etwas verzögert ein. Sie kann außerordentlich nachhaltig sein. In höheren Konzentrationen kann der mentholartige Beigeschmack weichen und zu einem **lakritzartigen Geschmack** führen. Neben dem Süßgeschmack besitzt Thaumatin geschmacksmodifizierende und –verstärkende Wirkung. Die Süßkraft von Thaumatin ist **nicht hitzestabil**. Beim längeren Kochen oder Backen verliert er an Süßkraft, seine **geschmacksverstärkende Wirkung** wird allerdings nicht beeinträchtigt.

Im menschlichen Körper wird Thaumatin **vollständig verstoffwechselt**, aufgrund sehr niedriger Einsatzkonzentrationen trägt es aber praktisch nicht zum physiologischen Brennwert von Lebensmitteln bei. Thaumatin wird in gewissen Umfang in Mischungen mit anderen Süßungsmitteln eingesetzt, in denen synergistische Geschmacksverstärkungen und Geschmacksabrundungen eintreten sollen. Verwendet wird es darüber hinaus als **Aromaverstärker**.

Saccharoselösung (g/l)	Süßkraft von Thaumatin (xfach Saccharose)
6	5460
35	3500
62	3100
80	2670
103	2060

Süßkraft von Thaumatin in verschiedenen Konzentrationen

Der Gemeinsame Experten-Ausschuss für Lebensmittelzusatzstoffe (JECFA, 1985) der Welternährungs- und Weltgesundheitsorganisation (FAO/WHO) und der Wissenschaftliche Ausschuss für Lebensmittel (SCF) der Europäischen Kommission (1988) – heute Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EBLS) - haben Thaumatin bewertet.

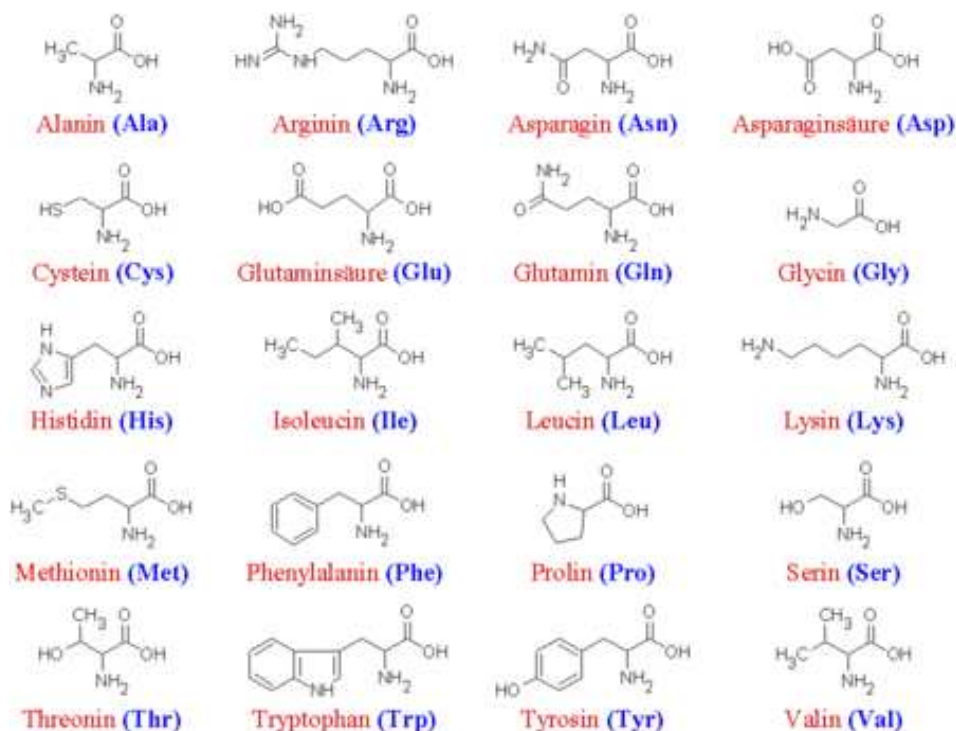
Thaumatin ist in Tabelle III des Codex Generalstandards für Lebensmittelzusatzstoffe (GSFA) aufgelistet. Das bedeutet, dass es entsprechend GMP (Gute Herstellungspraxis) – soweit nicht anders angegeben – allgemein in Lebensmitteln eingesetzt werden darf. Thaumatin ist gemäß der Richtlinie 94/35/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Juni 1994 für Süßungsmittel, die in Lebensmitteln verwendet werden dürfen, **als Süßstoff zugelassen**, sowie zugelassen als Geschmacksverstärker in Kaugummi, Getränken und Desserts gemäß der Richtlinie 95/2/EC über andere Zusatzstoffe als Süßungsmittel und Farben. Darüber hinaus ist Thaumatin in Europa gemäß der Richtlinie 88/388/EC über Aromen zur Verwendung in Lebensmit-

ten und über Ausgangsstoffe für ihre Herstellung zugelassen. Wird es als Süßstoff verwendet müssen die maximal zugelassenen Höchstmengen für die einzelnen Lebensmittelkategorien eingehalten werden. Als **Geschmacksverstärker** kann Thaumatin **in allen Lebensmitteln** gemäß GMP eingesetzt werden. Gleiche Zulassung existiert in der Schweiz, den USA, Kanada, Israel, Mexiko, Japan, Hongkong, Korea, Singapur, Australien, Neuseeland und Südafrika. Weitere Zulassungen in anderen Ländern sind angestrebt. Thaumatin wird von der FDA (Food and Drug Administration) mit dem GRAS Status (Generally Recognised As Safe = grundsätzlich als unbedenklich zu betrachten) eingestuft.

## 7.2. Monellin

Monellin wurde zuerst von Inglett aus der **roten traubenähnlichen Frucht** der tropischen Pflanze **Dioscoreophyllum Cumminsii** isoliert. Anschließend wurde die Substanz von Morris und Cagan auf ihre sensorischen Eigenschaften getestet und von ihnen als „Monellin“ bezeichnet.

Inzwischen sind kristallographische sowie CD-Messungen und elektrophoretische Untersuchungen durchgeführt worden, die Rückschlüsse auf Struktur-Wirkungs-Beziehungen ermöglichen. Danach besteht das Monellin aus zwei **Polypeptidketten** mit je 50 bzw. 42 **Aminosäuren**. Für den Süßgeschmack ist das assoziierte Molekül erforderlich, da die einzelnen Ketten geschmacklos sind. Monellin enthält alle natürlichen Aminosäuren mit Ausnahme des Histidins.



Die natürlichen Aminosäuren

Nach CD-Messungen liegt beim Monellin eine Tertiär-Struktur vor. Sie ist gegen Alkali, Dodecylsulfat und Guanidid-HCL empfindlich, nicht aber gegen Säure.

Der Süßgeschmack scheint **pH-abhängig** zu sein, da z.B. der bei pH 2 vorhandene intensive Süßgeschmack bei pH 7 verloren geht und erst bei pH-Erniedrigung wieder entsteht. Monellin schmeckt im richtigen pH- Bereich ungefähr 2000-2500fach süßer als Saccharose.

Aufgrund der sensorischen Beurteilung, nach der der Süßgeschmack langsam frei wird und **mentholartigen Beigeschmack** aufweist, sowie infolge der **Luft- und Lichtempfindlichkeit** sind der Verwendung des Monellins jedoch Grenzen gesetzt.

## 8. Gesundheitswissenschaftliche Betrachtung der Süßstoffe

Süßstoffe müssen als Lebensmittelzusatzstoffe vor der praktischen Verwendung eingehend auf **gesundheitliche Unbedenklichkeit** geprüft werden. Auf der Basis der verfügbaren Daten wird von verschiedenen Gremien, beispielsweise dem Gemeinsamen Expertenkomitee für Lebensmittelzusatzstoffe der Weltgesundheitsorganisation und der Welternährungsorganisation, eine **vertretbare Tagesdosis (ADI** für Acceptable Daily Intake) festgelegt.

Stoff (mg/kg Körpergewicht und Tag)	ADI-Wert	Zuckeräquivalent in Milligramm
Acesulfam (E950)	0-15	~1800
Aspartam (E951)	0-40	~8000
Cyclamat (E952)	0-11	~280
Neohesperidin-DC (E959)	0-5	~3000
Saccharin (E954)	0-2,5	~2500
Thaumatococcus (E957)	unbegrenzt	unbegrenzt~
Sucralose (E955)	0-15	~9000

**Überschreitungen** dieser vertretbaren Tagesdosen sind bei normalen Ernährungsverhalten weitgehend auszuschließen. Beim **Ausschöpfen** der vertretbaren Tagesdosis ergäbe sich für einen Erwachsenen eine Süße, die bei Aspartam mehr als dem vierfachen und bei Acesulfam und Neohesperidin-DC etwa dem doppelten täglichen Saccharoseverzehr entspräche. Bei Saccharin wird noch knapp der durchschnittliche tägliche Zuckerverzehr erreicht, lediglich bei Cyclamat liegt der Wert deutlich niedriger. Bei Thaumatococcus wurde, da es wie Proteine metabolisiert wird, von vornherein die Festlegung eines Zahlenwerts nicht für zweckmäßig angesehen.

**ADI-Werte** werden auf der Basis von im Tierversuch langfristig ohne nachteilige Wirkung vertragene Dosierungen unter Einrechnung eines Sicherheitsfaktors von 100 festgelegt. Dieses bei Lebensmittelzusatzstoffen übliche Vorgehen schließt das Risi-

ko gesundheitlich nachteiliger Effekte auch bei längerfristigem Verzehr dieser Stoffe weitestgehend aus.

Das Gemeinsame Expertenkomitee für Lebensmittelzusatzstoffe der WHO und FAO und der Wissenschaftliche Lebensmittelausschuss der EG haben im Rahmen der Festlegung von ADI-Werten für Acesulfam, Aspartam, Cyclamat, Neohesperidin-DC, Thaumatin und Saccharin toxikologische Monographien oder Zusammenfassungen veröffentlicht, in denen ein Überblick über die verfügbaren Daten zur Unbedenklichkeit und ihre Bewertung gegeben wird.

Wie bei den Zuckeralkoholen Sorbit, Mannit, Xylit kann es auch bei übermäßiger Aufnahme von Disaccharidalkoholen zu **gastrointestinalen Effekten** (Blähungen, Flatulenzerscheinungen, Diarrhöen) kommen. Die **Verträglichkeit** ist abhängig von der Resorptionsgeschwindigkeit für die einzelnen Polyole und der Osmolarität der Getränke und Lebensmittel; sie ist jedoch **nicht proportional zum Körpergewicht**; z.B. Erwachsene gegenüber Kindern. So findet z.T. auch eine Adaption bei täglichem Verzehr statt. Ferner ist die **Aufnahmetoleranz** auch von der **Darreichungsform** abhängig, ob z.B. Zuckeralkohol als wässrige Lösung oder als Bestandteil von festen Lebensmitteln wie von Schokoladen, Backwaren oder Hartkaramellen verzehrt wird. In diesem Fall werden Tagesdosen bis zu 60 g durchaus toleriert.

Der wissenschaftliche Lebensmittelausschuss der EG-Kommission fasste seine Ansicht zu diesem Problemkreis wie folgt zusammen: „Eine laxierende Wirkung kann bei der Aufnahme größerer Mengen von Polyolen beobachtet werden, eine Aufnahme von 20 g pro Person und Tag verursacht wahrscheinlich keine unerwünschten laxierenden Symptome“.

Da **Zuckeralkohole** vor allen in Süß- und Backwaren, Schokoladenartikeln und diätischen Produkten für Diabetiker mehr als Zutat und nicht im klassischen Sinne als Zusatzstoff verwendet werden und bis zu 5% der täglichen Nahrungsaufnahme ausmachen können, ist die Ermittlung des ADI-Wertes im herkömmlichen Sinne aus toxikologischen Langzeit-, Cancerogenitäts-, Teratogenitäts-, Fortpflanzungsstudien usw. nicht möglich. Das JECFA-Komitee der WHO/FAO hat daher nach Prüfung der vorliegenden Studien beschlossen, für die Zuckeralkohole Xylit, Sorbit, Isomalt, Lactit, sowie hydrierte Glucosesirupe einen **ADI-Wert „not specified“** festzusetzen, für Mannit gilt im Augenblick noch der 1976 im 20.Report des JECFA-Komitees festgelegte temporäre ADI-Wert von maximal 50 mg pro kg Körpergewicht pro Tag. Maltit wird von der JECFA als eine Art hydrierter Glucosesirup angesehen und ist nicht gesondert behandelt worden. Dieser Ansicht schloss sich auch der wissenschaftliche Lebensmittelausschuss bei der EG-Kommission an, wobei er auch Mannit in die globale Aussage mit einschloss.

Darüber hinaus gelten allgemein über die oben aufgezeigten speziellen **Reinheitsanforderungen** allgemeine Reinheitsanforderungen **für alle Süßungsmittel**:

### Allgemeine Ansprüche an Süßstoffe:

<b>Arsengehalt:</b>	max. 3 mg/kg
<b>Bleigehalt:</b>	max. 10 mg/kg
<b>Zinkgehalt:</b>	max. 25 mg/kg
<b>Kupfer und Zink:</b>	max. 50 mg/kg

### Allgemeine Ansprüche an Zuckeralkohole:

<b>Arsengehalt:</b>	< 3 mg/kg
<b>Gesamtschwermetallgehalt:</b>	<10 mg/kg
<b>Nickelgehalt</b>	<2 mg/kg

## 8.1. Süßstoffe und Krebs?

Im Jahre 1977 wurde die Sicherheit von **Saccharin** durch eine kanadische Tierstudie in Frage gestellt. Denn bei männlichen Ratten traten durch den Verzehr von Saccharin Blasentumore auf. Die Dosis, die an die Ratten verfüttert wurde, war jedoch extrem hoch. Umgerechnet auf den Menschen entsprach sie ungefähr 750 Flaschen süßstoffhaltiger Erfrischungsgetränke oder 10.000 Süßstoff-Tabletten pro Tag. In zahlreichen Folgestudien konnten auch die kritischen Ergebnisse dieser Studie nicht bestätigt werden. Seit Generationen nutzen Diabetiker Saccharin und Cyclamat Tag für Tag, um Süßes genießen zu dürfen, ohne ihren Stoffwechsel zu belasten. Selbst aus diesem Kreis der Intensiv-Verwender ist nicht ein einziger Krebsfall bekannt, der auf Süßstoffverzehr zurückzuführen wäre.

Vor einigen Jahren stand **Aspartam** in Verdacht krebserregend zu sein. Grund dafür war, dass Aspartam wieder in seine Grundsubstanzen, die Aminosäure Asparaginsäure (40%), Phenylalanin (50%) sowie Methanol (10%) verstoffwechselt wird. Das Methanol wird in Formaldehyd verstoffwechselt, was im Verdacht steht, Krebs auszulösen. Da aber die durch Aspartam freigesetzte Methanolmenge sehr gering ist, wurde durch zahlreiche Untersuchungen ausgeschlossen, dass Aspartam tumorauslösend ist. Durch den Verzehr von beispielsweise Zitrusfrüchten oder Tomaten entstehen im Körper wesentlich größere Mengen Methanol.

Nach einer eingehenden Prüfung des SCF\* und anderer Expertengremien konnten negative Auswirkungen nicht bestätigt werden.

Die Ergebnisse von annähernd 80 wissenschaftlichen Untersuchungen beweisen die Unbedenklichkeit von **Cyclamat** für die menschliche Gesundheit. Ende der sechziger Jahre kamen jedoch Bedenken über einen möglichen Zusammenhang zwischen Cyclamat und Blasenkrebs auf, die durch eine Studie hervorgerufen wurde, bei der Ratten lebenslang extrem hohe Mengen der Natriumsalze von Cyclamat und Saccharin verabreicht wurden. Umgerechnet auf den Menschen entsprach diese Dosis einem täglichen Verzehr von ungefähr 4.000 bis 5.000 Süßstofftabletten, was einer

Ration von 20 Kilogramm Zucker gleichkommt. Langzeitstudien zeigen, dass Cyclamat weder eine chemisch-toxische, noch eine kanzerogene Wirkung hat.

## 8.2. Abführende Wirkung von Süßstoffen

In Bezug auf **Durchfallerkrankungen** werden die Wirkungen von **Süßstoffen** (Acesulfam, Aspartam, Saccharin, Cyclamat, Neohesperidin DC, Thaumatin, Aspartam-Acesulfam-Salz und Sucralose) oft mit denen der **Zuckeraustauschstoffe** verwechselt.

Aufgrund der besonders langsamen Resorption der **Zuckeraustauschstoffe** (Sorbit, Xylit, Mannit, Maltit, Lactit und Isomalt) gelangen diese in tiefere Abschnitte des Dickdarms und können so zu **osmotischen Durchfällen** und **Blähungen** führen. Eine Einzeldosis von 10 bis 15 Gramm sollte daher nicht überschritten werden. Deshalb schreibt das Lebensmittelrecht für den Einsatz von Zuckeraustauschstoffen in Lebensmitteln den Hinweis „*Kann bei übermäßigem Verzehr abführend wirken*“ auf der Produktpackung vor.

In praxisüblichen Dosierungen von **Süßstoffen** kommt es nicht zu dieser abführenden Wirkung.

Lediglich für sehr hohe **Natrium-Cyclamat**dosen werden in der Literatur abführende Wirkungen beschrieben. So konnten in einer Studie an Hunden, denen Na-Cyclamatmengen in einer Höhe von 2 bis 4 Gramm pro Kilogramm Körpergewicht verabreicht wurde, Durchfälle beobachtet werden. Dies würde einer Aufnahme von 50 – 100 Süßstofftabletten entsprechen. Es wird auch zuweilen über eine Zunahme des Feuchtigkeitsgehalts des Stuhls berichtet, jedoch ohne Veränderung der Häufigkeit des Durchgangs. So ergab eine Untersuchung an einer großen Personengruppe diese Veränderung des Stuhls, wenn die Versuchspersonen täglich 10 bis 12 Gramm Kalzium-Cyclamat aufgenommen haben. Cyclamat selbst führt nicht zu der laxierenden Wirkung und es wird davon ausgegangen, dass die Wirkung großer Dosen Natrium-Cyclamat auf einen Salzeffekt in ähnlicher Weise wie bei Natriumsulfat (Glaubersalz) zurückzuführen ist.

In Bezug auf **Saccharin-Natrium** wird über eine Beeinflussung der Verdauung in Form von Durchfällen erst bei einer täglichen Aufnahme von über 25 g berichtet. In einer weiteren Studie wurden Durchfälle durch Saccharin-Natrium in einer Dosierung von 4 Gramm pro Kilogramm Körpergewicht hervorgerufen. Bezogen auf ein Körpergewicht von 70 kg würde diese Dosis einer Menge von über 70.000 Natrium-Saccharin-Tabletten entsprechen. Die Aufnahme derartiger Mengen über die Ernährung ist niemals möglich, so dass Durchfälle durch Saccharin auszuschließen sind.

Für die anderen zugelassenen **Süßstoffe**, wie Aspartam, Acesulfam K, Neohesperidin DC, Thaumatin, Aspartam-Acesulfam-Salz und Sucralose ist bisher **keine abführende Wirkung** nachgewiesen.

### *8.3. Rufen Süßstoffe allergische Reaktion hervor?*

Prinzipiell können alle Lebensmittelinhaltsstoffe eine allergische Reaktion auslösen, wobei Eier, Milch und Nüsse die häufigsten Ursachen für Allergien sind. Es kann dabei zu Hautreizungen, Übelkeit und Atembeschwerden kommen.

Bisher sind **keine Allergien gegenüber Süßstoffen** bekannt, lediglich bei weniger als 0,5% der Konsumenten treten Unverträglichkeiten gegenüber Lebensmittel-Zusatzstoffen auf.

In den letzten Jahrzehnten wurde Cyclamat im Zusammenhang mit **Photoallergien** untersucht, das durch Licht eine allergische Reaktion hervorrufen soll. Verschiedene Publikationen und wissenschaftliche Studien konnten diese Behauptungen nicht bestätigen, so dass davon ausgegangen werden kann, dass keine allergischen Reaktionen zu erwarten sind.

### *8.4. Süßstoffe während der Schwangerschaft und in der Stillzeit*

Im zweiten Drittel der Schwangerschaft steigt der Energiebedarf der Frau um etwa 300 Kilokalorien pro Tag an. Da jedoch auch der Bedarf an bestimmten Nährstoffen wie z.B. für Folsäure und Eisen in dieser Zeit um bis zu 100%, zunimmt, ergibt sich für die werdende Mutter das Problem, Lebensmittel mit einem geringen Energiegehalt und gleichzeitig hohen Nährstoffgehalt auszusuchen.

Gerade in der Schwangerschaft setzt sich die Frau in der Regel ausführlich mit dem Thema Ernährung auseinander, um dem heranwachsenden Fötus eine gute Versorgung zu gewährleisten. Dabei tauchen häufig Fragen zur Sicherheit der Süßstoffe auf. Diese Bedenken sind jedoch unnötig, da Süßstoffe auch für das Ungeborene ungefährlich sind. Es konnte mittlerweile in einer Vielzahl von Studien gezeigt werden, dass eine Süßstoffaufnahme während der Schwangerschaft **keine schädigende Wirkung auf den Embryo** hat.

Nach der Schwangerschaft besteht bei der jungen Mutter vielfach der Wunsch abzunehmen, um das Ausgangsgewicht vor der Schwangerschaft wieder zu erreichen. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass der zusätzliche Energiebedarf während der Stillzeit 600 Kilokalorien pro Tag beträgt. Ein Großteil dieser Energie wird in Form der Muttermilch abgegeben. Abnehmen ist in dieser Zeit nicht ratsam, da hierbei die Fettspeicher der Mutter mobilisiert werden, in denen u.a. auch Schadstoffe gelagert sind. Diese können dann über die Muttermilch zum Säugling gelangen.

Es gilt also einerseits die ausreichende Versorgung des Säuglings mit Nährstoffen, Vitaminen und Mineralstoffen zu gewährleisten und andererseits das Wunschgewicht der jungen Mutter letztendlich langsam wieder zu erreichen.

## 8.5. Machen Süßstoffe hungrig?

Da **Süßstoffe**, mit Ausnahme von Aspartam und Thaumatin, **kalorienfrei** sind, können sie auch nicht dick machen. Die kalorienliefernden Süßstoffe werden aufgrund ihrer hohen Süßkraft in nur sehr geringen Mengen eingesetzt, so können die daraus resultierenden Kalorien durchaus vernachlässigt werden. Wird ein Teil des täglichen Zuckerkonsums von durchschnittlich 100 g pro Person durch Süßstoff ersetzt, lassen sich allein dadurch täglich zwischen 200 und 400 kcal einsparen.

Die Rolle der Süßstoffe, als unterstützender Faktor für die **Gewichtskontrolle**, wurde in einer Untersuchung des Psychologen Blundell in Frage gestellt. In dieser Studie gaben die Testpersonen an, nach Verabreichung von wässriger Aspartam-Lösung und nach Verzehr von Saccharin-gesüßtem Joghurt, ein verstärktes Hungergefühl zu verspüren.

Als Erklärung für die **Appetitanregung** prägten Wissenschaftler den Begriff des „**cephalischen Insulinreflex**“. So soll der Organismus nach der Aufnahme einer süßen Substanz, egal ob Zucker oder Süßstoff, automatisch Insulin ausschütten. Dadurch würde der Blutzuckerspiegel sinken und ein Hungergefühl ausgelöst werden. Da die angeblich ausgelöste Insulinsekretion und der dann absinkende Blutzuckerspiegel nur vermutet und nicht wissenschaftlich belegt wurde, haben die Arbeitsgruppen von Härtel und Steiniger dies in ihren Studien nachgeholt. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigten, dass Süßstoffe weder eine cephalische Insulinsekretion auslösen, noch zu einer Änderung des Blutglukosespiegels führen. Folglich fördern Süßstoffe weder den Hunger noch den Appetit. Zu denselben Ergebnissen kam auch Förster in seiner Studie zum Einfluss des Aspartams auf den Appetit

Nach wie vor müssen Süßstoffe bewusst in die Ernährung eingebaut werden. Es sollte vermieden werden, dass die eingesparten Kalorien durch erhöhte Zufuhr anderer Energieträger kompensiert werden. Wer abnehmen möchte, sollte Süßstoffe nicht dazu missbrauchen, das Doppelte oder Dreifache der gewohnten Portion zu essen.

## 8.6. Süßstoffe und Karies

**Plaquebildung** aus Kohlenhydraten durch die Mundflora erfolgt bevorzugt aus solchen Substraten, bei deren Umsetzung zu Polysacchariden ein Energiegewinn erzielt wird. Andererseits bilden sich **Säuren** lediglich aus Monosacchariden.

Da der Energiegewinn bei der Umsetzung von **Disaccharidalkoholen** zu Dextranen äußerst gering ist oder in manchen Fällen sogar überhaupt keine Energie frei wird, sind Disaccharidalkohole keine Substrate zur Plauebildung. Ebenso erfolgt aus **Monosacchariden** keine Plauebildung.

Somit sind Mono- und Disaccharidalkohole weitgehend **nichtkariogen** und damit zur Herstellung vor allen Dingen von Süßwaren geeignet, die z.B. in der Schweiz als „zahnschonend“ bezeichnet werden dürfen.

Neben der Plaue- und Säurebildung beeinflussen **Speichelstimulationen** und **Remineralisierungsvermögen** in Summe das Verhalten von Sacchariden in der

Mundhöhle. Nach bisherigen Untersuchungen ergibt sich in etwa folgende Reihung für das kariogene Potential von Zuckeralkoholen

*Xylit* ≤ *Isomalt* < Sorbit, Maltit < Mannit, Lactit.

Dieses gilt aber nur für die reinen Mono- und Disaccharidalkohole; Tri- oder Oligosaccharidalkohole werden wie Tri- und Oligosaccharide von den Enzymsystemen der Mundflora und des Dünndarms normal zu Monosacchariden und Disaccharidalkoholen abgebaut.

**Süßstoffe haben überhaupt keine kariogenen Effekte**, denn sie werden meistens unverstoffwechselt durch den Harn wieder ausgeschieden. Sie werden nicht im Mund bereits zersetzt und können somit dort keine Säuren bilden oder das Bakterienwachstum begünstigen. Manche Süßstoffe zeigen sogar in höheren Konzentrationen eine **Hemmwirkung auf streptococcus mutans**. Damit ist Säurebildung durch *Streptococcus mutans* nicht möglich, die als Mitauslöser für Karies angesehen wird.

## 9. Süßstoffe und das Gesetz

### 9.1. Süßstoffgesetz von 1898

Am 5. Mai 1898 verabschiedete der Reichstag ein Gesetz, das die **Verwendung** künstlicher Süßstoffe bei der gewerbsmäßigen Herstellung verschiedener Nahrungs- und Genussmittel **verbot**. Der Gebrauch von Saccharin im Haushalt blieb hingegen frei. Bei diesem ersten Süßstoffgesetz spielten lebensmittelpolizeiliche Überlegungen eine wichtige Rolle. Saccharingesüßte Lebensmittel waren hinsichtlich ihres Nährwertes eindeutig minderwertig. Überlegungen die Konsumenten zu schützen gaben den Ausschlag dafür, dass auch die Sozialdemokraten für das Gesetz eintraten. Wirtschafts- und finanzpolitische Interessen waren es, die den Gesetzgebungsprozess in Gang brachten, und sie blieben bis zum Schluss bestimmend.

### 9.2. Süßstoffgesetz von 1902

Das erste Süßstoffgesetz erfüllte die Hoffnungen der **Zuckerindustrie** nicht, im Gegenteil: deren schlimmste Befürchtung wurden wahr. Der Verbrauch von Saccharin nahm weiter zu und um 1900 erlebte der Süßstoff seinen Durchbruch als „Zucker der armen Leute“. Die Zuckerindustrie forderte deshalb **zusätzliche Verkehrsbeschränkungen** und wiederholte ihre Forderung zur Einführung einer **Süßstoffsteuer**. Vor allem aber wollte sie das lästige Surrogat dorthin verwiesen wissen, wo auch ihr Produkt einst zu finden gewesen war: in die Apotheke. Das immer populärer werdende Genussmittel sollte dort verschwinden, wo es seinem Vorbild nicht mehr gefährlich werden konnte: im Ghetto der Arzneimittel.

Im September 1898, noch bevor das Süßstoffgesetz überhaupt in Kraft getreten war, verlangte die Zuckerindustrie im Zusammenhang mit der Revision der Arzneimittelverordnung die Beschränkung des Verkaufs von Saccharin auf die Apotheken und

zwar, um „der Gefahr einer die Volksnahrung schädigenden Anwendung größerer Mengen künstlicher Süßstoffe entgegenzutreten“. Der Bundesrat wies dieses Begehren im Februar 1899 zwar zurück, doch der Zuckerverein gab nicht nach und zusammen mit dem Süßstoffkonsum wuchs auch die Unterstützung für seine Bestrebungen. In den Augen der Zuckerindustrie duldete die Verschärfung des Süßstoffgesetzes keinen Aufschub, denn die Vertreter der chemischen Großindustrie seien „überaus einflussreich“ und es werde immer schwieriger, der Süßstoffindustrie „Beschränkungen aufzuerlegen oder sie ganz aus dem Felde zu schlagen“.

Im Frühling 1900 war die Zeit reif für eine neue Gesetzgebungsrunde. Auf Antrag ihres Mitgliedes Hermann Paasche verabschiedete die Budgetkommission des Reichstages am 2. März 1900 eine Resolution für den „**Apothekenzwang**“ und die „**Rezeptpflicht**“. Vor dem Reichstag versicherte der Berichterstatter der Kommission, dass die Regierung die Vorarbeiten zu einem neuen Gesetz aufgenommen habe, weshalb man im Plenum auf eine Abstimmung über die Resolution verzichtete.

Schon am 2. Mai 1900 wurde im Reichstag ein neuer Antrag eingereicht, der eine der Süßkraft des Saccharins entsprechende **Steuer** vorschlug und der von einer hochkarätigen, agrarisch-konservativen Gruppe lanciert worden war - unterschrieben hatten u.a. Dr. Diederich Hahn, Gustav Roesicke und Frhr. v. Wangenheim, die drei Führer des Bundes für Landwirte. Der Antrag entsprang taktischem Kalkül: Einmal ging es darum, der Regierung, die an einem neuen Gesetz arbeitete, Beine zu machen, hieß es doch im Antrag, dass das Gesetz bis „spätestens Anfang der nächsten Session“ vorliegen müsse. Zum anderen rechneten die Antragsteller mit dem Finanzbedarf, den der geplante Ausbau der deutschen Flotte mit sich bringen würde. Tatsächlich empfahl die Kommission, die die entsprechende Novelle ausarbeitete, im Mai 1900 zur Deckung der enormen Rüstungsausgaben neben der Erhöhung verschiedener Verkehrssteuern auch die Einführung von zwei neuen **Verbrauchsabgaben**: eine auf Schaumwein und eine auf Saccharin.

Offensichtlich ging das Ganze den Agrariern nicht schnell genug. Am 20. November 1900 schoben sie einen neuen Antrag nach, der mit jenem vom 2. Mai 1900 identisch war. Anlässlich der Budgetdebatte vom 10. Dezember 1900 gelang es Schatzsekretär Thielmann, die konservativen Eiferer zu besänftigen. Von der Regierung dazu ermuntert, meldeten sich unterdessen weitere Organisationen zu Wort, so Hunderte von Handels- und Landwirtschaftskammern aus ganz Deutschland. Während die **Landwirtschaftskammer** in der Regel zu einer hohen Verbrauchsabgabe von 80 oder noch mehr Mark pro Kilogramm Saccharin und/oder zu restriktiven Verkehrsbeschränkungen rieten, sprachen sich die **Handelskammern** gegen Verkehrsbeschränkungen aus, die weitergingen als die von 1898; auch befürworteten nur wenige Handelskammern eine Steuer, und wenn, dann eine niedrige von 15 bis 20 Mark.

Grundsätzlich gegen eine Steuer wandte sich der **Bund der Industriellen (Bdl)**, da Zucker und Saccharin gar keine Konkurrenten seien. Statt dessen trat der Bdl für eine „schärfere“ Anwendung des Gesetzes von 1898 ein. Auch der Verein zur Wahrung der Interessen der Chemischen Industrie protestierte beim Reichskanzler gegen eine Steuer und warnte vor der „Vernichtung einer blühenden Industrie“.

Die Süßstoffindustrie selber wehrte sich in mehreren Petitionen und Denkschriften gegen die Beeinträchtigung ihres lukrativen Geschäfts. Es wäre allerdings verfehlt, ihre Klagen über die „maßlosen Wünsche“ der Zuckerindustrie als selbstgerechtes

oder Lamento hinzustellen. Die beiden Forderungen, die zur Diskussion standen, waren nämlich durchaus jede für sich geeignet, das Süßstoffgeschäft mindestens in der Form zu zerstören, in der es sich seit 1898 herausgebildet hat. Eine Steuer von 80 Mark hätte das Saccharin so stark versteuert, dass jene Konsumentinnen und Konsumenten ausgeschieden wären, für die der Süßstoff die Alternative zum „luxuriösen“ Zucker war. Auch drastische Verkehrsbeschränkungen mussten die gleiche Folge haben, nämlich: das Saccharin als „Zucker der armen Leute“ auszuschalten. Schon die Einführung des „Apothekenzwangs“ käme einem Konsumverbot gleich.

Überliefert ist auch der Versuch der Süßstoffindustrie, die Konsumenten, die als die eigentlichen Betroffenen ihre Interessen kaum wirksam artikulieren konnten, gegen das drohende Gesetz zu mobilisieren.

Angesichts des großen politischen Drucks erklärte sich die Süßstoffindustrie dazu bereit, eine Steuer zu bezahlen, allerdings nur eine „gerechte“, die den Herstellungspreis des Saccharins (d.h. 10 bis 15 Mark pro kg) nicht übersteigen dürfte. Gleichzeitig müsse man die Beschränkungen von 1898 aufheben und durch eine bloße **Deklarationspflicht** ersetzen.

Anfänglich war das Reichsamt des Inneren mit der Federführung in dieser Angelegenheit betraut. Erst im Sommer 1900 erhielt das Schatzamt die undankbare Aufgabe, die sich widersprechenden wirtschafts- und fiskalpolitischen Motive miteinander zu versöhnen. In der Unsicherheit über die Zuständigkeit manifestierte sich einmal mehr der heterogene Charakter des Problems. Im Februar 1901 musste der Reichskanzler eingestehen, dass es in den kommissarischen Beratungen nicht gelungen sei, sich darüber zu einigen wie weit man in der Beschränkung des Verkehrs gehen soll. Bülow unterbreitete dem preußischem Staatsministerium deshalb zwei Entwürfe.

In einem rigorosen **Entwurf A** schlug das Schatzamt vor, die Verwendung von Süßstoff für die Lebensmittelherstellung generell zu verbieten und den Verkauf von Saccharin nur noch „gegen ärztliches Rezept“ zu gestatten. Auch auf eine Steuer wurde in diesem Entwurf A nicht verzichtet, doch entschied sich das Schatzamt für einen relativ niedrigen Satz von höchstens 30 Mark.

Auch der zurückhaltendere **Entwurf B** enthielt ein Verwendungsverbot von Süßstoff für die Lebensmittelindustrie, er ließ aber den kommerziellen Gebrauch prinzipiell frei. Andererseits sah er eine massive Steuer von 80 Mark pro kg Saccharin vor.

Am 23. Februar 1901 standen die beiden Entwürfe im preußischem Staatsministerium zur Diskussion. Innenminister Posadowsky favorisierte Entwurf B ebenso wie der Handelsminister. Ähnlich wie die beiden Minister äußerte sich auch der Kultusminister und die Minister der öffentlichen Arbeiten. Entwurf A wurde vom Landwirtschaftsminister Hammerstein favorisiert.

Nach einer kurzen Diskussion entschied sich das Kabinett für den Entwurf B. Die Vorlage kam am 22. April 1901 vor den Reichstag. Der Reichstag konnte sich aber weder dafür noch dagegen aussprechen und so kam es, dass das Süßstoffgesetz vom 7. Juli 1902 nur noch wenig mit dem Entwurf von 1901 gemeinsam hatte. Der Staat verzichtete zwar auf eine Steuer, verschärfte aber die Verkehrsbeschränkungen so stark, dass die Saccharinfabriken (mit Ausnahme der Fahlberg, List & Co.) ihre Produktion einstellen und entschädigt werden mussten.

Kaum war der Entwurf der Regierung publik geworden, wurde die Zuckerindustrie erneut beim Bundesrat vorstellig, um noch einmal mit Nachdruck die Einführung einer Rezeptpflicht zu verlangen. Die Forderung nach einer Steuer trat allmählich in den Hintergrund. Die Zuckerindustrie befürchtete, dass das Saccharin dank der Steuer für den Fiskus nützlich werden und damit den Status eines staatlich tolerierten und gerngesehenen Genussmittels erhalten könnte.

Das Süßstoffgesetz trat am 1. April 1903 in Kraft. Es untersagte sowohl die Herstellung als auch den Verkauf, ja sogar den Besitz von Saccharin. Lediglich Personen, die den Zucker aus medizinischen Gründen meiden mussten, durften das Saccharin in der Apotheke beziehen.

### *9.3. Saccharin im Deutschen Reich und in der Weimarer Republik*

Im ersten Weltkrieg glich Deutschland einer belagerten Festung, die nach und nach ihre letzten Reserven aufzehren musste. Vom Verarmungsprozess besonders betroffen war die Ernährung. Die dem einzelnen offiziell zustehenden Lebensmittelrationen deckten 1918 nur noch 57% bis 70% des tatsächlichen Kalorienbedarfs bei leichter, 47% bis 54% bei mittelschwerer Arbeit. Auf dem Land sah die Situation anders aus als in der Stadt, an der Front anders als in der Heimat, bei der Industriellentochter anders als beim Arbeiterkind, bei der schwarzmarkterfahrenen Hausfrau anders als bei der, die ausschließlich auf die Karten angewiesen war.

Nicht nur die Menge und die Verfügbarkeit der Nahrungsmittel nahmen im Laufe der Jahre ab, auch ihre Qualität verschlechterte sich. Skrupellose Händler warfen eine schier unerschöpfliche Zahl wertloser **Surrogate** auf den Markt. Als im März 1918 eine Anmelde- und Genehmigungspflicht für „Ersatzlebensmittel“ angeordnet wurde, waren dem Gesundheitsamt über 11.000 derartige Produkte bekannt. Auch das Saccharin gehörte in diese Kategorie. Allerdings wurde es nicht von dubiosen Geschäftemachern lanciert, sondern von den Behörden selbst.

Erste Vorschläge, das **Saccharin** wieder zuzulassen, wurden bereits im September 1914 laut, als es darum ging, das reichlich anfallende Obst einzukochen. Doch erst als der Getränkeindustrie im Frühling 1916 der Zucker ausging, trat die Regierung diesen Plänen näher. Am 25. April 1916 gestattete man die Verwendung von Saccharin bei der Herstellung von Limonade, und in den folgenden Monaten wurde diese Erlaubnis sukzessive auf andere Lebensmittel ausgedehnt. Auch die Deklarationszwang fiel der Liberalisierung zum Opfer. Besonders wichtig war die Verordnung vom 20. Juni 1916: Sie ermächtigte die Reichszuckerstelle, Süßstoffe an die Kommunalverbände, d.h. zum Gebrauch im Gastgewerbe und im Haushalt abzugeben. Bis zum 25. November 1920 war dafür allerdings ein Bezugschein nötig, und auch später behielt die Reichszuckerstelle die Kontrolle über den Handel und über die Gestaltung der Preise.

## 9.4. Das Süßstoffgesetz von 1922

Als das Finanzministerium im Herbst 1919 mit den Arbeiten am neuen Süßstoffgesetz begann, erreichte die **Zuckernot** ihren Höhepunkt; der Süßstoffbedarf schien auf Jahre hinaus gesichert, und die Gewinne aus dem Süßstoff-Geschäft nahmen von Monat zu Monat zu. Die Grundzüge des Gesetzes wurden bereits am 13. November 1919 in einer interministeriellen Besprechung festgelegt. Einerseits wollte man an den Beschränkungen von 1902 festhalten, andererseits die seit 1916 erlassenen Ausnahmen wenigstens vorläufig beibehalten. Vor allem aber ging es darum, durch monopolartige Regelung die Gewinne aus dem Süßstoff-Geschäft in eine ordentliche Steuer zu verwandeln.

Im Februar 1921 kam der entsprechende Entwurf vor das Kabinett. Joseph Wirth, der Finanzminister, der wenig später zum Kanzler berufen wurde, sagte, dass er mit dem Gesetz eine dauernde Reichseinnahme schaffen wolle.

Noch süßstofffreundlicher als der Finanzminister gab sich der Reichsschatzminister. Schon vor dem Krieg hatte der freisinnige Gothein in seinem Agrarpolitischen Handbuch gegen das berüchtigte Saccharingesetz protestiert. Im Frühling 1919 an die Macht gekommen, plädierte er für einen möglichst unbeschränkten Süßstoffverkehr. Schatzminister Gothein begründete seine Haltung mit der wirtschaft ungünstigen Lage des Reichs und mit der lädierten Valuta, die einen Import von Zucker verbiete. Eine süßstoffkritische Position vertrat hingegen das Gesundheitsamt. Im Interesse der Volksernährung drängte es darauf, tunlichst bald wieder auf die Basis des alten Süßstoffgesetzes zurückzukehren.

Hatte während der Zwangswirtschaft die Reichszuckerstelle den Süßstoffpreis festgelegt, übernahmen diese Aufgabe nun der Finanz- und Ernährungsminister. Auch im Bereich der Ausfuhr, in dem der Staat ebenfalls regulierend tätig werden konnte, erhielt der Beirat gewisse Kompetenzen. Der Preis für inländischen Süßstoff musste in einem „angemessenen Verhältnis“ zum Preis des inländischen Zuckers stehen. Das Gesetz enthielt noch andere Bestimmungen, welche die Zuckerindustrie vor einer eventuellen Konkurrenz schützten. So wurde für den allgemeinen Verbrauch eine Höchstgrenze von 800 t raffiniertem Saccharin pro Jahr festgelegt und den Fabrikanten wurde untersagt, übertriebene Rabatte zu gewähren oder ihren Süßstoff als „zuckergleich“ zu bezeichnen.

Der Gesetzesentwurf wurde am 8. April 1922 von Reichstag gutgeheißen und wenig später trat das dritte Süßstoffgesetz in Kraft.

Die repressiven Bestimmungen von 1902 blieben grundsätzlich in Kraft. Zugleich allerdings erhielten jene Ausnahme-Verordnungen das gesetzliche Placet, die man im Krieg per Notverordnung eingeführt hatte. Die gewerbliche Nutzung des Saccharins erfuhr also keine Einschränkungen und neben dem nach wie vor rezeptpflichtigen Apotheken-Saccharin, gab es auch einen mehr oder weniger freien Handel mit Haushaltssaccharin

## 9.5. Die Süßstoffsteuer

Mit dem **vierten Süßstoffgesetz** wurde der Konsum künstlicher Süßstoffe freigegeben und das Apotheken-Saccharin abgeschafft. Allerdings konnte man auch 1926 noch nicht von einem völlig freien Markt sprechen: So blieben sowohl die Einfuhr wie die Herstellung von Saccharin unter **staatlicher Kontrolle**, und für die Lebensmittelindustrie war das Saccharin nach wie vor grundsätzlich tabu, auch wenn es viele Ausnahmen gab. Die amtliche Festsetzung der Preise wurde fallengelassen, der Beirat nach nur vier Jahren aufgelöst. Aus Rücksicht auf die Zuckerindustrie, die ja ebenfalls mit einer Abgabe belastet war, wurde die „Reichseinnahme“ allerdings nicht aufgehoben, sondern bloß in eine gewöhnliche Verbraucherabgabe umgewandelt. Für jedes Kilo Saccharin, das die Fabriken verließ, nahm der Fiskus 2 Reichsmark ein. Federführend für die Zulassung von Süßstoff in der Lebensmittelindustrie war nun nicht mehr das Finanzministerium, sondern das Ministerium des Inneren. In dieser Verschiebung der Kompetenzen manifestiert sich ein säkularer Trend: Lebensmittelpolizeiliche Überlegungen traten allmählich an die Stelle fiskalischer und wirtschaftspolitischer Erwägungen.

Im **Zweiten Weltkrieg** wurde die Erlaubnis zur industriellen Verwendung von Saccharin wieder stark ausgedehnt. Der Verbrauch erreichte einen ähnlichen Umfang wie im Ersten Weltkrieg. Nach dem Zusammenbruch wurden die Zulassungsbeschränkungen weiter abgebaut, weil sich die Versorgung mit Zucker noch verschlechterte. Da die beiden Saccharinfabriken in Mitteldeutschland lagen, entwickelte sich die Süßstoffproduktion in Westdeutschland zu einem lohnenden Geschäft. Ende 1948 gab es auf dem Gebiet der sich bildenden Bundesrepublik 38 landesrechtlich konzessionierte Hersteller. Die Forschung nach neuen Süßstoffen erlebt damals eine Blüte und als begehrter Mangelartikel wurde das Saccharin zu einem beliebten **Schwarzmarktobjekt**. Erst 1949, nach der Währungsreform und mit der Aufhebung der Zuckerbewirtschaftung, brach die Süßstoff-Konjunktur zusammen. Bis 1950 verschwanden 33 der 38 Hersteller vom Markt, und die zusätzlich erlaubten Verwendungsmöglichkeiten wurden nach und nach wieder rückgängig gemacht.

Nachdem die Verwaltung zu aufwendig geworden war, wurde die Süßstoffsteuer 1965 abgeschafft. Noch 1960 hatte man ihre Sätze ein letztes Mal korrigiert. **Seit 1965 fehlt ein eigentliches Süßstoffgesetz**. Seine Aufgaben hat die **Diätverordnung** übernommen, in der die Zulassungsbestimmungen für künstliche Süßstoffe enthalten sind. Eine Liberalisierung dieser Bestimmungen, nicht zuletzt im Zusammenhang mit den Harmonisierungsbestrebungen der EG, ist gegenwärtig in Gang. Aus den süßen Diätetika werden allmählich ganz gewöhnliche Lebensmittel. Auch in der Bundesrepublik drängen immer neue Light-Produkte auf den Markt.

## 9.6. Auszug aus dem Bundesgesetzbuch

§ 2 SüßstG  
Begriffsbestimmung

Süßstoff im Sinne dieses Gesetzes ist ein auf künstlichem Wege gewonnenes Erzeugnis, das als Süßmittel dienen kann und eine höhere Süßkraft als Saccharose

(reiner Rüben- oder Rohrzucker), aber nicht entsprechenden Nährwert besitzt. Süßstoff ist auch eine Zubereitung, die Süßstoff enthält und als Süßmittel dienen kann.

### § 13 SüßstG Ermächtigung

Das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft wird ermächtigt, im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates, soweit es zum Schutz des Verbrauchers vor Gesundheitsschäden oder vor Täuschung erforderlich ist, das in Verkehr bringen von Süßstoff zu beschränken.

### § 13a SüßstG Strafvorschrift

(1) Mit Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr oder mit Geldstrafe wird bestraft, wer

1. einer Rechtsverordnung nach § 13 zuwiderhandelt, soweit sie für einen bestimmten Tatbestand auf diese Strafvorschrift verweist, oder
2. einer Vorschrift der Verordnung über den Verkehr mit Süßstoff vom 27. Februar 1939 (RGBl. I S. 336), zuletzt geändert durch die Verordnung zur Änderung der Verordnung über den Verkehr mit Süßstoff vom 2. März 1973 (BGBl. I S. 198), zuwiderhandelt.

(2) Handelt der Täter fahrlässig, so ist die Strafe Freiheitsstrafe bis zu sechs Monaten oder Geldstrafe bis zu einhundertachtzig Tagessätzen.

Zuletzt geändert durch Artikel 33 der Verordnung vom 25. November 2003

## 10. Aktuelle Zeitungsartikel zum Thema Süßstoffe

### Zuckerersatzstoffe

*Die Vorliebe für Süßes ist uns angeboren - und mit diesem Erbe haben viele zu kämpfen. Wer dem süßen Laster nicht völlig entsagen kann, sucht nach kalorienarmen Alternativen und landet sehr schnell bei Zuckerersatzstoffen wie Acesulfam K, Aspartam und Cyclamat. Diese Süßstoffe haben tatsächlich kaum Kalorien.*

Anders als etwa die Zuckeraustauschstoffe Sorbit, Mannit und Xylit, die Energie enthalten und für Zuckerkrankte verarbeitet werden, haben Süßstoffe tatsächlich kaum Kalorien. Sie schmecken süß und werden vom Körper ungenutzt wieder ausgeschieden.

Doch einen Haken hat die Sache: Produkte, in denen statt Zucker Süßstoff eingesetzt wird, unterscheiden sich geschmacklich sehr von ihrem kalorienhaltigen Vorbild. Einige Stoffe hinterlassen gar einen bitter-metallischen Nachgeschmack auf der Zunge und stimulieren den Appetit.

Während Zucker die Bildung von Serotonin, dem Botenstoff fürs Wohlbefinden im Gehirn, anregt, bleibt dieser Effekt bei Süßstoffen aus. Glücklich machen sie also nicht.

Und auch Nebenwirkungen sind bei empfindlichen Menschen nicht auszuschließen. Daher sieht die Weltgesundheitsorganisation den Verbrauch von Süßstoffen nicht ganz so unproblematisch wie die vielen Verbraucher, die sie schon Kleinkindern an Stelle des zahnschädigenden Zuckers geben. Dabei braucht ein Kind keine Süßungsmittel, die natürliche Süße von Früchten reicht völlig aus.

### Fragen an unsere DGE-Ernährungsexpertin Bettina Wegener:

*Sind Zuckerersatzstoffe gesundheitsschädigend? Können sie bspw. Allergien auslösen?*

--- Zuckerersatzstoffe (Süßstoffe) sind Verbindungen, die in wesentlich kleineren Konzentrationen als süße Kohlenhydrate, wie z.B. Zucker oder Fructose, einen süßen Geschmack erzeugen.

Ihr Vorteil liegt darin, dass sie energiearm, nicht insulinpflichtig zu verstoffwechseln (wichtig für Diabetiker) und nicht karieserzeugend sind. Die Süßstoffe, die auf dem Markt sind, wurden durch WHO (Weltgesundheitsorganisation) und FAO (Welternährungsorganisation) bewertet. Diese Bewertung beinhaltet die Prüfung der Stoffe auf die Erzeugung von Mutationen, auf krebserregende oder fruchtschädigende Wirkungen und untersucht, inwieweit die dauerhafte Aufnahme zu Gesundheitsschäden führt. Aus diesen Prüfungen wird mit einem Sicherheitszuschlag der ADI-Wert abgeleitet. Der ADI-Wert (acceptable daily intake) gibt die lebenslang tolerierbare Dosis pro Tag in mg pro kg Körpergewicht an. Diese Mengen sollten aus gesundheitlichen Gründen nicht überschritten werden. Zum Süßen von Baby- und Kleinkinderkost sollten Süßstoffe nicht verwendet werden. Gesundheitsbeeinträchtigende aber nicht schädigende Eigenschaft ist allerdings, dass Süßstoffe leicht abführend wirken können.

*Kann man mit ihrer Hilfe seinen Kalorienverbrauch wirklich senken und so längerfristig abnehmen?*

- Gewichtsreduktion kann langfristig nur durch Umstellung des Ernährungsverhaltens, fettarme und energiereduzierte Ernährung und Bewegung erreicht werden. Stimmen die Rahmenbedingungen, können durch den teilweisen Ersatz von Zucker durch Süßstoffe Kalorien eingespart werden, was sich unterstützend bei Gewichtsreduktion auswirken kann.

**Artikel erschien beim WDR am 17.März 2006**

---

### ***Idealer Diätbegleiter: Süßstoffe?***

Diätetik: Dauerhafte Gewichtsreduktion macht Lebensumstellung erforderlich – Süßstoffe können beim Abnehmen helfen

#### ***Zucker oder Süßstoff?***

Alles dreht sich um das Thema Diät. Zum Beispiel beim Kaffeetrinken. Der verschämte Griff zum Süßstoff. Und dann in Gedanken die Frage "Macht Süßstoff eigentlich schlank?" Wir klären auf und befragten dazu Dipl. oec. troph. Marion Hönig.

#### ***Ist Süßstoff tatsächlich ein Ferkelmastmittel?***

Hönig: Nein, Süßstoff ist kein Mastmittel für Ferkel. Es wird aber als Geschmackszutat dem Ferkelfutter beigemischt. Das hat einen einfachen Grund: die Ferkel sind zunächst die süßliche Milch ihrer Sauenmütter gewohnt, damit der Umstieg von Sauenmilch auf Fertigfutter erleichtert wird, mischen die Hersteller des Tierfutters Süßstoff unter. Der angenehm süßliche Geschmack bleibt erhalten und das Ferkel frisst auf Grund dessen nicht weniger.

Eigentlich könnte somit auch Zucker unter das Viehfutter gemischt werden, es gibt aber praktische Probleme bei der Verarbeitung von Zucker in Fertigtierfutter. Ein Ferkelmastmittel wäre im pharmakologischen Sinn ein Zusatz, der den Muskel- und Fettaufbau anregt. Das ist aber bei Süßstoffen garantiert nicht der Fall.

#### ***Hat Süßstoff einen Einfluss auf die Sekretion von Insulin und den Blutzuckerspiegel?***

Hönig: Nein, Süßstoffe haben keinen signifikanten Einfluss auf die Insulinsekretion und erhöhen den Blutzuckerspiegel nicht, da sie keine Kohlenhydrate darstellen und somit keine Energie liefern. Süßstoffe gelangen auch ohne Insulin in die Zellen. Dies wurde in zahlreichen Studien sicher nachgewiesen.

### ***Macht Süßstoff schlank?***

Hönig: Nein, es kann aber wirksame Hilfestellung bei einer Gewichtsreduktion bieten. Übergewichtige vermissen bei Reduktionsdiäten häufig das, was ihnen besonders gut schmeckt: süße Lebensmittel. Der Effekt ist also psychologischer Natur. Der Körper nimmt durch mit Süßstoffen angereicherte Lebensmittel weniger Kalorien auf, ohne das auf den angenehm süßen Geschmack verzichtet werden muss.

Schlank können übergewichtige Personen langfristig nur durch eine effektive Ernährungsumstellung, eine Verhaltensänderung und durch einen bewegteren Alltag werden. Der Vorteil von Süßstoffen ist einzig die Kalorieneinsparung und der Einsatz als Geschmacksmittel bei einer Reduktionskost. Wer 100 Gramm Zucker durch Süßstoff ersetzt, spart 400 Kilokalorien ein.

### ***Was ist der Unterschied zwischen Süßstoff und Zuckeraustauschstoff?***

Hönig: Süßstoffe liefern geringe beziehungsweise gar keine Energie. Bei Zuckeraustauschstoffen ist das nicht der Fall. Sie haben einen ähnlichen Energiegehalt wie zum Beispiel Haushaltszucker. Unterschied ist jedoch, dass der Körper sie langsamer resorbiert und somit der Blutzuckerspiegel auch nur langsam ansteigt. Ein Nachteil der Zuckeraustauschstoffe ist, dass sie bei zu hoher Aufnahme abführend wirken.

Erschienen in der Zeitschrift „Medizin“ am 02.03.2005

---

### ***Der Internationale Süßstoff-Verband begrüßt die Bestätigung der Unbedenklichkeit von Aspartam durch die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit***

Brüssel, 05. Mai 2006 – Die Unbedenklichkeit des kalorienarmen Süßstoffs Aspartam wurde heute bei einer Pressekonferenz in Rom von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) bestätigt. Zu diesem Urteil gelangte die Behörde nach der Überprüfung einer aktuellen Studie des Ramazzini-Instituts in Bologna, Italien, die auf einen angeblichen Zusammenhang zwischen Aspartam und einem erhöhten Leukämie- und Lymphomrisiko bei Ratten hinweist.

Zusammenfassend stellt die EFSA fest: **Es gibt keinen Grund, die Sicherheit von Aspartam weiter zu untersuchen oder die vor kurzem aufgestellten ADI-Werte (Average Daily Intake) für Aspartam zu ändern.**

Diese Auffassung der EFSA entspricht vollständig der allgemeinen wissenschaftlichen Meinung, dass Aspartam sicher ist. Es gibt keine Kontroversen über die Sicherheit von Aspartam. Intensive wissenschaftliche Forschung und regelmäßige Überprüfungen durch zahlreiche nationale und internationale für die Lebensmittelsicherheit zuständige Behörden sind zu der Schlussfolgerung gelangt, dass Aspartam ein sicherer Bestandteil von Lebensmitteln ist.

Die jüngste Epidemiologiestudie des Nationalen Krebsinstituts der USA (NCI) bestätigt frühere Forschungsergebnisse, laut denen keinerlei Zusammenhang zwischen dem Konsum von Aspartam und Leukämie, Lymphomen oder Gehirntumoren besteht (1). Im Rahmen dieser staatlich finanzierten Studie wurden über 500.000 Männer und Frauen im Alter von 50 bis 69 Jahren über einen Zeitraum von fünf Jahren beobachtet. Dabei gab es keine Anzeichen für ein erhöhtes Leukämie-, Lymphom- oder Gehirntumorrisiko bei denjenigen, die Aspartam zu sich nahmen.

Die Schlussfolgerungen der EFSA werden bestätigt durch die Ergebnisse von drei aktuellen staatlich finanzierten Tierversuchen, die im Rahmen des Nationalen Toxikologieprogramms der USA (NTP) durchgeführt wurden, um zu klären, ob Aspartam Krebs verursachen kann (2). Diese unter Einhaltung der Guten Laborpraxis (GLP) durchgeführten Versuche haben eindeutig erwiesen, dass es „keine Hinweise auf eine kanzerogene Wirkung von Aspartam gibt“.

Durch Süße ohne Kalorien kann Aspartam einen wertvollen Beitrag zur Gewichtskontrolle leisten. So lässt sich der Energiegehalt von Erfrischungsgetränken durch den Einsatz von Aspartam auf nur eine Kalorie pro Glas reduzieren. Die Verbraucher können Aspartam weiterhin bedenkenlos nutzen. Kalorienarme Süßstoffe eignen sich auch für Diabetiker, da sie süßen Genuss bieten, ohne den Insulin- und Blutzuckerspiegel zu beeinflussen.

**Erschienen am 05.05.2006**

---

### ***Aktuelle Studie des Nationalen Krebsinstituts der USA bestätigt die Sicherheit von Aspartam***

**Brüssel, 12. April 2006** – Eine aktuelle Epidemiologiestudie des Nationalen Krebsinstituts der USA (NCI) bestätigt frühere Forschungsergebnisse, laut denen kein Zusammenhang zwischen dem Konsum von Aspartam und Leukämie, Lymphomen oder Gehirntumoren besteht. Die Ergebnisse der staatlich finanzierten Studie wurden am 04. April 2006 bei der Konferenz der amerikanischen Krebsforschungsgesellschaft AACR in Washington D.C. vorgestellt. Die Forscher hatten über eine halbe Million Männer und Frauen im Alter zwischen 50 und 69 Jahren über einen Zeitraum von fünf Jahren beobachtet. Dabei ergaben sich keine Hinweise auf ein erhöhtes Leukämie-, Lymphom- oder Gehirntumorrisiko der Konsumenten aspartamhaltiger Getränke gegenüber der Kontrollgruppe. Die Forscher erklärten: „Unsere Erkenntnisse aus dieser Epidemiologiestudie sprechen dafür, dass der Konsum aspartamhaltiger Getränke das Risiko bösartiger Blut- und Gehirnerkrankungen nicht erhöht.“

Die neue Studie bestätigt das Resultat von drei aktuellen Tierversuchen, die im Rahmen des Nationalen Toxikologieprogramms der USA (NTP) durchgeführt wurden, um zu klären, ob Aspartam Krebs verursachen kann. Die von der US-Regierung finanzierten und überwachten Versuche fanden unter Einhaltung der Guten Laborpraxis (GLP) statt. Dabei wurde Aspartam an Mäuse verfüttert, die auf eine besondere Empfindlichkeit für krebserregende Substanzen hin gezüchtet worden waren. Die Krebsstudien ergaben eindeutig, dass „nichts für eine kanzerogene Wirkung von Aspartam spricht.“

Der Zulassung von Aspartam gingen vier unter Einhaltung internationaler Standards durchgeführte Langzeitstudien zur Bewertung des Krebsrisikos voraus, die keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Aspartam und irgend einer Form von Krebs lieferten. Diese Studien wurden zahlreichen Regulierungsbehörden einschließlich der amerikanischen Lebens- und Arzneimittelbehörde (FDA) vorgelegt und dort einer eingehenden Prüfung unterzogen.

Erschienen am 12.04.2006

---

***Kein Zusammenhang zwischen Aspartam und Krebs:  
Erneute wissenschaftliche Überprüfung liefert durchschlagende  
Beweise für die Sicherheit von Aspartam***

**Stellungnahme des Internationalen Süßstoff-Verbands (ISA)**

Brüssel, 10. Februar 2006 – Aspartam ist ein kalorienarmer Süßstoff, der zum Süßen von Speisen und Getränken und als Tafelsüße verwendet wird. Er gehört zu den best untersuchten Lebensmittelinhaltsstoffen. Alle Risikobewertungen von unabhängigen Sachverständigen auf internationaler, europäischer und auf nationaler Ebene haben ergeben, dass Aspartam ein sicheres Süßungsmittel ist. Der frühere wissenschaftliche Lebensmittelausschuss der Europäischen Union (SCF) - inzwischen die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) - erklärte in seinem Bericht vom Dezember 2002: „Aspartam ist unter den hoch intensiven Süßstoffen insoweit einzigartig, als dass die Aufnahme seiner Bestandteile mit der Aufnahme derselben Stoffe aus natürlichen Lebensmitteln verglichen werden kann.“ Und schlussfolgerte: „Die Überprüfung aller bis dahin verfügbaren Daten zur Wirkung bei Tieren und Menschen liefert keinerlei Anhaltspunkte dafür, dass die Ergebnisse der früheren Risikoabschätzung oder des ursprünglich für Aspartam festgelegten ADI-Wertes (Acceptable Daily Intake = lebenslang unbedenklicher Tagesverzehr) revidiert werden müssten.“ Es gibt keine Verbindung zwischen Aspartam und irgendeiner Form von Krebs, haben vier nach den internationalen Vorgaben durchgeführte Langzeitstudien zur Kazerogenität von Aspartam gezeigt. Seit über 20 Jahren verwenden mehr als hundert Millionen Konsumenten weltweit Aspartam. Diese Milliarden Menschenjahre sicherer Verwendung lassen keinen Zusammenhang zwischen Aspartam und der Entstehung von Krebs beim Menschen erkennen.

Das in Europa 1983 und von der US-amerikanischen Nahrungs- und Arzneimittelbehörde (FDA) 1981 zugelassene Süßungsmittel Aspartam ist einer der am gründlichsten getesteten Lebensmittelzusatzstoffe. Seine gesundheitliche Unbedenklichkeit bestätigen über 200 wissenschaftliche Untersuchungen.

Neben dem SCF und der FDA haben auch der Gemeinsame Sachverständigenausschuss für Lebensmittelzusatzstoffe (JECFA) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation (FAO) sowie die Zulassungsbehörden von über 100 Ländern Aspartam überprüft und es als sicher verwendbar eingestuft.

Durch Süße ohne Kalorien kann Aspartam einen nützlichen Beitrag zur Gewichtskontrolle leisten. Zum Beispiel kann ein mit Aspartam gesüßter Soft-Drink weniger als eine Kalorie pro Portion enthalten. Regierungen und Ärzte sind zunehmend über Übergewicht und Fettleibigkeit besorgt. Gerade jetzt hilft es wenig, unbegründete Angst vor einer weit verbreiteten Alternative zu schüren, die Menschen bei der Kontrolle ihrer Kalorieenergiezufuhr unterstützt. Schätzungsweise verursacht Fettleibigkeit allein in Europa 70.000 neue Krebs-Fälle pro Jahr.

Forscher der „Fondazione Ramazzini“ in Bologna (Italien) haben in „Environmental Health Perspectives“, einer Zeitschrift des US National Institute of Environmental and Health Sciences (NIEHS), eine Studie veröffentlicht, in der auf einen angeblichen Zusammenhang zwischen Aspartam und einem erhöhten Leukämie- und Lymphomrisiko bei Ratten hingewiesen wird. Diese Studie steht in völligem Widerspruch zu umfangreichen wissenschaftlichen Untersuchungen und Bewertungen von Aspartam durch nationale und internationale Behörden. Außerdem besteht keinerlei Zusammenhang zwischen der Verbreitung von Aspartam auf dem Markt und dem Auftreten von Leukämie- oder Lymphomerkrankungen in der EU.

Die Ramazzini-Wissenschaftler haben sich nicht an das international anerkannte Protokoll zur Auswertung von Krebsstudien mit Tieren gehalten. Das nationale Toxikologieprogramm (NTP) in den USA hat Leitlinien für die pathologische Begutachtung entwickelt, die dazu dienen, einen wissenschaftlichen Konsens über die Gültigkeit von Untersuchungsergebnissen zu erzielen. Eine Begutachtung der in dieser Studie angewandten pathologischen Präparate durch unabhängige Experten ist bisher nicht erfolgt.

Darüber hinaus waren die den Ratten zugeführten Aspartamdosierungen in den meisten Fällen signifikant höher als selbst Intensiv-Verwender über aspartamhaltige Produkte aufnehmen. In manchen Fällen waren die verabreichten Aspartamdosierungen sogar hundertmal höher als die vom SCF – der heutigen EFSA – festgelegten akzeptablen Tagesdosis (ADI).

Ebenfalls bedeutend: Die Zulassungsbehörden haben frühere Studien der Ramazzini-Forscher geprüft. Das Cancer Assessment Committee der FDA hat die Befunde dieser Wissenschaftler, die ein ähnliches Protokoll verwendeten, begutachtet. Der Ausschuss kam zu dem Schluss, dass die Datenangaben „unzuverlässig“ seien wegen „des Mangels an entscheidendem Detail (...), fragwürdiger histopathologischer Ergebnisse und durch die Verwendung ungewöhnlicher Bezeichnungen für die Beschreibung der Tumore“. Laut Dr. James Swenberg von der University of North Carolina in Chapel Hill sollten Fachkollegen diese Studie prüfen. Eine solche Prüfung hat bei den meisten früheren Studien der Ramazzini-Stiftung nicht stattgefunden.

Folglich sollte mit der Anerkennung und Bekanntgabe solcher Forschungsergebnisse so lange gewartet werden, bis die pathologischen Daten durch unabhängige Fachexperten begutachtet wurden und – was noch wichtiger ist – bis die Originaldaten dieser Studie von den zuständigen Behörden für Lebensmittelsicherheit bewertet wurden.

Angesichts der Einzelberichte und unbewiesenen Behauptungen über Aspartam beschlossen zahlreiche Zulassungsbehörden und wissenschaftliche Expertenausschüsse – dazu gehören Health Canada, der wissenschaftliche Lebensmittelausschuss der Europäischen Union (SCF), die britische Nahrungsmittelbehörde (FSA) und das französische Amt für Lebensmittelsicherheit (AFSSA) – die Sicherheit von Aspartam und die jüngsten Forschungsergebnisse erneut gründlich zu überprüfen.

Alle erneuten Überprüfungen haben die Sicherheit von Aspartam bestätigt. (Weitere Einzelheiten über die erneute Bestätigung der Sicherheit von Aspartam finden Sie unter [www.aspartame.org](http://www.aspartame.org))

Am 19. Dezember 2005 gab die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) bekannt, dass sie die Daten der neuen Studie über den Süßstoff Aspartam von der Ramazzini-Stiftung erhalten hat und mit ihrer Bewertung mit hoher Priorität beginnt. Laut EFSA kann es drei bis fünf Monate dauern, bis ein abschließendes Ergebnis vorliegt. Die EFSA hat ebenso darauf hingewiesen, dass sie „die Daten der neuen Studie im Zusammenhang mit bereits vorhandenen, umfangreichen Sicherheitsdaten beurteilen“ wird ([efsa.eu.int](http://efsa.eu.int)).

EFSA, AFSSA, Health Canada, FSA und FDA haben bestätigt, dass es derzeit keine Grundlage gibt, den Verbrauchern eine Umstellung der Ernährungsgewohnheiten in Bezug auf Aspartam zu empfehlen. Der internationale Süßstoff-Verband (ISA) begrüßt diese Entscheidung und ist überzeugt, dass die Sicherheit von Aspartam wieder bestätigt wird.

**Erschienen am 10. Februar 06 in einem Magazin des Deutschen Süßstoffverbandes**

---

## 11. Literaturverzeichnis

### Bücher:

**Zucker gegen Saccharin** : zur {Geschichte der künstlichen Süßstoffe} / Christoph Maria Merki. - Frankfurt am Main : Campus-Verlag, 1993. - 301 S. : Ill., graph. Darst.; (dt.) ISBN 3-593-34885-3  
Vollst. zugl.: Bern, Univ., Diss., 1991

**Entwicklung und Bewertung von Verfahren zur Gewinnung der Süßstoffe aus Stevia rebaudiana** / Markus Nowotny. - Stuttgart: Grauer, 1995 - 187 S.: graph. Darst.; (dt.) ISBN 3-86186-102-X  
Zugl.: Hohenheim, Univ., Diss., 1995

**Xylit in der oralen und parenteralen Ernährung** : med.-biochem. Gutachten / von Konrad Lang. - Hamburg : Behr, 1974. - 26 S. : graph. Darst. (Schriftenreihe des Bundes für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde; 75)

**Disaccharidalkohole als Zuckeraustauschstoffe** : Biochemische und physiologische Untersuchungen / von Uta Grupp, 1977. - 102 S. : Ill., graph. Darst.; (dt.) Hohenheim, Univ., Diss., 1977

**Einsatz von Zuckersubstituten im Kampf gegen Karies** : Dokumentation e. Symposiums in Berlin am 11. November 1985 / [Max-von-Pettenkofer-Institut des Bundesgesundheitsamtes]. Hrsg. von Rolf Grossklaus .... - München : MMV, Medizin-Verlag, 1988. - 86 S. : Ill., graph. Darst.; (dt.) (BGA-Schriften ;88,1)  
ISBN 3-8208-1106-0

**Untersuchungen an synthetischen Süßstoffen** / Mahmood Ghori, 1983. - 152 S.; (dt.) Marburg, Lahn, Univ., Diss., 1983

**Handbuch Süßungsmittel: Eigenschaften und Anwendung** / Hrsg.: G.-W. von Rymon Lipinski; H. Schiweck. - Hamburg : Behr, 1991. - 527 S.: graph. Darst.; (dt.) ISBN 3-925673-77-6

### Internet:

<http://www.gesund.qualimed.de/Zuckerersatzstoffe.html>

<http://www.3sat.de/3sat.php?http://www.3sat.de/nano/cstuecke/53810/index.html>

<http://www.mdr.de/ratgeber/585863.html>

<http://www.meine-gesundheit.de/776.0.html>

<http://www.mauritius-gymnasium.de/Suess/Warum%20schmecken%20Zucker%20suess.htm>

<http://www.diabetes-kids.de/article.php?sid=399>

<http://www.quarks.de/dyn/19547.phtml>

[http://www.intense-sweeteners.de/palatinit/intense-sweeteners.nsf/name/Historie\\_der\\_Suessstoffe-DE](http://www.intense-sweeteners.de/palatinit/intense-sweeteners.nsf/name/Historie_der_Suessstoffe-DE)

[http://www.neonlitho.ch/wphchall/labor\\_wph/synthese\\_saccharin\\_lab.htm](http://www.neonlitho.ch/wphchall/labor_wph/synthese_saccharin_lab.htm)

<http://www.chemieonline.de/forum/showthread.php?s=98bee85a63a8c00eeeca8afc4d1ec60a&t=21890&page=3>

<http://www.medizin.de/gesundheit/deutsch/437.htm>

<http://www.falk-schuch.de/formeln>

<http://wikipedia.org>

<http://www.suessstoff-verband.de>

<http://www.reformation.org/modified-foods.html>

[www.lexisnexis.de](http://www.lexisnexis.de)

[www.toothfriendly.com](http://www.toothfriendly.com)

[www.planet-wissen.de](http://www.planet-wissen.de)

[http://www.igb.fraunhofer.de/www/gf/DP/dt/GFDP\\_25\\_Thaumat.in.dt.html](http://www.igb.fraunhofer.de/www/gf/DP/dt/GFDP_25_Thaumat.in.dt.html)