

Versuchsprotokoll: Herstellung von Zucker

Teil 1: Gewinnung von Zucker aus der Zuckerrübe

Versuchsaufbau:

Chemikalien:

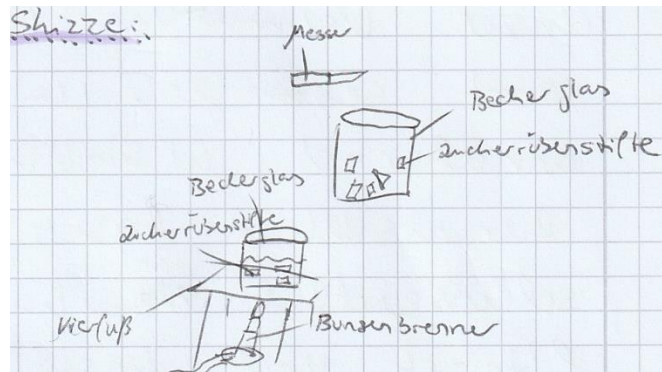
- 100 g rohe Zuckerrübe
- 150 g Wasser

Geräte:

- 1 Becherglas (600 ml)
- 1 Leinentuch
- 1 Dampfschale
- 1 Glasstab
- 1 Messer
- 1 Waage
- 1 Thermometer
- 1 Vierfuß
- 1 Bunsenbrenner
- 1 Feuerzeug
- Feuerfeste Unterlage

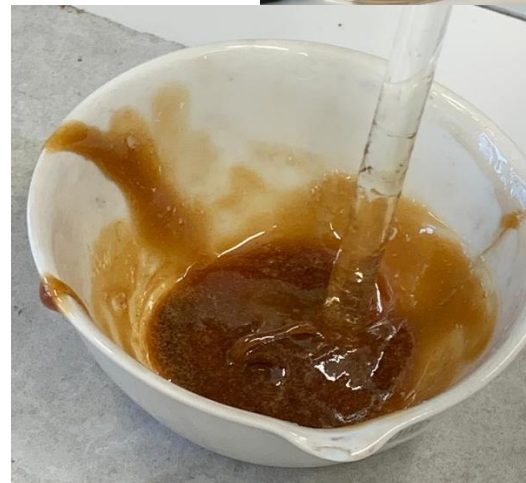
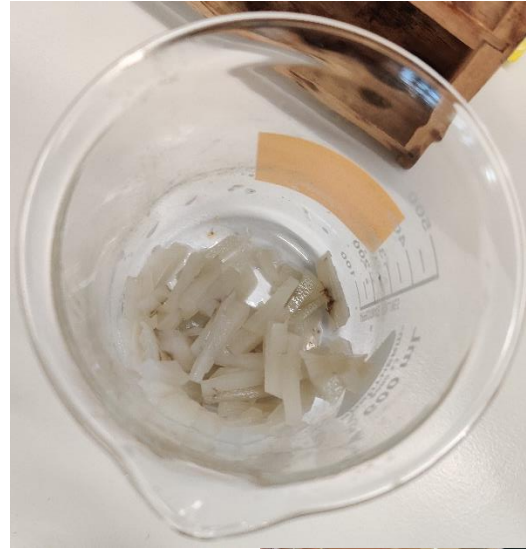
Arbeitsschritte:

1. Rübe putzen und schälen (Entfernung von Erdresten)
2. Rübe in kleine Stifte schneiden (2-3 mm dick)
3. Wasser in das Becherglas geben und auf dem Vierfuß auf 70 °C erhitzen
4. Rübenstifte eine Stunde im 70 °C heißen Wasser lassen
5. Rübenstifte aus dem Wasser sieben und mit dem Leinentuch auspressen
6. **Rohsaft** einkochen → **Dicksaft** entsteht
7. **Dicksaft** so lange eindampfen, bis nur noch **Zuckerkristalle** vorliegen
8. Um das letzte Wasser zu entziehen, kann die Zuckermasse auch noch auf ein Filterpapier gegeben werden



Beobachtungen:

- Zunächst sind die Rübenschnitzel sehr hart.
 - Nach dem Ziehen im warmen Wasser sind die Rübenstifte jedoch weich und in ihrer Größe geschrumpft (*rechts*).
 - Das Wasser selbst (der **Rohsaft**) hat eine leicht grünliche Farbe angenommen.
-
- Kocht man den **Rohsaft** weiter ein, entsteht ein grüner bis bräunlicher, zähflüssiger **Dicksaft** (*rechts*).
-
- Beim weiteren Eindampfen in der Dampfschale wurde der **Dicksaft** in unserem Fall sehr zähflüssig und verfärbte sich braun (*rechts*).
 - Nach einiger Zeit des Trocknens auf einem Filterpapier ist die abgekühlte Masse teilweise ausgehärtet.

*Auswertung:*

Beim Zerschneiden der Rübe werden bereits die Zellwände der Rübenzellen an den Schnittstellen beschädigt, wodurch der in den Zellen eingelagerte Zucker aus jenen entweichen kann. Beim anschließenden Erhitzen im heißen Wasser werden die Zellwände weiter zerstört beziehungsweise geöffnet, wodurch weitere Zuckermoleküle aus den Zellen austreten und durch zwischenmolekulare Kräfte (vor allem Wasserstoffbrücken zwischen den

zahlreichen Hydroxygruppen der Wasserstoffmoleküle und den dipolaren Wassermolekülen) in dem Wasser in Lösung gehen können. Ist nach einiger Zeit der meiste Zucker im Wasser gelöst, können die Rübenstifte ausgepresst werden, um auch noch die restliche Zucker-Wasser-Lösung aus den Zellen zu erhalten.

Der so entstandene **Rohsaft** kann nun noch zu Dicksaft eingekocht werden. Da die Zuckermoleküle größer als die Wassermoleküle sind, wirken bei ihnen stärkere zwischenmolekulare Kräfte zu den sie umgebenden Molekülen (vor allem die vergleichsweise starken Wasserstoffbrücken) als bei Wassermolekülen. In der Folge muss beim Verdampfen mehr Energie zugeführt werden, um diese zwischenmolekularen Kräfte zu überwinden, weshalb die Siedetemperatur der Zuckermoleküle über der des Wassers liegt. Wird die Lösung also auf 100 °C erhitzt, verdampft (bei normalem Druck) nur das Wasser, nicht aber der Zucker. Das führt zu einem Anstieg der Zuckerkonzentration in der Lösung, die ihrerseits dazu führt, dass mehr Zuckermoleküle benachbart liegen. Zwischen ihnen wirken nun, wie bereits beschrieben, stärkere zwischenmolekulare Kräfte als zwischen Wasser- und Zuckermolekülen oder Wassermoleküle untereinander. Dies zeigt sich äußerlich an einer mit abnehmendem Wassergehalt der Lösung zunehmenden Zähflüssigkeit (→ **Dicksaft**).

Kühlt die Lösung etwas ab, lagern sich die einige Zuckermoleküle zu einem Gitter, das als **Zuckerkrystalle** sichtbar ist, zusammen. Das restliche Wasser, das sich noch zwischen den Zuckermolekülen/-kristallen befindet, kann zum Schluss noch vollkommen verdampft werden, wobei sich schließlich alle vorhandenen Zuckermoleküle in Gittern ordnen und kristalliner Zucker entsteht. Beim Eindampfen muss allerdings auf eine nicht zu hohe Temperatur geachtet werden, weil es sonst zur Karamellisierung des Zuckers (ab ca. 150 °C) kommt, bei der sich die einzelnen Zuckermoleküle entweder unter Abspaltung von Wasser zu Polymeren verbinden oder in kleinere Moleküle wie Furan, Ethylacetat oder Diacetyl zerfallen, was Geschmack und Farbe des Karamells verursacht.

Teil 2: Zuckernachweise

Fehlingsche Probe:

Versuchsaufbau:

Chemikalien:

- Zu untersuchende Substanzen: Rübenschnitzel, Glucose, Fructose, Saccharose, Stärke, Zuckerrübendicksaft
- Fehling-Lösung I
- Fehling-Lösung II
- Wasser

Geräte:

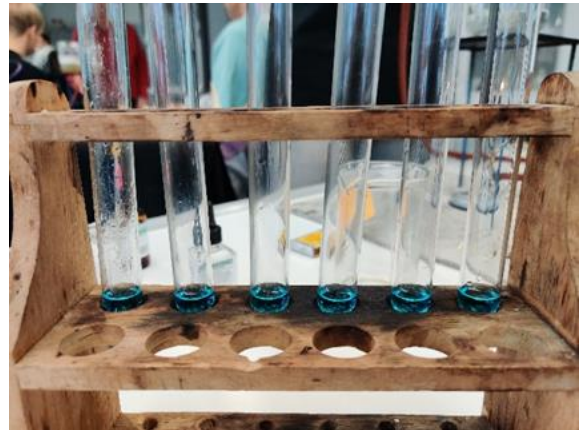
- 6 Reagenzgläser
- 1 Reagenzglasständer
- 1 Spatel
- 1 Becherglas (z.B. 200 ml)
- 1 Vierfuß
- 1 Bunsenbrenner
- Feuerfeste Unterlage
- Schutzbrillen

Arbeitsschritte:

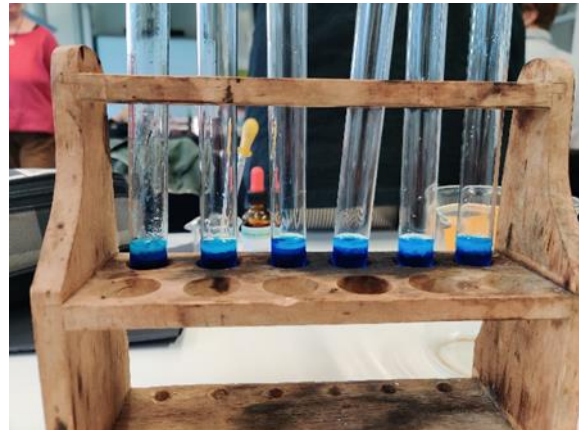
1. In jedem Reagenzglas 1 ml Fehling-Lösung I mit 1 ml Fehling-Lösung II mischen
2. Reagenzgläser schütteln
3. In jedes Reagenzglas eine zu untersuchende Substanz geben (bei der rohen Rübe ein kleines Stück, bei den kristallinen Zuckern und der Stärke eine Spatelspitze und bei dem Dicksaft eine Pasteurpipette)
4. Reagenzgläser nochmals schütteln
5. Wasser in das Becherglas geben und auf dem Vierfuß erhitzen
6. Jede Probe im heißen Wasserbad erwärmen

Beobachtungen:

- Die Fehling-Lösung I hat eine hellblaue Farbe (*rechts*).



- Beim Hinzugeben der Fehling-Lösung II entsteht eine dunkelblaue Lösung (*rechts*).

Hinzugabe der Kohlenhydrate:

- Die Kohlenhydrate lösen sich – bis auf Teile der Stärke und das Rübenschnitzel – in der Lösung auf.

Nach dem Erhitzen:

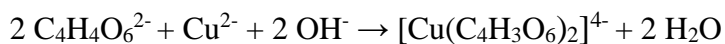
- Die Lösungen mit dem Rübenschnitzel und der Stärke bleiben farblich relativ unverändert.
- Die Stärke ist während des Erhitzens erhärtet.
- Die Lösung mit der Saccharose weist eine dunkle, grün-blaue, die mit dem Dicksaft eine gelbe Färbung auf.
- Die Lösung mit der Glucose hat eine kräftig orangene, die mit der Fructose eine orange-braune Färbung.



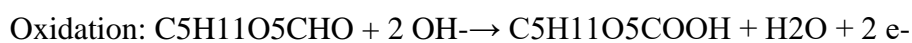
*Ergebnisse der Fehlingschen Probe
(von links nach rechts: Rübenschnitzel,
Glucose, Fructose, Saccharose, Stärke,
Dicksaft)*

Auswertung:

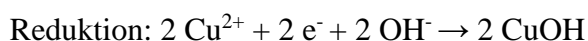
Im ersten Schritt werden die Fehlingsche Lösung I, in der hellblaues, der Lösung ihre Farbe gebendes Kupfersulfat gelöst ist, und Fehlingsche Lösung II, eine Lösung aus Natriumkaliumtartrat und Natriumhydroxid, gemischt. Alle drei Salze sind dabei, da sie gelöst vorliegen, elektrolitisch dissoziiert (Anionen und Kationen liegen getrennt vor). Aus diesem Grund kann ein Kupferion mit zwei Tartrat-Anionen und zwei Hydroxidionen reagieren. Die Reaktion läuft dabei als elektrophile Addition ab, bei der das zweifach positiv geladene Kupferion als Elektrophil bei beiden Tartrat-Anionen jeweils die freien Valenzelektronenpaare eines Sauerstoffatoms einer Hydroxygruppe angreift. Durch die Bindung des Kupferions an die Sauerstoffatome spalten diese jeweils die an sie gebundenen Wasserstoffatome als Protonen ab (Sauerstoff kann nur zwei Elektronenpaarbindungen eingehen). Diese Protonen verbinden sich anschließend mit den Hydroxidionen des Natriumhydroxids zu Wassermolekülen. Es entstehen bei der Reaktion der genannten Anionen und Kationen also Wasser und ein Kupfertartratkomplex, der für die dunkelblaue Färbung sorgt.



Gibt man nun Aldehyde hinzu, findet eine Redoxreaktion statt. Bei dieser wird die Aldehydgruppe des Aldehyds zu einer Carboxylgruppe oxidiert. (Eventuell geschieht dies, indem sich zuerst das an das Kohlenstoffatom der Aldehydgruppe gebundene Wasserstoffatom an ein freies Valenzelektronenpaar des Sauerstoffatoms eines Hydroxidions bindet und sich anschließend, da es nur eine kovalente Bindung eingehen kann, vom Kohlenstoffatom löst. Unter Abgabe zweier Elektronen könnte sich dann ein Hydroxidion an das Kohlenstoffatom binden.)



Gleichzeitig werden die Kupferionen durch die zwei bei der Oxidation abgegebenen Elektronen reduziert. Sie sind nun einfach positiv geladen und können sich daher über eine Ionenbindung mit einem Hydroxidion zu Kupferhydroxid verbinden.



Dieses wird im Anschluss noch dehydratisiert. *(Hier könnte sich ein Wasserstoffatom des Hydroxidions eines Kupferhydroxids an ein freies Valenzelektronenpaar des Sauerstoffatoms eines Hydroxidions eines anderen Kupferhydroxids binden, sich vom Sauerstoffatom, an das es ursprünglich gebunden war, lösen und so ein Wassermolekül entstehen lassen. Das verbliebene Sauerstoffatom wäre nun formal einfach negativ geladen und könnte sich folglich mit dem Kupferion, dessen Hydroxygruppe zu einem Wassermolekül reagiert hat, zu Kupferoxid verbinden.)*

Dehydratisierung: $2 \text{CuOH} \rightarrow \text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$

Das entstandene Kupferoxid ist der rötliche bis braune entstandene Niederschlag.

Die Tatsache, dass die Probe für Glucose positiv ist, lässt sich damit erklären, dass Glucose eine Aldose ist, also in der Kettenform eine Aldehydgruppe aufweist. Fructose hingegen ist eigentlich eine Ketose, besitzt also eine Ketogruppe. Diese kann nicht an der Redoxreaktion teilnehmen, weshalb die Probe für Ketone normalerweise negativ ist. Fructose kann aber durch die Keto-Enol-Tautomerie auch eine Aldehydgruppe ausbilden. Die dafür notwendige intramolekulare Protonenwanderung läuft folgendermaßen ab: Zunächst löst sich das Wasserstoffatom, das an das α -Kohlenstoffatom bindet, das wiederum dem Kohlenstoffatom der Ketogruppe benachbart ist, von diesem (Entstehung eines Carbanions). Der Grund hierfür ist die hohe Elektronegativität des doppelt gebundenen Sauerstoffatoms der Ketogruppe, die zu einer Verlagerung der Elektronen in Richtung ebendieses Sauerstoffatoms führt und so die Bindung zwischen dem α -Kohlenstoffatom und dem Wasserstoffatom schwächt. Nach dem Verlust des Wasserstoffions ist das α -Kohlenstoffatom formal einfach negativ geladen. Ein Ausgleich dieser Ladung findet statt, indem sich die Doppelbindung des Kohlenstoffatoms der Ketogruppe zum Sauerstoffatom löst und sich stattdessen eine Doppelbindung zum α -Kohlenstoffatom ausbildet. In der Folge ist das Sauerstoffatom der Ketogruppe formal einfach negativ geladen (Enolat). Bindet sich nun ein Proton (beispielsweise das zuvor abgespaltene) an das negativ geladene Sauerstoffatom, entsteht die Enolform. Lagert sich anschließend die Doppelbindung zwischen dem α -Kohlenstoffatom und dem Kohlenstoffatom der ehemaligen Ketogruppe (die vermutlich durch die hohe Elektronegativität der benachbarten Sauerstoffatome sehr instabil ist) zum Sauerstoffatom der Hydroxygruppe am α -Kohlenstoffatoms um, sind das Kohlenstoffatom der ehemaligen Ketogruppe formal negativ und das entsprechende Sauerstoffatom formal positiv geladen, was zur Abspaltung des Wasserstoffatoms der Hydroxygruppe als Ion und zur Umlagerung dieses Ions zum Kohlenstoffatom der ehemaligen Ketogruppe führt. Auf diese Weise wird aus dem Fructose ein Glucosemolekül mit einer Aldehydgruppe.

Deprotonierung: $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_5\text{CO} \rightarrow \text{C}_5\text{H}_{11}\text{O}_5\text{CO}^- + \text{H}^+$

Protonierung: $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{O}_5\text{CO}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{C}_5\text{H}_{11}\text{O}_5\text{CHO}$

Die Glucose in der Kettenform wird während der Redoxreaktion kontinuierlich nachgebildet, weil immer ein Gleichgewicht zwischen Ring- und Kettenform besteht. Diesem Gleichgewicht werden durch die Oxidation der Aldehydgruppen irreversibel Moleküle in der Kettenform entzogen, weshalb diese nachgebildet und schlussendlich genügend Aldehydgruppen oxidiert werden, um eine Reaktion zu erkennen. Erklären lässt sich dieses Gleichgewicht damit, dass die Glucose- und Fructosemoleküle in wässriger Lösung in gleicher Zahl zur Kettenform und zurück zur Ringform reagieren. Wird die Aldehydgruppe

jedoch oxidiert, ist Letzteres nicht mehr möglich, weshalb nur noch Ketten-, aber keine Ringformen mehr nachgebildet werden und das Gleichgewicht sich verschiebt.

Stärke und Saccharose lassen sich entsprechend nicht mit der Fehlingschen Probe nachweise. Dass es bei der Saccharose trotzdem eine leichte Reaktion erkennbar ist, könnte mit Verunreinigungen zusammenhängen. Auch der Dicksaft scheint nicht nur Saccharose, sondern auch Glucose und/oder Fructose zu enthalten.

Seliwanow-Probe:

Versuchsaufbau:

Chemikalien:

- Zu untersuchende Substanzen: Rübenschnitzel, Glucose, Fructose, Saccharose, Stärke, Zuckerrübendicksaft
- 10%ige Salzsäure
- Resorcin
- Wasser

Geräte:

- 6 Reagenzgläser
- 1 Reagenzglasständer
- 1 Spatel
- 1 Pipette
- 1 Becherglas (z.B. 200 ml)
- 1 Vierfuß
- 1 Bunsenbrenner
- Feuerfeste Unterlage
- Schutzbrillen

Arbeitsschritte:

1. In jedes Reagenzglas eine zu untersuchende Substanz geben (bei der rohen Rübe ein kleines Stück, bei den kristallinen Zuckern und der Stärke eine Spatelspitze und bei dem Dicksaft eine Pasteurpipette)
2. Zu jeder Probe 3 ml 10%ige Salzsäure füllen
3. Zu jeder Probe eine Spatelspitze Resorcin hinzugeben
4. Wasser in das Becherglas geben und auf dem Vierfuß erhitzen
5. Proben unter Schütteln im heißen Wasserbad erwärmen

Beobachtungen:

- Das jeweilige Kohlenhydrat löst sich in der konzentrierten Salzsäure auf (– bis auf den Rübenschnitzel und einen Teil der Stärke, der sich nach einiger Zeit wieder absetzt) (*rechts*).
- Bei den Lösungen mit dem Rübenschnitzel, der Glucose und der Stärke ist nach dem Erhitzen keine Veränderung zu erkennen.
- Die Lösung mit der Fructose färbt sich tiefrot, die mit der Fructose etwas hellroter und der Dicksaft hat (vermutlich auch durch seine eigene Färbung) eine rot-orangene Farbe.



*Ergebnisse der Seliwanow-Probe
(von links nach rechts: Rübenschnitzel,
Glucose, Fructose, Saccharose, Stärke,
Dicksaft)*

Auswertung:

Die Seliwanow-Probe dient dem Nachweis von Fructose. Bei Glucose ist hingegen nur sehr viel langsamer und später eine Reaktion erkennbar. Das hängt damit zusammen, dass sowohl Glucose als auch Fructose in wässrigen Lösungen von der Kettenform zur Ringform (und wieder zurück) reagieren. Bei der Glucose geht das Kohlenstoffatom mit der Aldehydgruppe (C₁-Atom) beispielsweise zunächst eine kovalente Bindung einem freien Valenzelektronenpaar des Sauerstoffatoms der Hydroxygruppe am C₄- beziehungsweise C₅-Atom ein. In der Folge klappt eine Bindung der Doppelbindung der Carbonylgruppe zum Sauerstoffatom dieser zurück (negative Formalladung), während das Sauerstoffatom der ehemaligen Hydroxygruppe nun drei Elektronenpaarbindungen eingegangen ist (positive Formalladung). Schließlich gleichen sich diese Formalladungen aus, indem das Sauerstoffatom der ehemaligen Hydroxygruppe, das zwei kovalente Bindungen anstrebt, ein Wasserstoffion an das Sauerstoffatom der ehemaligen Carbonylgruppe abgibt, wodurch dieses ebenfalls zwei Elektronenpaarbindungen eingeht. Bei ein solchem Ringschluss kann es entweder zur Bildung eines Fünf- (Furanose) oder eines Sechsrings (Pyranose) kommen, wobei die Kettenform und der Fünf- wie auch der Sechsring in einem Gleichgewicht zueinander stehen. Glucose tritt in der Ringform zu über 99 Prozent als Glucosepyranose auf, da diese eine geringere Ringspannung als die Glucosefuranose aufweist und zudem die räumliche Ausdehnung des Moleküls die Bildung der Glucosefuranose hemmt (sterische

Hinderung). Die Fructose ist weniger sterisch gehemmt, weshalb sie mit einem Verhältnis von 70 Prozent zu 30 Prozent zu Fructosepyranose und Fructosefuranose reagiert. Diese Unterschiede in der sterischen Hemmung hängen damit zusammen, dass es sich bei Fructose um eine Ketose und bei Glucose um eine Aldose handelt.

Gibt man nun die konzentrierte Salzsäure zur Probe mit der Fructosefuranose, bindet sich ein Proton an das Sauerstoffatom der Hydroxygruppe des C₂-Atoms, woraufhin diese Hydroxygruppe als Wassermolekül abgespalten wird (Bindung des Sauerstoffatoms zum C₂-Atom klappt zu diesem). Das C₂-Atom hat nun eine positive Formalladung (Carbokation).

Protonierung und Dehydratisierung: $C_6H_{12}O_6 + H^+ \rightarrow C_6H_{11}O_5^+ + H_2O$

Diese Formalladung wird ausgeglichen, indem eine Doppelbindung zum C₁-Atom ausgebildet wird, das nun fünf Elektronenpaarbindungen und damit ebenfalls eine positive Formalladung aufweist. In der Folge wird ein Wasserstoffion, das an das C₁-Atom gebunden ist, abgespalten.

Deprotonierung: $C_6H_{11}O_5^+ \rightarrow C_6H_{10}O_5 + H^+$

Aufgrund der Keto-Enol-Tautomerie kann nun aber auch das Sauerstoffatom der Hydroxygruppe des C₁-Atoms eine Doppelbindung zu diesem ausbilden (Aldehydgruppe), woraufhin das Wasserstoffatom der Hydroxygruppe als Ion abgespalten wird und sich an das C₂-Atom, dessen Doppelbindung zum C₁-Atom wegen der Entstehung der Carbonylgruppe am C₁-Atom zum C₂-Atom geklappt ist (negative Formalladung), bindet. Durch das saure Milieu binden nun zwei weitere Protonen an die Sauerstoffatome der Hydroxygruppen am C₃- und C₄-Atom, woraufhin wieder zwei Wassermoleküle wie oben beschrieben abgespalten werden. Das heißt, die beiden Kohlenstoffatome sind nun wieder formal positiv geladen.

Dehydratisierung/Protonierung: $C_6H_{10}O_5 + 2 H^+ \rightarrow C_6H_8O_3^{2+} + 2 H_2O$

Das C₃-Atom bildet deshalb eine Doppelbindung zum C₂-Atom aus, das nun seinerseits wieder formal positiv geladen ist und ein Wasserstoffion abgibt. Gleiches passiert zwischen dem C₄- und C₅-Atom. Es findet nach der zweifachen Protonierung entsprechend eine zweifache Deprotonierung statt. Das Produkt all dieser Reaktionen ist Hydroxymethylfurfural.

Deprotonierung: $C_6H_8O_3^{2+} \rightarrow C_6H_6O_3 + 2 H^+$

Als nächstes bindet sich erneut ein Proton (saurer Milieu) an das Sauerstoffatom der Carbonyl-Gruppe (C₁-Atom), was dazu führt, dass eine Elektronenpaarbindung zu diesem klappt und daher das C₁-Atom formal positiv geladen ist.

Protonierung: $C_5H_5O_2CHO + H^+ \rightarrow C_5H_6O_2COH^+$

Es ist folglich ein starkes Elektrophil, das nun eine Bindung mit einem Kohlenstoffatom des im zweiten Schritt hinzugegebenen Resorcins eingeht, wobei beim Kohlenstoffatom des Resorcins erneut eine positive Formalladung entsteht, die zur Abspaltung eines Wasserstoffions (Deprotonierung) führt.

Reaktion mit Resorcinmolekül und Deprotonierung: $C_6H_7O_3^+ + C_6H_6O_2 \rightarrow C_{12}H_{12}O_5 + H^+$

Als nächstes bindet sich ein weiteres Wasserstoffion an ein freies Valenzelektronenpaar des Sauerstoffatoms der Hydroxygruppe am C₁-Atom des ehemaligen Fructosemoleküls, was erneut zur Abspaltung eines Wassermoleküls und zur Entstehung einer positiven

Formalladung an besagtem Kohlenstoffatom führt, an das auf die bereits beschriebene Weise ein weiteres Resorcinmolekül bindet.

Protonierung und Dehydratisierung: $C_{12}H_{12}O_5 + H^+ \rightarrow C_{12}H_{11}O_4^+ + H_2O$

Reaktion mit weiterem Resorcinmolekül: $C_{12}H_{11}O_4^+ + C_6H_6O_2 \rightarrow C_{18}H_{16}O_6 + H^+$

Vom gleichen Kohlenstoffatom spaltet sich im nächsten Schritt ein Hydrid-Anion ab.

$C_{18}H_{16}O_6 \rightarrow C_{18}H_{15}O_6^+ + H^-$

Die entstehende positive Formalladung „wandert“ nun durch das gesamte Molekül. Im letzten Schritt kommt es noch zu einem Ringschluss zwischen zwei Hydroxygruppen der beiden ehemaligen Resorcinmoleküle, bei dem das Wasserstoffatom der einen Hydroxygruppe an das Sauerstoffatom der anderen bindet und es zu einer positiven Formalladung bei dieser Hydroxygruppe kommt, was zu einem Einklappen der Elektronenpaarbindung zwischen dem Sauerstoffatom der Hydroxygruppe und dem Kohlenstoffatom, an das es bindet, führt (Bindung klappt zum Sauerstoffatom) und damit zur Abspaltung von Wasser. Das formal negativ geladene Sauerstoffatom der einen ehemaligen Hydroxygruppe und das formal positiv geladene Kohlenstoffatom, von dem sich die andere Hydroxygruppe gelöst hat, gehen in der Folge eine Bindung ein.

Dehydratisierung: $C_{18}H_{15}O_6^+ \rightarrow C_{18}H_{13}O_5^+ + H_2O$

Das entstandene Molekül erscheint rot.

Eine gleiche Reaktion ist mit allen Furanen möglich, also auch mit Glucosefuranose. Allerdings ist ihr relativer Anteil in einer Glucose-Lösung so gering, dass eine entsprechend sichtbare Reaktion viel langsamer abläuft. Stärke und Saccharose sind keine Monomere, weshalb eine entsprechende Reaktion bei ihnen nicht stattfinden sollte. Dass bei dem Haushaltszucker und dem Dicksaft in den Versuchsergebnissen trotzdem eine leicht rötliche Färbung erkennbar ist, könnte daran liegen, dass diese beide keine reine Saccharose enthalten. Diese besteht nämlich aus den Monomeren Glucose und Fructose. Kommt es also zum Beispiel aus irgendwelchen Gründen zu einer Aufspaltung in diese Monomere oder ist die Probe verunreinigt, kann auch hier Fructose nachgewiesen werden.

Lugolsche Probe:

Versuchsaufbau:

Chemikalien:

- Zu untersuchende Substanzen: Rübenschnitzel, Glucose, Fructose, Saccharose, Stärke, Zuckerrübenschnitzel
- Destilliertes Wasser
- Lugolsche Lösung (Iod-Kaliumiodid-Lösung)
- Wasser

Geräte:

- 6 Reagenzgläser
- 1 Reagenzglasständer
- 1 Spatel

- 1 Becherglas (z.B. 200 ml)
- 1 Vierfuß
- 1 Bunsenbrenner
- Feuerfeste Unterlage

Arbeitsschritte:

1. Jedes Reagenzglas zur Hälfte mit destilliertem Wasser füllen
2. In jedes Reagenzglas eine zu untersuchende Substanz geben (bei der rohen Rübe ein kleines Stück, bei den kristallinen Zuckern und der Stärke eine Spatelspitze und bei dem Dicksaft eine Pasteurpipette)
3. Wasser in das Becherglas geben und auf dem Vierfuß erhitzen
4. Probe mit der Stärke im Wasserbad unter Schütteln erwärmen, bis sich die Stärke gelöst hat, und anschließend abkühlen lassen
5. Andere Substanzen unter Schütteln im jeweiligen Reagenzglas auflösen
6. 10 Tropfen Lugolsche Lösung zu jeder Probe geben
7. Reagenzgläser erneut schütteln

Beobachtungen:

- Alle Kohlenhydrate (bis auf die Stärke und der Rübenschnitzel) lösen sich nach einigem Schütteln in dem destillierten Wasser auf.
- Beim Erhitzen löst sich auch die Stärke im destillierten Wasser.
- Nach Zugabe der Lugolschen Lösung findet bei keiner Lösung außer der mit der Stärke, die sich dunkelviolett bis schwarz verfärbt, eine Farbveränderung statt (abgesehen von der gelblichen Färbung der Lugolschen Lösung selbst).
- Auch beim Rübenschnitzel lassen sich auf der Oberfläche kleine violette Punkte erkennen.



*Ergebnisse der Lugolschen Probe
(von links nach rechts: Rübenschnitzel, Glucose,
Fructose, Saccharose, Stärke, Dicksaft)*



Auswertung:

Mit der Lugolschen Probe kann Stärke nachgewiesen werden.

Stärke besteht nämlich aus Amylose, einem unverzweigten und schraubig gewundenen Polysaccharid, und Amylopektin (ebenfalls ein Polysaccharid, aber mit einer zehnfach höheren Molekülmasse als Amylose und zudem Verzweigungen). Für die Lugolsche Probe ist lediglich die Amylose von Bedeutung.

Denn im Hohlraum der Amylosehelix lagern sich die Polyiodidketten (Ketten aus Iod-Ionen; hergestellt durch Mischen von Iod und Kaliumiodid in wässriger Lösung) ein und reagieren mit den Hydroxygruppen der Amylose zu einem Polyiodidstärke-Komplex. In diesem sind die Elektronen delokalisiert, also nicht genau zu verorten, was dazu führt, dass der Komplex langwelliges Licht absorbiert und somit blau bis schwarz erscheint.

Die Lösung aus Stärke und Wasser darf nicht mehr warm sein, da der Polyiodidstärke-Komplex unter zu großer Hitze zerfällt und folglich keine Färbung erkennbar wäre.

Die anderen getesteten Kohlenhydrate können nicht mit der Lugolschen Probe nachgewiesen werden, da ihre räumliche Struktur die Bildung eines entsprechenden Komplexes nicht zulässt. Daraus lässt sich auch schlussfolgern, dass, wie im zweiten Bild dieses Versuchs zu erkennen, Stärke (genauer Amylose) in Zuckerrüben vorhanden sein muss, da hier eine violette Färbung erkennbar ist.

Teil 3: Zerlegung von Zucker*Versuchsaufbau:*Chemikalien:

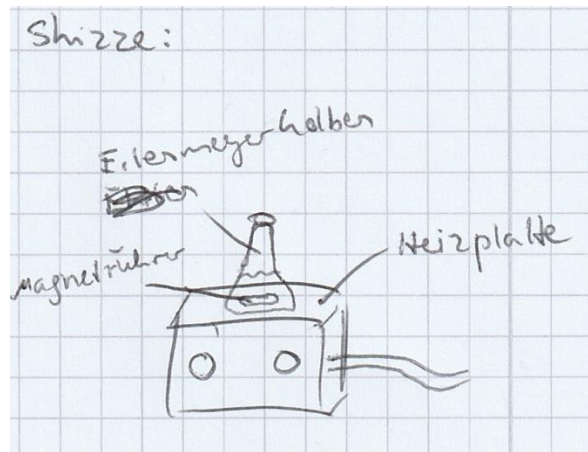
- 1 Spatel Saccharose
- 20 ml verdünnte Salzsäure
- Verdünnte Natronlauge
- Fehling-Lösung I
- Fehling-Lösung II
- 10%ige Salzsäure
- Resorcin
- Wasser

Geräte:

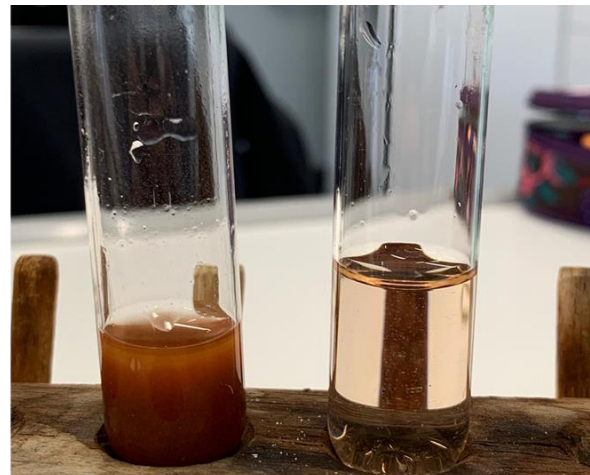
- 1 Erlenmeyerkolben (100 ml)
- 1 Spatel
- 2 Reagenzgläser
- 1 Reagenzglasständer
- 1 Becherglas (z.B. 200 ml)
- 1 Pipette
- Indikatorpapier
- Magnetrührer
- Schutzbrillen

Arbeitsschritte:

1. Ein Spatel Saccharose und 20 ml verdünnte Salzsäure in Erlenmeyerkolben geben
2. Magnetrührstäbchen in Erlenmeyerkolben legen
3. Gemisch unter Rühren etwa 5 Minuten auf der Heizplatte des Magnetrührers erhitzen
4. So lange verdünnte Natronlauge zu der Lösung geben, bis das Indikatorpapier keine saure Reaktion mehr anzeigt
5. Mit jeweils 1 ml der entstandenen Lösung Seliwanow- und Fehling-Probe durchführen (siehe Teil 2)

Beobachtungen:

- Der Zucker löst sich nach einiger Zeit in der erwärmten Salzsäure auf und es entsteht eine klare Lösung.
- Nach Zugabe von etwas verdünnter Natronlauge (über hundert Tropfen) schlägt das Indikatorpapier von sehr sauer (pH-Wert von 1) auf neutral (pH-Wert von 7) bis leicht alkalisch (pH-Wert von 8) um.
- Nach dem Erhitzen bildet sich bei der Fehling-Probe roter bis brauner Niederschlag.
- Nach dem Erhitzen färbt sich die Seliwanow-Probe leicht rötlich.

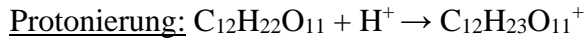


Ergebnisse der Fehling- (links) und Seliwanow-Probe (rechts)

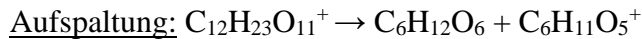
Auswertung:

Die Seliwanow- und Fehling-Probe fallen positiv aus. Nach den Erkenntnissen aus Teil 2 heißt dies, dass in der Lösung auf jeden Fall Fructose vorhanden ist. Daran, dass die Ergebnisse eindeutiger als bei der Saccharose in Teil 2 ausfallen, zeigt sich zudem, dass die Ergebnisse nicht nur auf Verunreinigungen zurückzuführen sein können. Es muss also eine Aufspaltung der Saccharose in die Monomere Glucose und Fructose stattgefunden haben.

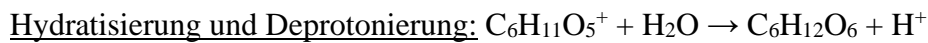
Bei der Hydrolyse der α -1,4-glykosidischen Bindung zwischen den Monomeren Glucose und Fructose wirkte die hinzugegebene Salzsäure als Katalysator. Als Protonendonatoren geben Säuren in wässrigen Lösungen Protonen an die umgebenden Wassermoleküle ab, was zur Entstehung von Oxoniumionen (H_3O^+) führt. Diese geben bei dieser Reaktion wiederum ein Proton an das Sauerstoffatom der glykosidischen Bindung ab.



Dieses hat nun eine positive Formalladung, weil es zum Ausgleich der positiven Ladungen in seinem Kern nur zwei Elektronenpaarbindungen eingehen muss, nun aber drei kovalente Bindungen aufweist. Um die positive Formalladung aufzuheben, löst es sich vom C₁-Atom des Glucosemonomers, wobei die Elektronenpaarbindung aufgrund der im Vergleich zum Kohlenstoffatom höheren Elektronegativität des Sauerstoffatoms zu diesem klappt. Folglich liegt nun bei dem C₁-Atom der Glucose eine positive Formalladung vor.



Es ist daher sehr elektrophil, weshalb es sich an ein freies Valenzelektronenpaar eines Wassermoleküls (aus der verdünnten Salzsäure) bindet. Das Sauerstoffatom dieses Wassermoleküls ist nun wiederum formal positiv geladen, was zu einer Abspaltung eines an das Sauerstoffatom gebundenen Wasserstoffatoms als Ion führt.



Auf diese Weise werden die Hydroxygruppen, die bei der Bildung der glykosidischen Bindung durch eine Kondensationsreaktion ganz oder teilweise abgespalten wurden, wiederhergestellt, was zu der Entstehung von jeweils einem Glucose- und einem Fructosemolekül pro Saccharosemolekül führt. Diese wurden durch die durchgeführten Proben nachgewiesen.

Die Herstellung einer neutralen Lösung durch Zugabe von Natronlauge ($H_3O^+ + OH^- \rightarrow 2H_2O$) war vermutlich deshalb nötig, um zu verhindern, dass eine entsprechende Neutralisationsreaktion im durch die Salzsäure sauren Milieu mit der alkalischen Fehling-Lösung II abläuft. Dies würde nämlich die Bildung eines Kupfertartratkomplexes verhindern und damit die Fehling-Probe nicht ablaufen lassen.

Teil 4: Herstellung von Kunsthonig

Versuchsaufbau:

Chemikalien:

- 50 g Saccharose
- 100 ml Wasser
- Zitronensäure

Geräte:

- Becherglas (600 ml)
- Glasstab
- 1 Vierfuß
- Bunsenbrenner
- Feuerfeste Unterlage

Arbeitsschritte:

1. 50 g Saccharose, 100 ml Wasser und etwas Zitronensäure in ein Reagenzglas gegeben
2. Das Gemisch unter Rühren auf ein Drittel des ursprünglichen Volumens eindampfen

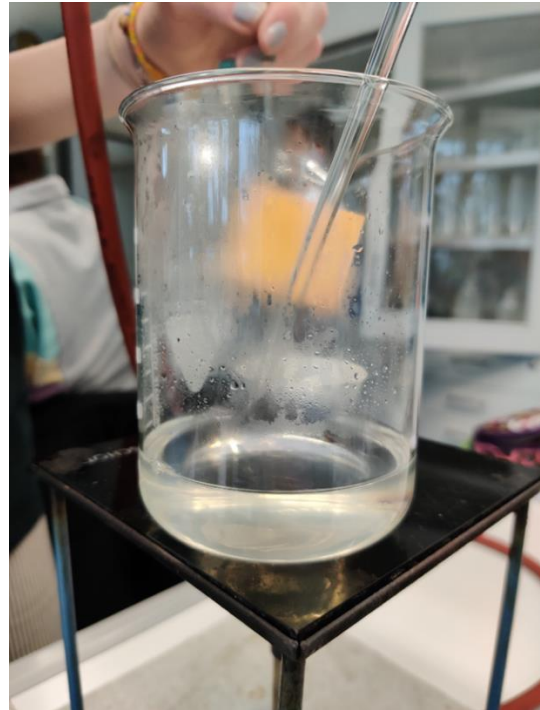
3. Entstandene Masse abkühlen lassen

Beobachtungen:

- Die Saccharose und die Zitronensäure lösen sich im Wasser auf, wodurch eine homogene Flüssigkeit mit einer trüben, leicht gelblichen Färbung entsteht (*rechts*).
- Je länger man das Gemisch erhitzt, desto mehr nimmt sein Volumen ab und desto visköser und „klebriger“ wird seine Konsistenz.
- Nach dem Abkühlen des Kunsthonigs ist dieser noch zähflüssiger als im warmen Zustand.

Geschmack:

Der Kunsthonig schmeckte ein wenig wie Bienenhonig, jedoch mit einer deutlichen Zitronennote.



Auswertung:

Durch die Zugabe der Zitronensäure und das anschließende Erwärmen wird die Saccharose (wie in Teil 3 beschrieben) hydrolysiert, weshalb in dem Kunsthonig die Monomere der Saccharose (Glucose und Fructose) vorliegen. Diese finden sich auch in Bienenhonig, was den teils ähnlichen Geschmack erklärt. Die zitronige Note kommt hingegen vermutlich von der Zitronensäure beziehungsweise dem Zitronensaft.

Die relativ feste Konsistenz rührt wiederum von der durch das Eindampfen erhöhten Konzentration der Glucose und Fructose in der Lösung her. Zwischen den Molekülen dieser Monosaccharide wirken (wie in Teil 1 beschrieben) wegen der vielen Hydroxygruppen und der Größe der Moleküle höhere zwischenmolekulare Kräfte (vor allem Wasserstoffbrücken) als zwischen den Wassermolekülen untereinander oder Wassermolekülen und Glucose beziehungsweise Fructosemolekülen. In der Folge ziehen einander stärker an, was sich in einer erhöhten Viskosität zeigt.