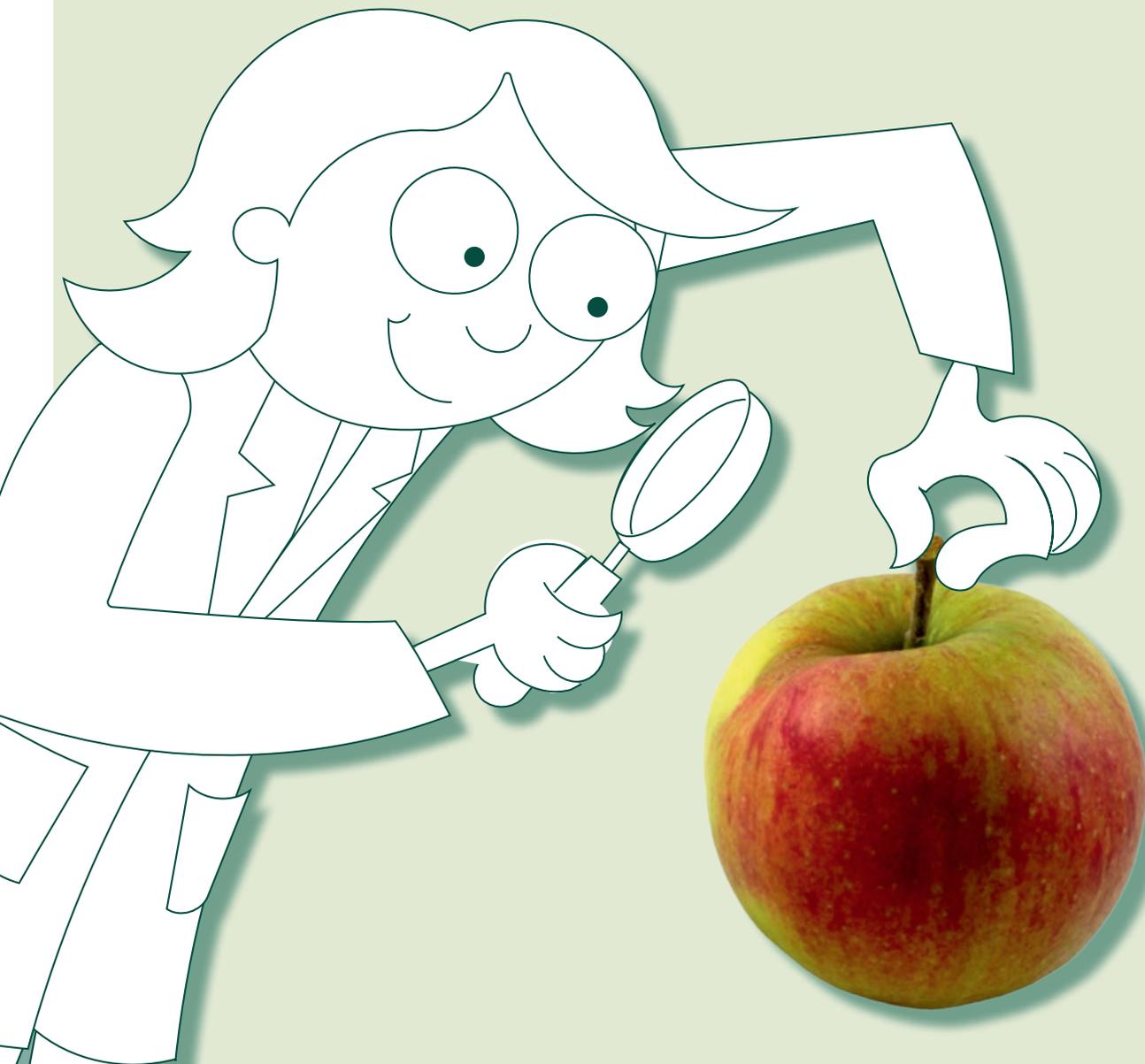




Technische
Universität
Braunschweig



Agnes-Pockels-
SchülerInnen-
Labor



Verwenden, nicht verschwenden!

Durch Experimentieren Lebensmittelversther*in werden

Impressum

Herausgegeben vom Agnes-Pockels-SchülerInnen-Labor



Prof. Dr. Petra Mischnick
(Projektleitung)
p.mischnick@tu-braunschweig.de



Dr. Ilka Deusing-Gottschalk
(Projektbearbeitung)
i.deusing-gottschalk@tu-braunschweig.de

Technische Universität Braunschweig

<https://www.tu-braunschweig.de/agnes-pockels-labor>
agnespockelslabor@tu-braunschweig.de

Gestaltung, Illustration und Satz:

Burghardt & Tank, Braunschweig (but-design.de)

Oktober 2021

Auflage 1000 Stück

Dieses Projekt wurde gefördert durch die Deutschen Bundesstiftung Umwelt.

Projektummer 34539

Experimentieren-Verstehen-Verhalten verändern:

**Naturwissenschaftliche Grundlagen zur Ernährungsbildung
in Schule, Schülerlabor und Museen**



Alle Rechte vorbehalten.

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet.

Dennoch übernehmen wir für die Richtigkeit der Angaben
sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

Vorwort



Verena Exner

Lebensmittel sind in ihrem Wortsinn als „Mittel zum Leben“ eine Grundlage unseres Daseins. Für ihre Gewinnung werden viele Ressourcen, wie Boden, Wasser, Energie und menschliche Arbeitskraft, eingesetzt. Ein nachhaltiger Umgang mit Lebensmitteln sollte selbstverständlich sein. In allen Bereichen der Wertschöpfungskette kommt es jedoch zu teils erheblichen Verlusten: Etwa ein Drittel der weltweit gewonnenen Lebensmittel gelangt nie auf unseren Teller. Die Ursachen dafür sind vielfältig. Auch wir Konsument*innen am Ende der Wertschöpfungskette haben unseren Anteil daran. Durch unser Verhalten und unseren Umgang mit Lebensmitteln, letztlich durch mehr bewusste Wertschätzung, können wir dazu beitragen, dass sich unser persönlicher Anteil verringert. Das beginnt beim Einkaufen, setzt sich bei Lagerung und Zubereitung der Lebensmittel fort und auch der Umgang mit Resten sowie unsere persönlichen Gewohnheiten spielen eine wichtige Rolle. Durch relativ niedrige Preise und ständige Verfügbarkeit wird in einem reichen Land wie der Bundesrepublik Deutschland ein leichtfertiger Umgang mit Lebensmitteln begünstigt. Mitunter ist es aber auch Unkenntnis über eine sachgemäße Handhabung gepaart mit der Sorge, etwas Verdorbenes zu essen, die zu Verderb und Entsorgung führen. Viele junge Menschen treten für eine nachhaltigere Lebensweise ein, darunter auch einen wertschätzenden Umgang mit Lebensmitteln, z. B. durch Food Sharing-Initiativen. Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück¹, unterstützt fachlich und finanziell Projekte im Bereich nachhaltige Ernährung. Dazu gehören auch etliche Vorhaben, bei denen es um die Verminderung von Lebensmittelverschwendung geht. Während sozio-ökonomische Zusammenhänge vielfach auch in der Schule z. B. im Politikunterricht diskutiert werden, sind die naturwissenschaftlichen Zusammenhänge beispielsweise beim Verderben von Lebensmitteln in der Breite oft unbekannt.

Hier setzt das Agnes-Pockels-Labor der TU Braunschweig mit seinem DBU-Vorhaben „Experimentieren-Verstehen-Verhalten verändern: Naturwissenschaftliche Grundlagen zur Ernährungsbildung in Schule, Schülerlabor und Messen“ an und stellt seine Erkenntnisse in vorliegender Broschüre zusammen. Die Broschüre soll Anregungen für eigene Experimente geben und andere Schulen und Schülerlabore zur Nachahmung motivieren. Es geht u. a. um die Vermittlung eines naturwissenschaftlich basierten Kompetenzansatzes zum nachhaltigen Umgang mit Lebensmitteln. Ziel ist „durch Experimentieren Lebensmittelversteh*in zu werden.“

Die vorliegende Publikation ist im Rahmen des o. g. Projektes entstanden. Sie zeigt für Schülerlabore und auch für den Schulunterricht Wege auf, wie ein naturwissenschaftliches Grundverständnis mit alltäglichem Handeln in der eigenen Lebenswelt verknüpft werden kann. In Schülerlaboren experimentieren Schülerinnen und Schüler selbstständig und setzen sich mit naturwissenschaftlichen Hintergründen von Prozessen auseinander. Dort können auch gezielt aktuelle Fragestellungen aufgegriffen werden, wie z. B. Wege zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendung. Die experimentellen Angebote sind unter dem Motto „Mit Naturwissenschaften gegen Lebensmittelverschwendung“ alltagsnah eingebettet. Indem sie selbst experimentieren, sollen Schülerinnen und Schülern die physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Grundlagen der Veränderungsprozesse in Lebensmitteln kennen und verstehen lernen.

Das dabei erworbene Wissen kann jungen Menschen helfen, ihre individuelle Gestaltungsmacht zu erkennen und nachhaltiger zu handeln. So lassen sich Veränderungsprozesse in der Gesellschaft unterstützen. Ziel ist das Verstehen von naturwissenschaftlichen Prozessen, die letztlich zu einem reflektierteren Umgang mit Lebensmitteln führen, um so neben einem Verständnis für nachhaltige Ernährung u. a. auch zu einer Reduzierung von Lebensmittelverschwendung beizutragen.

Verena Exner

Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Referatsleiterin

Umweltkommunikation in der mittelständischen Wirtschaft

Inhalt

Verwenden, nicht verschwenden!	4
1 Lebensmittelverschwendung: Wo liegt das Problem?	7
2 Naturwissenschaften im Alltag	13
3 Frei oder gebunden?	
Wasser und seine Verfügbarkeit in Lebensmitteln	19
Bestimmung der Gleichgewichtsfeuchte	24
Kleine Röhren – große Wirkung: Die Kraft der Kapillaren	26
Geschnitten oder im Stück – ein großer Unterschied	28
Lebensmittel mit Zucker oder Salz haltbar machen	29
Stärke verkleistert – und dann?	32
Tiefgekühlt kann nichts passieren?	34
4 Wer macht das Tempo?	
Temperatur und pH-Wert	37
Wie lassen sich chemische Reaktionen beschleunigen?	42
Eiweißgerinnung in Lebensmitteln	44
Enzymaktivitäten in Obst und Gemüse	46
Lässt sich die Obstreifung steuern?	48
Die Vorlieben der Hefe: Temperatur und pH	50
5 Tut das immer gut?	
Licht und Luft	53
Riboflavin – nur ein gelber Farbstoff?	56
Wurst – aus appetitlich frisch wird schnell vergraut	58
Wie Obstsalat länger frisch aussieht	60
Carotinoide und Fette	62
Wie Fett ranzig wird	64
6 Ist gut verpackt auch gut geschützt?	
Verpackungen und Stoffmigration	67
Eisen und Stahl im Kontakt mit Lebensmitteln	70
Aluminium im Kontakt mit Lebensmitteln	72
Kunststoffe im Lebensmittelbereich	74
Schützen Verpackungsfolien immer?	74
7 Tipps für den Alltag	77

Verwenden, nicht verschwenden!

Wieso landet ein großer Teil unserer Lebensmittel im Müll? Wir werfen Lebensmittel weg, die noch essbar gewesen wären. Was können wir tun, um dies zu ändern? Das Projekt *Verwenden, nicht verschwenden!* zeigt Wege dafür auf!

Verstehen – gezielter handeln!

Natürlich soll niemand verschimmelter Obst essen, mag keiner gern trockenes Brot oder welches Gemüse. Am besten wäre es, wenn es gar nicht erst so weit kommt. Wie Lebensmittel behandelt und gelagert werden, hat einen entscheidenden Einfluss darauf, ob bzw. welche Veränderungen im Lebensmittel ablaufen. Was hinter dem Verderb oder dem Qualitätsverlust von Lebensmitteln steckt, sind physikalische, chemische und mikrobiologische Veränderungen, die man verhindern oder zumindest verzögern kann.

Wenn man die zugrunde liegenden Phänomene kennt, kann man leichter etwas dagegen tun. Und was eignet sich besser dafür als das Experimentieren im Labor, um diese kennenzulernen! – Dabei lernen wir eine Menge über Lebensmittel und gleichzeitig über deren Chemie, Physik und Mikrobiologie und können dann dieses Wissen im Alltag anwenden.

- Veränderungen im Lebensmittel verstehen
- Achtsamer mit der Ressource Lebensmittel umgehen
- Lebensmittel verwenden statt verschwenden

Von Wertschöpfung zu Wertschätzung

Wir kaufen unsere Lebensmittel heute meist im Supermarkt oder teils auch auf dem Wochenmarkt, darunter viele bereits leicht oder stark verarbeitete Produkte bis hin zu Fertigprodukten, sogenannte hoch prozessierte Lebensmittel. Während man in der noch gar nicht so weit zurückliegenden Zeit der Tante-Emma-Läden und der weitestgehenden Selbstversorgung Kartoffeln und Gemüse für den eigenen Bedarf anbaute, einkochte, einlegte, später einfro, Hühner oder ein Schwein hielt, das dann geschlachtet wurde, haben wir uns in der modernen Welt wie ja auch in der Massenproduktion anderer Gebrauchsgüter nach und nach von den Prozessen des Wachsens und Entstehens entfremdet. Und wo man nichts sieht und nichts weiß, da stellt sich auch keine Nachdenklichkeit ein.

Das Thema Lebensmittelverschwendung umfasst viele Aspekte, u. a. naturwissenschaftliche, ökologische, ökonomische, gesellschaftliche, ethische, kultursoziologische. Dass die Gewinnung eines Lebensmittels eine Wertschöpfung darstellt, erkennt man erst, wenn man den gesamten Lebenszyklus vom Wachsen über Ernte, Verarbeitung, Transport, Lagerung und Zubereitung in den Blick nimmt. Das ist ein entscheidender Aspekt. Wenn ich nicht nur den monetären Gegenwert des Lebensmittels als Ware sehe, wenn ich mir auch die in seine Entstehung investierte menschliche Arbeit und Sorgfalt bewusst mache, steigt meine Wertschätzung und ich werfe es nicht mehr so leichtfertig weg. Und vielleicht beginne ich sogar, anders einzukaufen und Produkte auch wieder selbst herzustellen.

Diese Broschüre richtet sich an

- ... **Lehrkräfte**, die im Unterricht das Thema Lebensmittelverschwendung behandeln und mit einigen Experimenten den Schüler*innen die naturwissenschaftlichen Hintergründe verdeutlichen möchten.
- ... **Schüler*innenlabore**, die Angebote zum Thema Lebensmittelverschwendung in ihr Programm aufnehmen möchten, auch gekoppelt mit Unterrichtseinheiten in der Schule.
- ... **pädagogischen Einrichtungen**, die Projektstage oder Workshops zum Thema Lebensmittelverschwendung anbieten möchten (z. B. Museen, Jugendzentren ...).
- ... **alle Personen**, die dem Thema Lebensmittelverschwendung praktisch auf den Grund gehen möchten und sich für Hintergründe interessieren.

Diese Broschüre enthält

- ... **Informationen zum Konzept**, mit Naturwissenschaften gegen Lebensmittelverschwendung anzugehen.
- ... **aktuelle Daten und Fakten** zum Ausmaß der Lebensmittelverschwendung in Deutschland.
- ... **Erläuterungen und Zusammenhänge** zu den physikalischen, chemischen und mikrobiologisch bedingten Veränderungen und die dafür maßgeblichen Einflussfaktoren, die bei der Veränderung von Lebensmitteln eine entscheidende Rolle spielen.
- ... **Experimente**¹, mit denen man die entscheidenden Faktoren nicht nur im Schulunterricht oder Schüler*innenlabor, sondern auch in der heimischen Küche untersuchen kann.
- ... **Tipps**, wie jede*r Einzelne dabei helfen kann, dass weniger Lebensmittel im Müll landen.

¹Für viele Experimente stehen mehrere Versionen zur Verfügung

- im Schüler*innenlabor (Schulunterricht und Experimentieren im Labor können verknüpft werden)
- in der Schule (zusätzlich unterstützt durch Videoclips)
- in der heimischen Küche (auch als Hausaufgabe oder für Online-Unterricht geeignet)

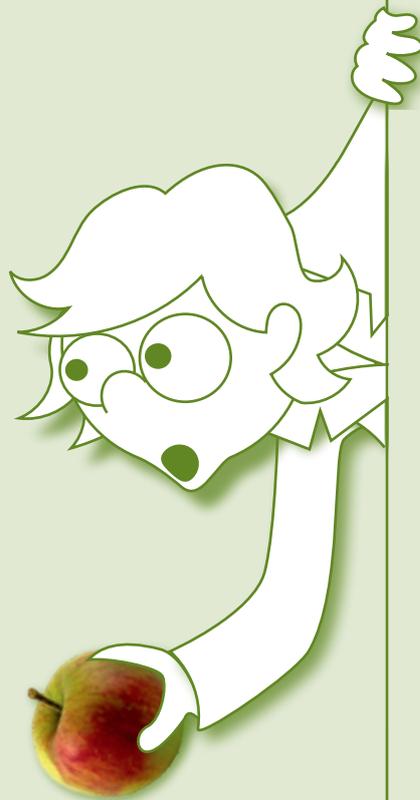
Die genauen Versuchsbeschreibungen der Experimente inklusive kurzer Videoclips sowie ergänzende Materialien mit Hintergründen und Informationen zum Umgang mit Lebensmitteln im Alltag, auch für den Einsatz im Schulunterricht, sind auf der Homepage des Agnes-Pockels-SchülerInnen-Labor abrufbar:

<https://www.tu-braunschweig.de/agnes-pockels-labor/>



1 Lebensmittel- verschwendung:

Wo liegt das Problem?



1 Lebensmittelverschwendung: Wo liegt das Problem?

Was bedeutet Lebensmittelverschwendung?

Die Bananen, von denen, da gerade im Angebot, gleich ein paar mehr gekauft wurden, zeigen bereits dunkle Flecken auf der schönen gelben Schale. Dem Käse, der im vollen Kühlschrank hinter all die neu gekauften Produkte gerutscht ist, stehen fettige Schweißperlen auf seiner hart und dunkel gewordenen Stirnseite. Auf dem Herd stehen die Reste der Pilzpfanne vom Vortag in der prallen Sonne und werden – sicher ist sicher – in den Mülleimer entsorgt. Die Bananen und der Käse lieber auch gleich, ebenso wie der „abgelauene“ Joghurt.

Wir beobachten v. a. in den reichen Industrieländern mit ihren Supermärkten, in denen die Regale fortwährend gefüllt sind und die täglich ein großes Angebot an frischen Produkten haben, einen unachtsamen, sogar nachlässigen Umgang mit Lebensmitteln. Diesen bezeichnet man nicht von ungefähr als „Verschwendung“. Denn ein überlegter Einkauf, eine sachgemäße Lagerung und die Fähigkeit, geringe qualitative Einbußen vom Verderb eines Lebensmittels unterscheiden zu können, könnten dazu beitragen, dieser traurigen Vernichtung von Ressourcen entgegenzuwirken. Von Lebensmittelverschwendung spricht man folglich, wenn erzeugte Lebensmittel, die eigentlich der menschlichen Ernährung dienen sollten und könnten, vernichtet werden.

Fakten: Wer? Wie viel? Warum?

Sind es nicht die anderen?

Lebensmittelverschwendung bezeichnet den Anteil an Lebensmitteln, der zwischen Produktion und Verzehr weggeworfen wird oder verloren geht. Auf diesem Weg gibt es viele Akteure. Auch wenn manch einer beim Stichwort Lebensmittelverschwendung zunächst eher an die Entsorgung nicht verkaufter Lebensmittel in Supermärkten denkt, tragen wir Verbraucher*innen einen großen Anteil dazu bei. Nicht verkaufte Produkte aus dem Handel machen hingegen mit 4–5 % den geringsten Anteil aus [1,2].

Der weitaus größte Beitrag stammt aus Privathaushalten (Abb. 1.1). Weitere relevante Mengen fallen bei der Verarbeitung (ca. 17%) sowie in der Außer-Haus-Verpflegung (ca. 13%) an. Hierzu gehören Gaststätten, Kantinen, Mensen u. a. Gerade in Privathaushalten lohnt es sich also so richtig, etwas gegen Lebensmittelverschwendung zu tun. Und sollte nicht jede und jeder bei sich selbst begin-

nen? Vielleicht ist das sogar spannend und sinnstiftend. Der Kampf gegen Lebensmittelverschwendung fängt bei jedem einzelnen an.

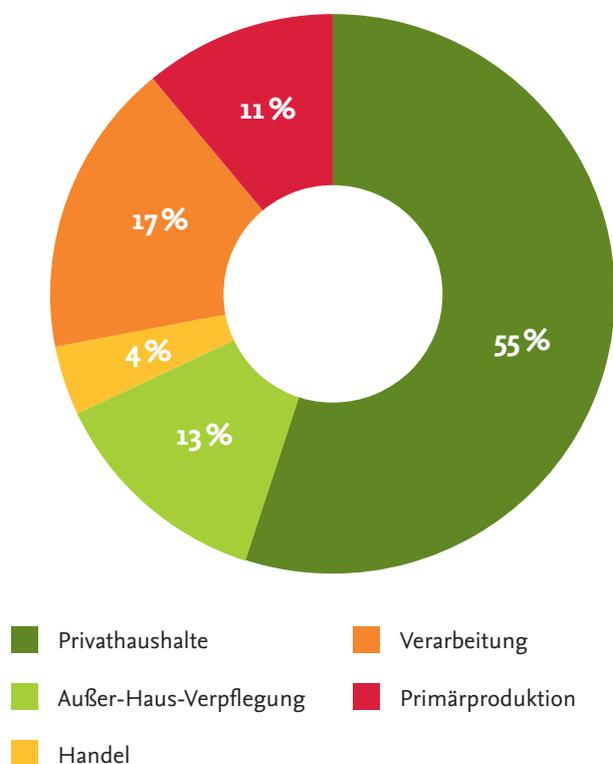


Abb. 1.1 Verteilung der Lebensmittelabfälle nach Bereichen der Nahrungsmittelkette in % [1]

So viel kann das ja nicht sein!

Leider doch: Durchschnittlich entsorgt jeder einzelne von uns über 80 kg Lebensmittel pro Jahr, das sind jährlich fast 7 Millionen Tonnen Lebensmittel in allen Haushalten Deutschlands zusammen [1]. Diese Menge hat sich in den letzten 10 Jahren kaum verändert [1,2]. Und mehr als die Hälfte wäre vermeidbar. Viele der weggeworfenen Lebensmittel hätten also ein besseres Schicksal verdient. Und auch, was nicht mehr genießbar war, hätte vielleicht durch einen achtsameren Umgang gerettet werden können. Nicht überraschend machen den Hauptanteil der vermeidbaren Lebensmittelabfälle Gemüse und Obst aus, gefolgt von Backwaren und Speiseresten (Abb. 1.2). Vor einigen Jahren hat der WWF in Deutschland den 2. Mai zum „Tag der Lebensmittelverschwendung“ ausgerufen. 2016 landeten

alle Lebensmittel, die bis zu diesem Tag produziert wurden, im Müll.

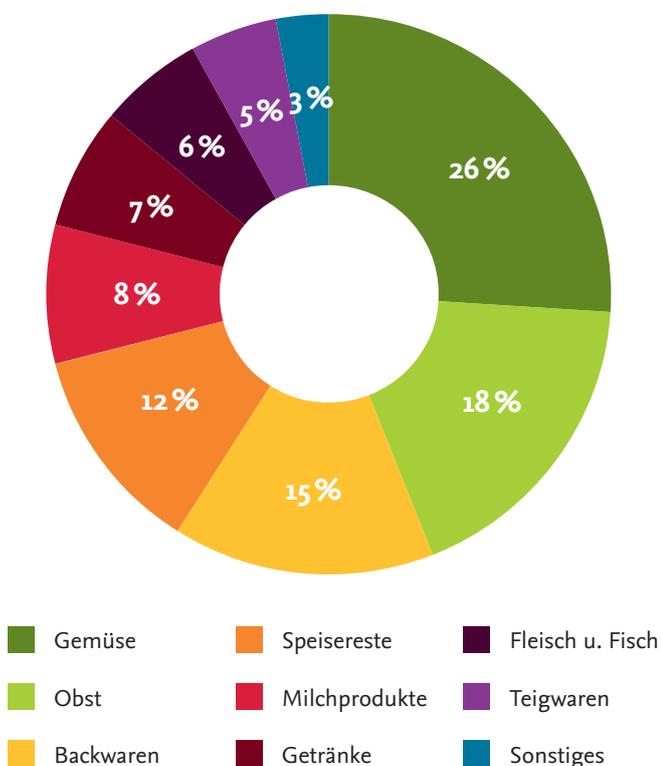


Abb. 1.2 Zusammensetzung der „vermeidbaren“ Lebensmittelabfälle aus Haushalten in Deutschland [2]

Warum landen so viele noch essbare Lebensmittel im Müll?

Dafür gibt es verschiedene Gründe. Wir gehen ohne Plan oder hungrig einkaufen und lassen uns von Angeboten verlocken. Manches Schnäppchen landet dann am Ende in der Tonne. Das Mindesthaltbarkeitsdatum wird als „Verfallsdatum“ missverstanden. So werden manch tadellose Produkte aussortiert, obwohl eigentlich nur die Garantie abgelaufen ist. Man kann hier durchaus auf seine eigenen Sinne – Sehen, Riechen, Schmecken – vertrauen, um zu beurteilen, ob man das Lebensmittel noch essen kann. Damit einher geht ein Verlust an Erfahrungswissen, wie etwas am besten aufbewahrt wird. In Zeiten, in denen ganzjährig Lebensmittel aus aller Welt angeboten werden, sind die klassischen Verfahren der Haltbarmachung und geeigneten Lagerung nicht mehr so geläufig wie in

Zeiten der Selbstversorgung. Aber gerade die Art der Lagerung und die Bedingungen sind ganz entscheidend für physikalische, chemische und mikrobiologische Veränderungen. Im Zuge eines immer größer werdenden Angebots der Lebensmittelindustrie an Fertigprodukten wie Tiefkühlkost, Konserven, Backmischungen, Instantprodukten und verzehrfertigen Gerichten ist es in den Privathaushalten zu einer Entfremdung von der Lebensmittelproduktion und -verarbeitung gekommen. Damit verlieren die Produkte einer langen Kette der Wertschöpfung jedoch auch an Wertschätzung. Nicht zuletzt wird dieser Verlust auch durch die in Deutschland vergleichsweise niedrigen Lebensmittelpreise befördert. Was es im Überfluss und preiswert gibt, damit kann man doch ruhig großzügig umgehen – oder?

Was haben Kinder und Jugendliche damit zu tun?

In Haushalten mit Kindern werden überdurchschnittlich viele Lebensmittel weggeworfen [3]. Anscheinend ist es in Haushalten mit mehreren Personen besonders schwierig, Lebensmittel und Mahlzeiten bedarfsgerecht zu planen und allen Wünschen gerecht zu werden. Auch Kinder und Jugendliche selbst haben ihren Anteil daran, dass Lebensmittel im Müll landen. Sie beeinflussen heutzutage nicht nur die Kaufentscheidungen stark mit, sondern kaufen auch eigenständig Lebensmittel ein. Eine Umfrage [4] unter 14–34jährigen ergab, dass 92% der Befragten mindestens einmal pro Woche Essen wegwerfen. Dabei nehmen die Jüngsten den Spitzenplatz ein: Jugendliche im Alter von 14–17 Jahren werfen sehr viel häufiger Lebensmittel weg als die 18–24jährigen oder die 25–34jährigen (Abb. 1.3).

Mit zunehmendem Alter wird der Anteil geringerer. Wir sollten aber nicht einfach davon ausgehen, dass sich das Verhalten der Jüngeren mit der Zeit „automatisch“ dem der Älteren annähert. Schließlich wachsen die Kinder heutzutage unter ganz anderen Bedingungen auf als unsere Großeltern.

Was glaubst Du, wie viele Lebensmittel wirfst Du während einer Woche weg?

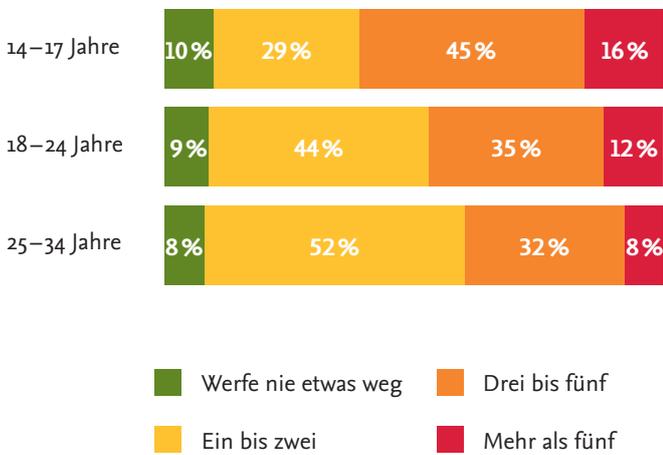


Abb. 1.3 Häufigkeit von Lebensmittelverlusten nach Altersgruppen (insgesamt 1000 Befragte), nach [4]

Grundsätzlich scheinen Jugendliche diesem Thema gegenüber aufgeschlossen zu sein. Auf die Frage „Soll man Lebensmittelverschwendung aktiv entgegenwirken?“ antworteten 93 % mit „Ja“ oder „Eher ja“ [4]. Auch sind es wiederum vor allem junge Leute, die diesem sorglosen und unachtsamen Umgang mit der Ressource Lebensmittel mit Containern und Food-Sharing-Projekten etwas entgegensetzen. Kinder und Jugendliche stellen daher eine ideale Zielgruppe für Sensibilisierungs- und Aufklärungsmaßnahmen dar.

Nachhaltiges Handeln als Prinzip

Immer häufiger hört man die Begriffe „Nachhaltigkeit“ bzw. „Nachhaltiges Handeln“. Was bedeutet das? Nachhaltigkeit ist ein weitreichendes Handlungsprinzip zur Ressourcennutzung, das sich auf Gegenwart und Zukunft richtet. Einfacher gesagt, bei einem nachhaltigen Konsum und nachhaltiger Produktion geht man so schonend und verantwortungsvoll mit den natürlichen Ressourcen um, dass sie auch von künftigen Generationen weiter genutzt werden

können. Nachhaltiges Handeln schließt auch einen achtsamen Umgang mit Lebensmitteln ein. Ein einfaches Beispiel dafür ist der Fischfang. Es dürf(t)en nur so viel Fische einer Sorte gefangen werden, wie in der gleichen Zeit auch nachwachsen. So bleibt der Bestand erhalten. Oft sind die Zusammenhänge komplizierter. Aber dass das Wegwerfen von Lebensmitteln eine Verschwendung von Ressourcen ist, leuchtet wohl jedem ein.

Die 2015 von den Vereinten Nationen ausgerufenen Ziele für eine nachhaltige Entwicklung (*Sustainable Development Goals*) werden auch von der Bundesregierung unterstützt [5]. So soll bis 2030 die Lebensmittelverschwendung in Deutschland pro Kopf in Einzelhandel, Gastronomie und privaten Haushalten halbiert werden. Das heißt, wir alle sind gefordert, damit dieses Ziel erreicht werden kann.

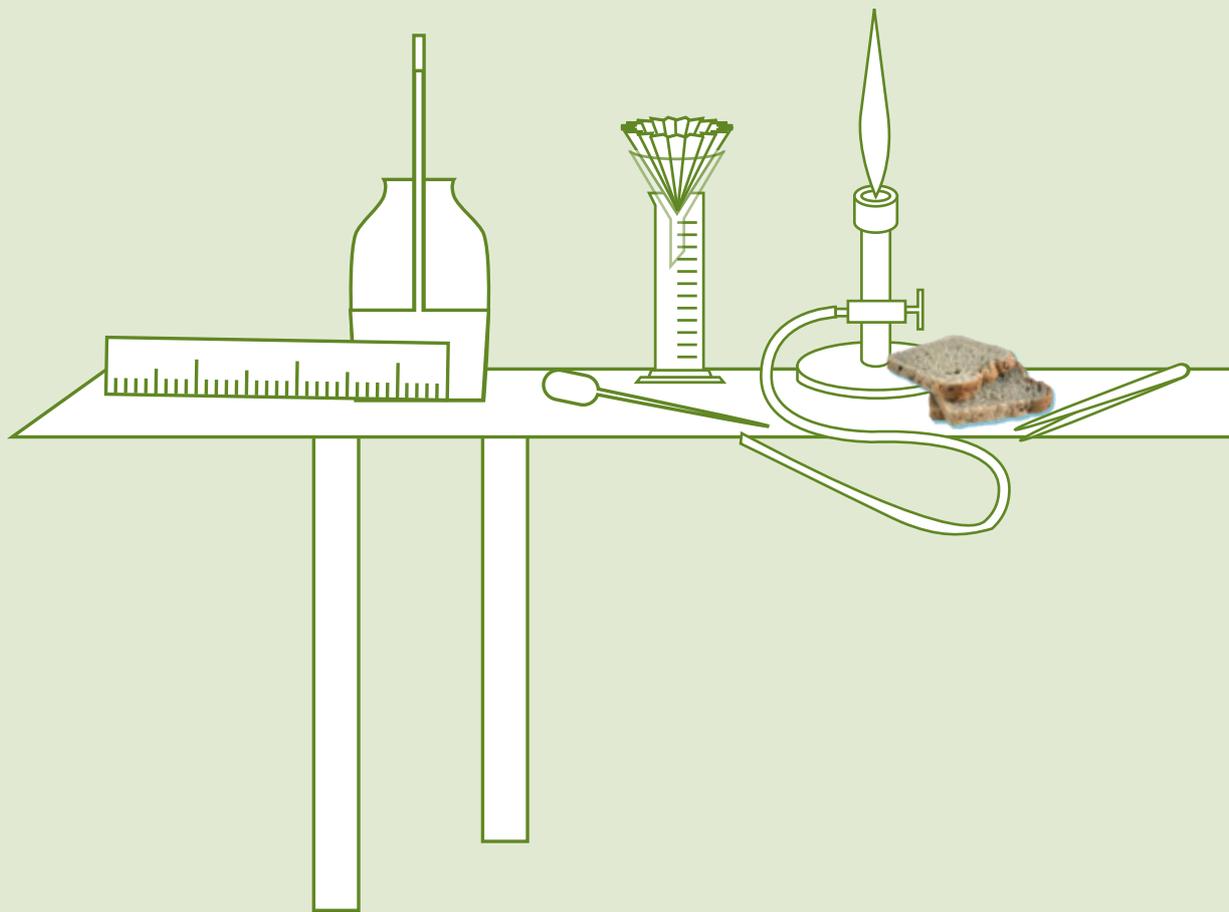
Warum Lebensmittelverschwendung im Unterricht behandeln?

Weil es nahe liegt! Lebensmittel sind nicht nur ein Thema, das uns alle angeht, sondern auch eins, zu dem jede*r eigene Erfahrungen beisteuern kann. Im Schulunterricht werden Lebensmittel z. B. im Sach- oder Biologieunterricht beim Thema Ernährung¹ behandelt. Aber die in Lebensmitteln enthaltenen Fette, Zucker, Eiweiße und Vitamine werden auch durch physikalische Prozesse, chemische Reaktionen oder mikrobiologische Aktivitäten verändert, was bestens in den naturwissenschaftlichen Unterricht passt. Gleichzeitig stoßen Schüler und Schülerinnen im Alltag auf die Handlungsempfehlungen unterschiedlicher Initiativen mit dem Ziel, Lebensmittelverluste zu verringern wie z. B. *Foodsharing* oder „*Zu gut für die Tonne*“ [6]. Mit dem Ansatz, die Ursachen für Lebensmittelverderb an konkreten Produkten praktisch zu erarbeiten, also z. B. zu erkennen, wieviel schneller eine Reaktion bei 20 °C im Vergleich zu 5 °C verläuft oder wie sich der Geschmack von Milch bei Lichteinstrahlung verändert, wird beides verknüpft. Viele Kinder und Jugendliche finden das naturwissenschaftliche Experimentieren mit Alltagsbezug spannend. Das, was die Schülerinnen und Schüler selbst experimentell herausfinden oder beobachten, können sie auf neue Fragen übertragen, die im Alltag auftauchen. Es eröffnet ihnen Handlungs- und Entscheidungskompetenzen im Umgang mit Lebensmitteln.

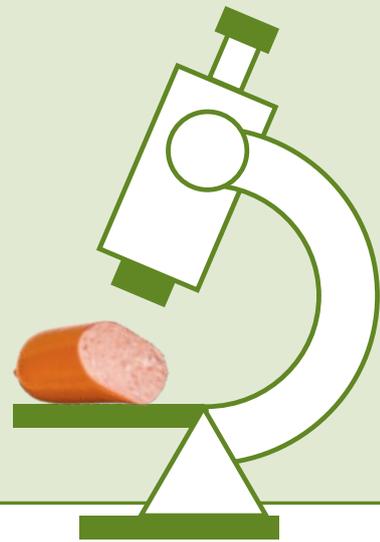
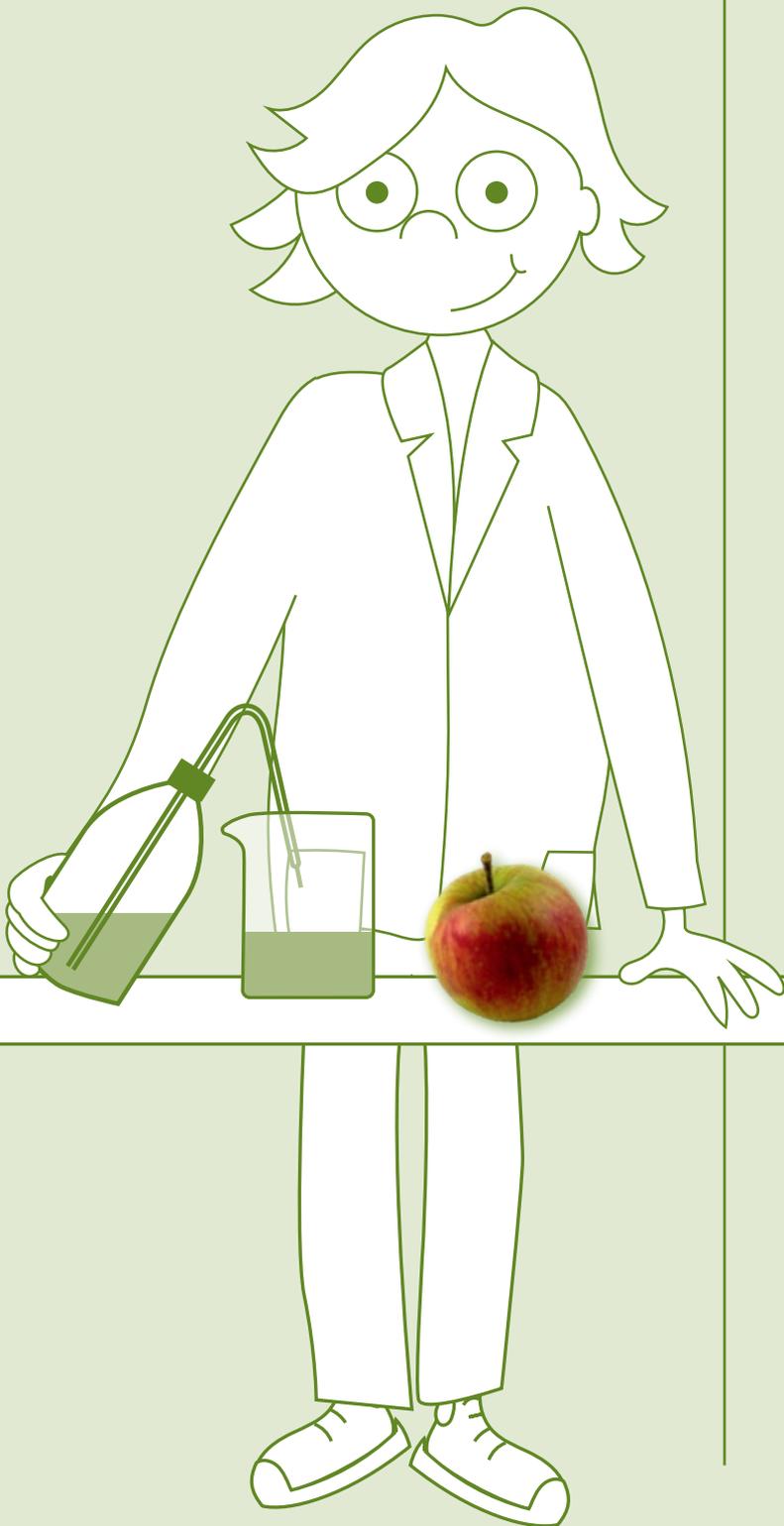
¹ Diese Broschüre zielt auf einen sachgerechten und wertschätzenden Umgang mit LM. Sie versteht sich nicht als Ernährungs- oder Umweltratgeber. Sie nimmt die LM und Kontaktmaterialien in den Blick, die im Alltag heute konsumiert bzw. verwendet werden. Solche, die wie Fleisch, Wurst und diverse Verpackungsmaterialien aus anderen Gründen kritisch zu betrachten sind, wurden daher bewusst nicht ausgegrenzt.

Und mit dieser Kompetenz können sie auch zu Hause als Expert*innen auftreten, die ihr Wissen für die Familie einbringen. Wenn man den Sinn erkennt, der hinter manchen Haushaltsempfehlung steckt, wird man sie auch konsequenter befolgen, ja vielleicht ganz selbstverständlich leben.

Die vorgestellten Versuche bieten zahlreiche Anknüpfungspunkte zu den Curricula der naturwissenschaftlichen Fächer in der Sekundarstufe I. Die Themen Wasser, Temperatur und Reaktionsgeschwindigkeit, Säure/Base/pH-Wert oder Oxidationsprozesse sind typische Themen des Chemieunterrichts und finden sich in den Bildungsplänen unter Oberbegriffen wie Stoffeigenschaften, Wasser oder Stoffumwandlungen. Aus dem Gesamtangebot können Schwerpunkte ausgewählt und im Kontext Lebensmittelverschwendung behandelt werden. Das Thema Wasserverfügbarkeit kann bereits in den Klassenstufen 5/6, das Thema Temperatur und pH-Wert in 7/8 durchgeführt werden. Diese Angebote eignen sich auch als Projekt- oder für fächerübergreifenden Unterricht. Nähere Informationen sind auf der Homepage des Agnes-Pockels-SchülerInnen-Labors zu finden (<https://www.tu-braunschweig.de/agnes-pockels-labor>, siehe dazu auch Informationen am Ende der Broschüre).



2 Naturwissenschaften im Alltag



2 Naturwissenschaften im Alltag

Durch Experimentieren Lebensmittelversther*in werden

Schauen wir uns Lebensmittel (LM) einmal aus naturwissenschaftlicher Sicht an. Es sind überwiegend sehr komplexe Gebilde aus verschiedenen Stoffen – v. a. Eiweiße, Fette, Zucker, Wasser, Vitamine, Mineralstoffe – in sehr unterschiedlichen Mengen, deren Organisationsgrad von einfachen Mischungen bis hin zu kunstvoller molekularer Architektur reicht.

Letzteres trifft sowohl auf nicht prozessierte LM wie Gemüse und Obst mit ihrer gewachsenen Zellstruktur zu als auch auf Kreationen wie Soßen oder Schokolade. LM sind nicht stabil (d. h. nie im thermodynamischen Gleichgewicht). Sie verändern sich fortwährend – manche sehr schnell, wie z. B. frischer Fisch, andere sehr langsam, wie z. B. Zwieback. Diese Veränderungen können durchaus erwünscht sein, etwa wenn Obst noch nachreift.

Alle LM durchlaufen verschiedene Phasen. Beim Kauf können sie noch unreif sein. Bei der Reifung z. B. von Obst oder Käse verändern sich Inhaltsstoffe so, dass sich ein intensiveres Aroma und/oder eine weichere Konsistenz entwickeln.

Durch Reifung erhält ein Produkt seinen optimalen Zustand. Wo genau das Optimum liegt, ist Geschmackssache. Irgendwann jedoch führen die Veränderungen zu Qualitätsverlusten oder gar Verderb. Wie schnell diese Phasen durchlaufen werden, hängt von der Art des LM ab, aber auch davon, wie das LM gelagert wird. Besonders die Temperatur spielt dabei eine wichtige Rolle. Bei kühl zu lagernden und tiefgefrorenen Produkten wird das Mindesthaltbarkeitsdatum darum zusammen mit einem Temperaturbereich angegeben.

Schüler*innen können die naturwissenschaftlichen Grundlagen, auf denen diese Veränderungen beruhen, in Experimenten erarbeiten. Die praktischen Tätigkeiten helfen, Zusammenhänge zu begreifen. Dies geschieht alltagsnah anhand eines konkreten LM. Naturwissenschaftliches Wissen wird so unmittelbar mit der Lebenswelt von Kindern und Jugendlichen verknüpft. Gerade bei LM kann jede*r auch eigene Erfahrungen und Vorstellungen einbringen, die neu gewonnenen Erkenntnisse lassen sich direkt auf den eigenen Alltag übertragen.

Dies weckt Gefühle von Verantwortlichkeit aber auch von Selbstwirksamkeit, was sich dann auch im Alltagshandeln niederschlagen

sollte. Das Grundkonzept sieht vor, dass Schulunterricht und Experimentieren im Schüler*innenlabor verknüpft werden. Die Versuche lassen sich aber auch in der Schule durchführen, in einigen Fällen sogar zuhause. So hat jede*r naturwissenschaftlich Interessierte die Chance, Lebensmittelversther*in zu werden.

Wann ist ein Lebensmittel verdorben oder: Kann man das noch essen?

LM werden aus vielen Gründen weggeworfen. Weil man es vergessen oder so gelagert hat, dass es tatsächlich verdorben oder von so schlechter Qualität ist – trocken oder welk – dass man es nicht mehr essen möchte. Oder aber aus Unsicherheit, ob es denn noch gut sein könne, wenn das Mindesthaltbarkeitsdatum überschritten oder das Essen wieder aufgewärmt wurde. In den Medien gibt es dazu oft widersprüchliche, teilweise auch falsche Aussagen (hilfreiche Informationen findet man oft bei den Verbraucherzentralen oder beim Bundesamt für Risikobewertung BfR). Oder einfach aus Gleichgültigkeit. Man hat Appetit auf etwas anderes und die Reste vom Vortag landen in der Tonne.

Natürlich soll man Verdorbenes nicht essen. Der Verzehr eines verdorbenen LM kann die Gesundheit schädigen, die gesundheitlichen Risiken sind unterschiedlich. Der Begriff Verderb bezeichnet Prozesse, die so erhebliche Veränderungen zur Folge haben, dass das LM nicht mehr zum Verzehr geeignet ist. Dazu gehört nicht nur der mikrobiologische Verderb durch Bakterien oder Schimmelpilze. Auch im LM enthaltene Enzyme oder äußere Einflüsse wie Licht, Temperatur, Luftsauerstoff und Feuchtigkeit können zum Verderb beitragen.

Aber ein LM springt nicht einfach vom Zustand frisch auf verdorben um. Stellen wir uns eine Ampelskala vor. Dann wären grün = frisch und von hoher Qualität und rot = ungenießbar bzw. verdorben (Abb. 2.1). Auf dem Weg von grün nach rot gibt es dann sehr viele Zwischenstufen, die vielleicht nur geringe Qualitätseinbußen bedeuten. Man kann das LM dann immer noch essen oder kreativ verwerten. Und noch besser: Man kann mit mehr Wissen und Willen dafür sorgen, dass der Weg von „grün“ zu „gelb“ und „orange“ nur sehr langsam durchlaufen wird.



Abb. 2.1 Der Weg eines Lebensmittels vom Zustand „frisch“ zu „verdorben“

Physik – Chemie – Biologie: Alle drei sind dabei!

Welcher Art sind nun diese Veränderungen von grün über gelb zu rot? Und wie lassen sie sich beeinflussen?

Da gibt es zum einen die physikalischen Veränderungen, bei denen sich die Anordnung oder der Zustand der Komponenten des LM ändern, etwa wenn ein Kuchen altbacken schmeckt, Bonbons klebrig werden, Säfte einen flockigen Bodensatz ausbilden oder Sahne aufrahmt. Diese Veränderungen hängen damit zusammen, dass die eben genannte „kunstvolle Organisation“ der Bestandteile eines LM einem energetisch stabileren Zustand zustrebt, z. B. durch Kristallisation von Kohlenhydraten, damit verbundener Wasserfreisetzung, letztlich einer Entmischung. Auch wenn ein Schaum, eine Flüssigkeit, in die Luft eingearbeitet wurde, zusammensackt und wieder flüssig wird, ist das eine physikalische Veränderung. Solche Veränderungen gehen v. a. auf Kosten der sensorischen Qualität. Es fühlt sich anders an, wenn man hineinbeißt, die Speise im Mund bewegt, sie hinunterschluckt. – Knackigkeit, Elastizität oder Cremigkeit gehen verloren. Gesundheitsschädlich ist das nicht, eher im gelben Bereich anzusiedeln.

Allerdings sind solche physikalischen Prozesse oft begleitet von (bio)chemischen Veränderungen, die Aroma und Geschmack, aber auch den Ernährungswert (z. B. Vitamingehalt) beeinflussen. Hier sind meist Licht und Luft im Spiel, aber auch Lebensmittel-eigene Enzyme, die erst durch die Zerstörung von Zellen mit vorher räumlich getrennten Inhaltsstoffen (Substraten) in Kontakt kommen. Beispiele sind der (bio)chemische Ab- oder Umbau von Zellwänden, etwa das Holzigerwerden von Spargel, das Braunwerden von geschnittenen Äpfeln, die Spaltung und Oxidation von Fetten. Hierbei werden Inhaltsstoffe chemisch verändert. Derartige Veränderungen umfassen in unserer Ampel (Abb. 2.1) den großen Bereich von grün-

gelb über gelb und orange bis zu rot, also Qualitätsverluste bis hin zum Verderb.

Auch mikrobiologische Prozesse wie Bakterienwachstum oder Schimmelbildung sind für Veränderungen in LM verantwortlich. Wenn sich unerwünschte Schimmelpilze oder Bakterien über unsere Lebensmittel hermachen, führt das fast immer zur Ungenießbarkeit, nicht nur wegen sichtbarer und/oder sensorischer Veränderungen, sondern auch wegen der Bildung von gesundheitsschädlichen Stoffwechselprodukten (Mykotoxine, bakterielle Toxine). Dann sind wir im roten Bereich!

Neben physikalischen, (bio)chemischen und mikrobiologischen Prozessen im LM selbst spielt auch der Kontakt mit Verpackungsmaterial und Behältnissen eine Rolle. Ist das verwendete Material ungeeignet wie etwa Alufolie für saure Lebensmittel? Kann es zur Migration von Stoffen aus dem Kontaktmaterial in das Lebensmittel kommen? Auch das wollen wir in den Blick nehmen.

Alles hängt mit allem zusammen

Was unterscheidet besonders haltbare von leicht verderblichen LM? Trockene LM wie Nudeln, Knäckebrot oder Mehl können lange gelagert werden, eignen sich also für die Vorratshaltung. Wasserreiche LM wie frisches Obst oder Fleisch sind dagegen bald zu verbrauchen. Wasser ist in der Tat von großer Bedeutung für die Stabilität von LM. Aber es ist nicht einfach der Wassergehalt, auf den es hier ankommt, sondern auch, ob das Wasser „frei“ oder aber im Lebensmittel so fest eingebaut ist, dass es für chemische Reaktionen oder das Wachstum von Pilzen und Bakterien nicht zur Verfügung steht. Die Arten der Wasserbindung und die Verfügbarkeit von Wasser im LM und wie man diese beeinflussen kann, sind also das erste große Thema, dem sich unsere Experimente widmen. Und zu den Einflussfaktoren gehören neben dem Zucker- und Salzgehalt die Temperatur, die uns vom Kühlen und Gefrieren, Kochen und Braten als wichtige Größe vertraut ist. – Erdbeermarmelade ist lange haltbar, anders als die Erdbeeren selbst. Gekühlte Produkte bleiben etliche Tage länger frisch als ungekühlte und tiefgefrorene sogar monatelang, man denke nur an Fisch oder Geflügel.

Die Temperatur zieht sich als elementarer Parameter durch viele Versuche, da sie auch die Reaktionsgeschwindigkeit maßgeblich

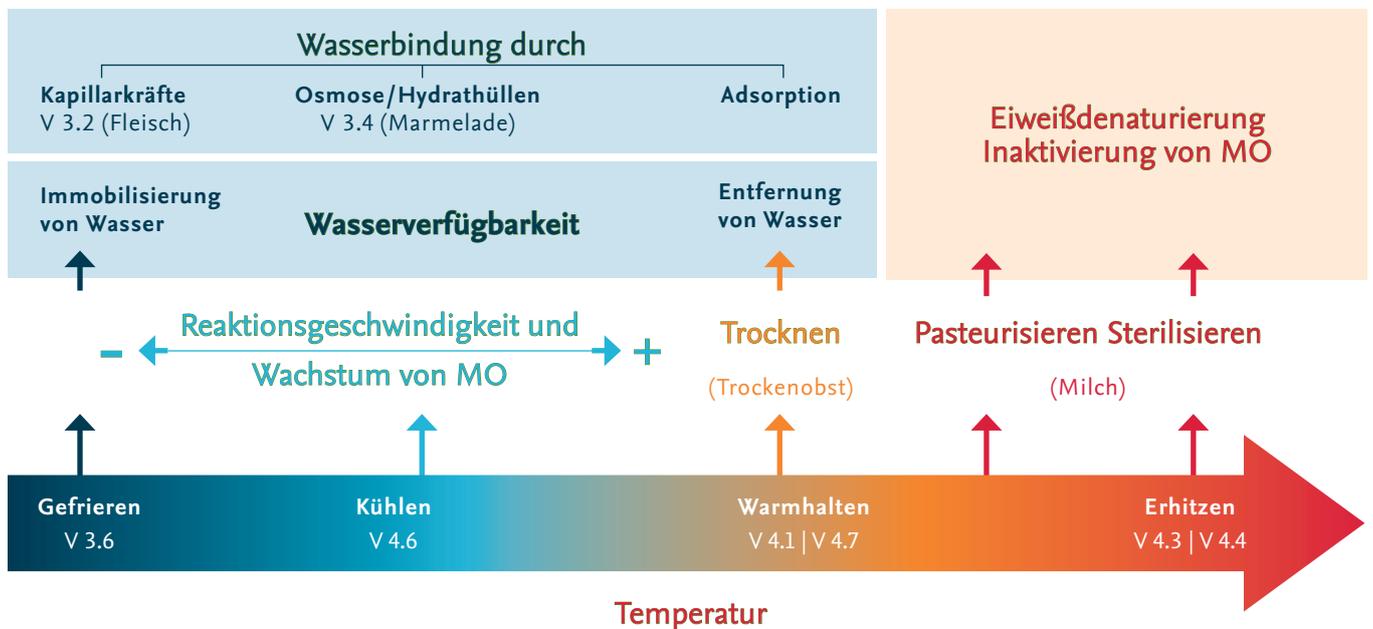


Abb. 2.2 Die Einflussfaktoren Temperatur und Wasser (MO = Mikroorganismen)

beeinflusst, sowohl die chemischen als auch die enzymatischen Reaktionen. Dies gilt folglich auch für mikrobielles Wachstum. Hohe Temperaturen sind wiederum für die Haltbarmachung wichtig. Warum man durch Erhitzen pasteurisieren und sterilisieren kann, ist ebenfalls Gegenstand von Experimenten.

Als Konservierungsverfahren, also Maßnahmen zur Haltbarmachung, kennen wir neben dem Einfrieren (Tiefkühlkost) und Einkochen (Konserven in Dosen oder Gläsern) auch das Säuern. Wie sauer etwas ist, beschreibt der pH-Wert. Insbesondere enzymatische Reaktionen und somit auch der Stoffwechsel von Schimmelpilzen und Bakterien sind pH-abhängig. Durch saures Einlegen (saure Gurken, Brathering) oder Milchsäuregärung (Sauerkraut, Joghurt) wird solches Wachstum in die gewünschte Richtung gelenkt.

Eine weitere Alltagsfrage im Umgang mit LM ist ihre Verpackung. Müssen sie vor Licht und Luft geschützt werden? Wann kommt es zu Oxidationen durch den Luftsauerstoff? Wie ist es mit der Durchlässigkeit von Frischhaltefolien für Feuchtigkeit und verschiedene Gase? Was passiert bei längerem Kontakt, z. B. einer Tomatensoße in einem gusseisernen Topf, von saurem Kirschkuchen auf einem Alublech, von Karottenbrei in einer Plastikdose? Und man ahnt es schon, auch beim Kontakt spielen pH und Temperatur eine Rolle, ebenso für Reaktionen an der Luft oder im Licht. Alles hängt mit allem zusammen.

Die Abbildungen 2.2 und 2.3 sollen die Zusammenhänge schematisch darstellen.

Das Wechselspiel von Wasser und Temperatur

Am Beispiel der Temperatur und des Gehalts eines LM an frei beweglichem Wasser kann man das Zusammenspiel dieser Faktoren (Abb. 2.2) beispielhaft zeigen: Ausgehend von der Raumtemperatur kann man die Temperatur in zwei Richtungen verändern. Die LM können leicht erwärmt bzw. stärker erhitzt oder aber abgekühlt werden bis hin zum Gefrieren (siehe Abb. 2.2). Was passiert hier jeweils? Um dies besser verstehen zu können, zoomen wir ganz tief in das Lebensmittel hinein. Wir sehen verschiedene Moleküle: z. B. große Eiweißmoleküle, kleine Wassermoleküle Wenn man die Temperatur erhöht, dann bewegen sich Moleküle schneller, zappeln mehr

herum. So wie man sich beim schnellen Durcheinanderlaufen eher mal jemanden anrennt, stößt oder gar verletzt, so stoßen Moleküle bei höherer Temperatur häufiger aneinander und können leichter und schneller miteinander reagieren. Demzufolge laufen chemische Reaktionen bei höherer Temperatur i. d. R. schneller ab. Das kennt man z. B. vom Backen, wobei eine Fülle chemischer und physikalischer Prozesse ablaufen: je höher die Temperatur (in einem geeigneten Temperaturfenster), desto schneller ist der Kuchen fertig. Und auch Schnellkochtöpfe funktionieren nach diesem Prinzip: Da wegen des Überdrucks (z. B. 0,8 bar) im Topf Wasser erst bei ca. 117 °C kocht, ist das Essen 2–3 mal so schnell gar.

Man kann Hitze aber nicht nur zur Beschleunigung von Reaktionen einsetzen, sondern auch als Bremse. In diesen Bereich fallen enzymatische Reaktionen und somit auch das Wachstum von Mikroorganismen. Natürliche LM enthalten bestimmte Eiweiße, sogenannte Enzyme, die als Biokatalysatoren fungieren. Es handelt sich, einfach gesagt, um eine Art molekularer Werkzeuge, die jeweils bestimmte Reaktionen ermöglichen oder erleichtern. Dazu gehören auch solche, die zum Verlust wertvoller Inhaltsstoffe oder zum Verderb führen. Solche Aktivitäten möchte man unterbinden. Beim Erhitzen (= Energiezufuhr) geraten die Eiweißmoleküle in Unordnung und verknäulen sich (wie ein Spiegelei beim Braten). Das Enzym verliert so seine Funktion. Das Werkzeug ist kaputt. Nichts geht mehr.

Auch viele Mikroorganismen werden durch Hitze inaktiv. Dies macht man sich bei der Konservierung von Lebensmitteln zunutze, z. B. bei der Pasteurisierung oder Sterilisierung. Mitunter will man diese aber auch nutzen, z. B. beim Hefeteig oder bei der Joghurtherstellung. Dann verwendet man moderate Temperaturen, bei denen die Enzyme optimal arbeiten können.

Umgekehrt verlangsamt Kühlen alle Prozesse, die im LM ablaufen könnten. Im Kühlschrank werden unerwünschte Reaktionen verlangsamt. Deswegen halten sich LM gekühlt länger als bei Raumtemperatur.

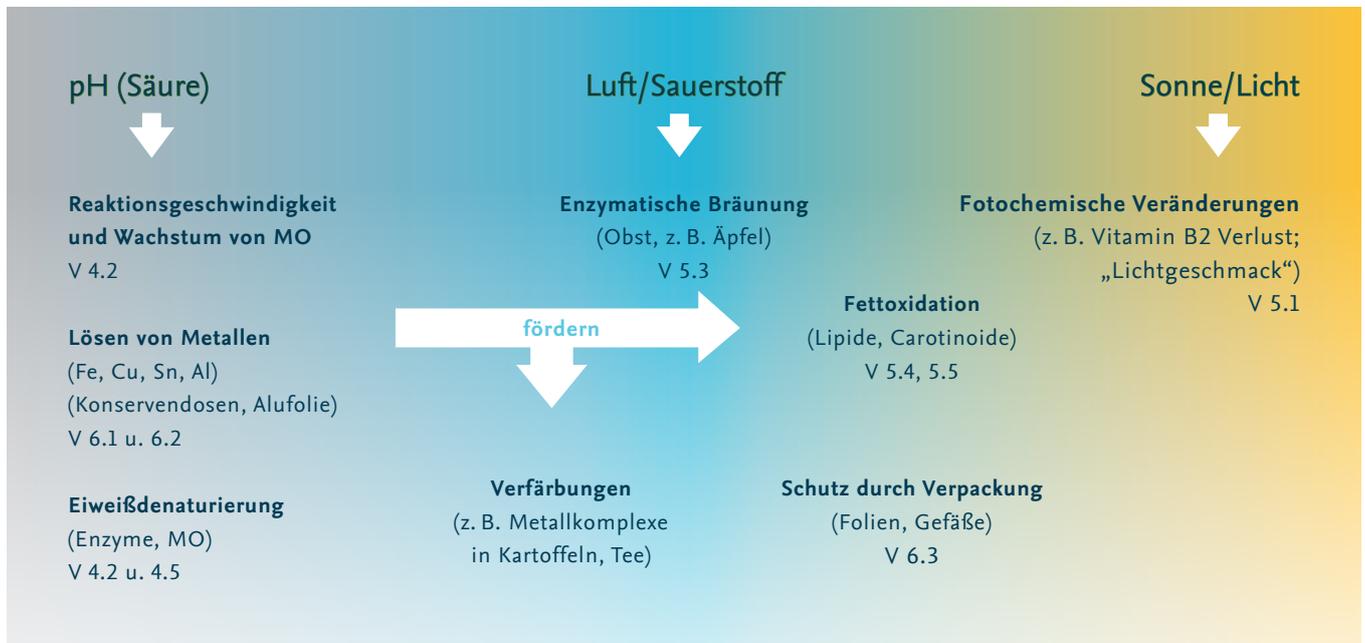


Abb. 2.3 Die Einflussfaktoren pH-Wert, Luft und Licht (MO = Mikroorganismen)

Nun noch mal zurück zum Wasser. In gekühlten LM steckt immer noch flüssiges Wasser, und das brauchen die Mikroorganismen zum Wachsen. Unterhalb von 0 °C beginnt das Wasser zu gefrieren. Reaktionen, die freies Wasser benötigen – und das sind die meisten, können nicht mehr ablaufen. So verhindert man das Verschimmeln zusätzlich, weil Pilze wie auch Bakterien kein nutzbares Wasser mehr zum Leben und Wachsen haben.

Die Wasserverfügbarkeit beeinflusst also die chemische, enzymatische und physikalische Stabilität von LM maßgeblich und ist damit entscheidend für die Haltbarkeit von LM. Sie lässt sich durch verschiedene Maßnahmen herabsetzen. Wasser wird nicht nur durch Gefrieren immobilisiert, sondern auch durch Inhaltsstoffe. Hohe Salz- oder Zuckerkonzentrationen, klassische Konservierungsmethoden, entziehen Zellen das Wasser (Osmose) und binden Wasser in Hydrathüllen. Auch die Struktur eines LM spielt eine Rolle, Kapillarkräfte können Wasser ebenfalls festhalten und so „aus dem Verkehr ziehen“. Das Zellwasser ist nicht frei verfügbar, solange die Zellen nicht verletzt sind. Zudem spielt auch die „natürliche Verpackung“ eine schützende Rolle. Daher hält sich eine durch ihre Schale vor mikrobiellem Befall geschützte Gurke mit einem Wassergehalt von ca. 95 % mehrere Tage, während (unbehandelte) Milch mit ca. 87 % Wasser sehr anfällig gegen Verderb ist.

Das Wechselspiel von pH-Wert, Licht und Luft

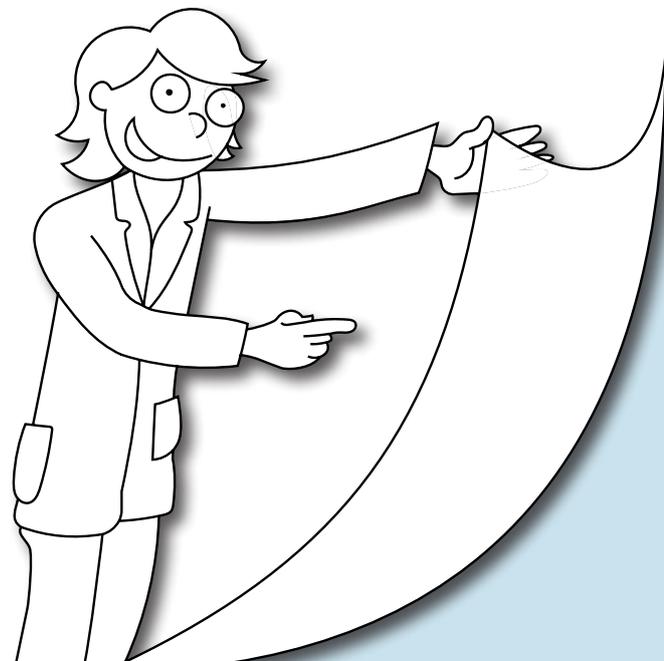
Auch die Parameter pH-Wert, Luft(-Sauerstoff) und Licht unterliegen Wechselwirkungen (Abb. 2.3). Ein gutes Untersuchungsobjekt hierfür ist die allseits beliebte Tomatensoße. In Abhängigkeit vom pH-Wert können Lebensmittelinhaltsstoffe mit Kontaktmaterialien reagieren. Ein saures Lebensmittel wie die Tomatensoße kann Spuren von Metallen aus Apparaturen während der Herstellung und im Haushalt aus Messern, Töpfen, Pfannen oder geöffneten Konservendosen herauslösen. Die Metallspuren unterstützen wiederum Reaktionen wie die Oxidation von ungesättigten Fettsäuren und anderen Inhaltsstoffen. Licht einschließlich der nicht sichtbaren Strahlung ist wie Wärme eine Form der Energie (man denke an Sonnenbrände). Es regt besonders ungesättigte Fette und verwandte Verbindungen zur Reaktion an. So werden z. B. Carotine im Licht

abgebaut, Metallspuren beschleunigen wiederum diesen Vorgang (s. Abb. 2.3).

Wichtig zur Vermeidung von Lebensmittelverlusten im Alltag ist, diese vor negativen Einflüssen zu schützen. Daher soll auch der Einfluss von Verpackungen und Behältnissen auf die Haltbarkeit von LM beachtet werden. Neben reinen Barriere-Effekten wie Wasser-, Sauerstoff- oder Licht(un)durchlässigkeit eines Verpackungsmaterials können auch sogenannte Migrationseffekte auftreten, bei denen Stoffe aus dem Material in das LM wandern. In Hinblick auf Erhaltung der Qualität eines LM gilt es, eine geeignete Aufbewahrungsform zu wählen.

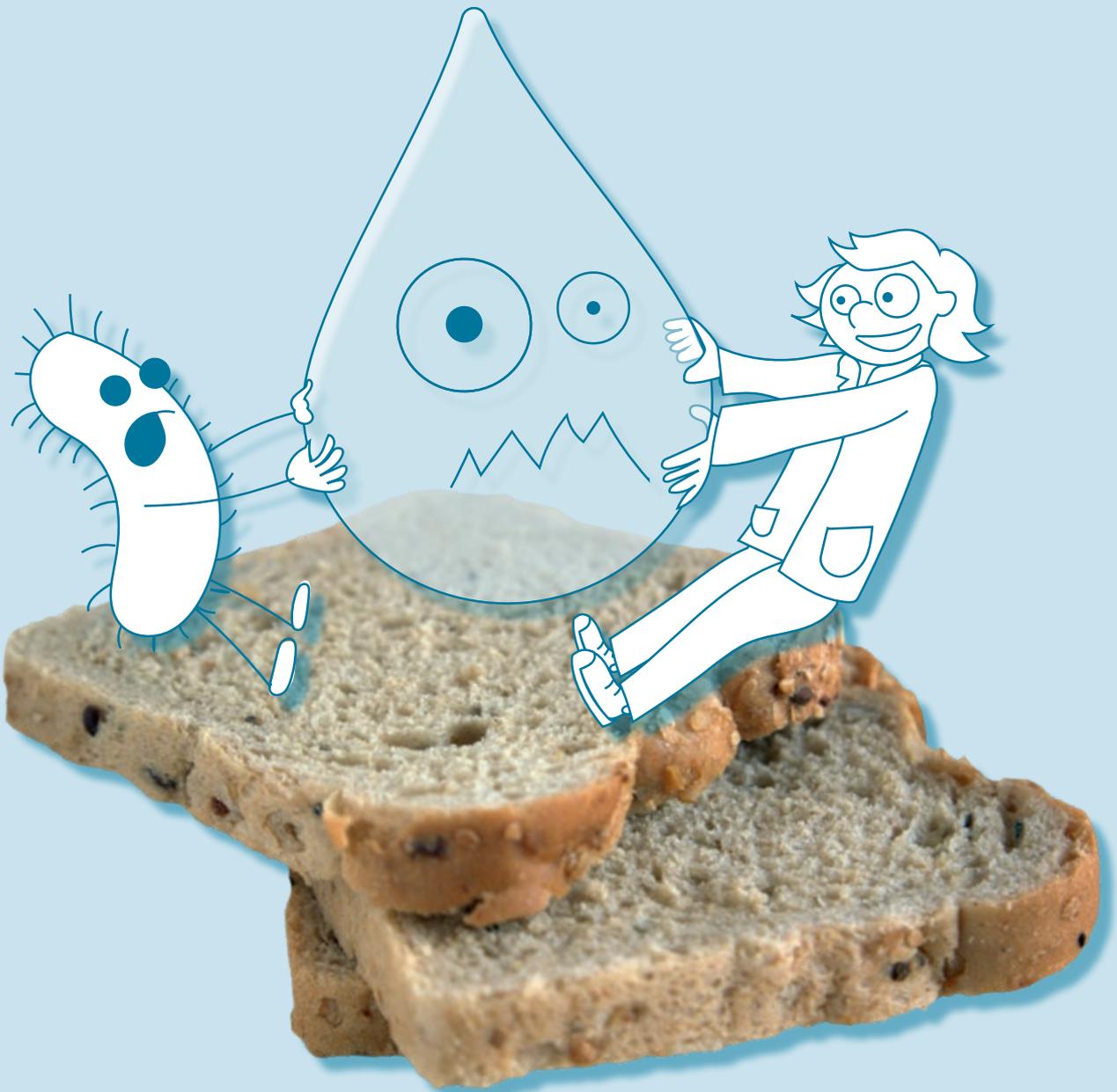
All diese Einflüsse lassen sich am Beispiel konkreter LM oder auch modellhaft experimentell untersuchen.

Also legen wir los und werden durch Experimentieren zu Lebensmittelversther*innen.



3 Frei oder gebunden?

Wasser und seine
Verfügbarkeit
in Lebensmitteln



Zu diesem Kapitel gehören folgende Versuche:

3.1 Feuchte

Gleichgewichtsfeuchten von unterschiedlichen Lebensmitteln kennenlernen; Einfluss der Umgebungsfeuchte

Klassenstufen 7/8, 9/10, Sek. II

3.2 Kapillarkräfte

Was ist das? Wie können wir Kapillarkräfte nutzen?

In welchen Lebensmitteln wirken sie?

Klassenstufen 7/8, 9/10, Sek. II

3.3 Zerkleinerungsgrad

Warum sind Gurken fest, obwohl sie sehr viel Wasser enthalten? Wie wirkt sich der Zerkleinerungsgrad aus?

Klassenstufen 5/6, 7/8, 9/10

3.4 Osmose

Wie zeigt sich Osmose? Was passiert beim Salzen?

Welche Stoffe wirken osmotisch?

Klassenstufen 5/6, 7/8, 9/10

3.5 Stärkeverkleisterung

Warum kann Stärke Wasser binden?

Was passiert dabei in Backwaren?

Klassenstufen 5/6, 7/8, 9/10

3.6 Kristallisation

Wie hängen Kristallisationsgeschwindigkeit und Kristallgröße zusammen? Was bedeutet das für Gefriergut?

Klassenstufen 7/8, 9/10, Sek. II

3 Frei oder gebunden?

Wasser und seine Verfügbarkeit in Lebensmitteln

Wieviel Wasser steckt in Lebensmitteln?

Dies wird leicht unterschätzt. So traut man einer Salatgurke nicht ohne weiteres zu, dass sie zu 96% aus Wasser besteht. Werte über 90% sind jedoch typisch für Obst und Gemüse. Auf der anderen Seite der Skala liegen die „trockenen“ Lebensmittel: Zwieback, Knäckebrötchen, Kekse, Mehl. Aber auch diese enthalten 4% (Zwieback) bis zu 15% (Mehl) Wasser. Weniger als 0,3% Feuchtigkeit, wie man den Wassergehalt auch bezeichnet, findet man hingegen in Salz und Zucker (Abb. 3.1).

Was hält das Wasser in Lebensmitteln fest?

Auch wenn die meisten Lebensmittel (LM) ziemlich viel Wasser enthalten, sind sie doch fest. Mehl mit 15% Wassergehalt wirkt trocken. Wo steckt das Wasser also? Und wie wird es festgehalten? Es ist teils auf unterschiedliche Weise physikalisch oder physikochemisch gebunden, teils in Zellen eingeschlossen. Wasser, das besonders fest gebunden ist, steht für Verderbsreaktionen nicht zur Verfügung. Welche Rolle spielen die Oberflächen? Mit Oberfläche ist hier auch die innere Oberfläche eines LM gemeint. Die kann bei Porosität oder starker Strukturierung sehr groß sein. Fein verteilte LM wie Pulver besitzen ebenfalls eine große Oberfläche. Je größer die Oberfläche ist, desto mehr Wasser kann darauf gebunden werden. Diese kleinen Kräfte wirken aber nur im Nahbereich. Sie binden nur eine Lage Wassermoleküle, diese aber sehr fest. Sie repräsentieren oft

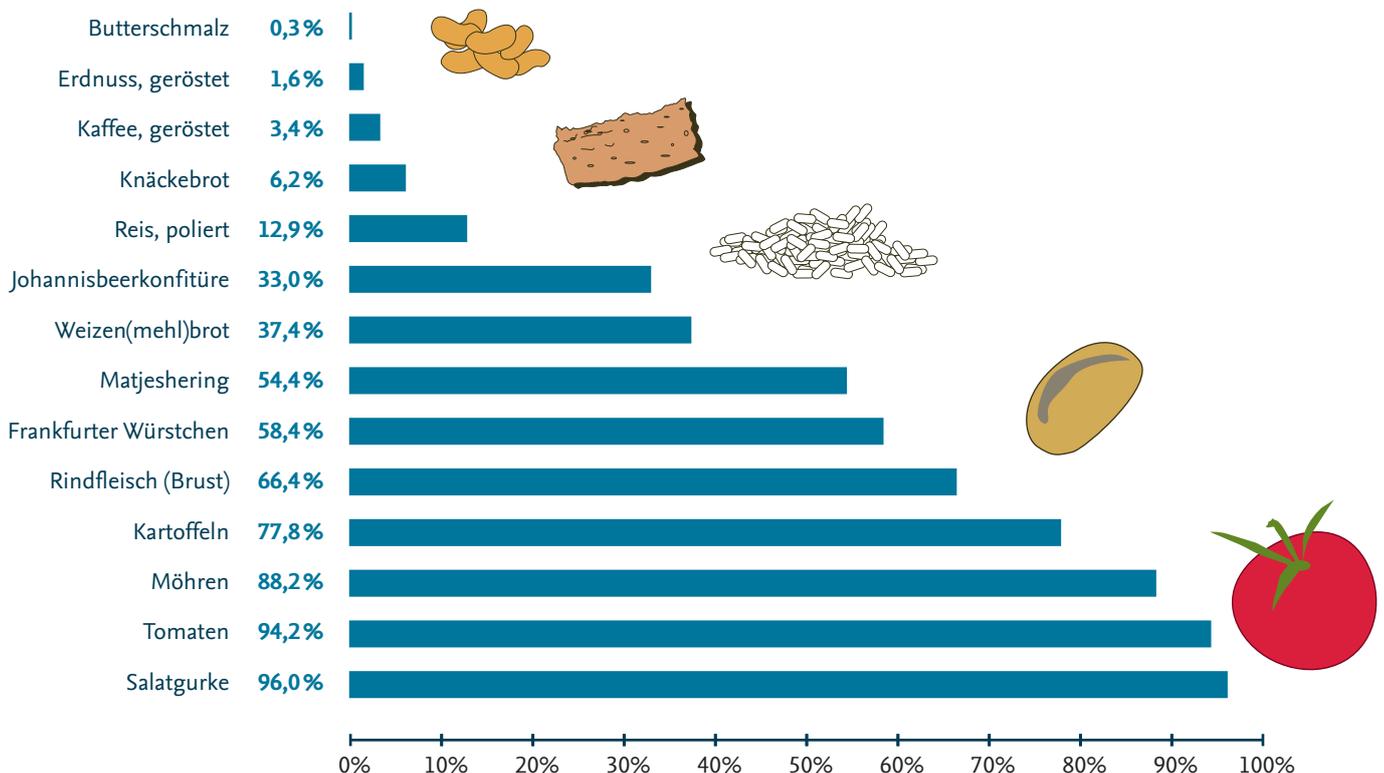


Abb. 3.1 Wassergehalt in verschiedenen Lebensmitteln [7]

Durchschnittswerte für a_w von LM

Dauerbackwaren	0,10
Cornflakes	0,20
Cracker	0,30
Nudeln	0,50
Haferflocken	0,65
Honig	0,75
Trockenfrüchte	0,72 – 0,80
Konfituren	< 0,80 – 0,94
Salami	0,80
Brot	0,96
Käse	0,96
Obst	0,97
Gemüse	0,97

die restliche Feuchte in scheinbar völlig trockenen LM (Versuch 3.1 A). So ein LM hat meistens noch freie Plätze für noch ein wenig mehr Wasser, das es unverpackt gern aus der Umgebung aufnimmt (Versuch 3.1 B). - Knabberzeug wird pappig, Keks weich.

Neben der inneren Oberfläche wirkt sich auch die innere Struktur des LM auf das Wasserbindungsvermögen aus.

Manche LM besitzen sehr feine Hohlräume. Eine besondere Rückhaltekraft haben enge Hohlräume, wie sie sich in Pflanzen oder auch Muskelfleisch finden. Man nennt sie Kapillarkraft (Versuch 3.2). Sie sorgt u. a. auch dafür, dass Bäume über ihre Wurzeln bis in die Spitzen mit Feuchtigkeit aus dem Boden versorgt werden. Je enger, desto höher kann das Wasser gegen die Schwerkraft in ihnen ansteigen. Natürlich gewachsene LM wie Obst, Gemüse, Fleisch und Fisch sind aus Zellen aufgebaut, die mit Flüssigkeit gefüllt sind. Dieses Wasser ist – je nach Zellengröße – nur schwach gebunden. Werden Zellen oder Kapillaren beschädigt, wird Flüssigkeit freigesetzt. Also spielt der Zerkleinerungsgrad eines LM eine wichtige Rolle (Versuch 3.3). Man denke an geriebene Kartoffeln oder eine geraspelte Salatgurke.

Auch stark fetthaltige LM wie z. B. Butter oder Mayonnaise enthalten Wasser. Hier sind feinste Wassertröpfchen in der Fettphase eingeschlossen und gleichmäßig verteilt. Ein solches System nennt man Emulsion.

Neben diesen rein physikalischen Effekten tragen auch gelöste Inhaltsstoffe zum Wasserbindevermögen bei. Insbesondere Zucker- und Salzteilchen sind von fest gebundenen Hüllen aus Wassermolekülen umgeben (Versuch 3.4). Aber auch fester Zucker, z. B. in einem Bonbon, bindet eine bestimmte Menge Wasser. Im Bonbon liegt er glasartig vor, d. h. ungeordnet, amorph. Darum ist das Bonbon glatt und transparent. Nimmt der Zucker eine geordnete kristalline Struktur ein, setzt er oft Wasser frei, wird das Bonbon an der Oberfläche klebrig und rau. Polysaccharide wie Stärke oder Pektin

können ein gelartiges Netzwerk ausbilden, in das große Mengen Wasser eingelagert werden können (Versuch 3.5). Auch in gefrorenen LM ist das Wasser nicht frei verfügbar. Es liegt in Kristallen vor, deren Größe sich während der Lagerung verändern kann (Versuch 3.6).

Freies Wasser und Verderb

Unsere Erfahrung sagt uns, dass wasserreiche frische LM leichter verderben als wasserarme. Aber die Empfindlichkeit korreliert nicht einfach mit dem Wassergehalt. Entscheidend ist, wo dieses Wasser im LM steckt, genauer: ob es gebunden oder frei vorliegt. Nur das freie Wasser ist verfügbar und kann von Schimmelpilzen zum Wachsen genutzt werden. Nur das freie Wasser steht als Lösungs- und Transportmittel für chemische oder auch enzymatische Reaktionen zur Verfügung. Und es ist das freie Wasser, welches beim Trockenwerden von LM am leichtesten abgegeben wird. Die Gurke wird weich, der Apfel schrumpelig. Wir müssen uns also ein anderes Maß als den Wassergehalt suchen, eins für das frei verfügbare Wasser. Dieses Maß ist die Wasseraktivität, also das „aktive Wasser“: der a_w -Wert.

Adhäsion

Moleküle, die miteinander in Kontakt kommen, üben Kräfte aufeinander aus. Wenn man z. B. Wasser in ein Glas füllt, kann man sehen, dass es sich dort, wo es die Glaswand berührt, etwas an dieser hochzieht. Man nennt dieses Phänomen Adhäsion. Es liegt daran, dass Glas und Wasser eine stärkere Kraft aufeinander ausüben als die Wassermoleküle untereinander. Darum läuft das Wasser beim langsamen Ausgießen auch an der äußeren Glaswand herunter. Es „klebt“ am Glas. Wassermoleküle haften auf Oberflächen von passender chemischer Beschaffenheit, werden von diesen adsorbiert.

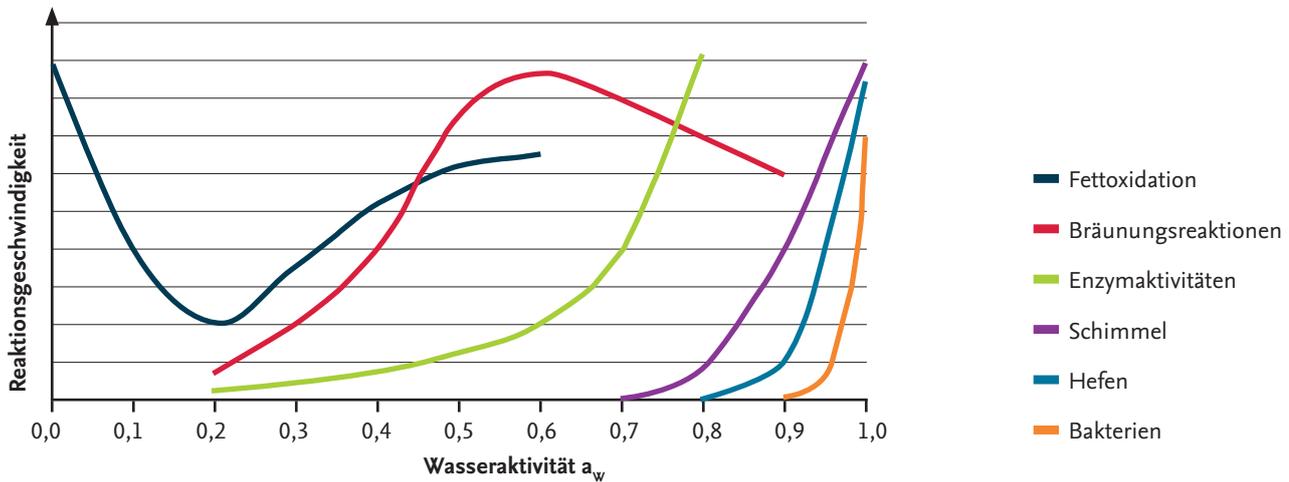


Abb. 3.2 Abhängigkeit der Geschwindigkeiten verschiedener Reaktionen und Veränderungen in LM in Abhängigkeit von der Wasseraktivität a_w ; modifiziert nach [8]

Wasseraktivität und Gleichgewichtsfeuchte

Wasserpfützen trocknen auch ohne dass man sie zum Sieden bringt, denn Wasser hat einen Dampfdruck. Wie groß dieser ist, hängt von der Temperatur (und vom Luftdruck) ab. Wenn Wasser in einem Gut nun gebunden ist, auf welche Weise auch immer, dann erniedrigt sich sein Dampfdruck. Es verdunstet nicht mehr so leicht. Das Verhältnis dieses Dampfdrucks zum Dampfdruck des reinen Wassers drückt dann die Wasseraktivität a_w aus. Der a_w -Wert von Wasser ist 1, es ist also voll verfügbar. Der a_w -Wert eines LM liegt zwischen 0 und 1.

Über jedem LM stellt sich so ein bestimmter Wasserdampfpartialdruck ein, bei dem es sich mit seiner Umgebung im Gleichgewicht befindet. Man spricht daher auch von der Gleichgewichtsfeuchte. Je fester das Wasser im LM gebunden ist, desto niedriger ist sie. Mit steigender Temperatur wird sie größer, weil sich auch die Beweglichkeit der Wasserteilchen erhöht.

Viele chemische Reaktionen in LM benötigen Wasser, ebenso Mikroorganismen für ihren Stoffwechsel. Steht kaum freies Wasser zur Verfügung, können die Reaktionen nicht oder nur sehr langsam ablaufen (Abb. 3.2). LM mit niedrigem a_w -Wert sind also stabiler gegen Veränderungen.

Wasseraktivität

Die Wasseraktivität ist ein Maß dafür, wie viel des vorhandenen Wassers frei beweglich bzw. wie stark es im LM gebunden ist, und wird als a_w -Wert angegeben. Der a_w -Wert ist von der Temperatur abhängig.

$$a_w = \frac{p \text{ (Wasserdampfdruck über dem Lebensmittel)}}{p_0 \text{ (Wasserdampfdruck reinen Wassers)}} \text{ bei gleicher Temperatur}$$

Bestimmung der Gleichgewichtsfeuchte

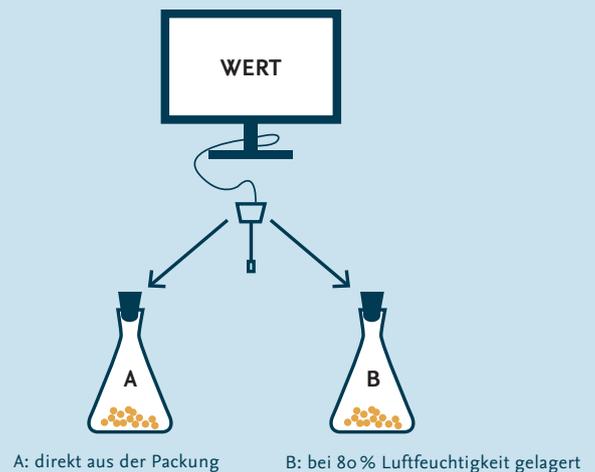
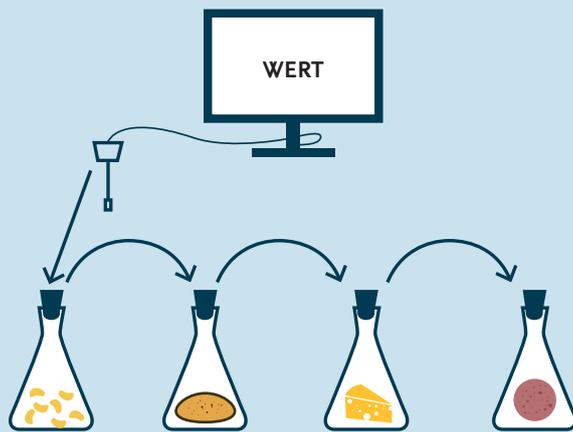
Wie kann man so einen Wert messen? Mit einem Feuchtigkeitsmessfühler, wenn man das LM in einem Behältnis verschließt und kurz wartet, bis sich das Gleichgewicht eingestellt hat. Dies ist Aufgabe unseres ersten Versuchs in dieser Reihe. In diesem einführenden Experiment wird die Bandbreite der möglichen Gleichgewichtsfeuchten aufgezeigt.

Dabei spielt natürlich auch die Feuchtigkeit in der Umgebungsluft eine Rolle. Das kennt man z. B. von Chips oder Salzstangen, die nach einer Gartenparty über Nacht in der Schale stehen blieben. Sie sind weich und pappig, haben Feuchtigkeit aus der Luft aufgenommen. Andererseits können Produkte mit hohem a_w -Wert Feuchtigkeit an eine weniger feuchte Umgebung abgeben und somit austrocknen. Die Umgebungsbedingungen wirken sich also auf die Beschaffenheit des LM aus. Damit die Qualität eines Produkts erhalten bleibt, muss es in einer geeigneten Verpackung aufbewahrt werden: undurchlässig gegen Feuchtigkeit und richtig verschlossen. So sind trockene Produkte vor Wasseraufnahme und feuchte gegen Wasserabgabe geschützt.

Für Experimente wählt man am besten standardisierbare Bedingungen. Will man z. B. einen Apfel untersuchen, dann macht es einen Unterschied, ob man den Apfel ganz oder zerteilt, mit Schale oder geschält verwendet. Wir wissen, dass die Oberfläche eine große Rolle spielt. Daher wird das Untersuchungsgut im Fall von Brot, Käse, Obst u. ä. in etwa 1–2 cm große Würfel geschnitten. Auf jeden Fall sollte man immer notieren, was genau man gemessen hat, da z. B. Schalen oder Rinden/Krusten äußere Barrieren darstellen, die die Wasseraktivität beeinflussen können.

Versuch 3.1

Gleichgewichtsfeuchten von Lebensmitteln



A. Produktvergleich

Eine Auswahl unterschiedlicher LM, von Dauerbackwaren bis zu frischem Gemüse, wird in Stücken in verschlossenen Erlenmeyerkolben gelagert. Nach kurzer Wartezeit stellt sich die Gleichgewichtsfeuchte ein. Sie wird mit einem Feuchtigkeitssensor¹ bestimmt, so dass die Proben verglichen werden können. Misst man mit dieser Apparatur zusätzlich die Gleichgewichtsfeuchte in Prozent, die sich bei gleicher Temperatur über reinem Wasser einstellt, kann man den a_w -Wert bestimmen.

Was sehen und lernen wir?

Die Gleichgewichtsfeuchten (und a_w -Werte) von Lebensmitteln decken einen großen Bereich ab. Dieser reicht von ca. 20% bei Cornflakes über 50% bei Salami und 80% bei Kartoffeln bis zu 100% bei reinem Wasser (entsprechend a_w -Werten von 0,2, 0,5 und 0,8 bzw. 1,0 für Wasser).

B. Einfluss der Umgebungsluft

Um zu untersuchen, wie die Umgebungsluft die Beschaffenheit von LM beeinflusst, werden trockene LM bei unterschiedlichen Bedingungen gelagert. Für jedes Produkt gibt es zwei Proben: eine direkt aus der Packung, die zweite lagert vorher über Nacht bei etwa 80% Luftfeuchtigkeit. Anschließend kommen sie in verschlossene Erlenmeyerkolben. Dann wird die Gleichgewichtsfeuchte mit einem Feuchtigkeitssensor gemessen und verglichen.

Was sehen und lernen wir?

Die bei höherer Luftfeuchtigkeit gelagerten Proben weisen eine höhere Gleichgewichtsfeuchte auf als die direkt aus der Packung stammenden. Auch ihre zuvor knusprige Konsistenz hat sich geändert, sie sind pappig und weich.

Lebensmittel können also von der Umgebungsfeuchte verändert werden. Dies zeigt, wie entscheidend eine geeignete Verpackung für die Produktqualität ist.

¹ Zum Einsatz kommt ein modulares Messgerät aus Eigenbau, das aus einem Raspberry Pi Mini-Computer mit Bildschirm und Feuchtigkeitssensor besteht. Die vollständige Versuchsanleitung ist unter <https://www.tu-braunschweig.de/agnes-pockels-labor> abrufbar.

Kleine Röhren – große Wirkung: Die Kraft der Kapillaren

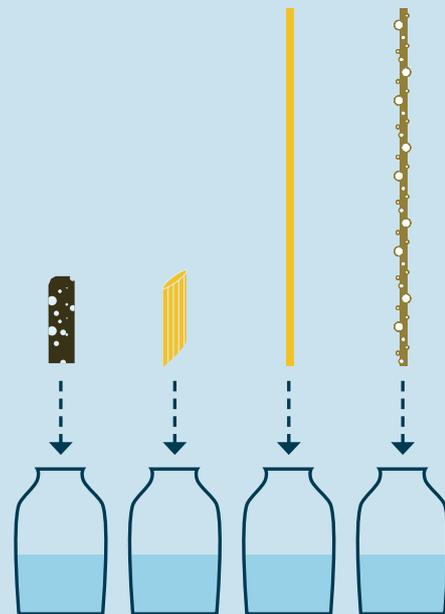
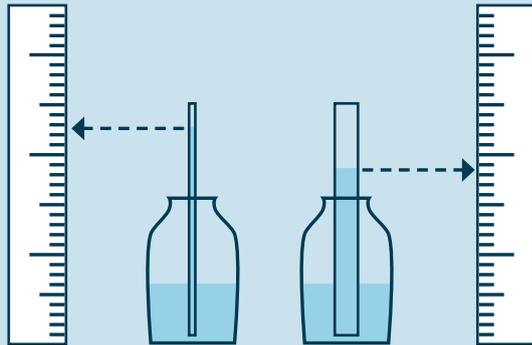
Kapillarkräfte haben wir in Kap. 2 bereits vorgestellt. Wir nutzen sie täglich ganz unbewusst. Sie sind uns eher als Saugfähigkeit geläufig: beim Abtrocknen mit einem Frotteehandtuch, beim Aufnehmen verschütteter Flüssigkeiten mit einem Stück Haushaltsrolle. Der Kapillareffekt entsteht, weil die Anziehungskraft zwischen der (Glas)wand und den Wasserteilchen größer ist als zwischen den Wasserteilchen selbst. Diese Wechselwirkung findet auch im Inneren von LM statt. Wasser kann in sehr feine Hohlräume eindringen, auch gegen die Schwerkraft. Je enger die Röhre ist, desto höher kann das Wasser steigen (Abb. 3.3). Innendurchmesser und Höhe des Wasserspiegels sind also umgekehrt proportional: Kapillarkräfte setzen ebenfalls die Wasseraktivität herab, aber weniger stark als die oben besprochene Bindung (Sorption) an Oberflächen dies tut.



Abb. 3.3 Abhängigkeit der Kapillarkraft vom Durchmesser der Kapillare, erkennbar an der Steighöhe des Wassers

Auch in vielen LM wirken bei geeigneter Struktur Kapillarkräfte. Man kann das z. B. bei Stangensellerie mit gefärbtem Wasser sichtbar machen. Werden die Kapillaren zerstört, tritt Saft aus, auch ein Grund, dass zerkleinertes Fleisch oder Gemüse Flüssigkeit abgibt. Übrigens, wenn das Küchentuch mit dem Zusatz „Besonders hohe Saugkraft“ beworben wird, dann bedeutet das eigentlich: „Besonders starke Kapillarkräfte“.

Versuch 3.2 Der Kapillareffekt



A. Wovon hängt die Kapillarkraft ab?

Stellt man Glaskapillaren mit unterschiedlichem Durchmesser in gefärbtes Wasser, erkennt man sehr gut, wie sich der Durchmesser auf die Kapillarkraft auswirkt.

Was sehen und lernen wir?

Das Wasser steigt umso höher, d. h. die Kapillarkraft ist umso größer, je feiner die Kapillaren sind. Der Kapillareffekt hält das Wasser gegen die Schwerkraft fest.

B. Kapillareffekte in Lebensmitteln

Man stellt ca. 3–4 cm lange Stücke verschiedener LM in ein kleines Glas, in dem ca. 0,5 cm hoch Wasser steht. Beispielsweise können Maccaroni und Spaghetti sowie Salzstangen und Porenschokolade verglichen werden.

Was sehen und lernen wir?

Zwischen Maccaroni und Spaghetti ist kein Unterschied zu erkennen. Der Innendurchmesser von Maccaroni ist zu groß, um einen Kapillareffekt zu bewirken.

In Gebäck wie z. B. Salzstangen befinden sich feine, langgezogene Hohlräume, die als Kapillaren wirken. Porenschokolade dagegen hat zwar ebenfalls viele Hohlräume, diese sind aber nicht miteinander verbunden und somit wirkungslos.

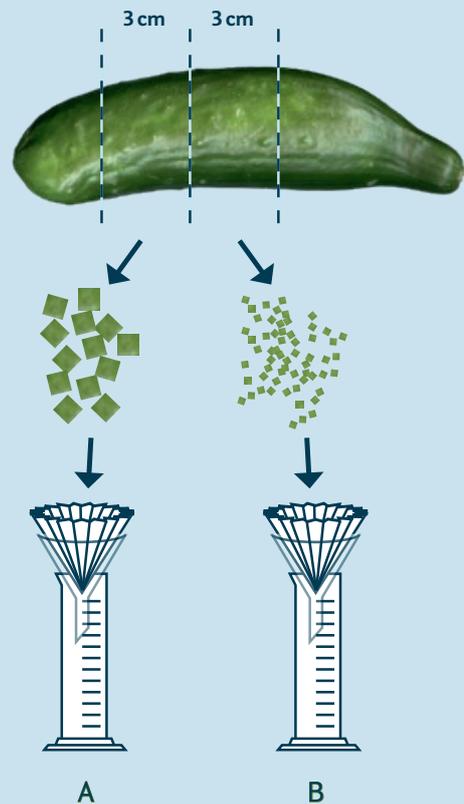
Mithilfe des Kapillareffekts können Lebensmittel, die im Inneren feine langgestreckte Hohlräume aufweisen, Wasser binden. Beim Zerkleinern wird dieses Wasser frei. Das Lebensmittel wird trockener.

Geschnitten oder im Stück – ein großer Unterschied

Gewachsene Produkte wie Obst und Gemüse, Fisch und Fleisch sind im Inneren aus zahlreichen flüssigkeitsgefüllten Zellen aufgebaut. Die mit Zellsaft prall gefüllten Zellen machen das Gemüse knackig. Zerstört man die Zellen, läuft Zellsaft heraus. Darum wird aus festem Obst oder Gemüse im Mixer ein leckerer Smoothie zum Trinken. Einen besonderen Schutz gegen die Abgabe von Feuchtigkeit an die Umgebung bietet die äußere Schale oder Haut, die meist mit einer Wachsschicht (Cuticula) überzogen ist. Sie wirkt auch als Barriere gegen das Eindringen von z. B. Bakterien und Pilzen von außen. Die Gurke ist also – wie viele andere Obst- und Gemüsearten auch – schon von Natur aus „verpackt“ und so geschützt.

Der Vergleich zwischen Zucchini und Gurken gibt uns Hinweise, wie Wasser in diesen Strukturen gebunden wird. Zucchini und Gurken haben eine gewisse äußere Ähnlichkeit. Sie enthalten auch ähnlich viel Wasser, Gurken etwa 95–97%, Zucchini mit 93–95% kaum weniger. Schneidet man sie an, erkennt man, dass sie gleich strukturiert sind. Inmitten des Fruchtfleischs befinden sich drei jeweils zweiseitige Fruchtfächer. Fruchtfleisch und Fruchtfächer der Zucchini sind aber feiner strukturiert als die der Gurken, die deutlich größere, mit mehr Flüssigkeit gefüllte Zellen haben. Folglich haben Zucchini auch eine größere innere Oberfläche.

Versuch 3.3 Zerkleinerungsgrad



Gleichgroße Gurkenstücke werden mit einer Reibe zerkleinert, einmal in feine und einmal in grobe Streifen. Über einen Filter wird die Flüssigkeit vom Fruchtfleisch abgetrennt, das Volumen der ausgetretenen Flüssigkeit wird bestimmt. Das gleiche führt man dann auch mit Zucchini durch. Anschließend vergleicht man, wie viel Zellsaft jeweils austritt.

Was sehen und lernen wir?

Beim Reiben werden die Zellen, aus denen das Fruchtgewebe aufgebaut ist, aufgerissen. Die nicht gebundene Flüssigkeit läuft aus den Zellen heraus. Gebundenes Wasser verbleibt in feinen Kapillarresten und auf den Oberflächen. Je feiner die Stücke zerkleinert werden, desto mehr Zellen werden aufgerissen, also wird auch mehr Flüssigkeit frei. Zucchini haben eine feinere Struktur als Gurken, die Zellen sind kleiner. Sie enthalten weniger freie Flüssigkeit, aber mehr Oberfläche, um Restwasser zu binden. Daher wird aus den Gurkenstücken jeweils viel mehr Flüssigkeit freigesetzt als aus den Zucchini stücken.

Beim Zerkleinern von Lebensmitteln wird Wasser freigesetzt und seine Oberfläche vergrößert. Daher sind zerkleinerte LM anfälliger gegen Verderb, denn das freigesetzte Wasser steht jetzt für vielfältige Reaktionen zur Verfügung.

Lebensmittel mit Zucker oder Salz haltbar machen

Wasser als Lösungsmittel – die Solvathülle

Neben der Bindung (Adsorption) auf Oberflächen und den Kapillarkräften gibt es noch eine weitere Wechselwirkung des Wassers mit anderen Inhaltsstoffen, die seine Verfügbarkeit herabsetzt. Wenn wir Zucker in den Tee rühren oder Salz ins Kochwasser geben, dann lösen sie sich auf. Wir sehen sie nicht mehr, aber eine Kostprobe zeigt uns, dass sie noch da sind. Der Tee schmeckt süß. Das Kochwasser schmeckt salzig.

Um besser zu verstehen, welche Rolle das Wasser dabei spielt, müssen wir uns klar machen, was „Lösen“ bedeutet. In einem Zuckerkristall sind sehr viele winzigste Zuckermoleküle dicht gepackt. Zwischen den einzelnen Molekülen wirken schwache (physikalische) Kräfte, die diesen Verband zusammenhalten, ähnlich aufeinander-sitzenden Legosteinen. In einer Lösung hingegen liegen alle diese Moleküle einzeln vor. Es muss sie also etwas voneinander abschirmen, damit sie nicht wieder zusammenkleben. Diese Rolle übernimmt das Lösungsmittel, das Wasser. Es ordnet sich in einer mehrlagigen Hülle um diese Zuckermoleküle herum an, so dass sie sich nicht mehr gegenseitig „spüren“. Diese abschirmende Hülle, die das Molekül in Lösung hält, nennt man Solvathülle (von lat. *solvare*, lösen). Damit ist das Wasser aber auch „beschäftigt“, kann nicht mehr so einfach verdunsten. Es steht für das Wachstum von Bakterien und Schimmelpilzen nicht zur Verfügung. Darum kann man mit viel Salz oder Zucker die Wasseraktivität so stark herabsetzen, dass man von Konservierung sprechen kann. Dazu verwendet man bei LM meist Zucker, Kochsalz oder Gemische wie Pökelsalz. Das bestbekannte Beispiel sind Konfitüren mit einem Zuckergehalt von mehr als 60 %, die man auch nach Anbruch nicht zwingend im Kühlschrank aufbewahren muss.

Eine weitere klassische Methode zur Haltbarmachung ist das Einlegen von z. B. Fisch oder Fleisch in Salzlake (z. B. Pökellake). Das Wasser wandert dann aus den Fleischzellen in die Salzlake, vom Ort niedrigerer Salzkonzentration zum Ort höherer, um einen Konzentrationsausgleich herzustellen. Das gelöste Salz, die Ionen Natrium (Na^+) und Chlorid (Cl^-) mit ihren Solvathüllen, sind hingegen zu groß, um die Zellmembranen zu durchdringen. Man nennt dieses Phänomen Osmose. Die so „teil-entwässerten“ Zellen sind nun stabiler, weniger anfällig für Verderbsreaktionen. Mikroorganismen können darin nicht mehr wachsen.

Osmose ist eine Frage der Konzentration

Jetzt ist Konzentration gefragt. – Das gilt nicht nur für uns, sondern auch für die in unserem Experiment zur Osmose verwendeten Salz- oder Zuckerlösungen. Einen ersten Eindruck von der osmotischen Wirkung verschafft uns die Beobachtung der Zellen von roten Zwiebeln. Ihre Epidermiszellen sind so groß, dass sie unter einem Mikroskop gut zu erkennen sind. Da bei roten Zwiebeln viele Zellen der Zwiebelhäute mit einer rot-violetten Flüssigkeit gefüllt sind, kann man die osmotische Wirkung von Salz quasi live beobachten. Tropft man etwas konzentrierte Kochsalzlösung darauf, geben die Zellen Wasser nach außen ab. So soll der Unterschied an gelösten Teilchen zwischen Zellsaft und Salzlösung ausgeglichen werden. Man kann genau verfolgen, wie sich das Zellinnere zusammenzieht und dabei immer dunkler wird. Löst sich dabei die Zellplasmamembran von der Zellwand, nennt man das Plasmolyse. Durch Zugabe von destilliertem Wasser kann man den Vorgang umkehren. Die Osmose erfolgt nun in die andere Richtung (Deplasmolyse).

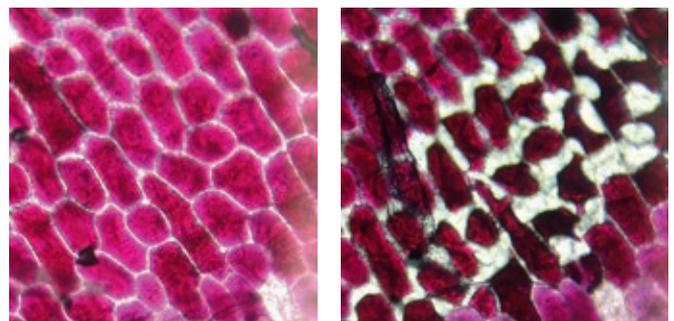


Abb. 3.4 Epidermis der roten Zwiebel in Wasser (links) und in Salzlösung (rechts)

In einem zweiten Experiment kommt eine Kartoffel unter Salz- oder Zuckerbeladung ganz schön ins Schwitzen. Stärke oder Mehl dagegen scheinen für sie leichter zu ertragen zu sein. Hier passiert mit der Kartoffel anscheinend nichts.

Die osmotische Wirkung hängt allein von der Zahl gelöster Teilchen ab. Eine bestimmte Menge Zucker oder Salz liefert beim Lösen in Wasser sehr viel mehr Teilchen als dieselbe Menge Stärke, die obendrein nur nach einem teilweisen Abbau überhaupt wasserlöslich ist. Stärke dient insbesondere in Samen und Früchten als Energiespeicher. Pflanzen lagern den in der Fotosynthese gebildeten Zucker in Form von Stärke, einer osmotisch nicht wirksamen Form. Die Stärke liegt in Form von Stärkekörnern vor, ist also nicht gelöst. Aber

selbst gelöste Stärkemoleküle sind osmotisch unwirksam, weil in ihnen bis zu Millionen Zuckermoleküle zu einem „Teilchen“ (Makromolekül) verknüpft sind. Als Makromoleküle bezeichnet man Moleküle, in denen sehr viele kleine Moleküle zu langen Ketten verknüpft sind. Die entsprechende Menge Zucker würde die Zelle durch osmotische Wasseraufnahme zum Platzen bringen. In der Chemie können wir sozusagen mit zweierlei Maß messen. Zum einen können wir wiegen und eine Stoffmenge in Gramm angeben. Das steht üblicherweise auf den Produkten. Wir können aber die Menge auch als Stückzahl, als Anzahl von Molekülen angeben. Die Einheit ist das Mol.

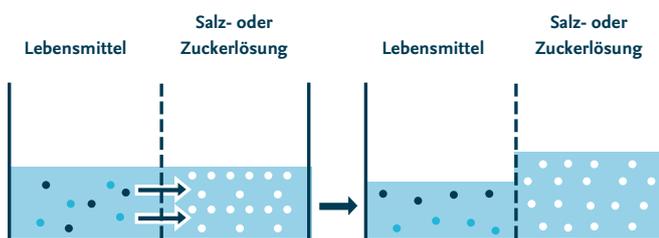
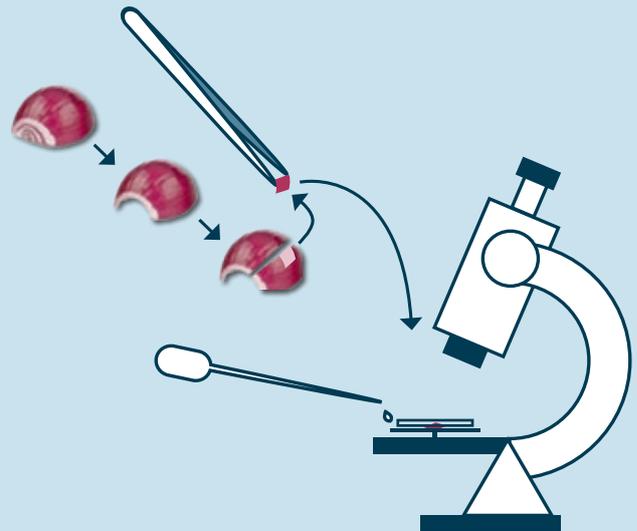


Abb. 3.5 Ausgleich von unterschiedlichen Teilchenzahlen gelöster Stoffe durch Osmose.

Osmotischer Druck

Es gibt Eigenschaften von Stoffen, die nur von der Anzahl ihrer Teilchen abhängen. Dazu gehört die Fähigkeit, Wasser zum Ausgleich von Konzentrationen durch eine Membran bzw. eine Zellwand in eine Zelle hineinzudrücken oder aber das Wasser aus der Zelle herauszuziehen. Man nennt diesen Vorgang Osmose und den zugrundeliegenden Druckunterschied den osmotischen Druck. Der Druckunterschied zwischen innen und außen ist dann ausgeglichen, also Null, wenn auf beiden Seiten dieselbe Anzahl von Teilchen gelöst ist bzw. wenn der verbliebene osmotische Druck sich mit einem ggf. aufgebauten Gegendruck (z. B. hydrostatischer Druck) die Waage hält (Abb. 3.5).

Versuch 3.4 Osmotische Wirkung von Salz



A. Osmose in Zwiebelzellen

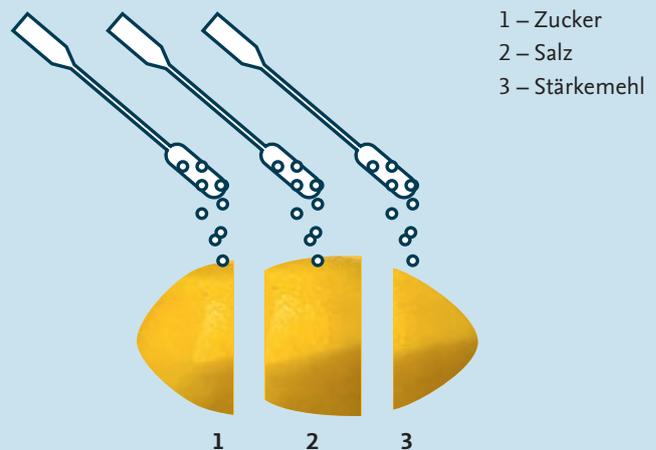
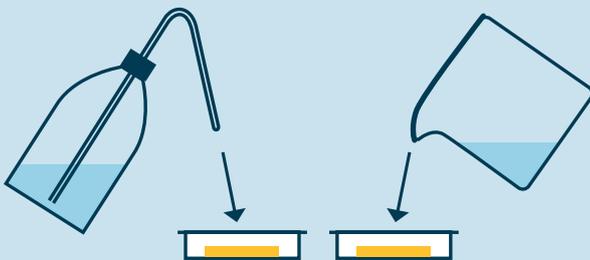
Um die osmotische Wirkung einer Salzlösung auf Pflanzenzellen zu beobachten, kann man die Epidermis einer roten Zwiebel verwenden. Dazu muss man vorsichtig die feine rotgefärbte Außenhaut einer Zwiebelschicht ablösen.

Dieses Hautstückchen legt man auf einem Objektträger und bedeckt es mit einem Deckgläschen. An den Rand tropft man etwas konzentrierte Kochsalzlösung und beobachtet dann die Veränderungen unter dem Mikroskop.

Was sehen und lernen wir?

Trifft die Salzlösung auf die Zwiebelhaut, zieht sich die rote Flüssigkeit zusammen und wird dabei immer dunkler. Die Membran der fast die ganze Zelle ausfüllenden Vakuole löst sich von der Zellwand ab. Die Zellwände bleiben stabil, die entstehenden Zwischenräume sind farblos. In der Zellflüssigkeit steigt die Konzentration des Farbstoffs. Da die gleiche Farbstoffmenge in weniger Wasser gelöst ist, erscheint die Farbe dunkler.

Wenn man nun den Salzwassertropfen mit einem Papiertuch wieder aufsaugt (Achtung: hier wirken Kapillarkräfte!) und dann stattdessen destilliertes Wasser auf die Zwiebelhaut gibt, läuft der Film quasi rückwärts. Das Wasser dringt in die Zwiebelzellen ein, die Vakuolen füllen sich langsam wieder und werden zurück an die Zellwände gedrückt. Dabei wird die Zellflüssigkeit verdünnt, die Farbe hellt sich also wieder auf. Und am Ende sieht die Zelle wieder so aus wie am Anfang.



- 1 – Zucker
- 2 – Salz
- 3 – Stärkemehl

B. Osmose in Kartoffeln

Im ersten Schritt lässt man mittels Osmose ein Stück frische Kartoffel „wachsen“ oder schrumpfen. Dazu legt man zwei Kartoffelstreifen gleicher Länge und Dicke zum einen in eine konzentrierte Salzlösung und zum anderen in destilliertes Wasser und beobachtet dann, was passiert.

Was sehen und lernen wir?

Der Streifen in der Salzlösung zieht sich zusammen, er wird kürzer und schmaler und gleichzeitig ganz schlaff. Das in der Kartoffel enthaltene Wasser tritt in die Salzlösung aus, will so einen Konzentrationsausgleich schaffen. Der im destillierten Wasser liegende Streifen quillt dagegen auf, er wird dicker und länger und ganz prall. Hier dringt das Wasser in die Kartoffelzellen ein. Es strebt einen Konzentrationsausgleich an. Die Zellflüssigkeit nimmt zu, die Zellen werden prall.

Anschließend gibt man auf je ein Stück einer frisch geschnittenen Kartoffelscheibe einen Spatel voll Zucker, Salz bzw. Stärkemehl und verstreicht diese. Dann beobachtet man, welche Veränderungen eintreten.

Was sehen und lernen wir?

Schon nach kurzer Zeit sind Zucker und Salz feucht, auf der Oberfläche der Kartoffelscheiben bilden sich kleine Pfützen. Nach dem Aufbringen von Stärke tritt hingegen keine Veränderung auf. Zucker und Salz haben also eine osmotische Wirkung, Stärke jedoch nicht. An der feuchten Kontaktfläche zwischen Kartoffel und Zucker gehen die kleinen Moleküle in Lösung, bilden so eine hoch konzentrierte Lösung und ziehen infolge durch Osmose weiteres Wasser aus der Kartoffel. Dadurch wird der Lösungsprozess fortgesetzt und mehr Wasser tritt aus. Analog verhält es sich mit dem Salz, das sich in Form von Ionen löst. Die Stärke dagegen löst sich nicht. Ihre Moleküle sind zu groß.

Die Flüssigkeit in Zellen von LM wie Obst, Gemüse oder Fleisch besteht überwiegend aus freiem Wasser. Man kann dessen Menge herabsetzen, indem man es mittels Osmose aus den Zellen herauszieht. So senkt man die Wasseraktivität und erhöht die Haltbarkeit. Auf diese Weise kann man z. B. Erdbeeren durch Überstreuen mit Zucker Wasser entziehen und sie so weniger anfällig machen. Aber der osmotische Effekt ist nicht immer erwünscht: Salatblätter werden im Dressing rasch schlaff.

Stärke verkleistert – und dann?

Wenn ein Wasser-Stärke-Gemisch erhitzt wird, wird es an einem bestimmten Punkt dickflüssig, klebrig und zäh. Dies nennt man Stärkeverkleisterung. Was passiert da genau? Beim Erhitzen quellen die Stärkekörner und platzen dann gewissermaßen auf. Die nun ungeordneten langen Stärkemolekülketten verhaken sich. Dabei geht die Stärke von einem geordneten in einen ungeordneten (amorphen) Zustand über. In diese lockere Netzstruktur kann viel Wasser eingelagert werden. Es entsteht eine gelartige Konsistenz, die sich beim Abkühlen verfestigt. Das kennt man vom Puddingkochen oder vom Soße andicken.

Auch beim Backen von Brot, das ja im Wesentlichen aus Mehl und Wasser besteht, wird das Wasser durch Verkleisterung von Stärke gebunden. Das Wasser ist für Backwaren so etwas wie die Weichmacher in Plastik. Aber ewig hält das nicht, die Stärke lässt das Wasser wieder los! Die aufgequollene Stärke geht je nach Lagerungsbedingungen mehr oder weniger langsam in eine geordnete Form über (sie kristallisiert) und gibt dabei das im ungeordneten Zustand gebundene Wasser teilweise wieder ab. Diesen Vorgang nennt man Retrogradation. Das Brot wird trockener, verliert an Frische. Kühl-schranktemperaturen begünstigen diesen Vorgang.

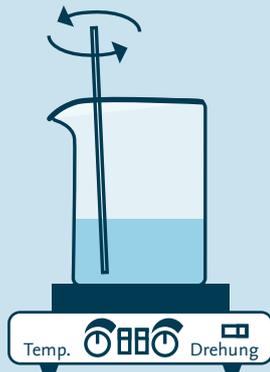
Man sagt, das Brot oder Gebäck wird „altbacken“. Beim Brot lässt sich diese Veränderung durch Feuchtigkeit und Wärme kurzfristig rückgängig machen. Dies nutzt man im Alltag, wenn man alte Brötchen befeuchtet und dann aufbackt. Auch eine kurze Behandlung einer Brotscheibe in der Mikrowelle kann das Restwasser in Bewegung bringen und das Brot kurzzeitig wieder weich machen („auf-frischen“).

Verpacktes Brot wird im Kühlschrank also schneller trocken als bei Raumtemperatur (schimmelt allerdings nicht so schnell). Bei tiefgefrorenen Backwaren (also $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) sind die Stärkemoleküle hingegen so unbeweglich, dass sie sich nicht mehr neu sortieren und Wasser freisetzen können. Wird frisches Brot eingefroren, weist es nach dem Auftauen eine frische Konsistenz auf.

Der folgende Versuch zeigt die Stärkeverkleisterung und die damit einhergehende Wasserbindung unter dem Mikroskop.

Versuch 3.5

Stärkeverkleisterung



Man gibt einen Spatel voll Stärke in ein Becherglas und fügt etwas Wasser hinzu. Unter Rühren erhitzt man das Becherglas auf der Heizplatte bis zum Sieden und lässt es einige Minuten kochen. Dabei beobachtet man die Veränderung.

Vor und nach dem Kochen betrachtet man die Mischung unter dem Mikroskop. Für einen besseren Kontrast kann man die Stärke mit Iodlösung anfärben.

Was sehen und lernen wir?

Die Stärke ist in kaltem Wasser suspendiert. Beim Erhitzen wird die Flüssigkeit immer zäher, es entsteht ein klebriges Gel. Beim Abkühlen wird die Masse fest.

Vor dem Erhitzen erkennt man unter dem Mikroskop unzählige wohlgeformte Stärkekörner, die einzeln im Wasser verteilt sind. Beim Erhitzen platzen die Stärkekörner auf, verlieren ihre Form und fließen ineinander. Man sieht schließlich nur noch eine einzige einheitliche Masse, die mit Iodlösung vollständig blau gefärbt ist.

Während des Backens verkleistert die Stärke und bindet das im Teig enthaltene Wasser. Nach und nach rekristallisiert sie wieder, dabei wird dieses Wasser wieder freigesetzt und verdunstet. Die Backware wird trocken und „altbacken“.

Tiefgekühlt kann nichts passieren?

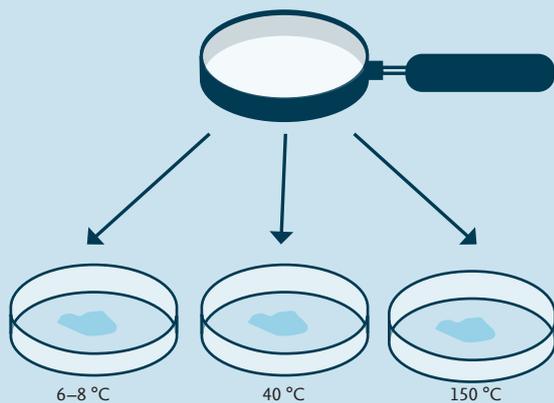
Eis ist nicht gleich Eis. Damit ist nicht der Unterschied zwischen Erdbeereis und Schokoladeneis gemeint. Es geht um gefrorenes Wasser. Im Gefrierschrank wird aus Wasser Eis. Aber wie dieses Eis genau aussieht, hängt davon ab, wie das Wasser vorliegt und unter welchen Bedingungen es gefriert. Beim Einfrieren kristallisiert das in Lebensmitteln enthaltene freie Wasser aus. Dabei können große und kleine Eiskristalle entstehen. Zuerst muss sich ein Kristallkeim bilden, an den sich dann weitere Wassermoleküle zu einem größeren Kristall anlagern können. Geht die Keimbildung schnell, dann entstehen viele kleine Kristalle mit wenig ausgeprägter Kristallform. Verläuft sie hingegen langsam, so bilden sich weniger Kristalle, die dafür größer werden und eine typische Kristallform zeigen. In einem Kristall besteht eine hohe Ordnung, jedes Teilchen hat einen bestimmten Platz. Bei langsamem Wachstum haben die einzelnen Teilchen ausreichend Zeit, diese Plätze einzunehmen. Und mit der Zeit wachsen größere Kristalle auf Kosten der kleineren. Kleine Kristalle verschwinden also, während die größeren weiterwachsen. Und damit sind wir dann doch beim Erdbeer- und Schokoladeneis. Denn das erlebt man oft: im Gefrierschrank hat sich in der angefangenen Eispackung auf der Oberfläche eine Schicht mit größeren Wassereiskristallen gebildet. Das Eis schmeckt dann etwas krisselig, weniger cremig. Auch da haben sich anstelle vieler kleiner wenige große Kristalle gebildet, ausgelöst z. B. durch Temperaturschwankungen, oder die Entstehung eines Luftraums über dem Eis in einer angebrochenen Packung. Eis sublimiert, d. h. es kann aus dem festen Eis direkt in diesen Luftraum übergehen und an der Oberfläche dann wieder auskristallisieren.

Auch andere gefrorene Lebensmittel als Eiscreme können in den äußeren Schichten durch Temperaturschwankungen oder undichte Verpackungen Wasser durch Sublimation verlieren. Ein Hinweis darauf sind Eiskristalle auf der Oberfläche und an der Verpackung. Stärker ausgetrocknete, weiß bis grau-braun verfärbte Bereiche bezeichnet man als „Gefrierbrand“. Gegen Gefrierbrand schützt eine wasserdampfdichte Verpackung mit einem möglichst kleinen, besser noch gar keinem Luftraum, z. B. Gefrierbeutel. Empfindliche Produkte wie z. B. Fischfilet werden oft zum Schutz vor Gefrierbrand „glasiert“, d. h. sie werden mit einer dünnen Eisschicht überzogen. Bei starkem Wasserverlust können Inhaltsstoffe verändert werden, das Lebensmittel wird trocken und strohig. Dadurch wird nicht nur sein Geschmack beeinträchtigt, sondern es wird eventuell sogar ungenießbar.

Aus praktischen Gründen wird der Einfluss der Kristallisationsgeschwindigkeit auf Form und Größe der Kristalle am Beispiel von Kaliumnitrat untersucht. Es handelt sich hier nicht um einen Phasenübergang von flüssig zu fest wie bei gefrierendem Wasser, sondern um das Auskristallisieren eines gelösten Salzes aus der Lösung. Auch hier müssen vorher in der flüssigen Phase solvatisiert herum-schwirrende Teilchen sich zu einem Feststoff organisieren. Der Vorgang ist daher vergleichbar und kann alternativ genutzt werden, um das interessierende Phänomen zu demonstrieren.

Versuch 3.6

Temperatur und Kristallisation



A.

Zunächst werden aus einer gesättigten Kaliumnitratlösung bei unterschiedlichen Temperaturen Kristalle gezüchtet. Dazu gibt man auf drei Glasschalen je einen Tropfen der Lösung. Die Flüssigkeit lässt man im Kühlschrank (6–8 °C, ca. 15–30 min), im Wärmeschrank (bei 40 °C, ca. 3–5 min) und mithilfe einer Heizplatte (ca. 150 °C, wenige Sekunden) eintrocknen. Form und Größe der gebildeten Kristallite werden dann verglichen.

Was sehen und lernen wir?

Während im Kühlschrank ausgeprägte Nadeln mit einer Länge von bis zu 3 mm heranwachsen, kristallisiert das Salz bei 150 °C sehr feinkörnig aus, ohne seine typische Nadelform auszubilden. Bei 40 °C wachsen kurze, recht feine Nadeln von ca. 1–2 mm Länge heran. Je schneller das Wasser entfernt wird, also der Übergang vom gelösten in den festen Zustand erfolgt, desto kleinere Teilchen bilden sich. Je langsamer Kristalle wachsen, desto größer werden sie und bilden dabei eine für die Substanz typische Kristallform aus, hier sind es lange Nadeln.

B.

Ein frisches, knackiges Salatblatt wird für ca. 15 Minuten in einen Gefrierschrank gelegt. Anschließend lässt man es auftauen. Die Beschaffenheit des Blatts wird dann mit einem frischen verglichen.

Was sehen und lernen wir?

Das gefrorene Salatblatt ist nach dem Auftauen nicht mehr knackig, sondern schlaff und matschig. Eiskristalle, die in den Zellen gewachsen sind, haben die Zellen so beschädigt, dass die Zellflüssigkeit austreten kann!

Die Geschwindigkeit der Kristallbildung ist auch beim Einfrieren von Lebensmitteln wichtig. Wird die Temperatur im Gefriergut nur langsam abgesenkt, entstehen weniger, dafür größere Eiskristalle. In tierischem oder pflanzlichem Gewebe, also Fleisch, Fisch, Obst oder Gemüse, zerstören diese großen spitzen Kristalle das Gewebe, indem sie beim Wachsen die Zellwände durchbohren. Dies zeigt sich nach dem Auftauen durch eine erhöhte Menge an Abtropfwasser, ggf. wird das Produkt auch schlaff.

Also immer die Funktion „Schockgefrieren“ nutzen! Außerdem sollten niemals warme Lebensmittel oder sehr große Portionen auf einmal eingefroren werden.

4 Wer macht das Tempo?

Temperatur und pH-Wert



Zu diesem Kapitel gehören folgende Versuche:

4.1 Karamellisierung

Einfluss der Temperatur auf die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen
Klassenstufen 9/10, Sek. II

4.2 Spaltung von Saccharose

Einfluss des pH-Werts auf die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen
Klassenstufen 9/10, Sek. II

4.3 Eiweißgerinnung

Eiweißgerinnung durch Säuren, Schwermetalle, Alkohol und Temperatur
Klassenstufen 5/6, 7/8, 9/10, Sek. II

4.4 Enzymaktivität und Temperatur

Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Temperatur am Beispiel einer Kiwi,
Haltbarmachen von Lebensmitteln durch Kochen, Braten, Einkochen
Klassenstufen 9/10, Sek. II

4.5 Enzymaktivität und pH-Wert

Abhängigkeit der Enzymaktivität vom pH-Wert am Beispiel einer Kartoffel,
Haltbarmachen von Lebensmitteln durch Säuerung
Klassenstufen 9/10, Sek. II

4.6 Obstreifung

Reifegeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur: Enzymatischer Abbau der
Stärke zu Zucker, Nachweise von Stärke und Zucker in unreifen und reifen Bananen
Klassenstufen 7/8, 9/10, Sek. II

4.7 Hefeaktivität

Einfluss von Temperatur bzw. pH-Wert auf die Aktivität von Mikroorganismen am Beispiel
der Hefegärung, Haltbarmachen von Lebensmitteln durch Einkochen und Säuern
Klassenstufen 7/8, 9/10, Sek. II

4 Wer macht das Tempo?

Temperatur und pH-Wert

Temperatur

Eisig – kalt – warm – heiß, und entsprechend einfrieren, kühlen, erwärmen, erhitzen – so teilen wir qualitativ Temperaturbereiche ein. Unsere Celsius-Skala orientiert sich an den Phasenübergängen des Wassers. Bei 0 °C schmilzt das Eis, bei 100 °C wird das flüssige Wasser zu gasförmigem Wasserdampf (bei Normaldruck). Das Eis ist starr, flüssiges Wasser fließt, Wasserdampf verteilt sich gleichmäßig im gesamten Raum. Mit steigender Temperatur ändert sich auch die Beweglichkeit des Wassers, die Anziehungskräfte zwischen den Wassermolekülen werden überwunden, die Geschwindigkeit der Moleküle wird größer.

Die Temperatur ist ein wichtiger Faktor, wenn wir Lebensmittel (LM) betrachten, weil viele physikalische und chemische Eigenschaften von Stoffen und Prozessen temperaturabhängig sind. Insbesondere für die Geschwindigkeit chemischer und biochemischer Reaktionen und damit auch für das Wachstum von Bakterien und Pilzen, die unsere Lebensmittel befallen, ist die Temperatur ein wesentlicher Parameter. Bei letzteren nutzen wir die Temperatur, um sie zu inaktivieren bzw. abzutöten, da ihre Struktur und folglich ihr Stoffwechsel bei hoher Temperatur zusammenbricht.

Der pH-Wert

Manche Stoffe in Lebensmitteln (LM) reagieren sauer. Daher nennt man sie oft Säuren: Zitronensäure, Milchsäure, Essigsäure sind bekannte Vertreterinnen. Wie sauer etwas ist, kann man mit dem pH-Wert angeben.

Für Lebensmittel ist nur der pH-Bereich 2–8 relevant. Was noch saurer oder basischer reagiert, würde uns die Schleimhäute verätzen. Unser Magen ist allerdings verdammt sauer. Da herrscht ein pH von 1–2. Das merkt man beim Aufstoßen: Es brennt.

Bei bestimmten Reaktionen, z. B. solchen, die von Säure katalysiert werden, beeinflusst auch der pH-Wert die Reaktionsgeschwindigkeit. Zu diesen Reaktionen gehören die Hydrolysen, die Spaltung

von chemischen Bindungen unter Anlagerung von Wasser. Bei den Stoffwechselprozessen in Mikroorganismen, die unsere Lebensmittel veredeln oder verderben können, spielt der pH-Wert ebenfalls eine Rolle. Solche biochemischen Reaktionen laufen mit Hilfe von Enzymen und Vitaminen (als Coenzyme) unter milden Bedingungen ab. Enzyme sind Biokatalysatoren, die u. a. aus Eiweiß aufgebaut sind. Und hier müssen Temperatur und pH-Wert folglich auch für das Enzym passend sein.

Die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen

Um zwei Legosteine miteinander zu verbinden, muss man sie in richtiger Ausrichtung und mit etwas Nachdruck zusammenbringen. Bei chemischen Reaktionen ist es ähnlich: Die Reaktionspartner müssen sich einander in geeigneter Orientierung nähern und miteinander in Kontakt treten (wechselwirken), außerdem wird Energie benötigt, z. B. als Wärme. Nur dann können neue Bindungen gebildet oder auch bestehende gespalten werden.

In einem gewissen Temperaturbereich gehorcht die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion einer einfachen Abhängigkeit. Hierfür gibt es eine Faustregel, die sogenannte RGT-Regel (Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel): Wird die Temperatur um 10 °C erhöht, läuft eine chemische Reaktion etwa doppelt so schnell ab (Abb. 4.1).

Nach dieser naturwissenschaftlichen Regel handeln wir im Alltag ständig: jedes Mal, wenn wir Lebensmittel in den Kühlschrank stellen, damit sie sich länger halten.

pH-Wert

Der pH-Wert ist ein Maß für die Konzentration der Hydronium-Ionen (H_3O^+), auch Oxonium-Ionen genannt, in wässriger Lösung. Grundlage dafür ist das Dissoziationsgleichgewicht des Wassers: $2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$

Sind die Konzentrationen von H_3O^+ und OH^- gleich groß, bezeichnet man die Lösung als neutral, ihr pH-Wert beträgt 7. Unterhalb von pH 7 steigt die Konzentration der H_3O^+ -Ionen, die Lösung reagiert sauer. Haushaltssessig, eine 5%igen Essigsäurelösung, hat einen pH-Wert von 2,4. In basischen oder alkalischen Lösungen ist der pH-Wert größer als 7. Solche pH-Werte finden wir bei vielen Putzmitteln, z. B. Geschirrspülmitteln. Sie sind ätzend.

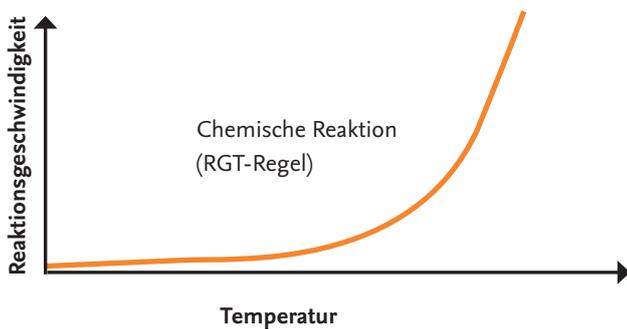


Abb. 4.1 Die Abhängigkeit der Geschwindigkeit chemischer Reaktionen von der Temperatur

Der pH-Wert spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. Auch er beeinflusst die Geschwindigkeit bei Reaktionen, bei denen die Konzentration von H_3O^+ -Ionen eine Rolle spielt. Gerade im Sauren laufen viele Reaktionen schneller ab. So wird z. B. der hydrolytische Abbau von Stärke, die Spaltung in Glucosemoleküle, durch Säure katalysiert. Ein Katalysator ist ein Stoff, der die Aktivierungsenergie einer chemischen Reaktion herabsetzt und dadurch die Reaktion beschleunigt, ohne selbst der Reaktion teilzunehmen.

Die Geschwindigkeit enzymatischer Reaktionen

Enzyme sind Biokatalysatoren, die den Stoffwechsel von Organismen steuern, indem sie bestimmte Reaktionen katalysieren. Auch diese laufen in der Regel im Warmen schneller ab als im Kalten. Es kommt jedoch noch ein wichtiger Aspekt hinzu: Enzyme sind aus Eiweißmolekülen aufgebaut. Die mögen es aber nicht zu heiß. Erhitzt man z. B. ein Ei, dann gerinnt es irgendwann. Das Eiweiß wird fest und undurchsichtig. Man sagt, es denaturiert, es verliert seine natürliche Struktur und damit Funktion. Eiweiße sind sehr große, in bestimmter Weise geformte Moleküle. Durch zu viel Energie (zu hohe Temperatur) bricht diese Ordnung zusammen. Es entsteht ein ungeordnetes Molekülknäuel.

Frische Lebensmittel wie Gemüse, Fleisch, Fisch, Eier enthalten Enzyme. Auch nach dem Schlachten bzw. Ernten sind diese weiterhin aktiv. Zusätzlich sind Lebensmittel mit Mikroorganismen behaftet, Bakterien und Pilze, wozu auch die Hefen gehören, die allgegenwärtig sind. Teilweise werden sie sogar bei der Herstellung bewusst zugesetzt. Man denke nur an Back- oder Brauhefe oder an Milchsäurebakterien, die Milch in Joghurt und Käse verwandeln.

Der Stoffwechsel dieser kleinen Organismen wird ebenfalls von Enzymen katalysiert. Daher beeinflusst die Temperatur auch das Wachstum und die Aktivität von Mikroorganismen. Im Warmen

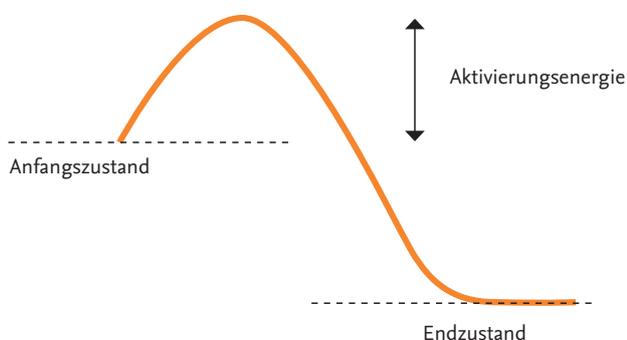


Abb. 4.2 Energiediagramm für den Verlauf chemischer Reaktionen.

Aktivierungsenergie

Damit Reaktionen ablaufen, muss eine gewisse Energieschwelle überwunden werden, die Aktivierungsenergie (Abb. 4.2). Sie wirkt wie ein Bremsklotz vor einer Reaktion, die sonst spontan ablaufen würde, weil es energetisch bergab geht, etwa das Verbrennen (die Oxidation) organischer Stoffe. Für das Überwinden dieser Energieschwelle ist die Temperatur ein wichtiger Faktor. Bei höheren Temperaturen laufen daher die meisten chemischen Reaktionen schneller ab – und bei tiefen folglich umso langsamer.

Dieses Prinzip gilt allerdings nicht grenzenlos. In einem so komplexen System wie einem LM gibt es eine Vielzahl möglicher Reaktionen, und diese werden unterschiedlich stark von der Temperatur beeinflusst. Es können also mit steigender Temperatur auch andere Reaktionen als die gewünschte die Oberhand gewinnen.

sind sie erst mal aktiver als bei Kälte. Große Hitze dagegen bringt ihre lebenswichtigen Strukturen in Unordnung bzw. zerstört sie. Ihr Stoffwechsel kommt zum Erliegen (Abb. 4.3a). Für Mikroorganismen gibt es also ein Temperaturoptimum, bei dem Wachstum und Stoffwechsel am schnellsten ablaufen. Das sind meist Temperaturen zwischen 20 und 50 °C. Sie mögen es also oft „schön warm“, aber nicht richtig heiß. Es gibt aber auch besonders kälte- oder wärme-liebende Mikroorganismen.

Wie aktiv ein Enzym ist, hängt auch vom pH-Wert ab (Abb. 4.3b). Auch hier gibt es ein Optimum, bei dem die Aktivität am höchsten ist. Bei sehr niedrigen oder sehr hohen pH-Werten werden die Enzyme denaturiert. Sie verlieren ihre Funktion irreversibel, Mikroorganismen sterben ab. Auf dieser Abhängigkeit beruht z. B. die Empfehlung, Kühlschrank oder Brotkasten regelmäßig mit Essig- oder Zitronenwasser auszuwaschen. Sehr hohe pH-Werte werden dagegen z. B. im Geschirrspüler erreicht.

Der pH-Wert spielt also für die Haltbarkeit von Lebensmitteln eine wichtige Rolle. Die meisten Enzyme bevorzugen einen schwach sauren bis schwach basischen Bereich.

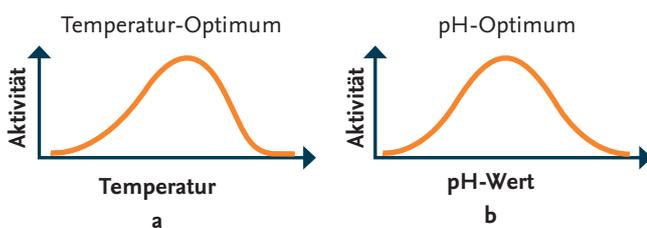


Abb. 4.3 Aktivitätsverlauf für ein Enzym in Abhängigkeit von der Temperatur (a) und vom pH-Wert (b)

Reaktionsgeschwindigkeit in Lebensmitteln

Lebensmittel sind nie in einem stabilen Zustand. Sie verändern sich mit der Zeit, weil in ihnen physikalische, chemische und/oder biochemische Prozesse ablaufen (s. Kap. 2). Die Geschwindigkeit dieser Prozesse variiert von sehr langsam bis sehr schnell. Wie wir schon gesehen haben, ist das verfügbare Wasser eine wichtige Größe. Trockene Lebensmittel wie Zwieback, Nudeln, Mehl halten sich sehr viel länger als frischer Fisch oder frische Erdbeeren.

Zu den klassischen Verfahren der Lebensmittelhaltbarmachung gehören auch Erhitzen und Säuern, denn Hitze oder Säure beeinflus-

sen mögliche Reaktionen. Sowohl produkteigene Enzyme als auch die Enzyme von Bakterien oder Schimmelpilzen werden gehemmt oder sogar zerstört. So können Veränderungs- oder Verderbsprozesse verlangsamt bzw. gestoppt werden. Manche Veränderungen sind aber auch erwünscht, z. B. die Nachreifung von unreif geerntetem Obst wie Bananen oder auch bei Käse. Diese Veränderungen verlaufen schneller, wenn das Lebensmittel bei Raumtemperatur gelagert wird.

Werden Lebensmittel ausreichend lange durcherhitzt, sind neben den LM-eigenen Enzymen auch die enthaltenen Mikroorganismen inaktiviert. Erhitzt halten sich LM darum länger als im rohen Zustand, insbesondere wenn man sie gekühlt lagert. Aber Mikroorganismen sind überall und können LM kontaminieren. Langes Warmhalten oder zu langsames Abkühlen von Speisen ist darum problematisch. Längere Zeit bei Wohlfühltemperatur kann zu reger Vermehrung beitragen, ggf. sogar zur Toxinproduktion führen. Daher ist es besser, Mahlzeiten beim Warmmachen noch einmal aufzukochen.

In einem Küchenversuch lässt sich das testen: Eine Suppe wird bis zum Kochen erhitzt, die Temperatur wird gemessen. Dann misst man z. B. alle halbe Stunde die Temperatur an der Oberfläche und im Inneren der Suppe, ohne sie zwischendurch umzurühren. Auch wenn die Suppe außen längst erkaltet ist, bleibt sie im Kern noch sehr lange warm genug für mikrobielle Aktivitäten.

Auch durch Einfrieren oder Kühlen bleiben LM länger haltbar. Unerwünschte Veränderungen wie das Weichwerden von Gemüse, das Verschimmeln von Wurst oder auch manche Aroma- oder Farbänderungen lassen sich dadurch zumindest stark verzögern.

Vor dem Einfrieren von rohem Gemüse werden manche Sorten blanchiert, also mit heißem Wasser übergossen. Dann sind die darin vorhandenen Enzyme denaturiert, ebenso wie anhaftende Mikroorganismen. In tiefgefrorenen Produkten sind die Enzyme ohnehin wenig aktiv. Eine Ausnahme stellen fettspaltende Enzyme, sog. Lipasen, dar. Fettreiche Tiefkühlprodukte halten sich daher nicht so lange wie fettarme, also z. B. fettes Fleisch oder fetter Fisch im Vergleich zu magerem.

Auch Säure verringert die Enzymaktivität und macht Lebensmittel so haltbarer. Sauer eingelegte Gurken bleiben monatelang stabil, während die Salatgurke bald schlaff wird und irgendwann zu gammeln beginnt. Sauerkraut, das mithilfe von Milchsäurebakterien aus Weißkohl hergestellt wird, lässt sich ebenfalls sehr lange lagern.

Wie lassen sich chemische Reaktionen beschleunigen?

Die Versuche 4.1 und 4.2 dienen als Modellreaktionen für die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von Temperatur und pH-Wert.

Karamellisierung

Erhitzt man Zucker trocken, schmelzen die Zuckerkristalle. Es entsteht flüssiger Zucker. Beim weiteren Erhitzen bis etwa 180 °C beginnt er zu karamellisieren. Der Reaktionsverlauf lässt sich sehr einfach visuell verfolgen. Darum eignet sich die Karamellisierung trotz ihrer Komplexität, um zu zeigen, dass Reaktionen bei höherer Temperatur schneller verlaufen.

Es laufen verschiedene Reaktionen ab, bei denen vor allem Wasser aus dem Zucker abgespalten wird. Dabei wird er zu Farb- und Aromastoffen umgesetzt. Die Masse wird erst gelblich, färbt sich dann langsam hellbraun. Gleichzeitig bildet sich ein feines Karamellaroma. Oberhalb von 180 °C intensivieren sich Farbe und Aroma. Erkalte Karamell ist glasartig und zerbricht in Splitter. So kann man auch zuhause in der Pfanne Karamell herstellen. Treibt man es zu weit (> 200 °C), wird die Masse schwarz und der gute Geruch ist auch dahin.

Neben einer Beschleunigung kann erhöhte Temperatur auch dazu führen, dass andere Reaktionswege begünstigt werden.

Versuch 4.1 Karamellisierung



2 min.



Man gibt in mehrere Alu-Schälchen jeweils einen Spatel Zucker (Saccharose) und erhitzt diese dann bei unterschiedlichen Temperaturen. Dann wird jeweils ein Schälchen 2 Minuten auf einer vorgeheizten Heizplatte (eingestellt auf 180 °C, 220 °C bzw. 250 °C) erhitzt. Anschließend vergleicht man dann Aussehen und Aroma.

Was sehen und lernen wir?

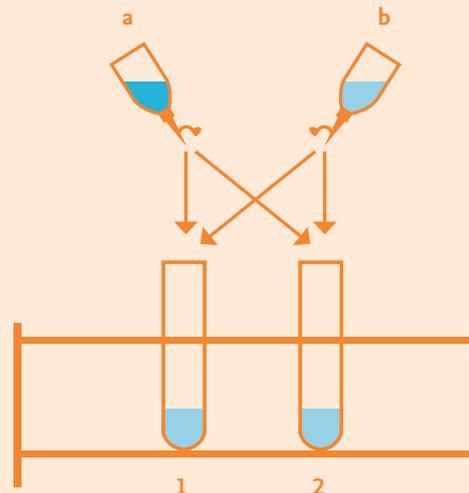
Der Zucker schmilzt zunächst, dann verändert sich die Farbe über gelb zu braun. Gleichzeitig bildet sich ein immer intensiver werdendes Karamellaroma. Je höher die Temperatur ist, desto weiter sind die Veränderungen innerhalb der 2 Min. fortgeschritten, desto schneller verlaufen folglich die Reaktionen. Bei 250 °C bildet sich bereits Zuckerkohle.

Die Spaltung von Saccharose

Wenn wir im Haushalt, z. B. beim Kuchenbacken, von Zucker sprechen, ist i. d. R. Saccharose gemeint. Saccharose ist aus den beiden Bausteinen Glucose (Traubenzucker) und Fructose (Fruchtzucker) zusammengesetzt, in die sie unter Anlagerung von Wasser wieder gespalten werden kann. Dies nennt man Hydrolyse. Dabei fungiert Säure als Katalysator, d. h. sie beschleunigt die Reaktion, wird dabei aber nicht verbraucht. Und: Je höher die Temperatur der Saccharoselösung, desto schneller läuft die Reaktion ab. Der Reaktionsverlauf lässt sich mit dem Fehling-Nachweis für reduzierende Zucker verfolgen, der mit fortschreitender Hydrolyse immer intensiver positiv ausfällt.

Saccharose kann auch mithilfe eines Biokatalysators gespalten werden. Viele Organismen wie z. B. Hefen oder Früchte besitzen das passende Enzym, die Invertase. Auch Bienen können dies sehr gut: Bei der Umsetzung von Blütennektar zu Honig wird ebenfalls Saccharose gespalten. Im Honig findet man diese dann kaum noch, sondern fast nur Glucose und Fructose.

Versuch 4.2 Die Spaltung von Saccharose in ihre Bausteine



Zur Untersuchung der pH-Abhängigkeit der Reaktion wird eine Saccharoselösung auf drei Reagenzgläser (RG) verteilt. Die Saccharoselösung hat etwa pH 7. In RG 2 stellt man mit wenig Säure pH 4, in RG 3 pH 1 ein. Dann werden die RG auf etwa 80 °C erhitzt. Nach einer Minute wird in den Gläsern der Fehling-Nachweis durchgeführt.

Was sehen und lernen wir?

Bei pH 7 bleibt die Lösung beim Fehling-Nachweis blau. Die Lösung bei pH 4 färbt sich leicht orange-rot, bei pH 1 intensiv orange-rot. Die Intensität der Färbung ist ein Maß dafür, wieviel Saccharose in Glucose und Fructose gespalten wurde. Je schneller die Reaktion abläuft, desto intensiver ist die Farbe. Daraus lässt sich schließen: Je niedriger der pH-Wert, desto schneller verläuft die Reaktion.

Auch bei Lebensmitteln beeinflussen Temperatur und pH-Wert die Geschwindigkeit, mit der chemische Reaktionen im LM ablaufen.

Eiweißgerinnung in Lebensmitteln

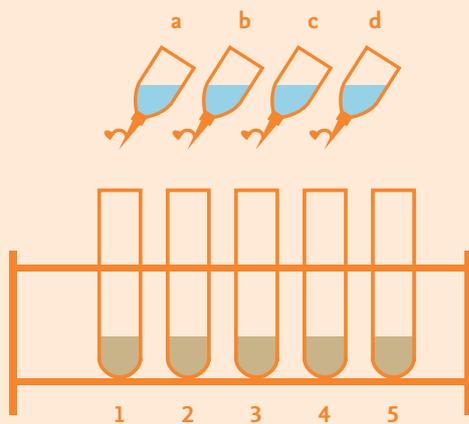
Eiweiße (Proteine) können gerinnen. Sie denaturieren, d. h. verlieren ihre natürliche Struktur und damit auch Funktion. Dieser Vorgang begegnet einem oft im Alltag, denn viele Verfahren, bei denen Eiweiße denaturieren, spielen bei der Gewinnung bzw. Zubereitung von LM eine wichtige Rolle. Die Denaturierung von Eiweißen in LM kann erwünscht sein, wie z. B. beim Frühstücksei, bei gegartem Fleisch und beim Eischneeschielen. Sie kann aber auch unerwünscht sein, z. B. bei sauer gewordener Milch. Ausgelöst wird sie durch physikalische oder chemische Einflüsse wie Hitze, Säure, mechanische Einflüsse oder Schwermetallsalze.

Zoomen wir einmal in die Proteinstruktur hinein: Bei der Denaturierung bleibt die Abfolge der Proteinbausteine (der Aminosäuren), die sogenannte Primärstruktur, unverändert. Die räumliche Anordnung dieser Proteinstränge wird aber verändert. Das Proteinmolekül (Sekundär- und v. a. Tertiärstruktur) gerät in eine zufällige Unordnung, die man sich wie ein Knäuel vorstellen kann. Gelöste Proteine fallen aus, sie verklumpen sozusagen. Ihre Funktion geht dabei verloren.

Auf die Haltbarkeit hat dies einen entscheidenden Einfluss. LM sind nach der Denaturierung von Eiweißen haltbarer: Gebraten hält sich der Fisch oder das Fleischstück länger als roh. Beim Braten werden im Fisch bzw. Fleisch alle Eiweiße denaturiert, nicht nur Enzyme. Zusätzlich werden auch die Eiweißmoleküle von anhaftenden Bakterien und Pilzen so verändert, dass sich diese nicht mehr vermehren können. Neben der Eiweißgerinnung wird beim Braten oft zusätzlich der Wassergehalt des LM gesenkt. Dies alles zusammen verlängert die Haltbarkeit.

Versuch 4.3

Eiweißgerinnung



Eine mit Salzwasser verdünnte Eiklar-Lösung wird auf 5 Reagenzgläser (RG) verteilt. In RG 1 gibt man einen Spritzer Zitronensaft (a), in RG 2 einen Spritzer Essig (b), in RG 3 dann einen Spritzer Ethanol (c) und in RG 4 einen Spritzer Eisenchloridlösung (d). Die Gläser werden vorsichtig geschüttelt. RG 5 dient als Vergleich.

Was sehen und lernen wir?

Die Eiklarlösungen in den RG 1 bis 4 werden trübe. Es entstehen weiße bis leicht gelbliche Niederschläge, jedoch unterschiedlich stark ausgeprägt. Die Trübung zeigt bei allen vier Zusätzen an, dass das Eiweiß im Eiklar gerinnt. Dabei wird die räumliche Struktur der Eiweiße zerstört, sie gehen in einen ungeordneten Zustand über, verklumpen und fallen aus.

Eiweiß wird durch Säure, Alkohol und Eisensalzlösung denaturiert. Bei verschiedenen Eiweißarten sind die verschiedenen Methoden unterschiedlich wirksam.

Enzymaktivitäten in Obst und Gemüse

Proteasen in Kiwi

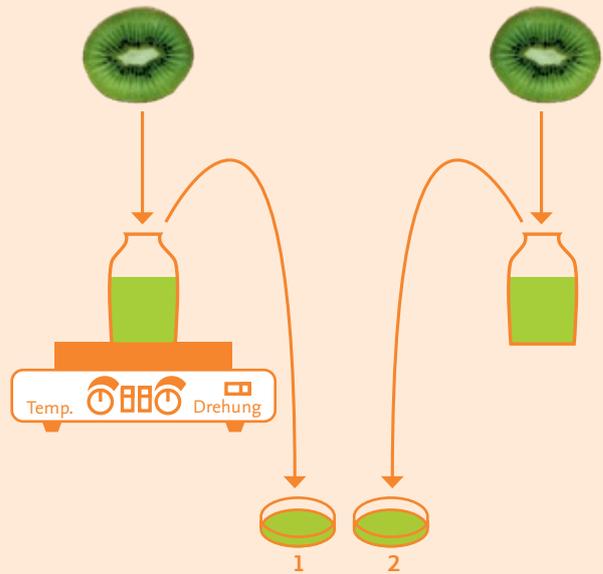
Alle lebenden Zellen enthalten Enzyme, die Proteine abbauen können (sogenannte Proteasen). Sie sind auch nach der Ernte noch längere Zeit aktiv. Ananas, Kiwi und Papaya enthalten besonders viel davon. In Kiwi (*Actinidia deliciosa*) ist es die Protease Actinidain, in Ananas das Bromelain (die Ananaspflanze gehört zur Familie der Bromelien).

Um Süßwaren, Nachspeisen oder Torten zu verfestigen, benutzt man oft Gelatine. Dieses geschmacksneutrale Eiweiß wird aus Kollagen hergestellt. Kollagen ist ein Struktureiweiß, das im tierischen Bindegewebe vorkommt. Gelatine löst sich in ca. 50 °C warmem Wasser. Beim Abkühlen bildet sie ein festes Gel. Die Eiweißketten der Gelatine, lange Molekülfäden, verwirren sich wie ein verfilztes Wollknäuel. Sie bilden eine Art Netzwerk, in das Wasser eingelagert wird. So entsteht eine schnittfeste Konsistenz. Proteasen können Gelatine abbauen: Sie spalten die Eiweißketten in kleinere Abschnitte. So wie ein in kurze Fäden zerschnittenes verwirrtes Wollknäuel auseinander fällt, so wird das Netzwerk der Eiweißketten zerstört. Wasser kann nicht mehr gehalten werden, die Masse verflüssigt sich.

Es ist also keine gute Idee, Desserts oder Torten, die frische Kiwi oder Ananas enthalten, mit Gelatine zu verfestigen. Entweder man blanchiert die Früchte vorher mit kochendem Wasser oder man verwendet Dosenfrüchte. Diese sind so hoch erhitzt worden, dass die fruchteigenen Enzyme inaktiviert sind. Alternativ nimmt man ein anderes Bindemittel als Gelatine, z. B. Stärke, Carrageen oder Agar, die man heute oft im Tortenguss findet.

Beim Erhitzen werden auch die Mikroorganismen inaktiviert. Darum können Konserven (oder Gläser) lange gelagert werden, ohne dass sich die Lebensmittel darin merklich verändern. Früher war diese Technik in Haushalten weit verbreitet: Das sogenannte Einwecken, das Erhitzen von Früchten oder Gemüse in Weckgläsern in einem kochenden Wasserbad.

Versuch 4.4 Enzymaktivität in Kiwi



Zuerst wird eine reife Kiwi püriert. Vom frischen Saft wird ein kleiner Teil kurz aufgekocht und dann abgekühlt. Nun gibt man zuerst etwas warme konzentrierte Gelatinemasse und dann vom aufgekochten Saft (1) bzw. vom frischen Saft (2) eine kleine Portion in je eine Schale und vermischt durch kurzes Schwenken. Dann vergleicht man, was beim Abkühlen passiert.

Was sehen und lernen wir?

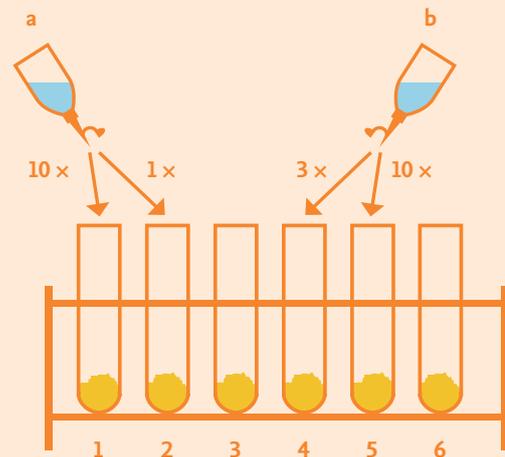
Die mit frischem Kiwisaft vermischte Gelatinemasse bleibt flüssig: Die enthaltenen aktiven Proteasen bauen die Eiweißketten der Gelatine ab. Im aufgekochtem Kiwisaft sind die Enzyme inaktiviert, daher erstarrt die Gelatinemasse nach kurzer Zeit.

Katalase in Kartoffeln

Im Stoffwechsel von lebenden Organismen treten zahlreiche Zwischenprodukte auf, so auch Peroxide. Die Prozesse sind gekoppelt, d. h. ein Produkt wird in einer Reaktion hergestellt und in einer anderen Reaktion wieder verbraucht (Metabolismus). Alle in Gegenwart von Sauerstoff lebensfähigen Zellen enthalten die für die Umsetzung von Peroxiden erforderlichen Enzyme. Besonders ausgeprägt sind sie in der Leber, in Hefe oder auch in Kartoffeln. Eine darin verbreitete Peroxidase ist das Enzym Katalase. Es katalysiert den Abbau des Zellgifts Wasserstoffperoxid zu Wasser und Sauerstoff ($2 \text{ H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O} + \text{O}_2$). Das Wasser entsteht dabei durch Reduktion, der Sauerstoff durch Oxidation des Wasserstoffperoxids. Es handelt sich um eine typische Redoxreaktion. Das pH-Optimum der Katalase liegt um pH 7 herum, also im neutralen Bereich. Kartoffeln eignen sich besonders gut für dieses Experiment. Sie enthalten nicht nur viel Katalase, sondern auch Inhaltsstoffe, die die Fähigkeit haben, Schaum zu stabilisieren. Bei der Zersetzung von Wasserstoffperoxid wird das Gas Sauerstoff gebildet. Dies zeigt sich durch Schaumbildung. Der Reaktionsverlauf lässt sich dadurch gut beobachten: je stärker der Ansatz schäumt, desto mehr Sauerstoff wird freigesetzt.

Versuch 4.5

Enzymaktivität in Kartoffeln



Eine frische Kartoffel wird fein gerieben. In fünf Reagenzgläser gibt man von den Raspeln jeweils einen Spatel voll. Zusätzlich kann man in ein sechstes Reagenzglas etwas gekochte Kartoffel geben. In alle Gläser wird etwas Wasser dazu gegeben. Dann stellt man durch Zugabe von wenigen Tropfen Salzsäure (a) bzw. Natronlauge (b) einen pH-Gradienten von pH 1–2 in Glas 1 über pH 3–4 in Glas 2, pH 7 in Glas 3, pH 8–9 in Glas 4 und pH 10–11 in Glas 5 ein. Glas 6 bleibt neutral. Man gibt in alle Gläser einen Spritzer Wasserstoffperoxid-Lösung und vergleicht, was passiert.

Was sehen und lernen wir?

Im neutralen Bereich (RG 3) ist die stärkste Aktivität, also Schaumbildung infolge Sauerstoffentwicklung, zu beobachten. Bei tieferem (RG 2) und höherem pH (RG 4) nimmt diese ab, im stark Säuren (RG 1) und stark Alkalischen (RG 5) passiert nichts mehr, ebenso wie in der gekochten Kartoffel (RG 6). Das Enzym ist inaktiviert. Enzyme können folglich durch pH-Änderung (z. B. durch Zusatz von Essig) oder durch Erhitzen inaktiviert werden.

Früchte können also wie alle pflanzlichen und tierischen Lebensmittel Enzyme enthalten, die auch noch nach Ernte/Gewinnung aktiv sind, und durch diese verändert werden.

Lässt sich die Obstreifung steuern?

Obst gehört – je nach Sorte – zu den mehr oder weniger leicht verderblichen Lebensmitteln. Darum wird es mitunter halbreif geerntet, damit es nicht überreif oder gar verdorben im Handel ankommt, insbesondere, wenn es aus Übersee kommt. So werden Bananen noch grün geerntet und in verschiedenen Reifestadien in den Geschäften angeboten.

Unreife Bananen sind grün, fest und nicht süß. Sie enthalten viel Stärke (s.u.). Im Verlauf der Reifung wird nun diese Stärke mithilfe von zelleigenen Enzymen, verschiedenen Amylasen, in kürzere Bruchstücke und auch in Glucose gespalten. Aus dem Energiespeicher Stärke wird beim Reifen also süßer Zucker. Dieser Prozess wird von anderen Umbauaktionen in der Banane begleitet, so dass diese weicher und die Schale gelb wird. Auch Aromastoffe entstehen.

Wenn wir einen kleinen Vorrat an noch grünen Bananen kaufen, sollten wir uns überlegen, wie bald wir diese essen wollen: Eine vielleicht gern am selben Tag, die letzte vielleicht erst in einer Woche. Es ist also nicht sinnvoll, wenn alle gleich schnell reifen. Wie kann man die Geschwindigkeit des Reifens steuern? Wir haben bereits gesehen, dass die Temperatur für die Geschwindigkeit von Reaktionen eine große Rolle spielt: Kühlen bremst, Wärme beschleunigt.

Nicht nur Wärme lässt Obst reifen. Es produziert auch sogenannte Phytohormone, z. B. Ethen („Ethylen“). Äpfel bilden besonders viel und regen damit andere Früchte zum vorzeitigen Reifen an. Daher reifen Bananen schneller, wenn sie mit Äpfeln zusammen lagern.

Die an der Reifung beteiligten Enzyme haben ein Temperaturoptimum. Je nach gewählter Temperatur verlaufen die biochemischen Reaktionen langsamer oder schneller. Um den Einfluss der Temperatur zu untersuchen, wird die Lagertemperatur der Bananen variiert. Alle anderen Faktoren müssen gleich sein! Nur so können wir bei einem so komplexen Vorgang wie der Reifung die Unterschiede auf die Temperatur zurückführen.

- Wir wählen Bananen mit gleicher Vorgeschichte, also am besten von einem Strunk.
- Da beim Kühlen im Kühlschrank nicht dieselbe Durchlüftung möglich ist wie bei Lagerung im Raum, stecken wir alle Bananen in gleich große Plastiktüten.
- Eine verpackte Banane lagern wir im Kühlschrank, eine bei Raumtemperatur, eine an einem warmen Ort (Heizung); die Temperaturen sollten immer gemessen werden.
- Der Reifeprozess wird über den Stärkenachweis und die Fehling-Reaktion auf reduzierende Zucker verfolgt.

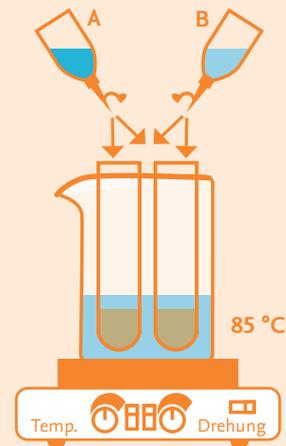
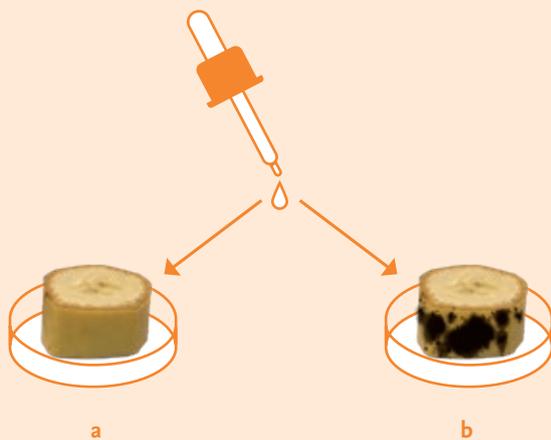
Fazit: Wie schnell Obst nachreift, hängt von den Lagerbedingungen ab. Manche Sorten geben das Reifegas Ethylen ab, dadurch reift auch umliegendes Obst schneller. Also Obst immer gut belüftet lagern! Und Früchte aus südlichen Ländern nicht im Kühlschrank aufbewahren, sie vertragen das oft nicht, wie das Beispiel der Banane zeigt (siehe Kapitel 7).

Stärke

Grüne Pflanzen besitzen im Gegensatz zu Tieren und Menschen die besondere Fähigkeit, quasi von Luft, Sonne und Wasser zu leben. Sie produzieren mit Hilfe der Sonnenenergie aus Kohlenstoffdioxid und Wasser Glucose, einen Zucker (Fotosynthese). Den kann die Zelle aber nicht in beliebigen Mengen speichern, weil er Wasser in die Zelle saugen (Osmose, siehe Versuch 3.4) und diese irgendwann platzen würde. Daher wird dieser Zucker, soweit er nicht als Baustoff für neue Zellen oder Folgeprodukte dient, in Form der osmotisch nicht wirksamen Stärke gelagert, einem Riesenmolekül aus lauter Glucosebausteinen.

Versuch 4.6

Bananenreifung



Um dieses Experiment auswerten zu können, muss man sowohl den Stärkenachweis mit Iodlösung als auch den Glucosenachweis mit Fehling kennen. Dies kann in einem Vorversuch erfolgen.

Um die Temperaturabhängigkeit der Reifung zu untersuchen, werden einige Tage vor Versuchsdurchführung Bananen eines Strunks jeweils in einer Plastiktüte verpackt bei unterschiedlichen Temperaturen gelagert, z. B. im Kühlschrank, in der Küche und in Heizungs-nähe. In einer vereinfachten Variante können direkt eine unreife und eine reife Banane eingesetzt werden.

Anschließend wird der Reifegrad der Früchte verglichen. Dazu werden ein Stärkenachweis mit Iod und ein Zuckernachweis mit Fehling durchgeführt.

Was sehen und lernen wir?

Bei unreifen Bananen ist der Stärkenachweis (Blauviolett-Färbung) deutlich positiv. Sie enthalten viel Stärke. Der Zuckernachweis ist dagegen negativ bis schwach positiv, es ist noch wenig Zucker vorhanden.

Bei reifen Bananen ist es umgekehrt. Je wärmer die Früchte gelagert wurden, desto weniger Stärke enthalten sie. Dies zeigt sich durch abnehmende Blauviolett-Färbung beim Stärkenachweis. Im Gegenzug steigt der Zuckergehalt, die Färbung bei Fehling-Nachweis wird intensiver orange-rot.

Die Stärke wird während der Reifung zu Glucose umgesetzt. Dies geschieht durch fruchteigene Amylasen¹. Die Banane wird weicher, aromatischer und vor allem süßer. Das Ergebnis kann durch Riechen und Schmecken, auch als sensorischen Prüfung bezeichnet, überprüft werden.

Im Kühlschrank dauert die Reifung also länger. Allerdings verfärbt sich die Schale dort durch die Kälte bräunlich. Die braune Farbe zeigt aber weder Reife noch Verderb an. In ihrem Inneren kann eine im Kühlschrank gelagerte Banane trotz der braunen Farbe kaum gereift, immer noch fest und kaum süß sein. Also immer erst testen!

¹ Soll der Verlauf des Stärkeabbaus auch über die Zwischenstufen, die sogenannten Dextrine, genauer untersucht werden, kann dies mit Amylasen aus dem Handel erfolgen. Hierzu sind verschieden Versuchsarrangements, z. B. zeitlicher Verlauf oder Temperaturabhängigkeit des Abbaus möglich.

Die Vorlieben der Hefe: Temperatur und pH

Backhefe ist ein Mikroorganismus, der bei der Herstellung verschiedener Lebensmittel eingesetzt wird. Sie eignet sich sehr gut als Modellorganismus, weil sie leicht beschaffbar und einfach zu kultivieren ist. Außerdem ist sie im Umgang ungefährlich, anders als die typischen Lebensmittelverderber wie Salmonellen oder diverse Schimmelpilze. In diesem Versuch soll modellhaft am Beispiel des Hefepilzes gezeigt werden, dass auch Mikroorganismen durch Säure oder erhöhte Temperatur inaktiviert werden können.

Wer schon einmal einen Hefeteig hergestellt hat, weiß, dass man diesen vor dem Backen erst einmal „gehen“ lassen muss. „Gehen lassen“ bedeutet, dass die Hefe gärt. Das Teigvolumen nimmt deutlich zu, und zwar durch von der Hefe produziertes Kohlenstoffdioxid, das den Kuchen locker macht. Außerdem vermehrt sich die Hefe mittels Knospung.

Die beste Temperatur hierfür liegt bei etwa 30–40 °C. Unterhalb von 10 °C sind die Stoffwechselprozesse bereits so langsam, dass man die Hefe als inaktiv bezeichnet. Durch Wärmezufuhr kann sie aber wieder aktiviert werden. Oberhalb von 50 °C beginnt die Backhefe abzusterben. Im Fall des Backens mit Hefe will man natürlich, dass sie gut arbeitet. Hefe gibt es frisch und als Trockenhefe. Frisch hält sie sich im Kühlschrank etwa 2 Wochen. Trockenhefe hält sich aufgrund des geringen Wassergehalts monatelang.

Hefe ist im neutralen Bereich, etwa bei pH 6–7 am aktivsten. Wenn bei einem Rezept für Hefeteig auch Zitronensaft als Zutat angegeben ist, darf dieser deshalb erst ganz zum Schluss zugefügt werden. Die Temperaturoptima und Inaktivierungsgrenzen sind bei verschiedenen Mikroorganismen, die LM verderben könnten, unterschiedlich. Der Versuch zeigt also nur qualitativ, wie man ein LM schützen kann. Ebenso kann man manche Mikroorganismen durch Säure inaktivieren. Viele Mikroorganismen, die Obst befallen, sind dagegen aber relativ tolerant, da Obst i. d. R. einen sauren pH-Wert hat. Man denke an Citrusfrüchte.

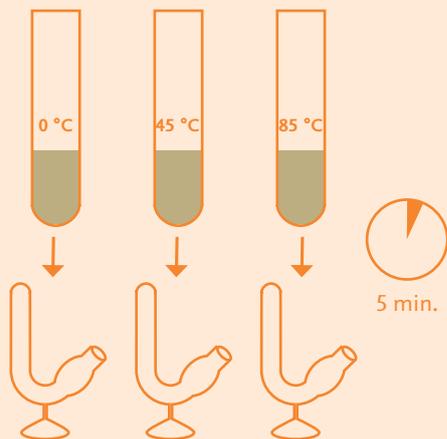
Backhefe

Backhefe (*Saccharomyces cerevisiae*) ist ein fakultativ anaerober Pilz. Bei Zugang von ausreichend Sauerstoff (aerobe Bedingungen) baut er Zucker enzymatisch zu Kohlenstoffdioxid und Wasser ab. Unter anaeroben Bedingungen vergärt die Hefe Zucker zu CO₂ und Ethanol. Dieser Prozess ist beim Backen der entscheidende. Der Alkohol verdampft beim Backen.

Der Haushaltszucker Saccharose kann nicht direkt abgebaut werden, sondern muss zunächst in seine Bausteine Glucose und Fructose gespalten werden. Dazu besitzt Hefe das Enzym Invertase (siehe Versuch 4.2). Ist der Zucker verbraucht, liefert die Stärke im Mehl durch enzymatischen Abbau Glucose (s. Versuch 4.6).

Versuch 4.7

Hefeaktivität

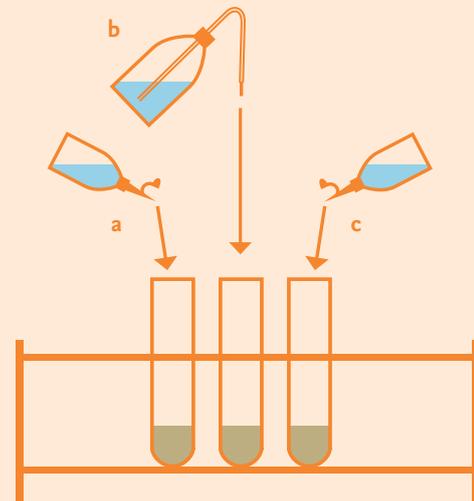


A.

Im ersten Versuchsteil wird die Temperaturabhängigkeit der Hefegärung untersucht. Dazu werden drei Ansätze einer zuckerhaltigen Hefesuspension fünf Minuten so temperiert, dass die Lösungen Temperaturen von $<10^\circ$, ca. 35° bzw. $>70^\circ\text{C}$ annehmen (z. B. in Wasserbädern mit 5°C , 45°C und 85°C). Danach wird die Aktivität der Hefe anhand der Menge des gebildeten Kohlendioxids verglichen. Das entstehende Kohlenstoffdioxid sammelt sich oben im Glas², sodass einfach die Länge der Gasblase gemessen werden kann. Nach der ersten Auswertung lässt man die Ansätze, die zunächst bei 5°C bzw. bei 85°C temperiert wurden, noch einige Minuten bei 45°C stehen und vergleicht dann wieder.

Was sehen und lernen wir?

In der bei 45°C temperierten Lösung bildet sich schon nach kurzer Zeit Schaum, der anzeigt, dass die Kohlenstoffdioxidproduktion läuft. Die Hefe ist sehr aktiv. Weder bei 5°C noch bei 85°C ist Schaumbildung zu beobachten, die Hefe arbeitet also nicht. Wird der kalte Ansatz dann erwärmt, wird die Hefe aktiviert. Die Gasproduktion beginnt. Wird der heiße Ansatz gekühlt, lässt sich die Hefe nicht mehr aktivieren. Die Hefe ist durch die hohe Temperatur irreversibel zerstört worden.



B.

Die pH-Abhängigkeit wird im zweiten Versuchsteil untersucht. Wieder wird die zuckerhaltige Hefesuspension auf drei Ansätze verteilt. Ein Ansatz wird direkt verwendet, dem zweiten gibt man einige Tropfen Salzsäure (a) zu, dem dritten einige Tropfen Natronlauge (c), so dass die pH-Werte bei ca. 4 bzw. ca. 9 liegen. Dann werden die drei Ansätze einige Minuten bei ca. 45°C temperiert. Anschließend wird die Aktivität der Hefe wieder anhand des gebildeten Kohlenstoffdioxids verglichen.

Was sehen und lernen wir?

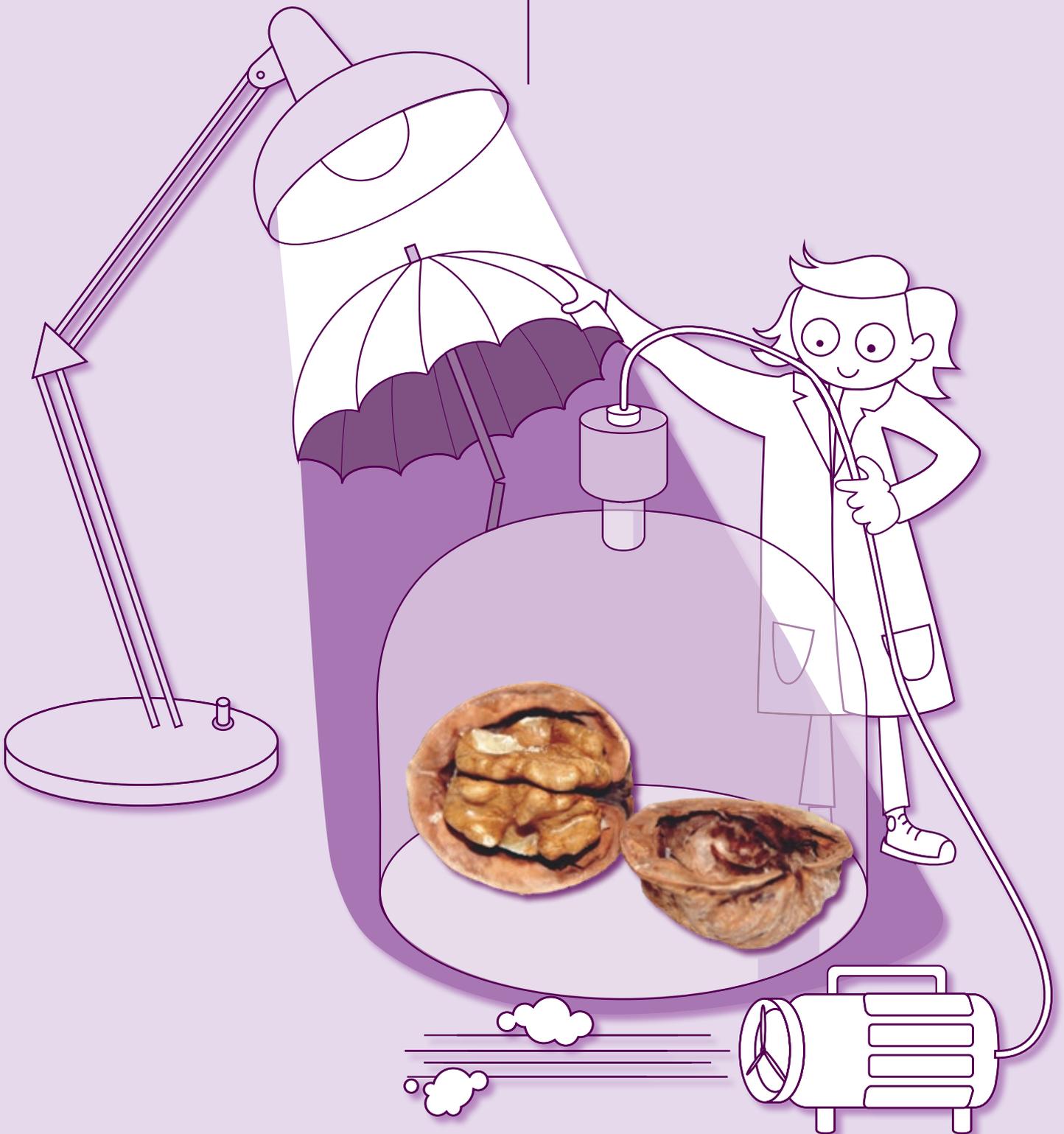
Im neutralen Bereich bildet sich schnell Schaum, d. h. die Gärung läuft. In den sauren bzw. alkalischen Ansätzen ist kaum Schaumbildung zu erkennen. Die Hefe ist wenig aktiv. Liegen die pH-Werte unter 3 bzw. über 10, wird die Hefe sogar flockig. Dies zeigt an, dass sie so stark verändert wurde, dass sie abstirbt.

Die lebendige Aktivität, die beim Backen mit Hefe erwünscht ist, möchte man bei anderen Mikroorganismen wie Schimmelpilzen und gefährlichen Bakterien verhindern: Dazu kann man v. a. die Inaktivierung durch Erhitzen nutzen, mitunter auch Ansäuern. Alkalische LM können wir nicht essen.

² Sogenannte Einhorn-Gärröhrchen (s. Abbildung) sind ideal, der Versuch kann aber auch in umgedrehten Reagenzgläsern durchgeführt werden.

5 Tut das immer gut?

Licht und Luft



Zu diesem Kapitel gehören folgende Versuche:

5.1 Riboflavin (Vitamin B₂)

Nachweis von Riboflavin, Zersetzung im Licht, Lichtgeschmack von Milch
Klassenstufen 7/8, 9/10, Sek. II

5.2 Wurst

Vergrauung durch Licht, verschiedene Folien im Vergleich
Klassenstufen 7/8, 9/10, Sek. II

5.3 Obstbräunung

Reaktion mit Luftsauerstoff, Vitamin C als Antioxidans
Klassenstufen 5/6, 7/8, 9/10, Sek. II

5.4 Carotin

Abbau im Licht, Einfluss von Eisenionen auf die Abbaugeschwindigkeit,
Lichtschutz durch Carotin
Klassenstufen 9/10, Sek. II

5.5 Fettoxidation

Reaktivität ungesättigter Fettsäuren, Lagerung von pflanzlichen Ölen
Klassenstufen 9/10, Sek. II

5 Tut das immer gut?

Licht und Luft

Licht und Luft – ein schönes Paar, auf das wir uns im Frühjahr freuen. Endlich wieder hell, endlich nicht mehr eingemummelt an die frische Luft! Auch die Pflanzen brauchen Licht. Aber mögen das auch alle Lebensmittel (LM)?

Licht und Luft gehören irgendwie zusammen. Was offen an der Luft steht, ist auch dem Licht ausgesetzt. Auch Licht- und Sauerstoffempfindlichkeit gehen oft miteinander einher. Darum behandeln wir diese beiden Parameter gemeinsam.

Was ist Licht?

Wie im Kapitel über Temperatur erläutert, werden viele Reaktionen durch Wärme beschleunigt. Licht ist wie auch Wärme Energie in Form elektromagnetischer Strahlung, nur mit anderer Wellenlänge. Das Sonnenlicht enthält neben dem sichtbaren Licht auch Anteile der nicht sichtbaren UV-Strahlung, deren Wirkung wir aber spüren, wenn wir uns einen Sonnenbrand zuziehen.

Manche Reaktionen nutzen Licht als Energiequelle. Am bekanntesten ist die Photosynthese der grünen Pflanzen. Hier fungieren das Chlorophyll, das Blattgrün, aber auch andere Farbstoffe wie die orange-roten Carotinoide als eine Art Lichtsammelsystem. In einem komplexen Prozess werden mit Hilfe dieser Energie in den pflanzlichen Zellen aus Wasser und Kohlenstoffdioxid Zuckermoleküle aufgebaut. Reaktionen, die die Lichtenergie nutzen, nennt man fotochemische Reaktionen. In LM kann Licht chemische Reaktionen auslösen. Diese führen oft zu Veränderungen von Farbe und Geruch.

Reaktionen mit Luftsauerstoff

Diese Veränderungen gehen meist mit Oxidationen einher. Da kommt also der Luftsauerstoff ins Spiel. Zwar reagiert dieser unter Normalbedingungen nicht ohne weiteres mit anderen Molekülen, aber neben Licht kann auch die Anwesenheit von Katalysatoren seine Reaktivität erhöhen. Oxidationen haben immer etwas mit der Übertragung von Elektronen zu tun. Ein Reaktionspartner gibt diese ab, ein anderer nimmt sie auf. Da diese beiden Reaktionen immer zusammengehören, spricht man auch von einer Redoxreaktion.

Und diese Elektronen vom einen zum anderen übertragen – das können bestimmte Metalle sehr gut, z. B. Eisen (Fe) und Kupfer (Cu), die selbst in ihren Salzen in zwei Oxidationsstufen vorkommen, zwischen denen sie schnell hin und her springen können. Schon Spuren können ausreichen. Aber auch in LM enthaltene Enzyme können solche Oxidationen unterstützen. Sie enthalten i. d. R. auch Metallionen wie Eisen und Kupfer.

Lebensmittelverderb durch Licht und Luft

Oxidative Prozesse sind typisch für Abbaureaktionen von Stoffen, so auch von Fetten und Carotinoiden. Bei farbigen Stoffen geht dies mit Verlust oder Veränderung der Farbe einher, so dass solche Reaktionen gut visuell verfolgt werden können.

Oft entstehen auch Geruchsstoffe, die man z. B. bei „gealtertem“ Öl sensorisch wahrnehmen kann. Weil diese Veränderungen als Zeichen für beginnenden Verderb interpretiert werden können, landen diese Produkte dann schneller mal im Abfall.

Da wir in der Regel nicht im Dunkeln essen und unsere LM während einer Mahlzeit recht lange auf dem Tisch oder auf einem Büfett an der Luft stehen können, lohnt es sich, einmal zu gucken, welche LM für fotochemische und oxidative Reaktionen besonders empfänglich sind.

Nicht ohne Grund sind viele LM so verpackt, dass sie vor Licht und Luft geschützt sind. So ist gemahlener Kaffee meist unter Schutzgas oder vakuumverpackt. Speiseöle, die die wertvollen mehrfach ungesättigten Fettsäuren enthalten (man nennt diese „omega-Fettsäuren“), werden in braunen Flaschen abgefüllt, weil gerade das „ungesättigt sein“ Appetit auf Licht macht, was dann zu chemischen Veränderungen dieser Öle führt.

Durch einen angemessenen Umgang im Haushalt können Veränderungen im LM jedoch verlangsamt oder verhindert werden. Dazu zählt auch, dass luftdichte und in der Größe passende Verpackungen bzw. Behälter gewählt werden, damit der freie Luftraum über dem LM möglichst klein ist. Wegen ihrer Luftempfindlichkeit vakuumverpackte LM sollten nach Öffnen wieder luftdicht verschlossen werden.

Redoxreaktion

Eine Redoxreaktion besteht aus zwei Teilreaktionen, der Reduktion und der Oxidation. Ein Reaktionspartner gibt Elektronen ab – er wird oxidiert. Ein zweiter Reaktionspartner nimmt die Elektronen auf (direkt oder auf Umwegen) – er wird reduziert. Man spricht oft nur von Oxidation oder nur von Reduktion, je nachdem, welcher Reaktionspartner im Mittelpunkt steht.

Riboflavin – nur ein gelber Farbstoff?

Bei Riboflavin handelt es sich um ein wasserlösliches Vitamin, das Vitamin B₂. Wegen seiner gelben Farbe ist es auch unter der Nummer E101 als Lebensmittelfarbstoff zugelassen. Natürlicherweise kommt Riboflavin u.a. in Leber, Fisch und Milchprodukten, aber auch in verschiedenen Gemüsesorten wie Spinat oder Brokkoli vor. Wegen seines Vorkommens in Milch wird es auch Lactoflavin genannt.

Riboflavin zeigt eine besondere Eigenschaft: Es leuchtet nach Bestrahlung mit farblosem UV-Licht. Man nennt diese seltene Eigenschaft von Stoffen Fluoreszenz. Wir werden sie in unseren Versuchen nutzen, um das Riboflavin zu erkennen.

Als Farbstoff wird Riboflavin vorwiegend in Süßwaren und Nachspeisen eingesetzt, z. B. im Vanillepuddingpulver. Gegen Sauerstoff und Säure ist Riboflavin relativ stabil, durch Kochen wird es teilweise zersetzt. Allerdings ist Riboflavin stark lichtempfindlich. Dabei wirkt es auch als Fotosensibilisator, d. h. es nimmt Lichtenergie auf und gibt diese an andere Moleküle weiter, die dann wiederum reaktiver werden.

Dies lässt sich beispielsweise gut an Milch verfolgen. Steht die Milch im Licht, setzt das in ihr enthaltene Riboflavin als Fotosensibilisator den Abbau der schwefelhaltigen Aminosäure Methionin in Gang. Es entsteht ein Abbauprodukt (Dimethyldisulfid), das man schon in sehr geringen Mengen riecht und schmeckt. Diese Veränderung bezeichnet man daher als „Lichtgeschmack“ der Milch. Daher sollten Milchprodukte lichtgeschützt aufbewahrt werden. Sonst verschwindet nicht nur das Vitamin B₂, sondern auch das typische Aroma frischer Milch. Bereits einige Minuten Sonneneinstrahlung können ausreichen.

Einen Lichtgeschmack, also die Aromaveränderung durch Licht, gibt es auch bei anderen Produkten wie z. B. hopfenhaltigen Bieren oder Wein und Sekt. Wegen der Aromaveränderung spricht man auch vom „Käseln“.

Die Fluoreszenz von Riboflavin im UV-Licht wird auch in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie zur Überprüfung von Reinigungsprozessen genutzt. Man spült das Gerät mit einer Riboflavin-haltigen Testlösung und reinigt es dann. Bei erfolgreicher Reinigung darf danach im UV-Licht keine Fluoreszenz mehr erkennbar sein.

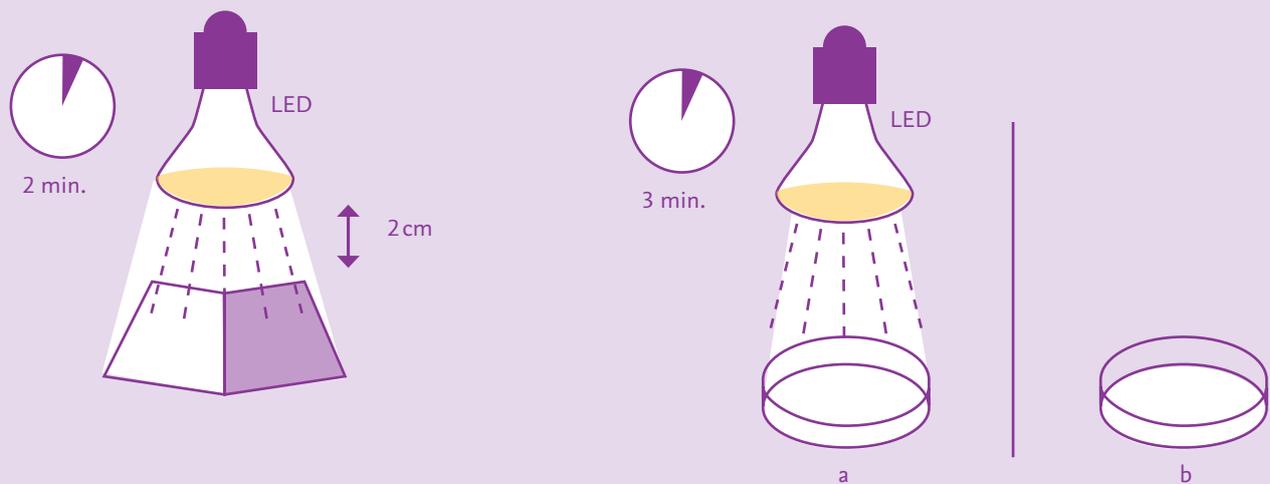
Fluoreszenz

Wird ein Stoff mit Licht bestrahlt und nimmt dabei Lichtenergie auf, werden Elektronen angeregt. Diese geben die aufgenommene Energie meist in Form von nicht sichtbarer Wärme wieder ab. Manche Moleküle besitzen jedoch die Eigenschaft, einen Teil dieser Energie als Licht abzugeben. Das bezeichnet man als Fluoreszenz. Das abgestrahlte Licht hat eine längere Wellenlänge als das eingestrahlte und daher eine andere Farbe.

Versuch 5.1

Riboflavin als Fotosensibilisator

Dieser Versuch soll die Lichtempfindlichkeit von Riboflavin zeigen. Als Lichtquelle verwenden wir eine LED-Leuchte, die keine Wärme entwickelt. So können wir ausschließen, dass es sich um eine thermische Reaktion handelt.



A. Abbau von Riboflavin im Licht

Als Riboflavinquelle werden Brausetabletten der Geschmacksrichtung Citrus eingesetzt, die mit Riboflavin gefärbt sind. Nach dem Auflösen einer Brausetablette in Wasser erhalten wir eine hellgelb gefärbte Flüssigkeit. Saugt man etwas davon mit einem Stück Filterpapier auf und beleuchtet dieses mit UV-Licht, sieht man die intensiv gelb-grüne Fluoreszenz des Riboflavins.

Man deckt das Filterpapier zur Hälfte mit Alufolie ab und beleuchtet es ca. 2 min mit einer direkt darüber angebrachten Leuchte (z. B. LED 10 W, ca. 800 Lumen). Anschließend entfernt man die Alufolie und vergleicht die Papierhälften im Tages- und im UV-Licht.

Was sehen und lernen wir?

Im Tageslicht ist die nicht beleuchtete Hälfte immer noch hellgelb, die beleuchtete erscheint farblos. Unter UV-Licht erhält man das entsprechende Ergebnis: die beleuchtete Hälfte zeigt keine Fluoreszenz mehr, die unbeleuchtete fluoresziert jedoch weiterhin. Durch das Licht der LED-Leuchte wurde also das Riboflavin zerstört.

B. Lichtgeschmack von Milch

In zwei flache Schalen gibt man jeweils so viel frische Milch, dass der Boden eben bedeckt ist. Eine Schale wird unter eine LED-Leuchte oder ins Sonnenlicht gestellt und für ca. 3 min bestrahlt, die zweite wird lichtgeschützt abgedeckt. Anschließend werden Geruch und Geschmack der beiden Milchproben sowie ihr Aussehen im UV-Licht verglichen.

Was sehen und lernen wir?

Die nicht beleuchtete Milch fluoresziert im UV-Licht, die bestrahlte nicht mehr. Gleichzeitig hat sich ihr Aroma verändert, der typische Frischgeschmack und -geruch ist verloren.

Milch verändert unter Lichteinstrahlung ihren Geschmack durch eine fotochemische Reaktion. Außerdem verliert sie an Vitamin B₂. Milch soll man daher nicht länger als nötig dem Licht aussetzen.

Licht kann also Veränderungen in Lebensmitteln auslösen und so sowohl das Aussehen als auch das Aroma verändern. Darum sollten Lebensmittel möglichst lichtgeschützt aufbewahrt werden. Für lichtempfindliche Lebensmittel werden daher üblicherweise lichtundurchlässige Verpackungen verwendet.

Wurst – aus appetitlich frisch wird schnell vergraut

Wenn man an einer Frischwursttheke z. B. ein paar Scheiben Mortadella haben möchte, kann man manchmal beobachten, dass das Verkaufspersonal die oberste Scheibe vom Stapel zur Seite legt. Wenn dann die gewünschte Portion abgenommen ist, wird diese Scheibe wieder auf den Stapel gelegt. Warum machen Fleischverkäufer*innen das?

Bestimmte Wurstsorten wie Mortadella, Jagdwurst, Wiener Würstchen, Fleischkäse u. ä., die sogenannten Brühwurstprodukte, sind anfällig gegen Vergrauen. Die zunächst rosafarbene Mortadella nimmt allmählich eine weniger appetitlich aussehende leicht graue bis bräunlich-graue Farbe an. Man mag das Vergrauen als Qualitätsverlust wahrnehmen, schließlich isst das Auge mit, aber verdorben ist die Wurst deshalb nicht.

Normalerweise wird Fleisch grau, wenn es erhitzt wird. Das kennt man von gekochtem Fleisch. Der rote Blutfarbstoff im Fleisch, das Myoglobin, wird durch Hitze zerstört. Deswegen wird Brühwurstprodukten Nitritpökelsalz zugegeben, dann bleibt die typische rosa Farbe erhalten. Diesen Vorgang nennt man auch „Umröten“.

Dieser umgerötete Blutfarbstoff ist jedoch auch nicht völlig stabil. Er wird durch Luftsauerstoff allmählich oxidiert und dabei zerstört. Das Verblassen der rosa Fleischfarbe beginnt bereits in der Auslage der Wursttheke oder nach dem Öffnen der Verpackung zu Hause. Insbesondere blaues und UV-Licht beschleunigen den Vorgang erheblich. Darum sollten die Waren in der Wursttheke möglichst wenig beleuchtet werden. Die oberste Scheibe schützt die anderen Scheiben darunter vor Licht.

Im SB-Bereich werden besondere Verpackungen verwendet, die vor dem Vergrauen schützen sollen. Transparente Verpackungen können z. B. spezielle Filter enthalten, die den kritischen Lichtanteil vom Produkt fernhalten. Verbundfolien, also mehrschichtige Verpackungsfolien, enthalten eine Sauerstoffbarriere. Die Produkte werden entweder vakuumverpackt oder die Verpackungen enthalten anstelle von Luft ein Schutzgas. Dieser Schutz endet allerdings,

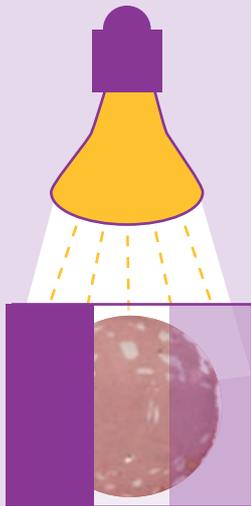
wenn die Packung geöffnet wird. Es hilft dann nicht, die Wurst zu Hause in Frischhaltefolie zu packen. Frischhaltefolie besteht – ebenso wie Gefrierbeutel – aus Polyethylen. Diese Folien sind durchlässig für Sauerstoff (Versuch 6.3). Unabhängig vom Vergrauen besteht die Gefahr des mikrobiellen Verderbs. Er macht sich durch eine schmierig werdende Oberfläche und einen abweichenden Geruch bemerkbar. Am besten wird Wurstaufschnitt nach dem Öffnen in Wurstpapier eingewickelt und in einem verschließbaren Behälter auf dem Boden direkt über dem Gemüsefach im Kühlschrank aufbewahrt. Dort ist es am kältesten (s. Kapitel 7). Brühwurstprodukte sollten am besten zügig verbraucht werden.

Nitritpökelsalz

Bei Nitritpökelsalz handelt es sich um ein Gemisch aus unserem normalen Speisesalz (Natriumchlorid) und Natrium- oder Kaliumnitrit (E249, E250). Es erhält bei der Wurstherstellung die rote Fleischfarbe beim Erhitzen, weil der rote Blutfarbstoff durch die Zugabe von Nitritpökelsalz in einen hitzestabilen roten Farbstoff (Nitrosomyoglobin) umgewandelt wird. Außerdem hemmt es bestimmte unerwünschte Mikroorganismen und verlängert so die Haltbarkeit von Fleischerzeugnissen. Gleichzeitig verleiht es den Produkten ein typisches Pökelaroma.

Versuch 5.2

Was lässt Wurst grau werden?



Von einer frischen Scheibe Brühwurst wird ein Teil mit einem Stück Frischhaltefolie und ein Teil lichtdicht (z. B. mit Alufolie oder schwarzem Papier) abgedeckt, ein Teil der Oberfläche bleibt frei. Dann wird die Wurstscheibe für einige Minuten intensiv beleuchtet. Die erforderliche Zeit variiert je nach Lichtquelle und Wurstsorte, wärmeabgebende Lichtquellen führen schneller zum Ergebnis als LED-Leuchten. Anschließend vergleicht man die Oberflächen mit einer unbeleuchteten Wurstscheibe.

Was sehen und lernen wir?

Die belichteten Bereiche, also sowohl der nicht abgedeckte als auch der mit Frischhaltefolie abgedeckte Bereich, haben sich bräunlich-grau verfärbt. Der nicht belichtete Bereich hat sich dagegen nicht verändert, er zeigt weiterhin die typische Rosafärbung. Licht trägt folglich maßgeblich zum Vergrauen bei. Frischhaltefolie schützt nicht, da sie nicht nur das Licht, sondern auch den ebenfalls beteiligten Sauerstoff durchlässt.

Fleisch- und Wurstprodukte sollte man in licht- und luftundurchlässigen Behältern aufbewahren. Der Luftraum sollte möglichst gering, d. h. der Behälter möglichst vollständig gefüllt sein.

Wie Obstsalat länger frisch aussieht

Warum ist bei Obstsalat-Rezepten immer auch Zitronensaft angegeben? Zitronen schmecken doch so sauer. Hat das einen bestimmten Grund? Diese Fragen kann ein einfaches Experiment beantworten.

Steht Obstsalat eine Weile offen an der Luft, sieht er nach einiger Zeit weniger appetitlich aus. Die Apfel- und Birnenstückchen haben sich braun verfärbt. Solange das Obst intakt war, ist nichts passiert. Liegt es also an der Luft? Beim Schneiden oder Raspeln von Obst und Gemüse werden die Zellen verletzt, so dass das Zellinnere mit Luft in Kontakt kommt. Je feiner das Obst zerkleinert wird, desto größer ist die Kontaktfläche und desto intensiver der Kontakt. Zellinhaltsstoffe reagieren dann mit dem Luftsauerstoff in mehreren Stufen bis hin zu braun gefärbten Produkten. Es handelt sich um eine Redoxreaktion (siehe S. 55). Da diese Verfärbung durch zelleigene Enzyme (sogenannte Phenoloxidasen) katalysiert wird, spricht man bei diesem Prozess von der enzymatischen Bräunung. Die die braune Farbe verursachenden, neu entstandenen Stoffe sind unbedenklich und verändern auch den Geschmack nicht. Als Qualitätsverlust kann man eher die sich allmählich bemerkbar machende physikalische Veränderung der Oberfläche einordnen, z. B. der Verlust an Zellspannung und Feuchtigkeit.

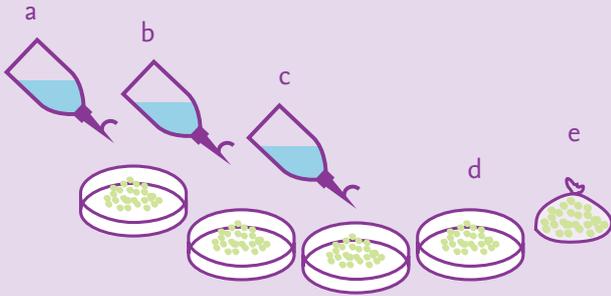
Wird der Obstsalat mit Zitronensaft angemacht, lässt sich das Braunwerden länger verzögern. Liegt das an der Säure oder bringt die Zitrone noch mehr mit? Früchte enthalten nicht nur verschiedene Säuren, sondern auch Vitamin C. Vitamin C, genauer gesagt Ascorbinsäure, ist zwar ebenfalls eine Säure, diese hat aber noch eine andere, entscheidendere Eigenschaft. Ascorbinsäure wird leicht oxidiert. Als Antioxidans schützt sie so vor Bräunungsreaktionen. Sie opfert sich gewissermaßen und bewahrt so andere Inhaltsstoffe vor der Oxidation. Allerdings wird sie dabei auch verbraucht. Wenn das Vitamin C im Oberflächenbereich zur Neige gegangen ist, wird die Frucht schließlich doch braun. Zitronen enthalten besonders viel Vitamin C, sie verhindern daher die Bräunungsreaktionen besonders effektiv.

Antioxidantien

Aufgrund seiner antioxidativen Wirkung wird Ascorbinsäure auch als Lebensmittelzusatzstoff verwendet. Es gibt eine Vielzahl von zugelassenen Antioxidantien, die Lebensmitteln zugegeben werden dürfen. Dazu gehören sowohl Substanzen natürlichen Ursprungs wie Vitamin C (Ascorbinsäure, E300–304) oder Vitamin E (Tocopherol, E306–309) als auch künstliche. Sie reagieren selbst mit dem Sauerstoff, fangen ihn also ab, und verhindern so Veränderungen an Lebensmittelinhaltsstoffen. Ihre Verwendung muss auf der Zutatenliste angegeben werden.

Versuch 5.3

Was verhindert, dass Obst braun wird?



Ein Apfel wird mit einer Reibe grob zerrieben. Die Apfelraspeln werden anschließend auf vier kleine Schälchen verteilt. In drei der Schalen gibt man jeweils einen Spritzer von Zitronensäure (a), Vitamin C-Lösung (b) bzw. Zitronensaft (c). Die vierte Schale (d) dient als Vergleich. Eine fünfte Portion wird in ein Stück Frischhaltefolie fest eingewickelt (e), sodass keine Luft eingeschlossen ist. Dann lässt man die Proben einige Minuten stehen und beobachtet, was passiert.

Was sehen und lernen wir?

Die Vergleichsprobe (d) ohne Zusatz färbt sich nach einigen Minuten braun. Wie schnell dies passiert, hängt von der Apfelsorte und dem Reifezustand ab, da die Äpfel selbst unterschiedlich viel Antioxidantien wie Vitamin C mitbringen. Die in Frischhaltefolie eingewickelten Raspeln werden ebenfalls braun. Auch die Probe mit Zitronensäure (a) wird braun, allerdings etwas langsamer. Die Apfelraspeln mit Zitronensaft (c) und mit Vitamin C-Lösung (b) bleiben am längsten hell.

Ohne Schutz bräunen zerstörte Apfelzellen (Apfelschnittflächen) an der Luft schnell. Haushaltsfolie lässt den Sauerstoff ebenfalls durch. Säure verzögert infolge der pH-Änderung den enzymatischen Prozess etwas (siehe Versuch 4.5), weil sich die Aktivität des Enzyms verringert, das für die Bräunung verantwortlich ist. Ascorbinsäure – allein oder als Bestandteil von Zitronensaft – verzögert die Bräunung durch ihre antioxidative Wirkung stark.

Wie verpackt man geschnittenes Obst nun am besten? Geschnittene Äpfel und Birnen sollte man luftdicht verpacken oder mit Zitronensaft beträufeln. Bräunung zeigt keinen Verderb an. Man kann die braunen Stellen problemlos essen. Macht einmal die Augen zu: Dann merkt man keinen Unterschied.

Damit vorhandene Ascorbinsäure nicht vorschnell oxidiert wird, sollten Lebensmittel, die gegen Sauerstoff empfindlich sind, am besten luftdicht in einem geschlossenen Gefäß verpackt werden. Das Einwickeln in Folie ist nicht zu empfehlen. Die meisten Frischhaltefolien bestehen aus Polyethylen und sind sauerstoffdurchlässig, Alufolie ist für säurehaltige Lebensmittel wie Obst nicht geeignet (siehe Versuch 6.2).

Carotinoide und Fette

Was haben Carotinoide (wir nennen sie im Folgenden der Einfachheit halber Carotine) und Fette gemeinsam? Die gelb-orange-roten Farbstoffe aus der Gruppe der Carotine, die z. B. in Möhren, Tomaten oder Paprikaschoten vorkommen, sind langkettige Kohlenwasserstoffe mit unterschiedlichen Seitengruppen. Als Beispiel sei die Struktur seines prominentesten Vertreters, des β -Carotins, gezeigt (Abb. 5.1).

In Fettmolekülen sind drei langkettige Carbonsäuren an ein Glycerinmolekül (ein dreiwertiger Alkohol) geknüpft. Carotine haben mit ihren ungesättigten Kohlenwasserstoffketten also eine ähnliche Struktur wie Fette und daher auch ähnliche Eigenschaften. So lösen sie sich besser in Öl als in Wasser, das kann man mit etwas geriebener Möhre leicht selbst testen (Merksatz: Ähnliches löst sich in Ähnlichem).

Als Begleitstoffe in Speiseölen haben Carotine auch eine Schutzfunktion für ungesättigte Fettsäuren. Die Natur macht es uns also vor: Pflanzen schützen sich selbst vor einem Übermaß an Lichtenergie durch bestimmte Schutzstoffe, z. B. durch Carotine. Diese können reaktiven Sauerstoff abfangen, d. h. sie reagieren selbst damit und schützen so Fette oder andere Inhaltsstoffe.

Werden Carotine oxidiert, verlieren ihre Farbe. Daher lässt sich der Vorgang bei ihnen, anders als bei Fettsäuren, gut mit dem bloßen Auge verfolgen (Tipp: So entfernt man Karotten- oder Tomatenflecke in der Sonne). Bei Herstellung oder Verarbeitung (auch im Haushalt) können durch die verwendeten Geräte Metallionen, z. B. Eisen, in das Öl gelangen. Sie wirken als Katalysator und beschleunigen so den Carotinabbau.

In folgendem Versuch [9] ist es das Chlorophyll, welches geschützt wird. Da es im UV-Licht hellrot leuchtet, lässt sich der Verlauf gut verfolgen.

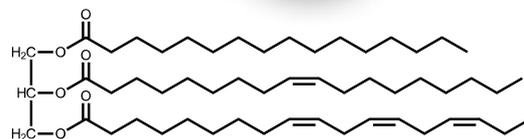
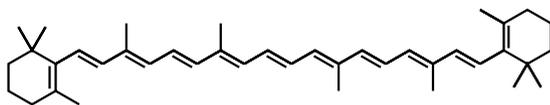


Abb. 5.1 Struktur von β -Carotin und von einem typischen Fettmolekül

Ungesättigte Kohlenwasserstoffketten

Kohlenwasserstoffketten mit Doppelbindungen nennt man ungesättigt. Carotine enthalten mehrere, die der Fette bis zu vier Doppelbindungen. Sie unterscheiden sich jedoch in einem wichtigen Merkmal: In den Fettsäuren treten die Doppelbindungen isoliert auf, d. h. zwischen einzelnen Doppelbindungen befinden sich immer zwei Einfachbindungen. Anders in den Carotinen: hier wechseln sich Doppel- und Einfachbindungen ab. Diese besondere Struktur nennt man „konjugierte Doppelbindungen“. Auf diesen beruht die Farbigkeit der Carotine.

In der Bezeichnung „ungesättigt“ klingt bereits an, dass sie an diesen Doppelbindungen bevorzugt reagieren. So sind sie besonders anfällig gegen Oxidation, z. B. durch Luftsauerstoff. Wird dieser Vorgang durch Licht ausgelöst, spricht man von Fotooxidation.

Versuch 5.4

Carotin im Licht – Abbau und Lichtschutz



A. Abbau von Carotin im Licht

In diesem Versuch werden Carotine aus Paprikagewürzpulver eingesetzt. Sie lassen sich mit etwas Aceton gut aus dem Pulver herauslösen, es entsteht eine orange gefärbte Lösung.

Die Lösung wird auf zwei Schalen verteilt. In eine Schale gibt man einen Tropfen einer Eisen(II)sulfatlösung dazu. Auf jeweils eine Hälfte eines Filterpapiers wird eine der beiden Lösungen aufgetropft. Beide Bereiche, also die Flecke der Carotinlösungen mit und ohne Eisensalzzugabe, werden jeweils zur Hälfte mit Alufolie abgedeckt und anschließend 1–2 Minuten mit einer starken Lampe beleuchtet (z. B. Bauleuchte 500 W). Die vier Bereiche werden anschließend verglichen.

Was sehen und lernen wir?

In den belichteten Bereichen ist die orange Färbung der beiden Flecken deutlich verblasst. Die abgedeckten Bereiche haben sich nicht verändert. Die Carotinlösung mit Eisensalzzusatz verblasst schneller als die ohne Eisenzugabe.

Die Doppelbindungen der Carotine sind also unter Lichteinfluss teilweise oxidiert worden, in Gegenwart von Eisenionen stärker als ohne diesen Zusatz. Durch Eisen wird also die Fotooxidation ungesättigter Lebensmittelinhaltsstoffe verstärkt. Der Kontakt von carotinhaltigen Speisen mit gusseisernen oder rostigen Küchenutensilien sollte also vermieden werden (Versuch 6.1).

B. Carotin als Lichtschutz

Ein Speiseöl, das sehr viel Chlorophyll enthält (grünes Olivenöl oder Kürbiskernöl), wird mit Aceton verdünnt und mit einem Stück Filterpapier aufgesaugt. Dann verteilt man mit einer Kapillare einige Tropfen der Carotinlösung auf dem Filterpapier. Das Filterpapier wird zur Hälfte mit Alufolie abgedeckt und dann einige Minuten mit einer starken Lampe beleuchtet (z. B. Bauleuchte 500 W). Die Veränderungen kann man anschließend besonders gut im UV-Licht erkennen.

Was sehen und lernen wir?

Im UV-Licht fluoresziert Chlorophyll intensiv rot, Carotin jedoch nicht. Im beleuchteten Bereich ist die grüne Farbe des Öls stark verblichen, der abgedeckte Bereich bleibt grün. Die beleuchteten Carotinflecke sind noch sichtbar, aber schwächer. Im UV-Licht fluoreszieren sowohl der abgedeckte Bereich als auch die mit Carotinlösung betupften Ölflecke weiterhin.

Das beleuchtete Chlorophyll ist also im Licht abgebaut worden, jedoch nicht an der Stelle, wo sich Carotine befanden.

Carotine können andere Stoffe vor fotochemischem Abbau schützen, indem sie selbst reagieren. Sie wirken also als Lichtschutz. Metallspuren können den lichtinduzierten Abbau von Inhaltsstoffen fördern, daher sollte man Gegenstände, die Metallspuren abgeben können (z. B. einfache Messer mit Rostspuren), aussortieren.

Wie Fett ranzig wird

Ranziges Fett sieht zwar unauffällig aus, riecht aber unangenehm oder gar stechend. Schon dies verhindert normalerweise, dass man ranzige Produkte verzehrt. Der unangenehme Geschmack kann bei stark gewürzten Speisen jedoch überdeckt werden. Ranziges Fett enthält verschiedene Reaktionsprodukte, unter denen sich auch krebserregende befinden können. Es kann daher gesundheitsschädlich sein.

Fettmoleküle weisen zwei Schwachstellen auf, an denen sie besonders leicht angegriffen werden können: einerseits – wie auch bei den Carotininen – die Doppelbindungen der Fettsäuren (s. S. 62), andererseits die Verknüpfungen (Esterbindungen) zwischen Glycerin und Fettsäuren (siehe Abb. 5.1). Daher unterscheidet man zwei Arten des Fettverderbs, zum einen die Autoxidation der Doppelbindungen durch Luftsauerstoff und zum anderen die hydrolytische Spaltung der Esterbindungen.

Für die sensorische Veränderung von Fetten spielt die Oxidation durch Luftsauerstoff die größere Rolle. Die Autoxidation verläuft als Kettenreaktion, die immer schneller wird, typisch für radikalische Reaktionen. Bei Lichteinfluss läuft der Prozess wesentlich schneller ab, man spricht dann von Fotooxidation. Neben Licht sind es erhöhte Temperaturen sowie Metallspuren, die während der Verarbeitung oder im Haushalt in das Fett gelangen, die verschiedenen oxidative Prozesse beschleunigen (siehe Versuch 5.4). Es bilden sich Peroxide, Fettsäureketten werden gespalten. Dabei entstehen verschiedenste Abbauprodukte mit typischen Geruchsnoten.

Bei der hydrolytischen Spaltung der Esterbindungen werden Fette, katalysiert durch Enzyme (Lipasen) oder Säure, unter Wasseranlagerung in Glycerin und Fettsäuren gespalten. Diese sind zwar gesundheitlich unbedenklich, einige aber sehr geruchsintensiv. Bereits in Spuren können sie das Fett ungenießbar machen. Bei Käse trägt die Fettspaltung durch Enzyme während der Reifung zur Aromabildung bei. In Emulsionen, also Fett-Wassergemischen wie Butter oder Mayonnaise, kann eher Fettspaltung auftreten als in Reinfetten. Emulsionen können sich auch wieder auftrennen, dann setzt sich die fetthaltige Phase oben ab. Dadurch können sich Aussehen, Beschaffenheit und Geschmack ändern, ohne dass die Lebensmittel verdorben sein müssen. Aber sie sind in ihrer Konsistenz und damit auch sensorisch stark verändert und daher nicht unbedingt genusstauglich. Vor der Entmischung schützen Emulgatoren wie z. B. natürliche Inhaltsstoffe aus Eiern bzw. Senf oder solche werden extra zugesetzt.

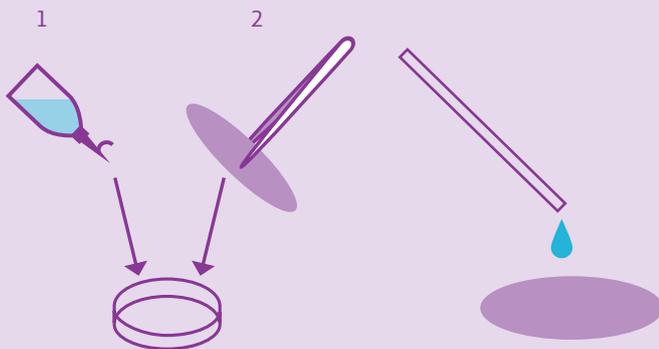
Öle mit einem hohen Anteil ungesättigter bzw. mehrfach ungesättigter Fettsäuren (s. Abb. 5.2) sind aus ernährungsphysiologischer Sicht besonders wertvoll. Aber gerade sie sind besonders anfällig für Oxidation und den daraus folgenden Verderb.

Empfindliche Öle wie z. B. Sonnenblumenöl sind vor allem für den Rohverzehr geeignet, z. B. für Salat oder Dips. Sie sollten nicht stark erhitzt werden. Man lagert sie am besten kühl und dunkel, z. B. in dunklen Glasflaschen mit Schraubverschluss. Den Kontakt mit eisen- oder kupferhaltigen Gerätschaften (Pfannen mit Kratzern, Messer, geöffnete Konservendosen, Kupfergefäße) sollte man vermeiden.



Abb. 5.2 Fettsäureverteilung gängiger Speiseöle

Versuch 5.5 Fettoxidation



A. Nachweis von ungesättigten Fettsäuren

In verschiedenen Fetten werden die Gehalte an Doppelbindungen mit dem Baeyer-Reagenz, einer alkalischen Kaliumpermanganatlösung, verglichen.

Dazu wird mit einem Stück Filterpapier etwas vom frisch angesetzten Reagenz aufgesaugt, darauf gibt man einen Tropfen des zu untersuchenden Speiseöls.

Was sehen und lernen wir?

Die auffällige rot-violette Farbe, die vom Permanganat stammt, verschwindet nach dem Auftropfen der Fette unterschiedlich schnell. Es entstehen helle Flecke, eventuell mit braunem Rand.

Bei Zugabe von Leinöl entfärbt sich das Reagenz sofort, bei Sonnenblumenöl schnell, bei Rapsöl langsam. Kokosöl entfärbt es kaum. Der Vergleich zeigt: Je stärker ungesättigt das Öl ist, desto schneller entfärbt sich das Reagenz, desto mehr Reagenz wird verbraucht. Das Permanganat reagiert mit den Doppelbindungen und wird dabei reduziert.

Fette sind empfindlich gegen oxidative Veränderung. Angriffspunkte sind die Doppelbindungen der ungesättigten Fettsäuren. Je mehr sie von diesen enthalten, desto empfindlicher sind sie. Die hier beobachtete Reaktivität ist also ein ungefähres Maß dafür, wie empfindlich das Fett gegenüber Luftsauerstoff während der Lagerung ist.

B. Vernetzung von Leinöl

Auf einen flachen Teller gibt man eine dünne Schicht Leinöl und stellt ihn in die Sonne.

Was sehen und lernen wir?

Innerhalb einiger Tage verfestigt sich das Leinöl, es entsteht eine feste Schicht, die man als eine Art Folie vom Teller ablösen kann. Die Doppelbindungen der Fettsäuren werden durch das Sonnenlicht angegriffen und bilden sehr reaktive Radikale. Aufgrund des sehr hohen Anteils an mehrfach ungesättigten Fettsäuren im Leinöl (s. Abb. 5.2) kommt es auch zu Quervernetzungen, es entstehen ausgedehnte „Riesenmoleküle“.

Öle mit einem hohen Gehalt an Linol- und Linolensäure werden langsam zäher. Bei damit zubereiteten Lebensmitteln kann sich so eine rindenartige Oberfläche bilden.

Dieser Effekt tritt auch beim „Trocknen“ von Ölfarben auf. Diese trocknen nicht im eigentlichen Sinn (d. h. geben Wasser ab), sondern verfestigen durch Vernetzung (Firnis).

Öle mit einem hohen Anteil insbesondere mehrfach ungesättigter Fettsäuren sollte man vor Licht und Sauerstoff schützen und schonend behandeln, also nicht erhitzen.

6 Ist gut verpackt auch gut geschützt?

Verpackungen und Stoffmigration



Zu diesem Kapitel gehören folgende Versuche:

6.1 Eisen

Einfluss von Säuren und Salz auf metallisches Eisen,
Umgang mit Konservendosen

Klassenstufen 7/8, 9/10, Sek. II

6.2 Aluminium

Einfluss von Säuren, Salz u. Lauge auf metallisches Aluminium,
Verwendung von Alufolie

Klassenstufen 9/10, Sek. II

6.3 O₂-Durchlässigkeit

Vergleich unterschiedlicher Folien:
Zellglas, Frischhaltefolie, Gefrierbeutel

Klassenstufen 9/10, Sek. II

6.4 Wasserdurchlässigkeit

Vergleich unterschiedlicher Folien:
Zellglas, Frischhaltefolie, Gefrierbeutel

Klassenstufen 9/10, Sek. II

6 Ist gut verpackt auch gut geschützt?

Verpackungen und Stoffmigration

Verpackungsmaterialien und Lebensmittelverderb

Vom Zeitpunkt der Gewinnung bzw. Herstellung eines Lebensmittels (LM) bis zu dem Moment, in dem es verbraucht wird, liegt eine gewisse Zeitspanne. Je nach Art des Produkts können das wenige Tage sein, z. B. bei frischem Fleisch oder nicht lagerfähigem Obst wie Beeren, bis hin zu mehreren Monaten oder gar Jahren bei Trockenprodukten und Konserven. Dabei müssen die LM vor äußeren Einflüssen geschützt werden, die in ihnen Veränderungen hervorrufen können. Dazu gehören Verunreinigungen, auch durch Mikroorganismen wie Schimmelpilze oder Bakterien. Aber wie wir bereits gesehen haben – auch Licht, Luft oder Feuchtigkeit bzw. Trockenheit können LM während dieser Zeit verändern. Geeignete Verpackungen sollen die LM schützen, also Veränderungen verhindern oder zumindest stark verlangsamen.

Einige Lebensmittel bringen ihre „Verpackung“ quasi schon mit. So haben viele Obst- und Gemüsesorten eine äußere Schale oder Haut, die das Austrocknen und Eindringen von Verunreinigungen verhindert: Banane, Orange, Apfel, Gurke, Kartoffel Noch besser geschützt sind Nüsse oder Mandeln. In ihrer Schale bleiben Nüsse oder Steinobst wie Mandeln lange genießbar, während sie ohne diese oder gar in gehackter Form als fettreiche LM an der Luft bald muffig werden (s. Kap. 5) oder sogar schimmeln können. Aber auch bei der Verarbeitung von LM können sich äußere Barrieren ausbilden. So schützen die wasserarmen Brotkrusten oder die krosse Kruste von gebratenem Fleisch das frische bzw. saftige Innere.

Die meisten Lebensmittel gelangen verpackt in den Handel. Manche Verpackungsmaterialien schützen vor Luft (Sauerstoff) oder ge-

gen den Verlust bzw. die Aufnahme von Feuchtigkeit. Gefärbte Folien sind weniger lichtdurchlässig, durch Zusätze kann auch die UV-Durchlässigkeit herabgesetzt werden. In Abhängigkeit von den Eigenschaften des zu verpackenden LM werden daher unterschiedliche Materialien wie Papier und Pappe, verschiedene Kunststoffbehälter und -folien, Glasgefäße und auch Materialien aus Metall wie z. B. Konservendosen oder Aluminiumverpackungen eingesetzt. Auch beschichtete Kartons und Verbundmaterialien sind im Einsatz. Zu Hause packen wir dann aus und um, verwenden Töpfe, Pfannen, Schüsseln, Backformen, Kunststoffgefäße zum Einfrieren, Beutel und Folien. Hier müssen wir die geeignete Wahl treffen.

Verpackungen kommen mit LM direkt in Berührung. Bei diesem Kontakt können aus den Verpackungsmaterialien Spuren in das LM übergehen. Dies nennt man Migration. Diese Spuren werden beim Verzehr des LM mit aufgenommen. Je größer die Kontaktfläche zwischen LM und Verpackung, umso höher – bei gegebenem Kontaktpaar – das Risiko, dass unerwünschte Stoffe auf das LM übergehen. Verpackungen können in den meisten Fällen die LM nicht vollständig schützen. So können z. B. Sauerstoff oder Feuchtigkeit je nach Material durch Verpackungen ins Innere diffundieren. In durchsichtigen Verpackungen kann man das Produkt zwar gut sehen, allerdings kommt auch Licht hinein. Metallische Verpackungen weisen dagegen gute Barriereigenschaften gegenüber Gasen und Licht auf, sind aber nicht unbedingt beständig gegen alle Lebensmittelinhaltsstoffe.

Prinzipiell können auch Stoffe aus dem LM in das umgebende Behältnis wandern, so z. B. fettlösliche Farbstoffe wie die Carotine in Kunststoffbehälter, ein bekanntes Phänomen im Haushalt (s. S. 62).

Eigenschaften von unedlen Metallen

Viele Metalle sind sehr stabil und schmelzen erst bei sehr hohen Temperaturen. Sie sind in der Regel gut verformbar. Metalle lassen sich anhand ihrer unterschiedlichen Eigenschaften in verschiedene Gruppen einteilen. Eine typische Einteilung ist die in unedle und edle Metalle. Unedle Metalle haben ein negatives Reduktionspotential, d. h. sie werden von Säuren unter Bildung von elementarem Wasserstoff aufgelöst.

Unedle Metalle wie Eisen und Aluminium unterscheiden sich von edlen Metallen dadurch, dass sie wesentlich reaktiver sind. So reagieren sie insbesondere bei Feuchtigkeit mit Sauerstoff sowie mit verdünnten Säuren. Dies nennt man Korrosion. Die Reaktion mit Sauerstoff kann je nach Metall unterschiedliche Auswirkungen haben. Eisen rostet und wird auf Dauer zersetzt. Aluminium dagegen bildet eine Oxidschicht aus, die das Metall, obwohl unedler als Eisen, vor weiteren Reaktionen schützt.

Die im Umgang mit LM besonders häufig verwendeten Metalle zählen zu den unedlen Metallen. Eisen, auch in Form von Edelstahl, sowie Aluminium sind als Werkstoffe für Haushaltszwecke und insbesondere als Lebensmittelverpackungen weit verbreitet. Auch das edlere Kupfer wird für manche Zwecke eingesetzt.

Eisen und Stahl im Kontakt mit Lebensmitteln

Eisen ist ein essenzieller Mineralstoff in unserer Ernährung und sowohl in pflanzlichen als auch in tierischen LM vorhanden. Im Körper hat es verschiedene Funktionen, z. B. als zentraler Baustein der roten Blutkörperchen.

In Form von Stahl wird Eisen als Werkstoff für Geräte und Anlagen bei der Gewinnung und Herstellung von LM eingesetzt, im Haushalt z. B. für Besteck, Töpfe oder Pfannen. Bei Stahl handelt es sich um Eisenlegierungen mit einem geringem Kohlenstoffanteil. Überwiegend werden hier Edelstähle eingesetzt, die durch unterschiedliche Metallbeigaben stabiler gegen Säureeinwirkung sind. Zum Teil sind aber auch Gusseisen oder Stahlsorten, die rosten können, im Einsatz.

Metalle wie Eisen können korrodieren, d. h. sich unter Bildung von Metallionen lösen und so in das Lebensmittel migrieren. Dabei handelt es sich um elektrochemische Prozesse, die bevorzugt bei Beschädigung der Metalloberfläche ablaufen und auch pH-abhängig sind. Nicht alle Edelstähle sind rostfrei. Teilweise ist der Stahl auch mit einem anderen Material überzogen, z. B. mit einer Antihafbeschichtung in Pfannen. Diese Überzüge können beschädigt sein, vielleicht weil ungeeignete Pfannenwender verwendet worden sind.

Säure- und salzhaltige LM können diese angreifen und etwas Metall herauslösen. Dies betrifft nicht nur eisenhaltige Werkstoffe, sondern auch Gefäße aus Kupfer. Dabei geht es i. d. R. um sehr geringe Mengen, so dass man die Veränderungen am Material meist nicht mit bloßem Auge erkennt. Den Kontakt von säure- oder salzhaltigen Lebensmitteln mit solchen Werkstoffen sollte man also vermeiden bzw. so kurz wie möglich halten, zerkratzte Pfannen möglichst aussortieren.

Die herausgelösten Spuren gehen in das LM über. Dort können sie weitere Reaktionen auslösen oder verstärken wie z. B. die Fettoxidation (Versuch 5.4, 5.5) oder Reaktionen mit Proteinen (Versuch 4.3). Außerdem werden sie beim Verzehr des LM mit aufgenommen, was gesundheitlich nicht unbedenklich ist.

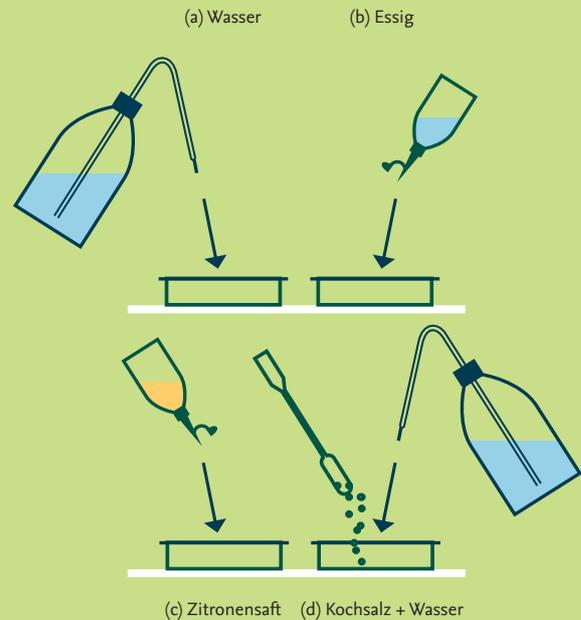
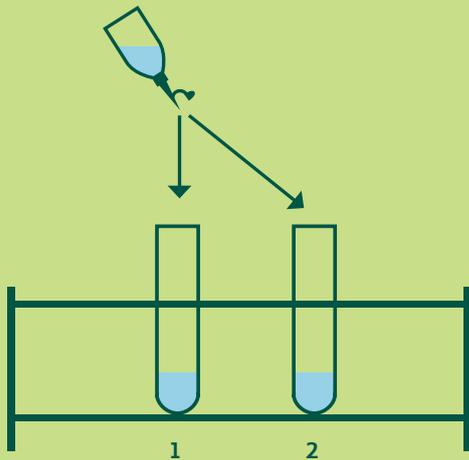
Zu den klassischen Lebensmittelverpackungen zählt die Konservendose. Sie wird aus Weißblech oder Aluminium gefertigt. Bei Weißblech handelt es sich um mit einer dünnen Zinnschicht überzogenen Stahl. Die Zinnschicht dient als Korrosionsschutz. Zusätzlich werden die Dosen oft lackiert.

Bei eingebeulten Dosen kann die innere Schutzschicht beschädigt sein. Dann kommt das enthaltene Produkt in Kontakt mit dem Blech. So können auch hier Eisenspuren in das Produkt gelangen. Gleiches passiert bei geöffneten Dosen an den Schnittkanten. Daher sollte man LM nie in geöffneten Konservendosen aufbewahren, sondern immer sofort umfüllen! Beschädigte Konservendosen sollte man meiden.

Viele LM sind relativ sauer: Die pH-Werte von Zitronen oder Essig liegen zwischen 2 und 3, die von Sauerkraut, Tomaten und vielen Früchten bei 3 bis 4. Das gilt nicht nur für LM, die sauer schmecken. In vielen Produkten wird der saure Geschmack durch Zucker überdeckt. Gerade Obst enthält häufig Säuren. Neben Essigsäure und Zitronensäure gibt es noch viele andere Vertreter.

Versuch 6.1

Lebensmittel und eisenhaltige Materialien



Zuerst lernt man einen Nachweis für gelöstes Eisen kennen. Dazu gibt man in zwei Reagenzgläser etwas Wasser, in eines davon zusätzlich einige Tropfen einer verdünnten Eisensalzlösung, z. B. Eisen(III)chlorid. Dann gibt man in beide Gläser jeweils einige Tropfen einer Kaliumhexacyanoferrat(II)-Lösung, auch „gelbes Blutlaugensalz“ genannt.

Was sehen und lernen wir?

Die eisensalzhaltige Lösung färbt sich tiefblau, die wässrige Lösung nicht. Eisenionen bilden mit Kaliumhexacyanoferrat einen stabilen Farbkomplex, den man „Berliner Blau“ nennt.

Anschließend werden vier flache Schalen auf einen weißen Untergrund gestellt. Dann gibt man in die erste Schale einen Spritzer Wasser, in die zweite einen Spritzer Haushaltsessig, in die dritte einen Spritzer Zitronensaft und in die vierte einen Spatel Kochsalz sowie etwas Wasser, um das Salz zu lösen. Man gibt in jede Schale noch einige Tropfen Kaliumhexacyanoferrat-Lösung. Anschließend legt man in jede Schale einen Eisennagel, sodass er in die Flüssigkeit taucht.

Was sehen und lernen wir?

Nach kurzer Zeit zeigen sich sowohl in der Schale mit Essig als auch in der mit Zitronensaft blaue Schlieren um die Nagelspitze. Etwas später ist dies auch in der Kochsalzlösung zu erkennen, jedoch nicht in der mit Wasser gefüllten Schale.

Die blaue Färbung zeigt an, dass in der Flüssigkeit gelöstes Eisen vorhanden ist. Sowohl die beiden Säuren, Essig und Zitronensaft, als auch Salzlösungen können metallisches Eisen durch Oxidation in Lösung bringen bzw. diesen Prozess beschleunigen (Kochsalz).

Saure und salzhaltige Lebensmittel können also Eisen lösen. Derartige Lebensmittel sollten möglichst nicht in Kontakt mit Gegenständen aus Eisen kommen.

Aluminium im Kontakt mit Lebensmitteln

Aluminium ist ein gängiges Verpackungsmaterial, das für Dosen, Tuben und Menü- und Grillschalen eingesetzt wird und im Haushalt als Alufolie breite Anwendung findet. Aluminiumverpackungen lassen sich sehr gut recyceln. Aufgrund seiner geringen Dichte zählt Aluminium zu den Leichtmetallen.

Saure Lebensmittel können durch Kontakt mit Aluminium Aluminiumionen aufnehmen, die dann beim Verzehr des Lebensmittels in den Körper übergehen [10]. Aluminium steht im Verdacht, die Gesundheit zu schädigen, es soll negative Auswirkungen auf Nervensystem, Nieren und Knochen haben. Daher sollen saure oder salzhaltige Lebensmittel wie z. B. essigsauer eingelegte Produkte, aber auch säurehaltiges Obst und Gemüse wie Zitrusfrüchte oder Tomaten nicht in Kontakt mit Aluminium kommen.

Neben Menüschalen für Fertiggerichte werden auch beim Grillen oft Aluschalen verwendet bzw. Grillgut wird in Alufolie eingewickelt. Durch Erwärmen bzw. Erhitzen von Lebensmitteln in Alufolie kann man diese Verwendung nachstellen. Je wärmer, desto besser reagiert Aluminium. Auch bei weniger sauren Lebensmitteln wie Apfel lässt sich Aluminium nachweisen. Daher sollte man diese Produkte meiden und stattdessen besser Edelstahlschalen verwenden. Speziell für den Einsatz beim Grillen eignet sich auch mit Backpapier belegte Alufolie.

Laugen sind in Lebensmitteln eher selten zu finden, ein Beispiel ist Laugengebäck. Dieses darf nicht mit Aluminium, z. B. Backblechen, in Berührung kommen. Aber sehr viele Reinigungsmittel haben einen relativ hohen pH-Wert, so auch Geschirrspültabs. Gegenstände aus Aluminium dürfen daher nicht in die Spülmaschine!

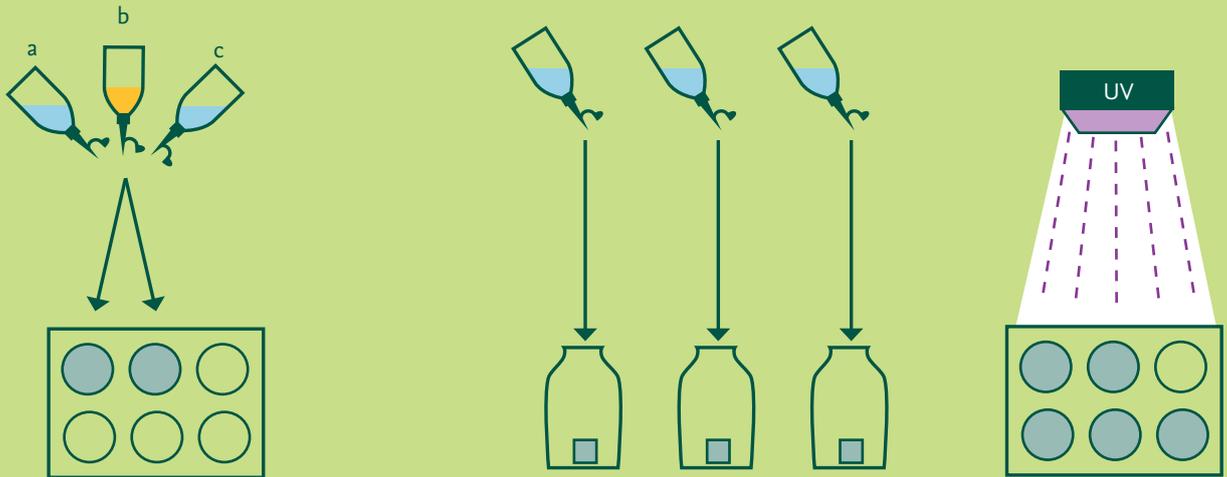
Aluminium

Auch das unedle Aluminium wird theoretisch von Säuren aufgelöst. Allerdings kann man die Oberfläche durch Ausbildung einer sehr dünnen Aluminiumoxidschicht passivieren, d. h. gegen weitere Oxidation schützen. Das macht man mit Alufolie, meist elektrochemisch. Auch oxidierende Säuren bewirken eine schützende Aluminiumoxidschicht auf der Oberfläche. Gegen stärkere Säuren und Laugen reicht dieser Schutz jedoch nicht aus. Diese können Aluminium trotz Passivierung auflösen. Es entstehen Al^{3+} -Salze. Auch starke Laugen lösen Aluminium auf, da Aluminium amphoter ist und auch Anionen bilden kann: $\text{Al}(\text{OH})_4^-$. Sie heißen Aluminate.

Es gibt verschiedene Nachweisreaktionen für Aluminium. Der Nachweis mit Morin in essigsaurer Lösung ist vergleichsweise empfindlich. Je intensiver der blau-grüne Komplex fluoresziert, desto höher ist der Aluminiumgehalt in der Probe.

Versuch 6.2

Lebensmittel und Materialien aus Aluminium



A. Aluminiumnachweis

Zuerst lernt man einen Nachweis für gelöste Aluminium-Ionen kennen. Dazu gibt man in zwei Gläser etwas Wasser, in einem löst man zusätzlich einige Krümel Aluminiumsulfat. Davon gibt man jeweils einen Tropfen auf eine Tüpfelplatte. Nach Zugabe von 2 Tropfen Kalilauge (a), 1 Tropfen Morinlösung (b) sowie 3 Tropfen Essigessenz (c) wird die Platte vorsichtig geschwenkt und dann im UV-Licht betrachtet.

Was sehen und lernen wir?

Die Mulde mit Aluminiumsalz leuchtet blau-grün im UV-Licht, die Mulde mit Wasser nicht. Aluminiumionen lassen sich unter den gewählten Bedingungen mit Morin nachweisen. Es entsteht ein unter UV-Licht blau-grün fluoreszierender Komplex aus Aluminiumionen und Farbstoffmolekülen.

B. Hauptversuch

In drei Gläschen gibt man jeweils ein kleines Stück Alufolie. In das erste Glas gibt man eine Prise Kochsalz sowie einen Spritzer Essigessenz, um das Salz zu lösen, in das zweite einen Spritzer verdünnte Salzsäure und in das dritte einen Spritzer Kalilauge. Nach ca. 3 Minuten gibt man aus jedem Glas einen Tropfen auf eine Tüpfelplatte. Wie in Teil A gibt man Kalilauge, Morinlösung sowie Essigessenz in jede Mulde, schwenkt die Platte vorsichtig und betrachtet sie anschließend im UV-Licht.

Was sehen und lernen wir?

Die Ansätze, in denen Alufolie vorab mit Salzsäure bzw. Kalilauge behandelt wurde, fluoreszieren deutlich blau-grün, der Ansatz mit Essig und Salz dagegen nicht. Wiederholt man den Nachweis einige Minuten später noch einmal, ist auch beim Ansatz mit Essig und Salz eine schwache Fluoreszenz zu erkennen. Betrachtet man dann die Gläser mit Salzsäure und Kalilauge genauer, stellt man fest, dass die Alufolie darin fast aufgelöst ist.

Daraus lässt sich schließen, dass Aluminium sowohl durch stärkere Säuren als auch Laugen angegriffen und letztendlich aufgelöst wird. Eine schwache Säure wie Essig wirkt nicht so aggressiv, greift aber insbesondere in Kombination mit Salz bei längerem Kontakt die Folie ebenfalls an.

Die meisten Lebensmittel enthalten Salz und Säuren, daher sollte man Lebensmittel grundsätzlich nicht in Alufolie oder -schalen verpacken.

Kunststoffe im Lebensmittelbereich

Bei Kunststoffen, umgangssprachlich auch als Plastik bezeichnet, handelt es sich überwiegend um auf der Basis von Erdöl hergestellte Werkstoffe. Wie bei der Stärke liegen auch hier Makromoleküle vor, lange Kettenmoleküle, die verzweigt und miteinander vernetzt sein können. Wichtige technische Eigenschaften von für Verpackungen und Lebensmittelbehältnisse verwendeten Kunststoffen sind ihre geringe Dichte, ihre leichte thermische Verformbarkeit und Bruchfestigkeit, in Grenzen ihre Temperatur- und chemische Beständigkeit.

Im Lebensmittelbereich setzt man besonders häufig Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyethylenterephthalat (PET), Polystyrol (PS) und Polycarbonat (PC) ein.

- PE wird am häufigsten für Verpackungen und Folien verwendet. Es ist gut dehnbar, wasserundurchlässig, durchlässig für Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid und lässt sich gut recyceln. Frischhaltefolie besteht meist aus PE, ebenso wie Gefrierbeutel.
- PP hat ähnliche Eigenschaften wie PE, ist aber etwas temperaturbeständiger. Es wird viel für Lebensmittelverpackungen eingesetzt.
- PET ist das Material für Getränkeflaschen aus Kunststoff, sowohl im Einweg- als auch im Mehrwegbereich. Es ist undurchlässig für Kohlenstoffdioxid, chemisch beständig und gut recycelbar.
- PS wird hauptsächlich für Einweggeschirr, Joghurtbecher u. a. benutzt.
- PC ist ein etwas spröder, temperaturbeständiger und transparenter Kunststoff. Da er relativ teuer ist, wird er für wiederverwendbare Artikel wie z. B. Trinkflaschen, Mikrowellen- und Campingschirr verwendet.

Schützen Verpackungsfolien immer?

Oft werden Kunststofffolien oder -beutel genutzt, um empfindliche Lebensmittel bei der Lagerung vor dem Austrocknen und schädlichen äußeren Einflüssen zu schützen. Frischhaltefolie ist weniger als 10 Mikrometer dick, Gefrierbeutel sind etwa viermal so stark und besonders kältetolerant. Beide bestehen üblicherweise aus Polyethylen (PE). Es gibt Unterschiede, je nach Hersteller. Frischhaltefolie ist normalerweise wasserdicht, aber im gedehnten Zustand kann Wasserdampf durchdringen, wenn z. B. beim Überziehen eines Gefäßes mit Frischhaltefolie Mikrorisse entstanden sind.

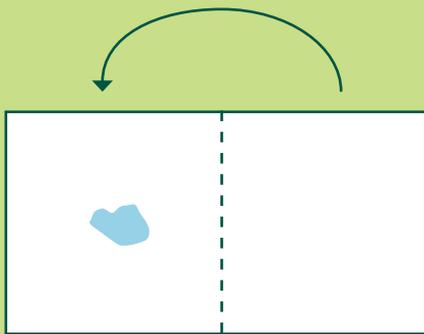
Sauerstoff kann sowohl durch Gefrierbeutel als auch durch Frischhaltefolie diffundieren. Daher sollten für sauerstoffempfindliche Produkte wie z. B. geschnittenes Obst oder Wurstwaren dichtschießende Gefäße in angepasster Größe gewählt werden (s. V 5.2 und 5.3).

Zellglasfolie, genannt Zellophan, besteht aus dem kompostierbaren Naturstoff Cellulose, besteht also aus Ketten von Zuckermolekülen. Sie ist im Gegensatz zu PE durchlässig für Wasserdampf, aber wenig durchlässig für Sauerstoff. Sie wurde früher üblicherweise zum Abdecken der Gläser bei selbstgemachter Marmelade eingesetzt, auch weil sie nass dehnbar ist und sich dann beim Trocken straff spannt, und wird daher auch als Einmachfolie bezeichnet. So konnte überschüssiges Wasser entweichen, die Oberfläche trocknete etwas aus. Gleichzeitig war kein Sauerstoff für Schimmel oder Hefen vorhanden. Dadurch bleibt die Marmelade länger haltbar. Heute nimmt man meist Schraubdeckelgläser. Zellglasfolie wird auch für Kekse u. ä. verwendet. Diese können mit der Zeit Restfeuchte abgeben. Die verpackten Produkte schwitzen dann nicht, weil die Feuchtigkeit nach außen wandern kann.

Als nachhaltige Alternative zu Kunststofffolien kann man wiederverwendbare, abwaschbare Bienenwachstücher verwenden. Sie bestehen aus einem mit Wachs beschichteten Baumwollstoff. Handwarm lassen sie sich leicht formen und passen sich genau an. Sie eignen sich auch zum Einfrieren. Im Haushalt kann man auch Schalen aus Keramik verwenden, die man mit einem Teller abdeckt.

In den folgenden Versuchen werden die Barriereigenschaften von Haushaltsfolien untersucht.

Versuch 6.3 Sauerstoffdurchlässigkeit von Folien

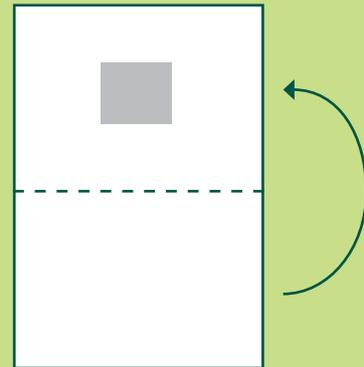


Die zu untersuchenden Stücke von Gefrierbeutel, Frischhalte- und Zellglasfolie werden auf einer weißen Unterlage zurechtgelegt. Eine verdünnte Methylenblau-Lösung wird durch wenige Tropfen Natrium-dithionitlösung gerade so entfärbt. Davon gibt man jeweils einen Tropfen in die Mitte jeder Folie, schlägt sofort eine Folienseite über die andere, sodass der Tropfen in der Folie eingeschlossen ist. Die Folie wird glattgedrückt und eingeschlossene Luft nach außen weggestrichen. Ein Tropfen kommt zum Vergleich in eine kleine, offene Schale. Dann beobachtet man 3 Minuten lang die Veränderungen und vergleicht dann die Farbe der Tropfen.

Was sehen und lernen wir?

Der Sauerstoffnachweis beruht darauf, dass Methylenblau in der frisch reduzierten, farblosen Leukoform eingesetzt wird. Durch Luftsauerstoff wird diese Form leicht zum Methylenblau oxidiert. Methylenblau fungiert also als Redoxindikator und zeigt durch Blaufärbung an, dass Sauerstoff die Folie durchdringen konnte. Der Tropfen in der offenen Schale hat sich in 1–2 Minuten blau gefärbt. Auch die in Frischhaltefolie und in Gefrierbeutel folie eingeschlossenen Tropfen zeigen eine blaue Färbung. In Zellglasfolie bleibt der Tropfen dagegen farblos, diese ist sauerstoffundurchlässig.

Versuch 6.4 Wasserdurchlässigkeit von Folien



Um die Wasserdurchlässigkeit von Folien zu prüfen, nutzen wir in diesem Versuch Watesmo-Papier, das schon durch Spuren von Wasser blau gefärbt wird. Es basiert auf Kupfersulfat, das wasserfrei farblos ist, in Kontakt mit Wasser aber ein blaues Hydrat bildet. Das Stück Frischhaltefolie wird in alle Richtungen so weit wie möglich gedehnt, ohne es zu zerreißen. Dann werden die zu untersuchenden Foliestücke zurechtgelegt. Ein kleines Stück Watesmo-Papier wird jeweils in der Mitte positioniert, dann schlägt man die Folie so übereinander, dass das Papier in der Folie eingeschlossen ist. Mit feuchten Fingern reibt man die Foliestücke in diesem Bereich.

Was sehen und lernen wir?

Bei Zellglasfolie beobachten wir eine Blaufärbung des Testpapiers. Hier kann Feuchtigkeit relativ schnell eindiffundieren, die Folie wird dabei leicht wellig. Die Frischhaltefolie ist eventuell ganz schwach wasserdampfdurchlässig, dann wird das Watesmo-Papier blau. Der dickere Gefrierbeutel ist undurchlässig für Feuchtigkeit. Das Watesmo-Papier behält seine ursprüngliche blassblaue Farbe.

Geht es um den Schutz vor Feuchtigkeit oder Austrocknen, sind Frischhaltefolie und Gefrierbeutel gut geeignet, gegen Sauerstoff schützt Zellophan. Oft kann man auch eine Keramikschale, abgedeckt mit einem Teller verwenden. Das ist nachhaltiger.

7 Tipps für den Alltag



7 Tipps für den Alltag

Einkaufen mit Hunger oder mit Plan?

Bevor es zum Einkaufen los geht, sollte man sich überlegen, was in den nächsten Tagen auf den Tisch kommen soll. Was braucht man dafür, was ist bereits im Haus, was und vor allem wie viel muss ich besorgen? Von leicht verderblichen Lebensmitteln (LM) kauft man nur so viel, wie bis zum Ablauf des angegebenen Mindesthaltbarkeitsdatums verbraucht wird.

Und Heißhunger ist ein schlechter Ratgeber! Wenn der Magen schon knurrt, isst man am besten erst noch mal eine Banane oder ähnliches. Das hält den Hunger in Schach, und man wird im Supermarkt nicht so schnell verführt, das eine oder andere lecker aussehende Produkt zusätzlich in den Einkaufswagen zu packen.

Mithilfe dieser Strategien kauft man nur die Produkte, die wirklich benötigt werden. Das spart nicht nur Geld, sondern sorgt letztendlich auch dafür, dass weniger LM weggeworfen werden.

Die eingekauften LM werden dann so gelagert, dass sie vor negativen Einflüssen wie Licht, Luft, Feuchtigkeit u. a. geschützt sind. Hinweise dazu findet man oft auf der Verpackung. Viele Produkte halten sich im Kühlschrank länger, aber es gibt Ausnahmen! Und die Haltbarkeit mancher Produkte wird durch verschiedene Effekte beeinflusst, die auch gegenläufig sein können. Brot altert im Kühlschrank schneller, allerdings wird dort die Schimmelbildung verzögert. Manche Obstarten entwickeln Reifegase. Bei Lagerung im Kühlschrank verringert sich zwar die Enzymaktivität im Obst, gleichzeitig ist aber auch der Gasaustausch eingeschränkt. In diesen Fällen muss man abwägen, welcher Effekt wichtiger ist.

Ein Blick in den Kühlschrank

Warum sehen eigentlich die meisten Kühlschränke im Inneren ganz ähnlich aus? Unten die Gemüseschale, darüber offene Fächer, in der Tür die Flaschenablage. Im Inneren eines Kühlschranks gibt es verschiedene Temperaturzonen (Abb. 7.1). Ursache ist die Luftzirkulation. Warme Luft steigt nach oben, kalte sinkt nach unten. Als Gemüsefach dient eine Schublade, die mit einer Glasplatte abgedeckt ist. Diese hindert die kalte Luft daran, weiter abzusinken. Deshalb ist die kälteste Zone direkt über dem Gemüsefach, in den Fächern darüber wird es wärmer. Empfindliche Lebensmittel wie Fisch oder frisches Fleisch gehören daher nach unten. Weniger empfindliche Produkte wie Käse oder gekochte Speisen dürfen weiter oben gelagert werden.

In der geschlossenen, weniger kalten Gemüseschale stellt sich eine höhere Luftfeuchtigkeit ein, darum wird Gemüse hier nicht so schnell welk. Das funktioniert am besten, wenn das Gemüse unverpackt gelagert wird. Die Türfächer sind vom Kühlaggregat am weitesten entfernt, außerdem kommt es durch das Öffnen schneller zu Temperaturschwankungen. Hier gehören gut verpackte Produkte hin wie Getränkeflaschen, Dosen, Tuben usw., die länger haltbar sind und oft aus geschmacklichen Gründen gekühlt werden. Auch Eier gehören hier hin, sie dürfen nicht zu kalt gelagert werden und kommen daher ins oberste Fach. Im Kühlschrank sind Temperatur und Feuchtigkeit also nicht überall gleich und müssen wie der reduzierte Gasaustausch bedacht werden.



Abb. 7.1 Temperaturzonen im Kühlschrank

In einem überfüllten Kühlschrank kann die Luft zwischen den Produkten nicht zirkulieren. Dies behindert die Kühlleistung, sodass der Stromverbrauch steigt. Ist der Kühlschrank zu leer, erwärmt er sich beim Öffnen schneller. Die gekühlten Lebensmittel fungieren auch als Kältespeicher. Ein gefüllter, aber nicht überfüllter Kühlschrank ist also ideal.

Wenn man vollgepackt vom Einkauf kommt, wollen die meisten Menschen alles möglichst rasch aus dem Weg haben. Dennoch sollte man beim Einräumen der LM in den Kühlschrank einige Regeln beachten. So werden nicht nur die Lebensmittel optimal gelagert und halten sich länger, sondern auch der Stromverbrauch minimiert. Auch das gehört zu nachhaltigem Handeln.

Merke: Ein sinnvoll sortierter Kühlschrank hilft, dass die Lebensmittel möglichst lange halten. Gleichzeitig verbraucht er weniger Strom und spart damit doppelt!

1. **Lebensmittel sortiert einräumen:** Ein Kühlschrank hat unterschiedliche, jeweils für bestimmte Produkte optimale Temperaturzonen.
2. **Alte Lebensmittel nach vorn schieben:** Nach dem Einkauf sollen die neu gekauften Produkte nach hinten eingeräumt werden. Ältere oder angebrochene Produkte gehören nach vorn, damit sie nicht übersehen werden.
3. **Lebensmittel nicht feucht einräumen:** Bei Feuchtigkeit können sich Keime besser vermehren, also anhaftendes Kondenswasser erst abwischen. Obst und Gemüse im Gemüsefach nicht in Plastikverpackungen lagern, um Feuchtigkeitsansammlungen zu vermeiden!
4. **Lebensmittel nicht warm einräumen:** Der Kühlschrank muss dann stärker kühlen. Das braucht mehr Energie, ist also schlecht für's Klima, und kostet mehr Geld.
5. **Falsche Kühlschrank-Temperatur:** Die übliche Lagerungszeit von LM ist im Haushalt nicht so lang, dass man den Kühlschrank auf sehr niedrige Temperaturen einstellen müsste. Es wird jedoch deutlich mehr Energie benötigt. Bereits ein Grad weniger kann etwa sechs Prozent mehr Stromverbrauch bedeuten. Eine Einstellung von 7 °C gilt als optimal.
6. **Empfindliche Lebensmittel nicht in der Seitentür lagern:** Durch das ständige Öffnen schwankt die Temperatur in den Türfächern am stärksten. Hier sind gut verpackte LM mit längerer Haltbarkeit wie Getränke, Eier, Butter, Senf gut aufgehoben.
7. **Regelmäßig abtauen:** Eis an der Rückwand vermindert die Kühlwirkung erheblich und erhöht so den Stromverbrauch. Etwa zweimal jährlich sollte ein Kühlschrank abgetaut werden. Die offene Lagerung feuchter LM und das Offenstehenlassen der Tür beschleunigen die Eisbildung.
8. **Regelmäßig reinigen:** Um Gerüchen und Keimen vorzubeugen, sollte man den Kühlschrank alle vier bis sechs Wochen reinigen, vor allem, wenn unverpackte oder offene LM darin gelagert werden. Dazu eignen sich Essig- oder Zitronenwasser, aufgrund ihres pH-Werts hemmen sie die Vermehrung von Keimen (siehe Versuch 4.7).

Was wird wie gelagert?

Es gilt die Faustregel, dass sich kühl gelagerte Produkte länger halten. Trotzdem gehören nicht alle Lebensmittel in den Kühlschrank. Bei einigen Produkten ist es einfach nicht nötig, sie sind auch bei Raumtemperatur sehr lange lagerfähig.

Manchen Produkten schadet die Kühlung sogar!

- **Brot** lagert man am besten in einem sauberen, trockenen Brotkasten bei 12–18 °C. Die Luft muss zirkulieren können, ansonsten kann sich durch die vom Brot abgegebene Feuchtigkeit eher Schimmel bilden. Das Temperaturfenster ergibt sich aus einem Kompromiss zwischen zwei Vorgängen (s. Kapitel 4): Im Kühlschrank wird zwar die Schimmelbildung verzögert, jedoch altert das Brot schneller (s. S. 32). Brot lässt sich auch sehr gut einfrieren, hier bleibt seine frische Struktur erhalten. Um das Austrocknen durch Sublimation zu vermeiden, sollte alle Luft aus dem Gefrierbeutel herausgestrichen werden.
- **Speiseöle** wie zum Beispiel Olivenöl verändern bei Kälte ihre Konsistenz. Sie können im Kühlschrank buttrig werden, höher schmelzende Anteile fallen aus. Das Öl ist deswegen nicht verdorben, so wenig wie gefrorenes Wasser. Man kann es bei Raumtemperatur wieder verflüssigen. Besser in einer Speisekammer oder im Unterschränk lagern!
- Der im **Honig** gelöste Zucker kristallisiert im Kühlschrank aus und wird fest. Durch seinen hohen Zuckergehalt ist Honig auch bei Raumtemperatur lange haltbar.
- Manche **Obst- und Gemüsesorten** wie ...
Kartoffeln sind kälteempfindlich. Bei Temperaturen unter 4 °C wird eine Art Frostschutz aktiviert, indem die Kartoffelamylase die in den Kartoffeln enthaltene Stärke teilweise abbaut (siehe Versuch 4.6). Dadurch wird ihr Gefrierpunkt erniedrigt. Die Kartoffeln schmecken dann leicht süßlich. Kartoffeln lagert man am besten dunkel, trocken und kühl, z. B. im Keller oder in einer Speisekammer. Sonst beginnen sie sehr schnell zu keimen.
- **Zwiebeln und Knoblauch** treiben im Kühlschrank schnell aus und beginnen zu faulen. Sie müssen trocken gelagert werden, aber nicht zusammen mit Kartoffeln, denn sie beschleunigen gegenseitig ihren Entwicklungsprozess.

So kann man Lebensmittel selbst einschätzen:



Schauen!

Sieht das Produkt normal aus?



Schnuppern!

Riecht das Produkt normal?



Schmecken!

Schmeckt das Produkt normal?



3 × Ja

Das Produkt kann verwendet werden!

Abb. 7.2 So kann man zu Hause Lebensmittel auf ihre Genussstauglichkeit prüfen. Mit Ausnahme von einigen sensorisch nicht wahrnehmbaren LM-Infektionen mit Toxinbildnern (z.B. Salmonellen bei Huhn oder Hackfleisch) kann man so zu einem Urteil kommen.

- **Südf Früchte** wie z. B. Zitrusfrüchte vertragen Kälte nicht, darum wachsen sie nur in warmen Ländern. Im Kühlschrank verlieren die Früchte ihr Aroma. Bananen bekommen braune Flecken auf der Schale, verderben aber nicht.
- **Avocados** werden unreif verkauft und müssen nachreifen, was bei Kühlschranktemperatur nicht gelingt.
- **Tomaten** verlieren im Kühlschrank ihr Aroma. Sie werden besser bei Zimmertemperatur an einem luftigen und trockenen Ort gelagert.
- **Nudeln, Reis und andere trockene Lebensmittel wie Mehl, Zucker, Salz oder Gewürze** werden vor Feuchtigkeit geschützt bei Raumtemperatur gelagert, also besser nicht in einem feuchten Keller.

Immer erst prüfen!

Es kann immer mal passieren, dass man ein Produkt nicht verbraucht, bevor das Mindesthaltbarkeitsdatum (MHD) erreicht ist. Trotzdem muss man es dann nicht gleich wegwerfen. Es ist in der Regel noch einige Zeit über das Datum hinaus ohne Einschränkungen genießbar. Es ist schließlich ein MINDESThaltbarkeitsdatum und stellt quasi eine Garantie dar:

Bis zum MHD behält das Produkt bei sachgerechter Lagerung auf jeden Fall seine wesentlichen Geschmacks- und Qualitätsmerkmale und kann ohne Risiko konsumiert werden kann.

Auch wenn das MHD überschritten ist, sollte man also erst testen, ob das Produkt noch verwendet werden kann, anstatt es gleich in den Müll zu werfen (s. Abb. 7.2). Nur bei besonders empfindlichen Produkten wie z.B. Hackfleisch sollte man das vorgegebene Datum nicht überschreiten.

Und wie lange können LM über das MHD hinaus verzehrt werden, ohne dass mit Verderb zu rechnen ist? Das hängt natürlich von der Art des jeweiligen LM ab. Je länger der Zeitraum vom Verkauf bis zum Ablauf des MHD ist, desto größer wird auch der Zeitraum, um den das MHD normalerweise überschritten werden kann. An diesen Zeitangaben kann man sich orientieren:

Brot oder Milch: ca. 2 Tage

Wurst oder Quark: ca. 5 Tage

Fester Käse oder Eier: ca. 2–3 Wochen

Tiefgefrorenes Obst oder Gemüse: ca. ein halbes Jahr

Konserven oder Reis, Nudeln, Mehl: ca. ein Jahr

Das Verbrauchsdatum

Das Mindesthaltbarkeitsdatum darf man aber nicht mit dem Verbrauchsdatum verwechseln. Falls man es nicht kennt, einfach beim nächsten Einkauf mal darauf achten: Ein Verbrauchsdatum tragen besonders empfindliche Produkte. Dazu gehören z. B. Hackfleisch, frischer Fisch, Geflügel oder vorgeschnittene Salate und Obst. Dies alles sind Produkte, die einen idealen Nährboden für Keime bieten. Verbrauchsdatum heißt: Das LM kann bis zu diesem Datum verzehrt werden, wenn es wie angegeben aufbewahrt wird. Nach Ablauf des Verbrauchsdatums kann das LM jedoch gesundheitsgefährdend werden, selbst wenn noch keine sichtbaren, geruchlichen oder geschmacklichen Veränderungen zu erkennen sind. Hier gilt also aus Sicherheitsgründen: Finger weg! Produkte, bei denen das Verbrauchsdatum überschritten ist, sollten nicht ausgepackt, sondern in ihrer Verpackung entsorgt werden. Ansonsten kann es zu Kontaminationen im Haushalt kommen.

Am besten, man kauft derartige Frischwaren nur für den direkten Verzehr bzw. die zeitnahe Zubereitung – nicht auf Vorrat.

Eine persönliche Bilanz

Jetzt mal kurz überlegen: wann habe ich das letzte Mal LM weggeworfen und wieviel, was, warum? Das war doch gar nicht oft, oder? Da kann man sich ganz schön täuschen. Um eine persönliche Bilanz aufstellen zu können, eignet sich die folgende Tabelle. Ganz wichtig dabei: Man kann auch gleich überlegen, was man verändern muss, damit es künftig weniger wird. Eine solche Übersicht könnte z. B. so aussehen:

Wann?	Was?	Warum?	Wie viel?	Wie vermeidbar?
03.05.	Banane	außen und teils auch innen braun, weich, überreif	1 Stück	im kühlen Keller lagern
07.05.	Chips	pappig	ca. 50 g	verschlossen und trocken lagern
10.05.	Brot	Schimmelstellen	4 Scheiben	...
13.05.	Obstsalat	braun verfärbt	...	
14.05.	Mortadella	...		



Quellenverzeichnis

- [1] Johann Heinrich von Thünen-Institut (ed.): Wege zur Reduzierung von Lebensmittelabfällen -Pathways to reduce food waste (REFOWAS), Thünen Report 73, Vol. 1, Braunschweig, Oktober 2019
https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen-Report_73_Vol1.pdf (letzter Zugriff: 10.06.21)
- [2] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft:
Ermittlung der Mengen weggeworfener Lebensmittel und Hauptursachen für die Entstehung von Lebensmittelabfällen in Deutschland, Kurzfassung einer Studie der Universität Stuttgart, März 2012
https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ernaehrung/Lebensmittelverschwendung/Studie_Lebensmittelabfaelle_Kurzfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (letzter Zugriff: 31.05.21)
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) / Umweltbundesamt (UBA):
Umweltbewusstsein in Deutschland 2016 - Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/umweltbewusstsein_deutschland_2016_bf.pdf
(letzter Zugriff: 03.06.21)
- [4] <https://www.appinio.com/de/blog/lebensmittel-verschwendung-studie> (letzter Zugriff: 07.07.21)
- [5] Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit: Der Zukunftsvertrag für die Welt, Stand März 2017 - Die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung
http://www.bmz.de/de/ministerium/ziele/2030_agenda/index.html (letzter Zugriff: 27.04.21)
- [6] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Initiative "Zu gut für die Tonne"
<https://www.zugutfuerdietonne.de/warum-werfen-wir-lebensmittel-weg/> (letzter Zugriff: 27.04.21)
- [7] S. W. Souci, W. Fachmann, H. Kraut, bearb. von H. Scherz, F. Senger: Die Zusammensetzung der Lebensmittel, Nährwert-Tabellen, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 2000
- [8] Heike P. Schuchmann, Harald Schuchmann, Lebensmittelverfahrenstechnik, John Wiley & Sons, 2012
- [9] Arbeitsgruppe. M. Tausch, Chemiedidaktik Universität Wuppertal
<https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/index.php?id=4753&L=0> (letzter Zugriff: 10.06.21)
- [10] Bundesamt für Risikobewertung,
<https://www.bfr.bund.de/cm/343/fragen-und-antworten-zu-aluminium-in-lebensmitteln-und-verbrauchernahen-produkten.pdf>
(letzter Zugriff: 10.06.21)

Auf der Homepage des Agnes-Pockels-SchülerInnen-Labors finden sich unter www.tu-braunschweig.de/agnes-pockels-labor in der Kategorie „Themen und Experimente“ unter „Mit Naturwissenschaften gegen Lebensmittelverschwendung“ nähere Informationen zu

Angebot	▼
Zielgruppe	▼
Hintergrund	▼
Kistenverleih	▼
Übersicht über die Versuche	▼
Vorschriften und Informationen zu den Versuchen	▼

Dort können die vollständigen Versuchsvorschriften, weiteres Informationsmaterial sowie diese Broschüre im pdf-Format heruntergeladen werden.

Hinweis zum Abschluss:

Es gibt eine Vielzahl von Initiativen, die sich gegen Lebensmittelverschwendung engagieren, bundesweit wie regional. Manche stellen auch Aktions- und Unterrichtsmaterialien zur Verfügung. Weitere Informationen dazu findet man im Internet.



gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

www.tu-braunschweig.de/agnes-pockels-labor