

Sabine Struckmeier und Bernhard Sieve

Zucker macht nicht nur dick ...

Lebensmittel auf Basis ihres Zuckergehalts bewerten

Klassenstufe:	Sek. I: AG, Wahlpflichtkurs; Sek. II: Kursunterricht, Seminarfach
Themenbereiche:	Kohlenhydrate, Verringerung des Zuckerkonsums, Nährwertkennzeichnungen
Kompetenzbereiche:	Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung
Methode:	Arbeitsgleiche Gruppenarbeit, Internetrecherche

Die Vorliebe für den süßen Geschmack ist dem Menschen angeboren [1]. Er gilt als „Sicherheitsgeschmack der Evolution, denn es gibt nichts Süßes auf der Welt, das giftig ist“ [2, S. 167]. Gleichzeitig war er ein Hinweis auf Nahrung mit einer hohen Energiedichte. War diese Geschmackspräferenz früher von Vorteil, fordert die Ernährungswissenschaft heute immer wieder eine Reduktion des Konsums freier Zucker, denn deren übermäßiger Genuss kann Adipositas und weitere ernährungsbedingte Krankheiten, wie z. B. *Diabetes mellitus* Typ 2, fördern.

Nach einer Studie des Robert-Koch-Instituts aus dem Jahr 2014 sind zwei Drittel der Männer und die Hälfte der Frauen in Deutschland übergewichtig, ein Viertel der Erwachsenen ist adipös. Bei Kindern und Jugendlichen zeigt die KiGGS-Studie (Welle 2, 2014–2017), dass bereits 9,5% übergewichtig und 5,9% adipös sind [3], [4] – Tendenz steigend. Mittlerweile ist die Reduktion von Zucker in Lebensmitteln ein Ernährungstrend geworden und hat scheinbar den Trend der fettreduzierten Produkte überflügelt. Dies zeigt die wachsende Produkanzahl an „zuckerfreien“ Lebensmitteln, die meist besonders beworben werden, sowie die größer werdende Anhängerschaft von Low Carb, Glyx und Co. Doch auch in Ernährungsformen wie Mischkost oder *Clean Eating*, die als gesundheitsbewusste Ernährungsformen eingestuft sind, spielt die Reduktion von freien Zuckern eine große Rolle. All dies ist Grund genug, sich mit dem Für und Wider von Zucker als Grundnährstoff auch in der Schule auseinanderzusetzen. In diesem Beitrag werden Materialien vorgestellt, mit denen Lernende im Chemieunterricht das Thema Zucker als lebensnotwendigem, aber gleichzeitig auch problematischem Nährstoff erarbeiten können.

zahlreiche Fragen, die gesammelt und thematisch sortiert werden. Fragen wie „Warum wird so vielen Lebensmitteln Zucker zugesetzt?“, „Welche Zucker befinden sich in den Lebensmitteln?“ und „Welche Folgen hat ein zu hoher Zuckerkonsum für die Gesundheit neben dem „dicker Werden?““ werden erfahrungsgemäß von den Lernenden genannt. Zur Klärung der Fragestellungen bearbeiten die Lernenden das **Material 3** und setzen dabei zur Visualisierung die Informationen des Textes in eine andere Darstellungsform um. Nach der Sicherung im Plenum bearbeiten sie die noch offenen Teilaufgaben der **Aufgabe 2** von **Material 3** als Hausaufgabe. Neben der Unterscheidung verschiedener Süßungsmittel auf Zuckerbasis und der Untersuchung von Lebensmitteletiketten auf das Vorhandensein dieser Süßungsmittel recherchieren sie die Molekülstrukturen von Glucose, Fructose, Saccharose und Amylose. In der Folgestunde erarbeiten die Lernenden die Isomerisierung von Glucose zu Fructose sowie die hydrolytische Spaltung der glycosidischen Bindung zur Klärung, wie die verschiedenen industriellen Süßungsmittel hergestellt werden. Im Anschluss kann ein experimenteller Exkurs zur qualitativen und quantitativen Bestimmung von Zuckern in Lebensmitteln erfolgen.

Nach der Auswertung der Experimente wird der Blick der Lernenden über den Vergleich verschiedener Lebensmittelverpackungen mit dem Nutri-Score nochmals auf die Nährwertkennzeichnung sowie die Zutatenliste auf Lebensmittelverpackungen gerichtet. Die Bedeutung dieser Angaben wird anhand der **Materialien 4A** und **4B** erarbeitet. Es empfiehlt sich auch das Video unter dem folgenden Link: <https://www.youtube.com/watch?v=yqtwSWao3wA&t=6s>. Darin werden die Elemente der Nähr-

Differenzierung auf den Punkt gebracht

D

Differenzierung nach:

- Interessen
- fachlicher Tiefe

Fördermöglichkeiten:

- Variation: Auswahl oder Eingrenzung der angegebenen Molekülstrukturen von Zuckern.
- Besonders experimentierstarke Lernende können als Experten für die Bestimmung der verschiedenen Zucker dienen.

Praxistipps:

- In Sek. I ggf. Verzicht auf Recherche der Molekülstrukturen der Kohlenhydrate.
- Arbeitsteilige Berechnungen des Nutri-Scores für weitere Produkte.

Verlauf der Unterrichtssequenz

Die Einführung in die Unterrichtssequenz erfolgt über die Karikatur (**Material 1**), aus der sich eine erste, nach unseren Erfahrungen recht kontroverse Diskussion über den beschriebenen Zusammenhang ergibt. Durch das **Material 2** wird der Blick der Lernenden auf die in vielen Lebensmitteln enthaltenen freien Zucker gerichtet. Aus beiden Materialien ergeben sich

wertkennzeichnung einfach und anschaulich erklärt. Die Lernenden lernen somit nicht nur die Bedeutung der Nährwerttabellen für die Einschätzung eines Lebensmittels kennen, sondern können erfahren, dass über die Kombination von Referenzmengen, Nutri-Score und Nährwerttabelle die Produkteinschätzung deutlich sicherer gelingt.

Als Abschluss der Unterrichtssequenz recherchieren die Lernenden zuckerarme Alternativen zu den von ihnen in **Material 2** aufgelisteten Lebensmitteln.

Literatur

- [1] Behrens, M.; Meyerhof, W.; Hellfrisch, C.; Hofmann, T.: Moleküle und biologische Mechanismen des Süß- und Umami-geschmacks. *Angew. Chem.* 123(2011), S. 2268–2291
- [2] Ellrott, T.: Wie Kinder essen lernen. *Ernährung* 1(2007), S. 167–173
- [3] Robert-Koch-Institut (2014): Übergewicht und Adipositas. https://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Themen/uebergewicht_Adipositas/uebergewicht_Adipositas_node.html [14.8.2022]
- [4] Bundesministerium für Gesundheit (2021): Förderschwerpunkt Prävention von Übergewicht bei Kindern und Jugendlichen. <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/themen/praevention/kindergesundheit/praevention-von-kindern-uebergewicht.html> [14.8.2022]

Maßnahmen zur Reduzierung des Zuckerkonsums

Lösungen zu Material 4:

zu 1.: Nutri-Score der Tütensuppe:

Energie: 1799 kJ	→	5 Punkte;
Zucker: 2,6 g	→	0 Punkte;
Fett, gesättigt: 27,4 g	→	6 Punkte;
Salz: 970 mg	→	10 Punkte;
Ballaststoffe: 0 g	→	0 Punkte;
Protein: 1,9 g	→	-1 Punkt;

Summe: 20 Punkte, daraus folgt: **Note E**

zu 3.: Die Einstufung der Tütensuppe mit dem Nutri-Score E ist nur mithilfe der Angaben aus **Tabelle 2** nachvollziehbar. Gerade für einen Diabetiker ist der Nutri-Score bei diesem Produkt irreführend, da das Produkt nur wenig Zucker enthält, wie auf dem Etikett zu erkennen ist. Diabetiker sollten dieses Produkt aber aufgrund des hohen Salzgehaltes und des vergleichsweise hohen Anteils an gesättigten Fettsäuren meiden, denn sie sollten sich salzarm ernähren und vorwiegend ungesättigte Fettsäuren zu sich nehmen.

Die britische Nährwertampel enthält Gehaltsangaben und Energiewerte des Lebensmittels und lässt über eine Farbcodierung direkt erkennen, welche der Inhaltsstoffe mit Blick auf eine gesunde Ernährung ein Problem darstellen könnten. Eine zusammenfassende Bewertung wie beim Nutri-Score ist nicht vorhanden. Dennoch erscheint die Ampel für die täglichen Kaufentscheidungen sinnvoller zu sein als der Nutri-Score, da durch die prozentuale Angabe der Gehalte zu den jeweiligen Referenzmengen eine größere Transparenz erzeugt wird.

Die Standardkennzeichnung mit den Gehaltsangaben maßgeblicher Inhaltsstoffe in 100 g des Lebensmittels ist verbunden mit der Angabe der Referenzmenge eigentlich ausreichend für eine Lebensmittelbewertung, denn darin sind all die Angaben enthalten, die in der britischen Nährwertampel vorliegen. Über die Farbcodierung der Ampel werden kritische Gehalte von Inhaltsstoffen jedoch augenscheinlicher und leichter erfassbar. Ein Problem ist jedoch, dass einige Lebensmittel die Referenzmengen nicht explizit angeben, wodurch eine Bewertung eines Lebensmittels nur sehr grob möglich ist.

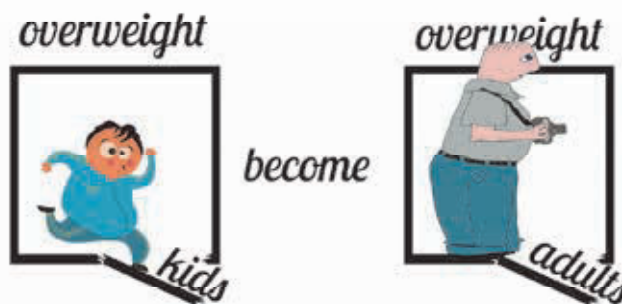


1

Material

ZUCKER – EIN PROBLEMATISCHER LEBENSMITTELINHALTSSTOFF?

Übergewicht – wie kommt es dazu?



Zucker in der Ernährung

Arbeitsaufträge

1. Lest den nachfolgenden Text und notiert Fragen, die ihr auch im Zusammenhang mit der Karikatur klären wollt.
2. Freiwillig: Lade eine kostenfreie Ernährungs-App herunter (z. B. Yazio oder MyFitnessPal) und erfasse über einen Tag lang deine Aufnahme an freien Zuckern. Prüfe, ob du unter der empfohlenen Menge von 50 g freien Zuckern/Tag bleibst.



Limonaden und Softdrinks, wie z. B. Coca Cola®, Pizza und viele andere Lebensmittel enthalten Zucker.

Nach einer gemeinsamen Veröffentlichung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE), der Deutschen Adipositas-Gesellschaft (DAG) und der Deutschen Diabetes Gesellschaft (DDG) aus dem Jahr 2018 soll die maximale Zufuhr freier Zucker weniger als 10 % der Gesamtenergiezufuhr betragen. Zu den freien Zuckern zählen neben Mono- und Disacchariden, die Lebensmitteln in der Verarbeitung zugesetzt werden, Honig und Sirup, aber auch die in Fruchtsäften und Fruchtsaftkonzentrat

5 raten natürlich vorkommenden Zucker. Bei einer Gesamtenergiezufuhr von 2.000 kcal / Tag entspricht diese Empfehlung einer maximalen Zufuhr von 50 g freien Zuckern / Tag [1]. Der tatsächliche Konsum liegt aber weitaus höher: 2020/2021 lag der Zuckerkonsum in Deutschland bei 32,5 kg pro Jahr [2], was einem Verbrauch von 89 g Zucker / Tag entspricht. Ein großer Teil des zugeführten Zuckers stammt aus Süßwaren (36 %), zu denen bspw. Bonbons, Schokolade, Fruchtgummis und Speiseeis gehören. Außerdem sind Fruchtsäfte und Nektare (26 %) sowie Limonaden und Softdrinks, wie z. B. Coca Cola® (12 %) Quellen für Zucker [1]. Da Limonaden und Softdrinks keine weiteren Nährstoffe enthalten, führt ihr Konsum zu einer Erhöhung des Zuckerkonsums ohne einen zusätzlichen Nutzen. Aber Zucker ist nicht nur in Süßwaren und Getränken enthalten, sondern auch in vielen verarbeiteten Lebensmitteln wie bspw. Kartoffelpüree, Tütensuppen, Fertiggerichten oder Pizza. Selbst vermeintlich gesunde Lebensmittel wie z. B. Fruchtjoghurt enthalten ihn.

10

Warum wird vielen Lebensmitteln Zucker zugesetzt?

Arbeitsaufträge

1. Lest den nachfolgenden Text und erstellt eine Übersicht über die Funktionen des Zusatzes von Zuckern und Zuckersirupen in Lebensmitteln.
2. a) Recherchiert die Molekülformeln von α -D-Glucose, β -D-Fructose, Saccharose und Amylose in der Fischer- und in der Haworth-Schreibweise. Zeichnet die Formeldarstellungen.
- b) Recherchiert die im Text genannten Zuckersirupe. Beschreibt deren Herstellung (in Stichpunkten) und deren Zusammensetzung.
- c) Recherchiert Lebensmittel, die mit diesen Zuckersirupen gesüßt werden. Nutzt dazu die Zutatenliste der Lebensmittel.

Neben dem von Natur aus enthaltenen Zucker wird vielen Lebensmitteln Zucker zugesetzt, weil dieser nicht nur süß schmeckt, sondern bei der Verarbeitung und beim Konsum weitere Aufgaben übernimmt. Verwendet wird dafür aus Rüben- oder Rohrzucker gewonnener weißer oder brauner Haushaltszucker (Saccharose) in verschiedenen Formen. In vielen industriell hergestellten Lebensmitteln kommen jedoch vielfach Zuckersirupe zum Einsatz, die meist kostengünstiger als Saccharose sind. Beispiele hierfür sind Glucosesirup, Fructose-Glucose-Sirup, *High-Fructose-Corn-Syrup* (HFCS) oder Invertzuckersirup.

Zucker und die Zuckersirupe mildern bitteren, sauren oder salzigen Geschmack von Zutaten ab und intensivieren bspw. den Geschmack von Tomatensoßen und Mayonnaisen. In Konfitüren verstärkt Zucker das Aroma der Früchte und wirkt gleichzeitig konservierend. Der Zucker erhöht den osmotischen Druck und begrenzt dadurch das Wachstum von Mikroorganismen. In Backwaren sorgt Zucker für stabile, elastische Teige, feinporige Krumen und knusprige Krusten. In Hefeteigen sorgt er als „Nahrung“ für die Hefe für die Teiglockerung. Durch Zuckerzusatz entsteht cremigeres Speiseeis, da Zucker die Gefriertemperatur senkt.

Wichtig ist Zucker ebenfalls für die Bildung von Bräunungs- und Aromastoffen durch das Karamellisieren und die sogenannte Maillard-Reaktion. Dabei reagieren Aminosäuren in den Lebensmitteln mit reduzierend wirkenden Zuckern wie Glucose bei etwa 140 °C in Anwesenheit von Wasser (12–18 %) zu dunkelgefärbten Aromastoffen. Beispiele sind in **Tabelle 1** aufgelistet [1].

Ändert sich wie bspw. in Light-Produkten der Zuckergehalt, ändern sich in der Regel auch Geschmack, Textur, Aussehen und Haltbarkeit des Produkts. Um die veränderten Eigenschaften auszugleichen, müssen die Rezepturen bspw. durch Zusatz von Konservierungstoffen verändert werden. Eine Verringerung des Zuckergehalts muss nicht zwangsläufig zu Produkten mit weniger Kalorien führen. Je nach Ersatzstoff kann der Zuckergehalt zwar reduziert sein, der Energiegehalt des Produkts ist aber mitunter gleichgeblieben [2].

Aminosäure	Zucker	Dauer der Hitzezufuhr	Aroma
Cystein	Glucose	kurzzeitig	Bratenaroma
Cystein	Glucose	länger	Röstzwiebel
Prolin	Glucose	lange trockene Hitze	Frische Brotkruste

Tab. 1: Beispiele von Maillard-Reaktionen [1]

ZUCKER – EIN PROBLEMATISCHER LEBENSMITTELINHALTSSTOFF

Kennzeichnung der Nährwerte in Lebensmitteln

Arbeitsauftrag

Vergleichen Sie die verschiedenen Nährwertkennzeichnungen (Standardkennzeichnung mit Referenzmenge, Nährwert-Ampel, Nutri-Score) hinsichtlich ihrer Aussagekraft. Benennen Sie dabei mögliche Probleme.



Abb. a: Beispiele für Nährwertkennzeichnungen: Britische Nährwertampel (links) Nutri-Score (rechts)

- 5 Da die Nährwertkennzeichnungen nicht zu einem wesentlichen Rückgang der konsumierten Zuckermengen geführt haben, sind seit einigen Jahren weitere Maßnahmen zur Reduzierung des Zuckerkonsums in der Diskussion. Als ein Mittel gilt die Einführung einer Zuckersteuer auf Limonaden und Softdrinks [1]. Steuern führen zu einem höheren Preis und sollen Konsument:innen dazu bewegen, günstigere Produkte mit einem geringeren Zuckergehalt zu kaufen. Eine andere Variante sind die sogenannten „Front of Pack“-Nährwertkennzeichnungsmodelle (FoP) für verarbeitete Lebensmittel. Sie sollen das Bewusstsein der Konsument:innen fördern und die Lebensmittelindustrie dahingehend beeinflussen, qualitativ hochwertigere Rohstoffe zu verwenden.

2013 wurde in Großbritannien die sogenannte Nährwertampel (vgl. **Abb. a**, links) auf freiwilliger Basis eingeführt. Angegeben sind der Brennwert und ausgewählte Nährstoffe, die einzeln bezogen auf Referenzmengen bewertet werden [2]. Eine Gesamtbewertung des Produkts findet nicht statt [3].

- 15 In Frankreich entwickelte die Ernährungswissenschaft 2017 den sogenannten Nutri-Score (vgl. **Abb. a**, rechts). Seit 2020 wird der Nutri-Score auch in Deutschland, ebenfalls auf freiwilliger Basis, verwendet. Er ergänzt die verpflichtende Nährwertkennzeichnung und fasst sie für Produktgruppen zusammen. Verbraucher:innen können so bspw. Pizzen verschiedener Hersteller direkt miteinander vergleichen.

Die Bewertung des Nutri-Score beruht auf einem Punktesystem, wobei negativ bewertete Inhaltsstoffe (gesättigte Fettsäuren, Zucker, Salz) sowie der Energiegehalt Positivpunkte und positiv bewertete Inhaltsstoffe (Eiweiß, Ballaststoffe, Obst, Gemüse, Nüsse) Negativpunkte bekommen. Je kleiner die Gesamtpunktezahl nach der Berechnung ausfällt, desto positiver ist die Bewertung des Nutri-Scores. Die Note A ist die beste, E die schlechteste Bewertung [3, 4]. Die Punktevergabe erfolgt nach den Angaben in **Tabelle 1** und **2**.

Punkte	Energie in [kJ]	Zucker in [g]	Gesättigte Fettsäuren in [g]	Salz in [mg]	Nüsse, Früchte, Gemüse [%]	Ballaststoffe in [g]	Proteine in [g]
0	≤ 335	≤ 4,5	≤ 1	≤ 90	≤ 40	≤ 0,7	≤ 1,6
1	> 335	> 4,5	> 1	> 90	> 40	> 0,7	> 1,6
2	> 670	>9	>2	>180	>60	>1,4	>3,2
3	>1005	>13,5	>3	>270	-	>2,1	>4,8
4	>1340	>18	>4	>360		>2,8	>6,4
5	>1675	>22,5	>5	>450	>80	>3,5	>8,0
6	>2010	>27	>6	>540			
7	>2345	>31	>7	>630			
8	>2680	>36	>8	>720			
9	>3015	>40	>9	>810			
10	>3350	>45	>10	>900			

Tab.1: Nutri-Score-Bewertung der Inhaltsstoffe (vereinfachte Darstellung nach [5])

Note	A	B	C	D	E
Feste Lebensmittel, Milch, Milchgetränke					
Punkte	≥ -1	0-2	3-10	11-18	19 ≤

Getränke					
Punkte	(Wasser)	≥ 1	2-5	6-9	

Tab. 2: Nutri-Score-Zuordnung der Gesamtpunkte zu den Noten [4]

t Chemie Nr. 193 | 2023 | Zum Beitrag S. 10 – 15
 19) Der Effekt von Nahrungsmittel-Labels auf die korrekte Einschätzung der Produktgesundheits-URL: https://www.nd.de/gesundheits/wie-sinnvoll-ist-eine-zuckersteuer-cy2g57x4afhunnatukp060xp04.html [21.8.2022];
 2) Bewertung ausgewählter „Front-of-Pack“-Nährwertkennzeichnungs-Modelle. URL: https://www.mmr.bund.de/fileadmin/MR/Themen/Naehrwertkennzeichnung/200721_MRI-Bericht-FoP-NWK-Modellen_mkr-KOM-Bericht-Titel.pdf [8.8.2022];
 4) Lebensmittelverband (2022): Nutri-Score. URL: https://www.lebensmittelverband.de/de/lebensmittel/kennzeichnung/naehrwert/nutri-score [8.8.2022]; [5] Chaulliac, M. (2018): NUTRI SCORE. URL: https://food.ec.europa.eu/system/files/2018-04/comm_ahac_20180423_pres4.pdf [20.10.2022]
 © Fotos: vidcosta/Shutterstock.de, k_nastia/Shutterstock.com (rechts)

Klaus Ruppertsberg und Hanne Rautenstrauch

Voll im Trend: Haferdrink & Co?

Experimentelle Untersuchung von Vollmilch, Hafer- und Mandeldrinks

Milchersatzprodukte haben mittlerweile einen Platz in den Regalen aller Supermärkte. Stellte die Nutzung von Milch und Käse vor 7000 Jahren einen Ernährungsfortschritt gegenüber dem mühsamen und unsicheren Suchen von Beeren, Pilzen und Jagdbeute dar [1], geht der Trend heutzutage weg von der Milch hin zu pflanzlichen Alternativen wie zum Beispiel Hafer- und Mandeldrinks. Die Motivation der Verbraucher:innen besteht neben der Suche nach lactosefreien Milchalternativen vor allem in dem Wunsch nach nachhaltiger Ernährung und dem Umstieg auf vegane Produkte. Aber sind diese Produkte wirklich besser? Dieser Artikel stellt experimentelle Methoden vor, mit denen die Unterschiede und Ähnlichkeiten von Milch und (pflanzlichen) Milchersatzprodukten hinsichtlich der enthaltenen Kohlenhydrate untersucht werden können.

Milch und Milchersatzprodukte chemisch unterscheiden

Das wichtigste Unterscheidungsmerkmal von Kuhmilch und milchig aussehenden pflanzenbasierten Ersatzprodukten ist das Vorkommen bzw. Fehlen von Lactose (Milchzucker). Lactose (**Abb. 1**) ist ein Disaccharid (Zweifachzucker), das ausschließlich in der Milch von Säugetieren und nirgendwo anders auftritt. Die bei-

den Bausteine des Lactosemoleküls sind Galactose (Schleimzucker) und Glucose (Traubenzucker).

Es gibt hunderte von verschiedenen Zuckern, die sich untereinander oftmals nur durch winzige Struktureigenschaften unterscheiden, z. B. die räumliche Richtung der OH-Gruppe an einem Kohlenstoffatom. Für jede dieser Strukturen ist bei der Verdauung im menschlichen Körper ein spezifisches Enzym zuständig, z. B. β -Galactosidase (vereinfacht Lactase) für die Spaltung von Milchzucker. Ist dieses Enzym bei der Verdauung im Dünndarm nicht vorhanden, so wandert der Speisebrei mit ungespaltener Lactose in den Dickdarm. Dort kann der Brei aufgrund der wasserbindenden Eigenschaften der Lactose nicht eingedickt werden („Durchfall“). Zudem übernehmen natürliche Darmbakterien den Abbau der Lactose auf ihre Art und produzieren dabei Gase („Blähungen“). Um Abhilfe zu schaffen, kann das fehlende Enzym Lactase oral als Medikament eingenommen werden, welches in Apotheken oder Drogerien käuflich zu erwerben ist.

Milch und Milchersatzprodukte experimentell unterscheiden

Lactose zeigt ein typisches Reaktionsverhalten und kann durch die Durchführung einfacher chemischer Reaktionen von anderen Zuckern un-

Klassenstufe:	10–11
Themenbereiche:	Nachweisreaktionen, Zuckernachweis; Inhaltsstoffe von Lebensmitteln; Aufbau von Zuckern; Kohlenhydrate
Kompetenzbereiche:	Erkenntnisgewinnung; Bewertung
Methode:	Experimente

terschieden werden [2]. Zur experimentellen Umsetzung gibt es drei verschiedene Möglichkeiten: 1. die Wöhlk-Probe, 2. das Diaminohexan-Verfahren und 3. Fearon's Reagenz. Alle drei Methoden werden nachfolgend vorgestellt.

Die Wöhlk-Probe

1904 hat Alfred Wöhlk in Kopenhagen nach einer Reaktion gesucht, mit der

D Differenzierung auf den Punkt gebracht

Differenzieren nach:

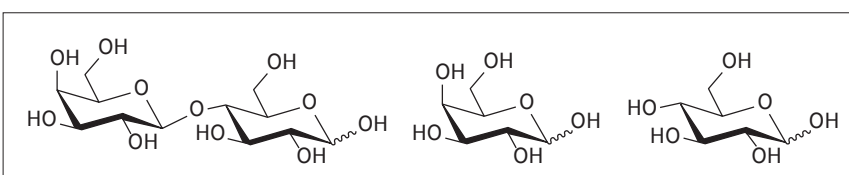
- verschiedenen Interessen (z. B. bei der Auswahl der zu untersuchenden Lebensmittel)
- fachlicher Breite und Tiefe (z. B. Variation der Probenanzahl oder zusätzliche experimentelle Untersuchung der enzymatischen Spaltung von Lactose durch Lactase)

Fördermöglichkeiten:

- Arbeitsteilige Gruppenarbeit
- Benutzung leicht zugänglicher englischer Quellen von Schüler:innen mit schwachen Deutschkenntnissen
- Förderung von leistungsstarken Schüler:innen durch Erweiterung der Aufgabenstellung mit englischen und deutschen Quellen

Praxistipp:

- Präsentation der Experimente durch Schüler:innen



© Zeichnung: Judith Mörschbach

1 | Strukturformeln von Lactose (links), Galactose (Mitte) und Glucose (rechts). Die geschlängelte Bindung ist ein Hinweis auf die Mutarotation: An dieser Stelle öffnet und schließt sich der Ring mit wechselnder Stellung der OH-Gruppe.

Lactose von anderen Zuckern unterschieden werden kann. Dabei hat er festgestellt, dass Lactose (und Maltose) mit 10%-iger Ammoniaklösung eine typische lachsrote Farbe bildet [2], sofern die Lösung im Wasserbad auf 60 °C erwärmt wird. Heutzutage steht die Reaktion jedoch in der Kritik, da Ammoniak in höheren Konzentrationen gesundheitsschädlich oder sogar giftig ist. Durch das Erwärmen der alkalischen Testlösung kann es zu einem verstärkten Ausgasen von Ammoniak kommen; daher wird das Arbeiten unter dem Abzug oder zumindest gutes Lüften empfohlen. Nach den geltenden Vorschriften [3] ist zudem eine Ersatzstoffprüfung durchzuführen: Entweder muss die Anwendung von Ammoniaklösung begründet werden („historisches Experiment“ oder „kein Ersatzstoff vorhanden“) oder es wird eine der beiden anderen, nachfolgend beschriebenen Umsetzungsmöglichkeiten gewählt.

Das 1,6-Diaminohexan-Verfahren

Der Ersatzstoff 1,6-Diaminohexan (syn. Hexamethyldiamin) ist an vielen Schulen vorhanden, da er für das bekannte Experiment „Nylon-Seil-Trick“ verwendet wird. Eine alkalische Lösung von 1,6-Diaminohexan kann ebenfalls zum Nachweis von Lactose verwendet werden. Dazu wird die alkalische 1,6-Diaminohexan-Lö-

sung zu der zu untersuchenden Probe hinzugegeben und im Wasserbad auf 60 °C erwärmt. Alternativ kann das Experiment auch in einer Mikrowelle durchgeführt werden, eine genaue Anleitung befindet sich in [4].

Untersuchung mit Fearon's Reagenz

Die dritte Möglichkeit zum Nachweis von Lactose bzw. 1,4-verknüpften Disacchariden ist die vorgestellte Untersuchung (vgl. **Kasten 1** und **2**) mit einer Methylamin-Hydrochlorid-Lösung (Fearon's Reagenz [2]). Dieses Reagenz wird zu der zu untersuchenden Probe hinzugegeben und anschließend im 60 °C warmen Wasserbad erwärmt. Methylamin-Hydrochlorid (syn. Methylammoniumchlorid) ist zwar meist nicht an Schulen vorhanden, kann jedoch preisgünstig bestellt werden (ca. 20 Euro für 100 g) und ist leicht zu handhaben, da es als rieselfähiges Salz mit langem Verfalldatum vorliegt. Die Herstellung der Fertiglösung ist schnell und einfach erledigt: In eine austarierte Braunglasflasche (500 mL, Schraubdeckelverschluss), die auf einer Laborwaage steht, werden 2,5 g Methylamin-Hydrochlorid sowie 10 g Natriumhydroxid eingewogen und anschließend mit 500 mL demineralisiertem Wasser aufgefüllt. Die fertige Lösung ist ca. ein Jahr haltbar, der Verfall ist an Trübungen und



2 | Link zum Zeitraffer-Video des Fearon-Tests

Ausflockungen erkennbar. Das Etikett ist mit dem Piktogramm **GHS 05** (metallkorrosiv), **H290**, dem Gefahrwort „**Achtung**“ und dem Herstellungsdatum zu versehen [2]. Die zu erwartenden Farben bei der Durchführung des Kohlenhydratnachweises sind rot (max. Absorption bei 541 nm) für reduzierende Disaccharide (Maltose, Lactose etc.), gelb für reduzierende Monosaccharide (Glucose, Galactose, Fructose etc.) sowie „farblos“ für nicht reduzierende Zucker (Saccharose, Zuckeralkohole). Ein Beispielvideo finden Sie unter dem QR-Code in **Abbildung 2**.

Hinweise zur Vorbereitung des Experiments

Vorab sind einige Lebensmittel zu beschaffen bzw. selbst herzustellen. Die Auswahl sollte die Untersuchung ähnlicher, aber dennoch verschiedener Produkte ermöglichen (s. **Abb. 3**, S. 24). Im folgenden Beispiel wurden käufliche Mandel- und Haferdrinks sowie zum Vergleich Vollmilch und lactosefreie Milch besorgt. Außerdem wurde versucht, die recht teuren Mandel- und Haferdrinks (mit ca. 2 Euro pro Liter etwa doppelt so teuer wie Milch) selbst herzustellen. Die Bezeichnung „fermentiert“ (Ferment ist ein altertümlicher Ausdruck für Enzym) auf den Haferdrinks führte zu der Idee, eine Variante mit eigener Speichelamylase herzustellen und zu untersuchen. Weiterhin wurden zum Vergleich Lösungen von üblichen Zuckern angesetzt.

Hinweise zur Deutung des Experiments

Hafer- und Mandeldrinks ohne Zuckersatz sind nicht jedermanns Geschmack. Daher fügt die Lebensmittelindustrie manchen Produkten Zucker zu, z. B. Glucose-Fructose-Sirup. Allerdings können Verbraucher:innen auch kritisch gegenüber Zuckerzusätzen sein. Deshalb bedienen sich verschiedene Hersteller einer lebensmittelrechtlichen Spitzfindigkeit: Der

Versuch 1

Hafer- und Mandeldrink selbst gemacht!

Geräte und Chemikalien

Pürierstab, Rührschüssel (schmal, hoch) oder Quirltopf (1 L), ggf. feinmaschiges Sieb (falls der Drink für Kaffee genommen wird), 1 Liter kaltes Wasser, 1 Prise Salz, 100 g zartschmelzende Haferflocken oder 200 g Mandeln (je nach herzustellendem Drink).

Durchführung

Mandeln/Haferflocken und zunächst nur so viel Wasser in den Quirltopf geben, dass die Mandeln/Haferflocken gut von Wasser bedeckt sind. Mandeln über Nacht einweichen lassen, Haferflocken können direkt verarbeitet werden. Anschließend 2–3 Minuten unter stetiger Wasserzugabe auf hoher Stufe pürieren, dabei auf die Temperatur achten: Wird es zu warm, ergibt sich eine ungewünschte schleimige Konsistenz (Gegenmittel: Eiswürfel!). Ggf. den fertigen Drink durch ein feinmaschiges Sieb geben. Im Kühlschrank aufbewahrt sind die Ansätze für 1–3 Tage haltbar.

Experimentelle Untersuchung von Haferdrink, Mandeldrink und Milch mit Fearons Reagenz

Untersuchte Proben

Es wurden je 2 mL der folgenden Proben untersucht: 1. käuflicher Mandeldrink, 2. selbst hergestellter Mandeldrink aus gemahlenden Mandeln (s. **Kasten 1**), 3. selbst hergestellter Mandeldrink aus ganzen Mandeln, 4. Haferdrink ohne Zucker, 5. Haferdrink ohne Zuckerzusatz, 6. Haferdrink fermentiert, 7. Vollmilch, 8. lactosefreie Milch, 9. selbst hergestellter Haferdrink (s. **Kasten 1**), 10. selbst hergestellter Haferdrink mit Speichel versetzt, 11. Lactoselösung ($w = 1\%$), 12. Glucose- und/oder Fructoselösung ($w = 1\%$), 13. Maltose-Lösung ($w = 1\%$), 14. Saccharose-Lösung ($w = 1\%$).

Geräte und Chemikalien

Smartphone mit Zeitrafferfunktion (Alternativ: alle 60 Sekunden ein Foto), Magnetrührer mit Heizplatte (auf 60 °C regulierbar), 600-mL-Becherglas als Wasserbad, Reagenzglasständer, ein Reagenzglas für jede Probe, wasserfester Stift, eine 3-mL-Einmalpipette für jede Probe, eine 3-mL-Einmalpipette für Fearon's Reagenz (2 mL für jede Probe)

Durchführung

Die Proben (**Tab. 1**) und die Reagenzgläser werden mit dem wasserfesten Stift nummeriert. Von jeder Probe werden 2 mL in ein Reagenzglas pipettiert. Dazu werden jeweils 2 mL Fearon's Reagenz gegeben. Anschließend werden alle Proben zur selben Zeit in das auf 60 °C vorgeheizte Wasserbad gestellt und mit der (Zeitraffer-)Kamera dokumentiert. Bis zum Einsetzen der Reaktion vergehen ca. 2 Minuten.

Beobachtung

Je nach Lactosegehalt färbt sich die Probe mehr oder weniger stark rot (**Abb. 5**, S. 25, **Tab. 1**). Allerdings verursacht ebenso wie Lactose auch Maltose eine rote Färbung, da beide 1,4-verknüpfte Disaccharide sind. Lactosefreie Lösungen sind entweder gelb (Glucose oder andere reduzierende Monosaccharide) oder färben sich nicht (Saccharose, nicht-reduzierende Zucker).

Deutung

Keine sichtbare Farbreaktion:

Anhand der Farbreaktionen (**Tab. 1**) kann geschlossen werden, dass in den Mandeldrinks (RG 1–3) keine Zucker enthalten sind, welche mit Fearon's Reagenz nachgewiesen werden können (In Mandeln sind u. a. Zuckeralkohole (z. B. Sorbitol) enthalten). Ebenso ist im Reagenzglas 14 mit der Saccharose erwartungsgemäß keine Farbreaktion zu beobachten.

Die gelben Lösungen in den Hafermilchproben (RG 6 und 7) sind ebenfalls der Kategorie „keine Farbänderung“ zuzuordnen, da diese schon vorher eine gelbe Eigenfarbe besaßen.

Entstehung eines gelben Farbstoffs:

Die Reagenzgläser mit der lactosefreien Milch (RG 10) und der Glucose (RG 13) waren vorher weiß bzw. farblos und weisen nach

der Nachweisreaktion eine Gelbfärbung auf. In diesen beiden sind also reduzierende Monosaccharide nachgewiesen worden.

Entstehung eines roten Farbstoffs:

In den Reagenzgläsern mit Vollmilch (RG 9), Lactose (RG 11) und Maltose (RG 12) kann erwartungskonform eine Rotfärbung gesehen werden, weil 1,4-verknüpfte Disaccharide (Lactose oder Maltose) enthalten sind.

Die gekauften Haferdrinks (RG 4 und 5), welche die Kennzeichnung „ohne Zucker“ bzw. „ohne Zuckerzusatz“ enthalten, zeigen überraschenderweise ebenfalls eine rote Färbung, d. h. in ihnen ist doch ein 1,4-verknüpftes Disaccharid enthalten. Der Hersteller schreibt dazu: „... unter anderem Maltose, entstanden durch ein vertrauliches Herstellungsverfahren ...“ [5]. Ebenso kann bei selbst hergestelltem Haferdrink mit und ohne Speichelamylase (RG 7 und 8) eine Rotfärbung festgestellt werden. Speichelamylase ist ein Enzym, das beim Kauen von Nahrung im Mund in der Lage ist, Stärkemoleküle zu zerlegen. Dabei entsteht u. a. Maltose (vgl. [6]).

RG	Probe	Farbreaktion
1	Mandeldrink ungesüßt (BioBio®)	keine
2	Mandeldrink selbst hergestellt mit gemahlenden Mandeln	keine
3	Mandeldrink selbst hergestellt aus ganzen Mandeln	keine
4	Haferdrink ohne Zucker (AL-PRO®)	rot
5	Haferdrink ohne Zuckerzusatz (ALPRO®)	rot
6	Haferdrink fermentiert (BioBio®)	gelb
7	Haferdrink selbst hergestellt	gelb
8	Haferdrink selbst hergestellt, mit Speichel (fermentiert)	rot
9	Vollmilch	rot
10	Lactosefreie Milch	gelb
11	Lactose-Lösung ($w=1\%$)	rot
12	Maltose-Lösung ($w=1\%$)	rot
13	Glucose-Lösung ($w=1\%$)	gelb
14	Saccharose-Lösung ($w=1\%$)	keine (farblos)

Tab. 1 | Proben und Farbreaktionen



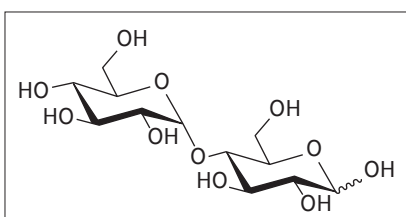
© Foto: Hamme Rauteustrauch

3 | Untersuchte Lebensmittel und selbst hergestellte Lebensmittelproben

Haferdrink wird während des Herstellungsprozesses mit einer Amylase (aus Pilzen) behandelt, die während der Herstellung des Getränks biokatalytisch einen Malzzucker (Maltose) erzeugt. Da dieser Zucker nicht als primäre Zutat zugefügt wurde, ist er nicht deklarationspflichtig. Darüber hinaus darf der Hersteller sogar auf die Packung schreiben, dass das Produkt ohne Zuckerzusätze sei, denn im Text der EU-Verordnung [7] sind nur zugesetzte Zucker erfasst, nicht aber solche, die rein zufällig während der Produktion entstanden sind. Darüber hinaus gelten vor dem Gesetz nur Mono- oder Disaccharide als Zucker; Polysaccharide, wie z. B. Stärke, sind im Text ausdrücklich ausgenommen:

„Die Angabe, einem Lebensmittel sei kein Zucker zugesetzt worden, sowie jegliche Angabe, die für den Verbraucher voraussichtlich dieselbe Bedeutung hat, ist nur zulässig, wenn das Produkt keine zugesetzten Mono- oder Disaccharide oder irgendein anderes wegen seiner süßenden Wirkung verwendetes Lebensmittel enthält.“ [7]

Amylase kommt auch im Speichel des Menschen vor. Dieses Enzym ist in der Lage, die Polysaccharidketten der Haferstärke „vorzuverdauen“, auch dabei entsteht unter anderem Maltose (Abb. 4, s. auch [6]). Durch die Anwesenheit von Maltose ist die Rotfärbung (Abb. 5) beim zuckerfreien und trotzdem süßen Haferdrink in den Reagenzgläsern 4 und 5 sowie dem mit Speichel versetzten Haferdrink in Reagenzglas 8 zu erklären. Dass im fermentierten Produkt BioBio® in Reagenzglas 6 keine rote Farbe entstanden ist, kann auf die Verwendung eines weiteren Enzyms, der Maltase, hindeuten. An dieser Stelle bietet sich die Möglichkeit einer engagierten Diskussion: Wie kann es sein, dass ein Lebensmittel „ohne Zucker“ deklariert ist und dennoch sind Zucker nachweisbar? Je nach Transparenz des Herstellers wird auch die Verwendung einer Amylase nicht deklariert; der Hinweis auf eine „Fermentation“ ist freiwillig.



4 | Strukturformel von Maltose

© Zeichnung: Judith Mörschbach

Aus dieser Diskussion kann sich im Unterricht eine weitere fachliche Differenzierung der in den Haferdrinks enthaltenen Zucker entwickeln. Zu diesem Zweck wäre es beispielsweise möglich, selbstgemachten und gekauften Haferdrink auf die Anwesenheit von Stärke zu untersuchen (Anleitung zur verbesserten Nachweisreaktion in [8, 9]).

Enzymatische Differenzierung von Maltose und Lactose

Eine weitere Möglichkeit, die in den Haferdrinks enthaltenen Zucker weiter zu differenzieren, bietet der Einsatz des Enzyms Lactase. Enthalten zwei Getränke Lactose oder Maltose, dann ergeben beide mit den oben beschriebenen Tests eine rote Färbung. Lactose und Maltose sind strukturell so ähnlich aufgebaut (s. Abb. 1 und 4), dass sie auch mit einer Chromo-

tographie nur schwer unterschieden werden können. Die Methode der Wahl ist daher eine enzymatische Differenzierung: Lactase (käuflich in Tablettenform in Apotheken oder Drogerien) spaltet Lactose in Galactose und Glucose, was im Fearon-Test zu einem gelben Ergebnis führt. Maltose kann gemäß dem Schlüssel-Schloss-Prinzip von Lactase nicht gespalten werden (dazu wäre Maltase nötig) und ergibt weiterhin ein rotes Ergebnis im Test. Ein Experiment mit Doppelproben (mit und ohne Lactase vor der Nachweisreaktion) kann den Schüler:innen die Wirkungsweise von Lactase-Tabletten verdeutlichen (s. S. 49 f. in diesem Heft).

Fazit und Ausblick

Die dargestellten Experimente und Diskussionsanregungen zeigen, dass der aktuelle Ernährungstrend „weg von der Milch“ in einem kontextorientierten experimentellen Chemieunterricht aufgegriffen werden kann. Mithilfe der Experimente kann geklärt werden, dass Haferdrinks erhebliche Mengen eines Zuckers enthalten, der aufgrund der aktuellen Vorschriften nicht deklariert werden muss. Hierbei ist aufseiten der Schüler:innen ein erheblicher Erkenntnisgewinn zu erwarten, der durch die Durchführung und hypothesengeleitete Auswertung der Experimente zustande kommt. Durch die forschungsorientierte Vorgehensweise mit anschließender Auswertung sind erhebliche Fortschritte in den Bereichen Handlungs- und Bewertungskompetenz zu erwarten.