

Versuch: Kohlenhydrate in Lebensmitteln

Schokolade ist nicht gleich Schokolade!

Allgemeines zum Thema (Diät-) Schokolade

§1 der Kakao-Verordnung enthält (in Verbindung mit der Anlage der Verordnung) die Bezeichnungen und Begriffsbestimmungen für Kakao und Kakaowerzeugnisse. Demnach ist Schokolade ein Gemisch aus Kakaokernen, Kakaomasse, Kakaopulver und Saccharose mit oder ohne Zusatz von Kakaobutter. Zusatzstoffe wie Aromen und Emulgatoren (meistens Lecithin) dürfen Schokolade zugesetzt werden.

Neben diesen sogenannten Grundstoffen dürfen Schokolade unter Kennzeichnung auch andere Komponenten zugesetzt werden – so zum Beispiel Milcherzeugnisse, Nussmassen, Kaffee, Mandeln, ganze Nüsse und Sultaninen.

Beispiele für Rezepturen und die sich daraus ergebenden durchschnittlichen Zusammensetzungen einiger wichtiger Schokoladen-Arten liefert folgende Tabelle:

	Edelbitter-Schokolade	Vollmilch-Schokolade	Weißer Schokolade
Rezeptur:			
Kakaomasse	60,0 %	15,0 %	-
Kakaobutter	-	18,0 %	26,0 %
Saccharose	40,0 %	47,0 %	45,0 %
Vollmilch-Trockenmasse	-	20,0 %	23,0 %
Lactose und/oder Molkenpulver	-	-	5,0 %
Lecithin	0,4 %	0,4 %	0,4 %
Zusammensetzung:			
Wasser	1,2 %	1,2 %	1,0 %
Kakaobutter	33,0 %	26,0 %	26,0 %
Milchfett	-	5,4 %	6,0 %
Saccharose	40,0 %	47,0 %	45,0 %
Lactose („Milchzucker“)	-	7,9 %	14,0 %
Eiweiß (Milch- und Kakaouiweiß)	7,1 %	7,0 %	6,3 %
Stärke (kakaoeigene)	3,7 %	0,9 %	-
Ballaststoffe	11,0 %	3,0 %	-
Theobromin + Coffein	0,8 %	0,2 %	-
Mineralstoffe	1,6 %	1,5 %	1,6 %
Phosphatide	0,4 %	0,4 %	0,4 %

Die erste Schokolade im heutigen Sinne wurde 1819 von Caillet hergestellt, die erste Milch-Schokolade (mit Kondensmilch) 1875 von Peter.

Zur Herstellung von Schokolade werden zunächst Kakaomasse, Saccharose, Milchsücker und Kakaobutter zu einer trockenen, pulverigen Grundmasse geknetet. Diese wird in einem muschelförmigen Trog (der „Conche“) bei 65-75 °C über 6-10 Stunden gewalzt, dann unter Zugabe von Kakaobutter verflüssigt und homogenisiert (6-40 Stunden) und schließlich mit weiteren Rezepturbestandteilen (Lecithin u.ä.) fertig conchiert (2-3 Stunden). Danach wird die Masse zur Einleitung der Kristallisation bei ca. 30 °C temperiert, in vorgewärmte (Tafel-) Formen gefüllt, nach Entlüften auf sogenannten Klopfbahnen abgekühlt und bei ca. 10 °C entformt.

Laut § 1 der Diät-Verordnung sind diätetische Lebensmittel die Lebensmittel, die für eine besondere Ernährung bestimmt sind. Personen, deren Verdauungsprozess, Resorptionsprozess oder Stoffwechsel gestört ist, gehören laut Diät-Verordnung zu einer „Verbrauchergruppe mit besonderen Ernährungserfordernissen“ – dies trifft auf Diabetiker zu. Diabetiker-Lebensmittel sind somit diätetische Lebensmittel. Für Diät-Schokolade gilt daher unter anderem:

Im Vergleich zu „normalen“ Schokoladen darf der Fettgehalt von Diät-Schokolade nicht erhöht sein. Außerdem dürfen anstelle von Glucose und Saccharose nur Fructose und bestimmte andere Süßungsmittel zugesetzt werden.

Fructose wird in Diabetiker-Produkten verwendet, da es im Gegensatz zu Glucose den Blutzuckerspiegel kaum beeinflusst. Fructose schmeckt wesentlich stärker süß als Glucose und wird vom menschlichen Organismus schneller abgebaut als diese.

Teil I – Herstellung der Probe-Lösungen

Die Carrez-Klärung ist ein auf den Franzosen C. Carrez zurückgehendes Verfahren, das in der Zuckanalytik zur Beseitigung von Trübungen vielfach eingesetzt wird. Das Klärverfahren beruht darauf, dass die in den Lösungen Carrez I und II enthaltenen Schwermetalle störende Kolloide (z. B. Eiweiß) ausfällen oder dass der entstehende Zinkhexacyanoferrat-Niederschlag diese Kolloide mitreißt.

Teil II der Versuche – Chromatografie

Stellt man saugfähiges Papier oder eine mit einer dünnen Schicht eines Pulvers beschichtete Platte (stationäre, ruhende Phase) einige Millimeter tief in eine Flüssigkeit (mobile Phase, Fließmittel), so wandert die Flüssigkeit aufgrund der Kapillarität des Materials langsam nach oben. Befindet sich auf dem Papier oder der Schicht an einer Stelle nahe dem unteren Rand ein Stoffgemisch, z. B. mehrere Zucker, so werden seine Komponenten im Allgemeinen von der Flüssigkeit unterschiedlich schnell mitgeführt, so dass sie – im Vergleich zur Lösungsmittelfront – verschieden schnell wandern. Es erfolgt eine Auftrennung des Stoffgemisches (siehe Abbildung 1).

Dieses Verfahren heißt Chromatografie (von griech. *chroma*, Farbe und *graphein*, schreiben), da es erstmals zur Trennung von Blattfarbstoffen angewandt wurde.

Ursachen des Trenneffektes sind unterschiedliche Wechselwirkungen zwischen der stationären Phase und den Bestandteilen des Stoffgemisches sowie unterschiedliche Löslichkeiten im Fließmittel. Je besser die Löslichkeit des Stoffes im Fließmittel ist, desto leichter wird er von diesem mitgeführt. Gleichzeitig mit dem Lösen des Stoffes im Fließmittel tritt dieser in Wechselwirkung mit der stationären Phase. Er wird mehr oder weniger stark, aber immer reversibel, adsorbiert (*Adsorptions-Chromatografie*).

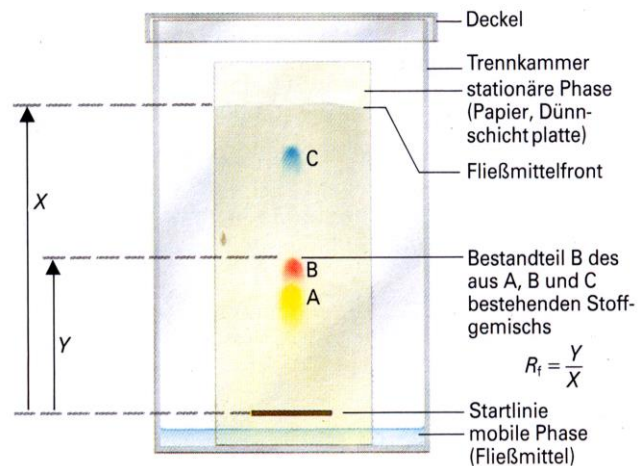


Abbildung 1:
Herstellung eines Chromatogramms

Adsorption ist aber nicht der einzige Rückhalteeffekt. Häufig befindet sich auf der Oberfläche der stationären Phase ein Flüssigkeitsfilm, meist Wasser oder ein Gemisch aus Wasser und kondensierten Dämpfen des Fließmittels. Papier kann z. B. Wasser bis zu einem Massenanteil von 10 % enthalten. Daher konkurriert die Löslichkeit des wandernden Stoffes in diesem Flüssigkeitsfilm mit der Löslichkeit im Fließmittel und sorgt durch die unterschiedliche Verteilung in den beiden Lösungsmitteln für einen weiteren Trenneffekt (*Verteilungs-Chromatografie*). Übliche stationäre Phasen sind neben Papier unterschiedlicher Oberflächenstruktur Aluminiumoxid, Kieselgel und Cellulosepulver auf Glas- oder Kunststoffplatten.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch, dass die Dünnschichtplatte oder das Papier in einem verschließbaren Gefäß – der sogenannten Trennkammer – von der mobilen Phase durchwandert wird. Nur in einem verschließbaren Gefäß ist die Atmosphäre mit den Dämpfen des Fließmittels gesättigt. In einem offenen Gefäß würde die mobile Phase von der Oberfläche der stationären Phase verdampfen und kein Flüssigkeitsfilm auf der Oberfläche entstehen. Der verteilungschromatografische Trenneffekt wäre in diesem Fall verloren.

Die zu trennenden Stoffe sind meist nicht farblich und müssen auf der stationären Phase sichtbar gemacht werden. So können z. B. Zucker durch Besprühen mit oder durch Tauchen in alkoholische Schwefelsäure farbige Verbindungen bilden. Andere Stoffe werden unter einer UV-Lampe sichtbar, oder die Beschichtung einer Platte enthält einen Fluoreszenzindikator, der farblose Stoffe im UV anzeigt.

Unter gleichen Wanderungsbedingungen ist die Wanderungsgeschwindigkeit eine für einen bestimmten Stoff charakteristische Größe. Deshalb können die getrennten Verbindungen durch direkten Vergleich mit Testproben, die ebenfalls von der Startlinie aus gleichzeitig mitwandern, identifiziert werden. Eine weitere Möglichkeit besteht im Vergleich mit R_f -Werten (R_f = retention factor, Faktor für das Rückhaltevermögen), die bei bestimmten Versuchsbedingungen ermittelt wurden. Es gilt:

$$R_f = \frac{\text{Entfernung des Substanzflecks von der Startlinie}}{\text{Entfernung der Fließmittelfront von der Startlinie}}$$

Teil III der Versuche – Fehlingsche Probe

Die Fehlingsche Probe wird vor allem als Nachweisreaktion für Aldehyd-Gruppen in Zuckermolekülen verwendet. In der offenkettigen Form des Glucose-Moleküls (siehe Abbildung 2) ist die gelb hinterlegte Aldehyd-Gruppe gut zu erkennen.

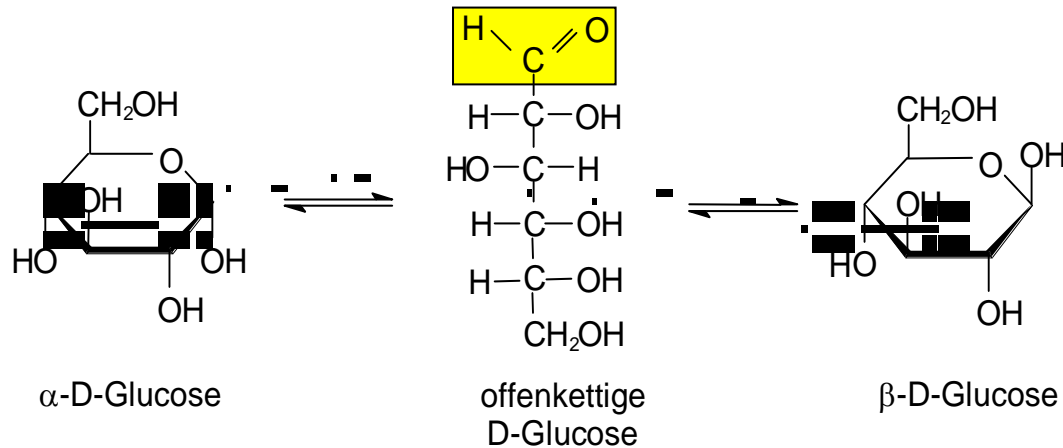


Abbildung 2: Darstellung verschiedener Strukturformeln von D-Glucose

Für die Nachweis-Reaktion wird Fehlingsche Lösung verwendet, bei der es sich um eine (immer frisch herzustellende) Mischung von zwei Lösungen handelt:

Eine Kupfer(II)-sulfat-Lösung (Fehling I) wird mit einer wässrigen Lösung von Kalium-Natrium-Tartrat und Natriumhydroxid (Fehling B) versetzt. Dadurch entsteht eine tiefblaue Lösung, in der das Tartrat (Salz der Weinsäure) eine Ausfällung des schwerlöslichen Kupfer(II)-hydroxids verhindert.

Die Aldehyd-Gruppe der Glucose wirkt gegenüber Fehlingscher Lösung als Reduktionsmittel, das selber oxidiert wird (Redox-Reaktion, siehe Abbildung 3). Der dabei auftretende rötliche Niederschlag ist Kupfer(I)-oxid.

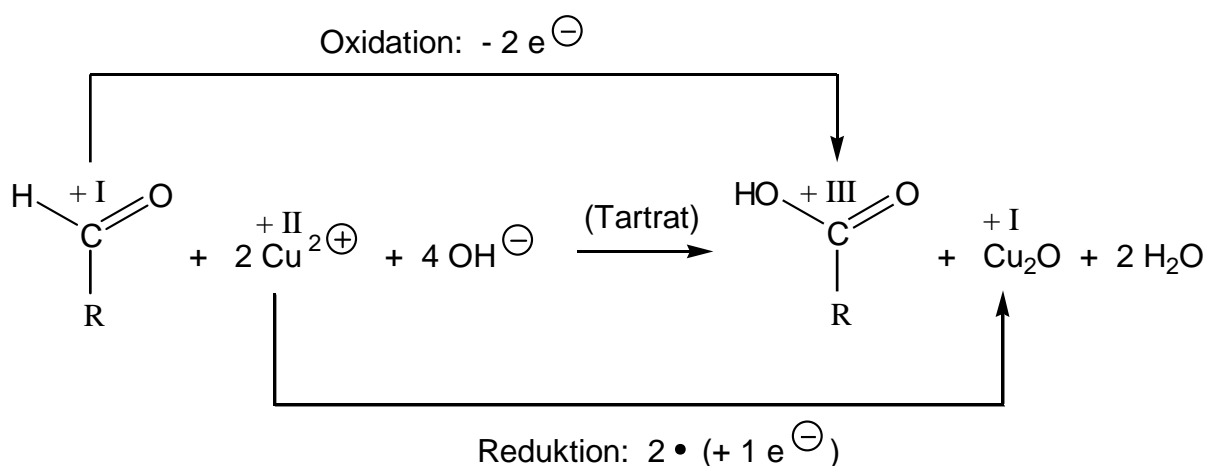
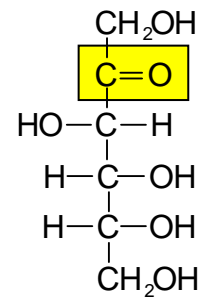


Abbildung 3: Fehlingsche Probe

Fructose besitzt im Gegensatz zu Glucose keine Aldehyd-, sondern eine Keto-Gruppe (in der Strukturformel rechts die gelb hinterlegte Gruppe).

Daher könnte man erwarten, dass die Fehlingsche Probe (als Nachweisreaktion für Aldehyd-Gruppen) bei Fructose negativ verläuft – genau das Gegenteil ist aber der Fall.

Der Grund hierfür ist im alkalischen Milieu der Fehlingschen Lösung zu suchen. Hydroxid-Ionen katalysieren die sogenannte Keto-Enol-Tautomerie, d.h. die Protonenwanderung, die in einer Gleichgewichtsreaktion zu Glucose führt (siehe Abbildung 4).



offenkettige
D-Fructose

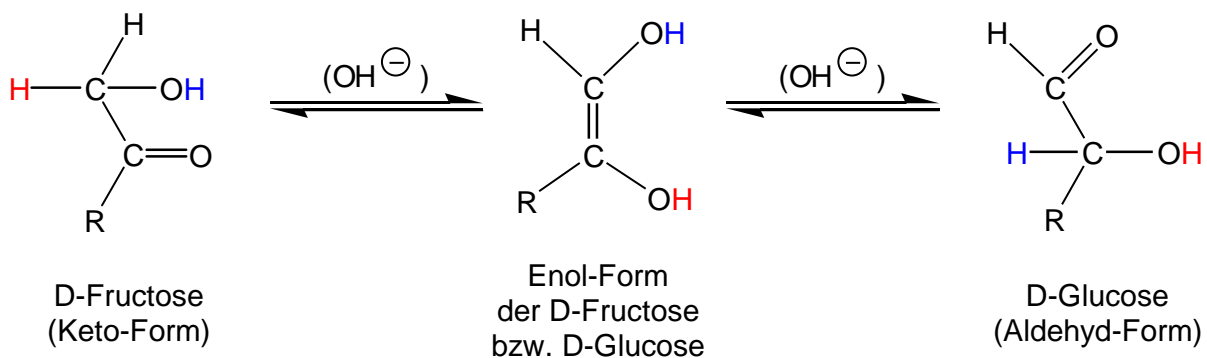


Abbildung 4: Keto-Enol-Tautomerie bei Fructose (in alkalischem Milieu)

Da sowohl Glucose als auch Fructose in der Lage sind, gegenüber Kupfer(II)-Ionen als Reduktionsmittel zu wirken, spricht man auch von reduzierenden Zuckern.

Die negativ verlaufende Fehlingsche Probe mit Saccharose weist daher darauf hin, dass Saccharose zu den nichtreduzierenden Zuckern gehört.

Saccharose ist ein Disaccharid, dessen fest miteinander verbundene Bausteine Glucose und Fructose sind (siehe Abbildung 5). Erst durch Zugabe von wässriger Säure werden die Monosaccharide voneinander getrennt. Man erhält ein Gemisch aus Glucose und Fructose gleicher Konzentration.

Führt man die Fehlingsche Probe mit diesem Gemisch durch, erhält man wieder den charakteristischen rötlichen Niederschlag von Kupfer(I)-oxid.

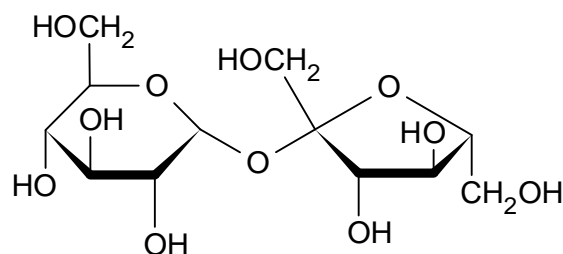


Abbildung 5: Strukturformel von Saccharose