

Lehrerinformation zum Versuch „Kohlenhydrate in Milch“

Kohlenhydrate allgemein

Zu den mengenmäßig wichtigen Gruppen der Nährstoffe gehören neben Fetten und Eiweißen **Kohlenhydrate**. Wie wir sehen werden, ist diese Gruppe ungeheuer vielfältig. Zu ihnen gehören z.B. die süßen Verbindungen wie Glucose (Traubenzucker), Fructose (Fruchtzucker) oder Saccharose (der übliche „Haushaltszucker“), die wir allgemein als „Zucker“ bezeichnen. Dazu gehört aber auch als einer der kleinsten Vertreter das Glycerin, das in Wein vorkommt, aber auch als Frostschutzmittel dienen kann. Die grünen Pflanzen, die diese kleinen Zuckerbausteine mit Hilfe von Sonnenlicht aus Kohlendioxid (CO₂) und Wasser (H₂O) wie in einer kleinen chemischen Fabrik synthetisieren (produzieren), legen sich diese süße Leckerei aber auch gern als Energiereserve auf Lager. Dazu bauen sie die kleinen Bausteine zu langen Ketten wie z.B. der Stärke zusammen, die dann in kleinen Körnern in der Pflanzenzelle herumliegt und bei Bedarf wieder mobilisiert werden kann. Wenn die Pflanze einen anderen Bauplan benutzt, kann sie aus denselben Glucosebausteinen, aus denen die Stärke besteht, auch Cellulose aufbauen. Cellulose ist das weltweit größte Syntheseprodukt: Ca. 2×10^{11} t produzieren die Pflanzen davon jedes Jahr, weil sie sie als Stütz- und Gerüstsubstanz für ihre einzigartigen Zellwände brauchen. Leider können wir die Cellulose nicht verwerten, aber Kühe z.B. mit Hilfe von Bakterien, die in ihrem Pansen (einem Teilmagen bei Wiederkäuern) wohnen. Auch die beim Celluloseabbau beteiligten Mikroorganismen dienen wiederum der Ernährung der Kühe: sie werden mit dem nun aufgeschlossenen Pflanzenmaterial weiter durch den Verdauungstrakt transportiert und liefern zusätzliches Protein.

Richtige Ernährung: Bedeutung der Kohlenhydrate in einer ausgewogenen Ernährung

Eine ausgewogene Ernährung ist die Voraussetzung für einen gesunden und leistungsfähigen Organismus. Wichtig ist es, die erforderliche Energie mit allen lebensnotwendigen Nährstoffen aufzunehmen. Die Energielieferanten in der Nahrung sind Kohlenhydrate, Fette und Eiweiß. Empfohlen wird, den täglichen Energiebedarf zu 50-55 % mit Kohlenhydraten, 30 % mit Fetten und 10-15 % mit Eiweiß zu decken. Neben den Energie liefernden Nährstoffen Fette, Kohlenhydrate und Eiweiß sind weiterhin die nicht Energie liefernden Nährstoffe wie Vitamine, Mineralstoffe und Spurenelemente, Ballaststoffe sowie Wasser von Bedeutung.

Bei der Kohlenhydrataufnahme ist es wichtig, dass der Anteil an Mono- und Disacchariden, also der zuckerhaltigen Lebensmittel, nicht zu hoch ist (er sollte möglichst 10% der Nahrungsenergie nicht überschreiten). Besser ist es, stärkehaltige Lebensmittel wie Getreide, Kartoffeln und Gemüse aufzunehmen. Diese Lebensmittel haben neben den Kohlenhydraten höhere Gehalte an Vitaminen und Mineralstoffen. Gleichzeitig sind sie ballaststoffhaltig und fördern so die Darmtätigkeit. Im Gegensatz zu den schnell verdaubaren zuckerhaltigen Lebensmitteln verbleiben sie länger im Verdauungstrakt. An sie gebundene Kohlenhydrate werden so langsamer abgebaut, was dazu führt, dass das Sättigungsgefühl länger anhält und der Blutzuckerspiegel konstanter bleibt.

Es ist also gut, möglichst wenig von den sehr energiereichen Lebensmitteln zu sich zu nehmen wie z. B. Marmelade, Süßigkeiten und Gebäck und mehr Gemüse, Kartoffeln und Vollkornprodukten zu essen.

Genau wie beim Fettverzehr gilt bei der Aufnahme an Kohlenhydraten: ein Zuviel an aufgenommenen Kohlenhydraten wird überwiegend als körpereigenes Depotfett abgelagert.

Es ist erwiesen, dass der Verzehr von zuckerhaltigen Sachen maßgeblich zur Entwicklung von Karies beiträgt. Karies ist eine ernährungsabhängige chronische Krankheit der Zähne. Diese Krankheit hat nicht nur eine Ursache, sondern verschiedene Faktoren müssen zusammen wirken, damit ein kariöses Loch entsteht. Wie zahnschädigend (kariogen) ein zuckerhaltiges Lebensmittel ist, ist auch davon abhängig wie lange es im Mundraum bleibt. Ein süß-klebriger Kaubonbon hat also eine hohe Kariogenität. Auch sollte man den Süßwarenkonsum nicht auf viele kleine Portionen über den ganzen Tag verteilen, sondern auf wenige Anlässe konzentrieren. Gute Zahnpflege ist natürlich unerlässlich.

Da die üblichen Zucker zahnschädigend sind, versucht man auch nicht kariogene Süßungsmittel einzusetzen.

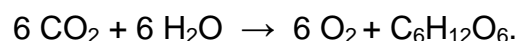
Entstehung von Karies:

Auf der Zahnoberfläche bildet sich durch Mikroorganismen ein Zahnbelag, die sogenannte Plaque. Die Bakterien im Zahnbelag bauen Kohlenhydrate, vor allem Saccharose, aus der Nahrung ab und bilden dabei Säuren. Diese Säuren können die Zahnoberfläche angreifen, wobei schließlich ein Loch im Zahn entsteht. Bei Kindern ist besonders problematisch, dass der Zahnschmelz von Zähnen, die gerade in die Mundhöhle durchgebrochen sind, besonders leicht angegriffen werden kann.

Chemischer Aufbau der Kohlenhydrate

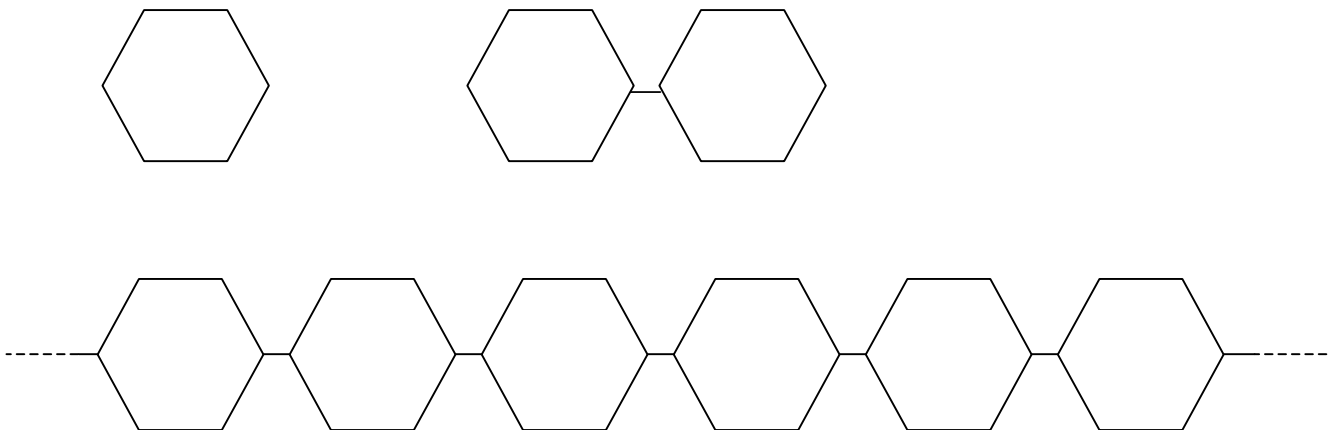
Keine Angst! - Wenn hier vom chemischen Aufbau die Rede ist, dann soll vor allem deutlich werden, was die Kohlenhydrate gemeinsam haben und weshalb sie so bezeichnet werden. Auch die schon genannten Fette und Eiweiße folgen einem bestimmten Bauprinzip, aber eben einem anderen. Und weil die Struktur oder Zusammensetzung im Kleinen, wir sagen auf der molekularen Ebene, auch die Eigenschaften und das Verhalten der vielen Moleküle eines Stoffes bestimmt, die wir sehen können, wenn sie alle auf einem Haufen liegen (bei 1 Gramm Glucose sind das 3.5×10^{21} Moleküle!), gucken sich ChemikerInnen stellvertretend nur die Struktur eines Moleküls an.

Was ist also das gemeinsame und besondere der Kohlenhydrate? Im Namen steckt der Kohlenstoff (C), der wichtigste Baustein aller organischen Materie, und Hydrat, das für Wasser (H₂O) steht. Daraus ergibt sich für Kohlenhydrat erst einmal C(H₂O). Nun hatte ich bereits erwähnt, dass die Wiege aller Kohlenhydrate die grünen Pflanzen sind, die sie aus so billigem Material wie Kohlendioxid und Wasser in der sogenannten Photosynthese herstellen. Und dabei produzieren sie neben der Glucose auch noch Sauerstoff (O₂), den wir auch gut brauchen können. Ohne große Chemiekennnisse kann man nun leicht sehen, dass die Rechnung aufgeht wenn man aus CO₂ + H₂O → O₂ + C(H₂O) macht. Bei der Glucose braucht man von jeder Sorte der Zutaten 6 und dann wird aus unserer Photosynthesegleichung

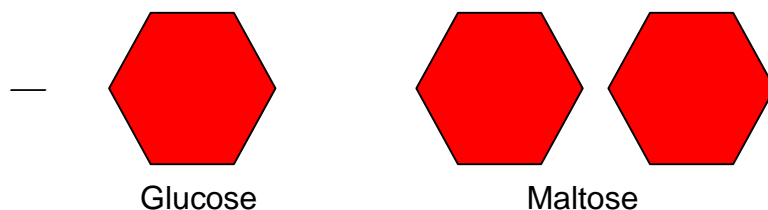


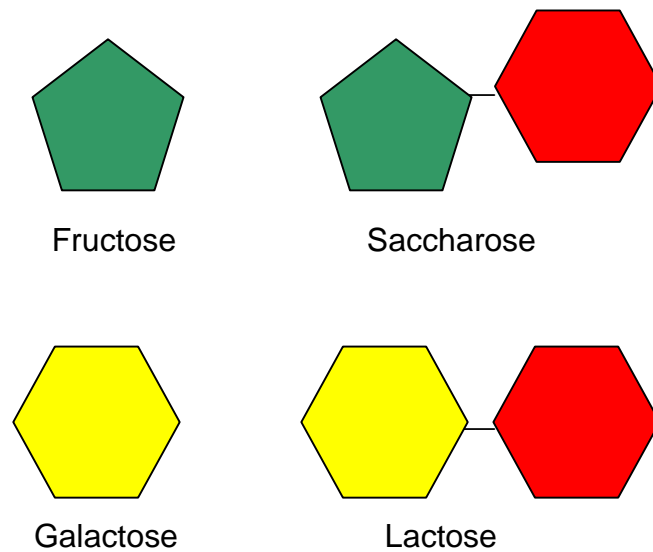
$C_6H_{12}O_6$ ist also die Summenformel der Glucose. Weil in der Glucose alle Bausteine miteinander richtig fest verknüpft sind und nicht nebeneinander liegen, wird die Gesamtzahl der einzelnen Atome (C, H, O) unten rechts als Index hingeschrieben. Die Schreibweise H_2O meint z.B. auch, dass Wasser aus 2 Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom besteht, die miteinander verknüpft sind. Erst durch diese Verknüpfung entsteht der neue Stoff mit den neuen Eigenschaften, den man daher auch **Verbindung** nennt. Steine ergeben ja auch erst ein Haus, wenn man sie nach einem bestimmten Bauplan mit Mörtel verbindet. Sonst sind es eben nur Steine.

Glucose oder auch andere wie die schon genannte Fructose sind nun die einfachsten Zuckerbausteine, die gleich Perlen zu kleinen oder großen Ketten verknüpft werden können. Das ist auch bei den Eiweißen so, bei denen die Bausteine Aminosäuren heißen, aber das Besondere bei den Kohlenhydraten ist, dass sie auf viele verschiedene Weisen miteinander verknüpft werden können. Darum passt das Bild mit der Perle auch nicht so gut, weil die Perle rund ist. Wir wollen uns besser Sechsecke vorstellen, die über (fast) jede Ecke miteinander verknüpft werden können. Wenn sie sich das einmal aufmalen und ihrer Fantasie freien Lauf lassen, werden sie auf dem Papier schnell eine Unmenge verschiedener Kohlenhydrate geschaffen haben.



Nun gibt es ja nicht nur Glucose. Um die Einfachzucker (= Monosaccharide) voneinander zu unterscheiden, geben wir ihnen verschiedene Farben: So besteht z.B. der Milchzucker, die Lactose, aus Galactose (**gelb**) und Glucose (**rot**). Und der Rübenzucker oder Rohrzucker (die Saccharose) besteht aus Glucose (**rot**) und Fructose (**grün**). Und die Fructose ist hier ein Fünfeck. Durch die Verknüpfung kommt man dann zu sogenannten Disacchariden, was soviel heißt wie Doppelzucker.





In Wirklichkeit ist es noch ein wenig komplizierter – die Verbindungen zwischen den Fünf- und Sechsringen liegen nämlich nicht in der Papierebene, wie wir sie malen, sondern zeigen nach oben oder unten. Damit kann man räumlich betrachtet noch mehr Strukturen aufbauen, z.B. ein Faden- (Cellulose) oder ein schraubenförmiges Molekül (Stärke). Aber das macht einen guten Baukasten eben aus, ob Lego, Fischer-Technik oder eben Molekülbaukasten: Man möchte möglichst viel damit machen können. – Und natürlich bieten gute Molekülbaukästen das auch.

Und wenn man immer weiter baut, kommt man über die Oligosaccharide („Mehrfachzucker“) schließlich zu den Polysacchariden („Vielfachzucker“). Und die können nicht nur aus langen Ketten bestehen, sondern auch verzweigt sein wie das Amylopektin in der Stärke. Außerdem können sie aus einer Bausteinsorte wie bei der Stärke und Cellulose, oder aus zwei oder mehr verschiedenen aufgebaut sein, wie z.B. das Pektin, das sehr raffiniert zusammen gesetzt ist.

Kohlenhydrate in Lebensmitteln und anderen Produkten des Alltags

Nachdem wir nun einen Einblick in die Architektur der Kohlenhydrate erhalten haben, sollen nun wichtige Vertreter dieser Stoffgruppe genannt werden. Einige wurden ja bereits erwähnt, allen voran die Glucose.

Glucose ist ein wichtiger Energielieferant für uns, aber genauso für Tiere und Pflanzen. Sie gelangt schnell ins Blut und kann von Körper direkt verwertet werden, weshalb Sportler vorm Wettkampf oder Schüler/innen vor Klassenarbeiten noch schnell Dextroenergen essen. Dextrose ist ein weiterer Name für Glucose oder Traubenzucker.

Da wir nicht beliebig viel Glucose im Blut haben dürfen, muss unser Körper den Blutzuckerspiegel kontrollieren. Wenn er das nicht richtig hinbekommt, ist man zuckerkrank und muss statt Zucker sogenannte Zuckerersatzstoffe bzw. Austauschstoffe zu sich nehmen. Diese gehören z.T. auch zu den Kohlenhydraten, z.B. die Fructose oder auch Sorbit, und liefern uns auch Energie. Süßstoffe wie Saccharin, Cyclamat

oder Aspartam sind dagegen keine Kohlenhydrate, sind einfach nur zufällig extrem süß.

Fructose kommt wie Glucose in süßen Früchten und im Honig vor und findet als Zuckeraustauschstoff für Diabetiker Verwendung. Aus vielen Fructosebausteinen erhält man Fructane. Dazu gehört z.B. das **Inulin**, das als „präbiotisch“ bezeichnet wird und z.B. gut für unsere Darmflora sein soll. Inulin kommt in der Zichorie (Wegwarte) vor, wird präbiotischem Joghurt zugesetzt oder kann das Wasser in Halbfettmargarinen binden und dieser Margarine trotzdem eine fettige Konsistenz verleihen.

Saccharose wird aus Zuckerrohr oder bei uns aus Zuckerrüben gewonnen. In Niedersachsen kennen wir alle die Kampagnezeit, wenn im Herbst die Rüben geerntet und zu den Zuckerfabriken gefahren werden. Dort wird der Zucker mit heißem Wasser aus den klein gehackten Rüben herausgelöst. Dabei gehen natürlich auch noch andere Inhaltsstoffe in Lösung. In verschiedenen ausgeklügelten Schritten werden diese wieder ausgefällt und schließlich der schöne weiße Zucker kristallisiert. Mit Bleichen, wie immer wieder behauptet wird, hat das nichts zu tun. Zuckerraffinade ist wohl die reinste Verbindung, die wir im Lebensmittelgeschäft kaufen können. Der sogenannte braune Rohzucker ist einfach noch stark verunreinigt, die durch Einkochen des Rübensaftes entstanden sind.

Im Darm wird die Saccharose durch Enzyme rasch in Glucose und Fructose gespalten, die dann schnell resorbiert werden können.

Lactose ist der Zucker der Milch. Daher hat er auch seinen Namen. Er besteht aus Galactose und Glucose. Lactose schmeckt längst nicht so süß wie die oben genannten Zucker. Stellt man eine Reihenfolge auf, so ist die Süßkraft von Fructose > Saccharose > Glucose > Lactose.

Stärke ist ein Polysaccharid, das aus vielen miteinander verknüpften Glucosemolekülen aufgebaut ist. Dabei gibt es zwei verschieden gebaute Komponenten: die **Amylose**, bei der bis zu 6000 Glucosebausteine zu einer langen, schraubenförmigen Kette (Helix) verknüpft sind, und das Amylopektin, das zusätzlich noch verzweigt ist wie ein Weihnachtsbaum und aus 60.000 bis 600.000 Glucosen besteht. Diese beiden Komponenten sind dann in den Stärkekörnern kunstvoll angeordnet. Unter dem Mikroskop kann man besonders bei Kartoffelstärke schön die Schichtung der Wachstumsringe erkennen. Stärke ist ein wichtiger Energielieferant für den menschlichen Körper. Im Körper des Menschen wird die Stärke mit Hilfe von Verdauungsenzymen gespalten und zu den einzelnen Glucosebausteinen abgebaut, die dann dem Stoffwechsel zur Energiegewinnung dienen. Eines dieser Enzyme ist in unserer Spucke enthalten, so dass wir bei längerem Kauen von Brot (enthält Stärke) einen süßen Geschmack im Mund wahrnehmen können.

Da Stärke den Pflanzen als Energiereserve dient, kommt sie besonders reichhaltig in Samenkörnern oder anderen Speicherorganen wie den Kartoffeln vor. Hauptstärkelieferanten sind Kartoffeln, Mais und Weizen. Speisestärke ist wie Rübenzucker ein ziemlich reiner und einheitlicher Stoff, den wir im Lebensmittelgeschäft kaufen können. Im Gegensatz zu Mehl, dessen Hauptbestandteil ja auch Stärke ist, enthält sie keine Mineralstoffe und kein Protein mehr. Verwendung findet Stärke v.a. wegen ihrer dickenden Wirkung (Suppen, Soßen) und der Ausbildung fester Gele (Pudding). Stärke kann auch zum Kleben verwendet werden (Stärkekleister). Folgeprodukte von Stärke werden z.B. in großen Mengen in der Papierherstellung verwendet.

Zu den Polysacchariden gehören neben Stärke und **Cellulose** noch viele andere sogenannte Dickungsmittel, die in Lebensmittel Verwendung finden, z.B. **Pektin**, **Johannisbrotkernmehl** oder **Xanthan**.

Woher wissen wir eigentlich, welche Lebensmittel süß sind, in welchen Zucker enthalten sind und in welchen Stärke vorkommt?

Für unseren Körper ist es, wie schon erwähnt, von großer Bedeutung die richtigen Nahrungsmittel zu sich zu nehmen. Da man den Lebensmitteln von außen nicht ansieht, was für Stoffe sie enthalten brauchen wir also Methoden, mit denen wir herausfinden können, was in unseren Lebensmitteln steckt. Erst mit dem Wissen über die Zusammensetzung der Lebensmittel können wir eine ausgewogene Ernährung zusammenstellen. Einige diese Nachweismethoden sollen nun durch die folgenden Versuche erläutert werden.

Erklärung zum Versuch „Nachweis von Zucker in Milch“

Diese Nachweisreaktion ist ein klassischer Nachweis von reduzierenden Zuckern benannt nach dem Stuttgarter Chemieprofessor Hermann von Fehling (1811-1885).

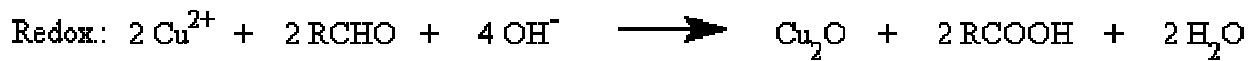
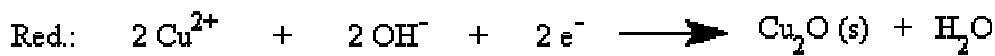
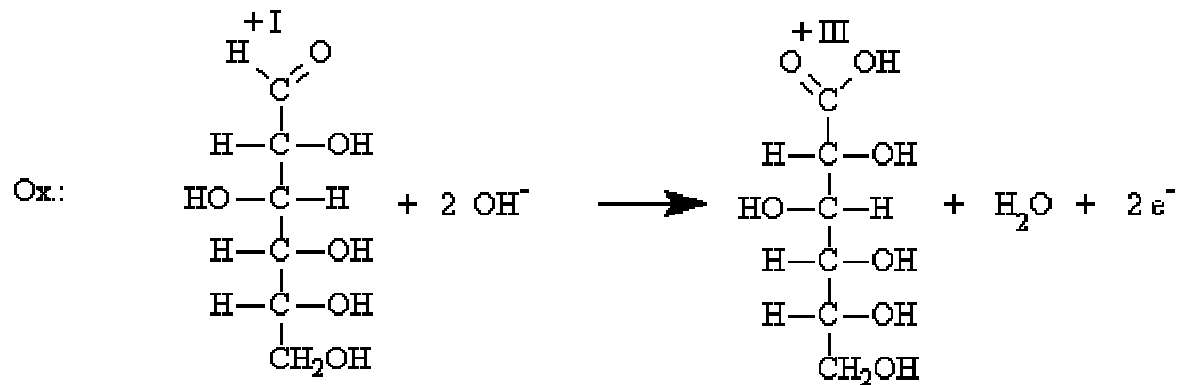
„Reduzierend“ meint hier eine bestimmte chemische Eigenschaft, die typisch ist für die meisten Kohlenhydrate. Um diese Eigenschaft „ausleben“ zu können, brauchen die Zucker einen Reaktionspartner, der sich reduzieren lässt. Dazu dienen Kupfersalze, die eine schöne blaue Lösung bilden. In diese sogenannte Fehlingsche Lösung, die man vor dem Versuch aus zwei Lösungen zusammen mischt, gehören noch einige andere Zutaten, um das richtige Reaktionsmilieu zu schaffen, z.B. einen alkalischen pH-Wert (Gegenteil von sauer). Wenn man dann noch ein wenig einheizt, reduziert die Glucose die blauen Kupferionen (Cu^{2+} -Ionen) zu solchen (Cu^+ -Ionen), die nicht mehr löslich sind und einen orange-roten Niederschlag bilden. Und natürlich kommen dann auch die Zucker nicht ungeschoren davon. Sie werden oxidiert.

Fazit: Ein oranger bzw. roter Niederschlag ist also ein Nachweis von Zucker.

Damit alle Zucker gefunden werden, ist es erforderlich, die Probelösung zunächst mit Salzsäure zu erhitzen, bevor das Fehling-Reagenz hinzugegeben wird. Die Salzsäure dient dazu, Mehrfachzucker aufzuspalten, damit sie mit dem Kupfersalz reagieren können.

Da Zucker gut wasserlöslich sind, liegen sie in Milch in der wässrigen Phase vor und bleiben auch beim Ausfällen der Proteine in der Lösung zurück. Beim Verdampfen des Wassers bleiben sie als Rückstand zurück und können leicht bräunen bzw. anbrennen.

ChemikerInnen fassen das Geschehen bei der Fehling-Reaktion in folgenden Formeln zusammen:



Spezialwissen:

Bemerkung: Die Fehlingsche Probe nutzt die Reaktivität der Aldehyde gegenüber den in alkalischer Lösung schwach oxidierend wirkenden Cu^{2+} -Ionen. Neben den Kupferionen enthält die Fehling Lösung Tartrationen als Komplexbildner, durch welche die Kupferionen in Lösung gehalten werden. Ohne Tartrationen würde sich in alkalischer Lösung ein Niederschlag von $\text{Cu}(\text{OH})_2$ bilden. Die Tartrationen vermögen mit den Cu^+ -Ionen keinen Komplex zu bilden, so dass die Reduktion von Cu^{2+} zu Cu^+ durch reduzierende Zucker zur Bildung eines roten Niederschlags von Cu_2O führt.

Kupfer-Tartrat-Komplex

