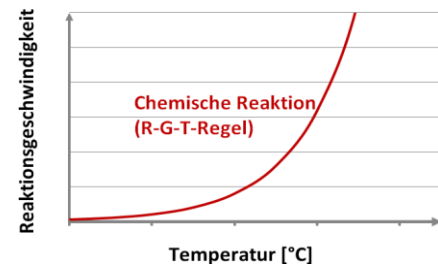


Hintergrundinformationen für Lehrkräfte

Einflüsse von außen wie Temperatur, Säurezugabe, Licht oder Luftkontakt können in Lebensmitteln zu Veränderungen führen. Diese können erwünscht sein, z.B. Reifungsprozesse, oder auch unerwünscht, z.B. Veränderungen von Farben oder Aromen, oder sie dienen der Zubereitung wie z.B. höhere Temperaturen oder Säurezugabe. Durch geeignete Verpackungen können Lebensmittel zum Teil vor Veränderungen durch äußere Einflüsse geschützt werden.

Einfluss von Temperatur und pH-Wert auf chemische Reaktionen

Der Einfluss von Temperatur und pH-Wert auf die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen unterliegt bestimmten Regeln. Je höher die Temperatur ist, desto schneller verlaufen chemische Reaktionen. Eine Reaktion benötigt eine Mindestenergie, die sogenannte Aktivierungsenergie, die häufig durch Wärmezufuhr (also Temperaturerhöhung) überwunden werden kann.



Die RGT-Regel (Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel)

Sie beschreibt eine Faustregel zur Geschwindigkeit chemischer Reaktionen (Kinetik):

Wird die Temperatur um 10 °C erhöht, läuft eine chemische Reaktion etwa doppelt so schnell ab.

Lebensmittel verändern sich bei der Lagerung und verlieren an Qualität, weil u.a. chemische Reaktionen ablaufen. Wird das Lebensmittel gekühlt, werden die Reaktionen verlangsamt: Das Lebensmittel hält sich länger. Auch Feuchtigkeit verdunstet langsamer, wenn das Lebensmittel kühl gelagert wird.

Der pH-Wert hat ebenfalls einen Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit. Gerade im Säuren laufen viele Reaktionen schneller ab, wenn Säure als Katalysator wirkt, d.h. indem die Aktivierungsenergie herabgesetzt wird. Dies ist sowohl bei der Karamellisierung als auch bei der Saccharosehydrolyse der Fall. Die zugrunde liegenden Reaktionstypen unterscheiden sich jedoch. Bei der Karamellisierung ist der Säurerest als Reaktionspartner direkt an den Reaktionen beteiligt. Je nach verwendeter Säure ergeben sich unterschiedliche Produkte.

Bei der Saccharosehydrolyse fungiert dagegen nur das dissoziierte Proton als Katalysator, ohne bei der Reaktion verbraucht zu werden. Die Art der Säure ist nicht ausschlaggebend, allein die Säurestärke, also der pH-Wert.

Erkenntnisse zu den einzelnen Experimenten und ihre Anwendung im Alltag

4.1 Karamellisierung

Die Karamellisierung wird hier als einfach durchzuführende Reaktion mit visuell direkt verfolgbarrem Verlauf genutzt, um die Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit zu untersuchen. Zusätzlich lässt sich gut zeigen, dass auch der pH-Wert die Geschwindigkeit einer Reaktion und ggf. ihre Produkte beeinflussen kann.

Den Vorgang, der beim trockenen Erhitzen von Zucker stattfindet, bezeichnet man als Karamellisierung. Die „weißen“ (eigentlich farblosen) Kristalle schmelzen nicht einfach nur zu flüssigem Zucker, sondern es laufen verschiedene chemische Reaktionen ab, bei denen der Zucker verändert wird.

Es lässt sich folgendes beobachten:

- bis 150 °C Der Zucker schmilzt, noch ohne sich zu zersetzen, er bräunt noch nicht. Es entsteht Zuckerglas.
- 150-180 °C Der Zucker beginnt zu bräunen, ein feines Karamellaroma entsteht.
- ab 180 °C Die Reaktionen laufen verstärkt ab, es entstehen dunklere Farbstoffe und das Karamellaroma wird intensiver. Erkalte Karamell ist glasartig und zerbricht in Splitter.
- über 200°C Der Zucker zersetzt sich zu schwarzer Zuckerkohle und Wasser.

Erhitzt man Zucker oder neutrale konzentrierte Zuckerlösungen, so führt das zur Zersetzung der Zuckermoleküle. Hierbei entstehen braun gefärbte Produkte mit intensivem **Karamellaroma**.

Bei Saccharose finden erste Umsetzungen etwa bei 140 -160° C statt, bei Fructose starten die Reaktionen schon bei niedrigeren Temperaturen (ca. 110°C). Dabei laufen viele verschiedene charakteristische Reaktionen ab, v.a. Wasserabspaltung (Dehydratisierungen) gefolgt von Tautomerisierung und Cyclisierungen. Im Alkalischen kommt es zu C-C-Spaltungen und Aldol-Kondensationsreaktionen der Bruchstücke sowie Umlagerungen. Es entstehen gelblich-braune Produkte (Furane, Furanone, Pyrone wie Maltol u.a.), die dem Karamell sein typisches Aroma geben. Bei zu starker Hitze entsteht durch fortschreitende Dehydratisierung schließlich Kohlenstoff.

Erhitzt man dagegen Zucker in Gegenwart sauer und/oder basisch wirkender Zusätze, werden die Reaktionen in Richtung der Polymerisationsprodukte, also intensiver gefärbten hochmolekularen Produkten gelenkt. Es bilden sich hauptsächlich braun-schwarze Farbstoffe, die wenig bis eher bitter schmecken. Dieses Gemisch nennt man Zuckerkulör. Es ist als Farbstoff für einige Lebensmittel zugelassen. Dazu gehören Getränke wie z.B. Cola, Malzbier, Whiskey oder Rum sowie Süßwaren (z.B. Lakritze) und Fertigsoßen. Auf der Zutatenliste steht dann entweder Zuckerkulör oder E150. Die Einteilung der E-Nummern von Zuckerkulör (E150a-d) beruht auf bei der Herstellung verwendeten Säuren und Laugen. Eingesetzt werden in erster Linie Schwefelsäure und Ammoniak bzw. Ammoniumsulfat oder -sulfid. Zuckerkulör kann man auch im Einzelhandel kaufen.

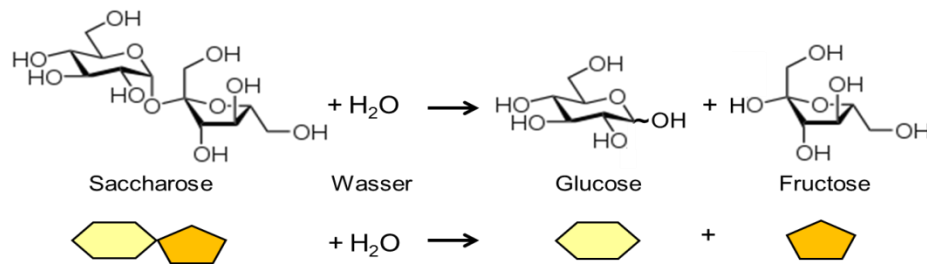
Beim Braten von Fleisch werden ebenfalls Farb- und Aromastoffe gebildet. Hierbei handelt es sich jedoch nicht um Karamellisierung, sondern um die verwandte sogenannte Maillard-Reaktion, bei der auch Eiweißstoffe beteiligt sind.

Werden Lebensmittel zu lange oder bei zu hoher Temperatur erhitzt, entstehen neben den erwünschten Röstprodukten auch bittere Produkte und auch Schadstoffe wie z.B. Acrylamid, die das Lebensmittel ungenießbar machen und gesundheitsschädlich sein können.

4.2 Saccharosehydrolyse

Der üblicher Haushaltszucker Saccharose ist aus den beiden Bausteinen Glucose und Fructose zusammengesetzt. Es gibt im Haushalt aber auch noch andere Zuckerarten. Sie haben einen Namenszusatz, damit wir sie vom Haushaltszucker unterscheiden können, z.B. Traubenzucker, Fruchtzucker oder Milchzucker. Fachleute nennen diese Zuckerarten Glucose, Fructose oder Lactose.

Manche Zucker sind sogenannte Einfachzucker oder Monosaccharide. Sie bestehen aus einem einzigen Baustein wie z.B. Glucose oder Fructose. Saccharose und Lactose bestehen dagegen aus zwei Zuckerbausteinen, so etwas nennt man Disaccharid. Saccharose kann auf unterschiedlichen Wegen in ihre Bausteine Glucose und Fructose gespalten werden. Dies nennt man Hydrolyse, weil ein Wassermoleküle eingebaut wird. Die Spaltung kann chemisch unter Säurekatalyse oder durch Enzyme (Invertasen) erfolgen.



Die chemische Spaltung verläuft mit Wasser und Säure und heißt Hydrolyse. Je höher die Temperatur der Lösung, desto schneller läuft die Reaktion ab. Bei einer Temperatur von 80-90 °C verläuft die Hydrolyse bereits innerhalb von 2 Minuten. Die Säure fungiert bei dieser Reaktion als Katalysator, d.h. sie beschleunigt die Reaktion, wird dabei aber nicht verbraucht. Bei niedrigeren pH-Werten, also höheren Säurekonzentrationen, verläuft die Reaktion schneller. Der Verlauf der Saccharosehydrolyse lässt sich mit dem Fehlingnachweis für reduzierende Zucker verfolgen, der mit fortschreitender Hydrolyse immer intensiver wird.

- Obst enthält oft viel Säure. Wenn Obstkonserven hitzesterilisiert werden, kann die eingesetzte Saccharose in der Konserve gespalten werden. Gleiches kann bei der Lagerung von zuckerhaltigen Limonaden oder Cola passieren. Dadurch werden die Produkte süßer, weil Fructose eine höhere Süßkraft besitzt, besonders im Kalten.
- Saccharose kann auch mithilfe von Biokatalysatoren, also Enzymen, gespalten werden. Organismen besitzen dafür verschiedene Enzyme. Für diese Reaktionen gelten ganz andere Bedingungen. Sie laufen i.d.R. bei niedrigen Temperaturen und im neutralen Bereich ab, z.B. in Früchten. Dies passiert auch bei der Umsetzung von Blütennektar zu Honig durch Bienen. Hohe Temperaturen und Säurekonzentrationen sind hier schädlich.

Zusatzinformation: Zucker-Nachweis mit Fehling-Reagenz

Reduzierende Zucker wie Glucose und Fructose können mit Fehling-Reagenz nachgewiesen werden. Sie bilden nach dem Erhitzen mit dem Fehling-Reagenz einen leuchtend orange-roten Niederschlag.

Der Zuckernachweis mit Fehling-Lösung beruht auf einer Reaktion von reduzierenden Zuckern mit Kupfer-II-Ionen in alkalischer Lösung. Dabei werden die in Wasser blau gefärbten Kupfer-II-Ionen zu rotem Kupfer(I)oxid reduziert, das zu einer charakteristischen orange-roten Färbung und dann einen tiefroten Niederschlag bildet.

Bei Saccharose funktioniert dieser Nachweis nicht, die durch die Reagenzien hervorgerufene blaue Färbung bleibt auch nach dem Erhitzen bestehen. Genau die beiden Stellen in den Glucose- und Fructose-Molekülen, die beim Fehling-Nachweis reagieren, sind im Saccharosemolekül miteinander verbunden, also maskiert.

Einfluss von Licht und Luft auf chemische Reaktionen

Lebensmittel sind bereits im Verlauf ihrer Gewinnung und Herstellung Licht und Luft ausgesetzt. Auch wenn bei empfindlichen Lebensmitteln diese Einwirkungen bis auf einen unvermeidbaren Anteil reduziert werden können, so ist dies spätestens im Haushalt bei Zubereitung, Lagerung oder Verbrauch nicht mehr der Fall. Durch einen angemessenen Umgang im Haushalt können Veränderungen im Lebensmittel jedoch reduziert werden.

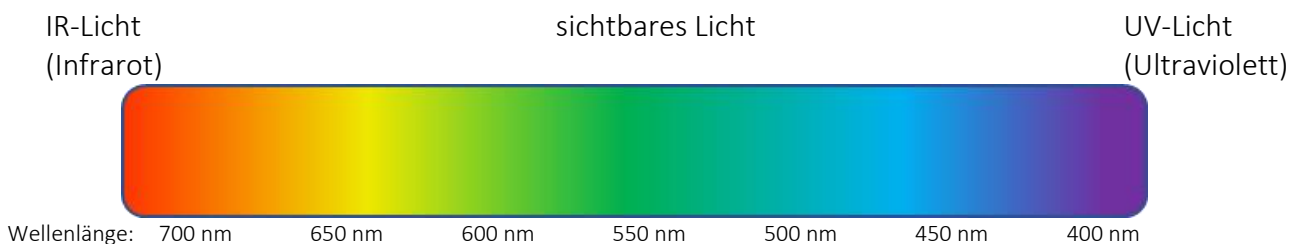
Luftsauerstoff führt zu Oxidationsprozessen, die Fehlaromen oder Farbveränderungen bewirken können. Werden die Oxidationsreaktionen durch Licht ausgelöst oder verstärkt, spricht man von Photooxidation. Handelt es sich um einen Farbstoff, lässt sich der Abbau gut beobachten.

Durch Lichteinwirkung können manche Produkte ein Fehlaroma, den sogenannten Lichtgeschmack entwickeln. Lichtgeschmack heißt: Durch den Einfluss von Licht werden Inhaltsstoffe

verändert, es entstehen verschiedene Stoffe, die Geruch und Geschmack verändern. Diese Stoffe haben einen sehr niedriger Schwellenwert. Bereits einige Minuten Sonneneinstrahlung können ausreichen, z.B. bei Milch oder Bier.

Zusatzinformation: Licht

Den für uns mit dem Auge wahrnehmbaren Wellenlängenbereich im Sonnenlichtspektrum von etwa 380 bis 780 Nanometer (nm) nennt man „sichtbares Licht.“ Es kann z.B. mit einem Prisma so zerlegt werden, dass die einzelnen Wellenlängenbereiche getrennt sichtbar werden. Jeder Wellenlängenbereich entspricht einer Farbe. Diese Farben, die durch Auftrennung des gesamten Spektrums sichtbar werden, nennt man Spektralfarben. Werden alle Spektralfarben von Violett (Wellenlänge ca. 380 nm) über Blau, Grün, Gelb, Orange zu Rot (Wellenlänge ca. 780 nm) zusammengesetzt, ergibt sich wieder weißes Licht. Fehlt ein Wellenlängenbereich, erscheint das Licht farbig.



In den Naturwissenschaften wird die Definition von Licht etwas weiter gefasst. Es werden auch Bereiche mit kleinerer Wellenlänge sowie größerer Wellenlänge als die des sichtbaren Lichts dazu gezählt. An den violetten Bereich, also in Richtung kleinerer Wellenlänge, schließt sich der Bereich der UV-, der Ultraviolettstrahlung an. In die andere Richtung, also hin zu größeren Wellenlängen folgt auf an Bereich des roten Lichts die IR-, also Infrarotstrahlung. Bei Licht handelt es sich um elektromagnetische Wellen, man sagt auch elektromagnetische Strahlung. Diese Wellen, zu denen z.B. auch Radiowellen, Mikrowellen, Wärmestrahlung und Röntgenstrahlung gehören, benötigen kein Medium zur Ausbreitung (anders als Schallwellen). Sie können sich auch im Weltraum ausbreiten und sind ebenfalls im natürlichen Sonnenlicht enthalten.

Erkenntnisse zu den einzelnen Experimenten und ihre Anwendung im Alltag

5.1 Riboflavin

Riboflavin ist ein wasserlösliches Vitamin (B2). Wegen seiner gelben Farbe ist es auch als Lebensmittelfarbstoff zugelassen (E101). Riboflavin kommt natürlich unter anderem in Milch- und Vollkornprodukten sowie in verschiedenen Gemüsesorten wie z.B. Brokkoli vor. Wegen seines Vorkommens in Milch wird es auch Lactoflavin genannt.



Als Farbstoff wird Riboflavin vorwiegend in Süßwaren und Nachspeisen eingesetzt, z.B. in Vanillepuddingpulver sowie in Brausetabletten der Geschmacksrichtung Citrus.

Riboflavin wird durch Kochen teilweise zersetzt, gegen Sauerstoff und Säure ist es relativ stabil, jedoch stark lichtempfindlich. Dabei wirkt es als Fotosensibilisator. **Daher sollten Milchprodukte lichtgeschützt aufbewahrt werden.** Sonst verschwindet nicht nur das Riboflavin, sondern es entsteht gleichzeitig der sogenannte Lichtgeschmack.

Außerdem zeigt Riboflavin eine intensive Fluoreszenz im UV-Licht. Dies wird in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie zur Überwachung von Reinigungsprozessen genutzt. Dazu wird den Reinigungslösungen Riboflavin zugesetzt. Nach Abschluss der Spülvorgänge werden die Geräte mit UV-Licht überprüft. Wenn noch Fluoreszenz erkennbar ist, muss weiter gespült werden.

5.2 Brühwurst

Als Brühwurst bezeichnet man Wurstsorten, die aus rohem Fleisch nach Zugabe von Wasser oder Eis durch Hitzebehandlung hergestellt werden. Durch die Gerinnung von Muskeleiweiß bildet sich eine schnittfeste Struktur aus. Zu den Brühwürsten gehören Mortadella, Jagdwurst, Wiener Würstchen, Fleischkäse u.a.

Nitritpökelsalz ist ein Gemisch aus dem normalen Speisesalz (Natriumchlorid) und Natrium- oder Kaliumnitrit. Es hemmt bestimmte unerwünschte Mikroorganismen und verlängert so die Haltbarkeit von Fleischerzeugnissen. Gleichzeitig verleiht es den Produkten ein typisches Pökelaroma und erhält die rote Farbe von Fleisch beim Erhitzen. Dies beruht auf einer Umwandlung des roten Blutfarbstoffs durch Nitrit, diesen Vorgang nennt man auch „Umröten“.

Brühwurstprodukte haben daher normalerweise eine appetitliche rosa Farbe. Diese kann sich jedoch schnell in einen unappetitlichen graubraunen Farbton verwandeln, den der Verbraucher oft als Anzeichen für beginnenden Verderb nimmt. Das Vergrauen beginnt, wenn die Wurst in Kontakt mit Sauerstoff und Licht kommt, also z.B. in der Auslage der Wursttheke oder nach dem Öffnen der Verpackung. Der umgerötete Blutfarbstoff oxidiert sehr schnell und wird dabei zerstört. Insbesondere blaues und UV-Licht beschleunigen den Vorgang erheblich. Darum sollten die Waren in der Wursttheke möglichst wenig beleuchtet werden. Am besten eignet sich rötliches Licht bzw. Licht mit einem geringen Blau-Anteil.

Im SB-Bereich sollen die Verpackungen vor dem Vergrauen schützen. Transparente Verpackungen können z.B. UV-Filter enthalten, Verbundfolien dienen als Sauerstoffbarrieren. Die Produkte werden entweder vakuumverpackt oder die Verpackungen enthalten anstelle von Sauerstoff ein Schutzgas. Frischhaltefolie besteht ebenso wie Gefrierbeutel aus Polyethylen. Diese Folien sind durchlässig für Sauerstoff. Zellglasfolien basieren auf Cellulose. Sie lassen keinen Sauerstoff durch.

Dass Licht die entscheidende Ursache für diesen Vorgang ist, lässt sich zeigen, indem ein Teil der untersuchten Wurst mit Alufolie lichtdicht abgedeckt wird. Dieser Teil zeigt nach Lichteinstrahlung weiterhin die typische rosa Fleischfärbung, während die anderen bestrahlten Bereiche bräunlich-grau verfärbt sind.

5.3 Bräunungsreaktionen

Angeschnittenes Obst verfärbt sich schnell braun. Beim Schneiden von Obst und Gemüse werden die Zellstrukturen verletzt, sodass Luft in die verletzten Zellen eintreten kann. Zellinhaltsstoffe reagieren dann unter Mitwirkung von zelleigenen Enzymen mit dem Luftsauerstoff in mehreren Stufen bis hin zu braun gefärbten Produkten. Daher bezeichnet man diesen Vorgang auch als enzymatische Bräunung.

Das natürlicherweise in Früchten enthaltene Vitamin C verzögert diese Bräunungsreaktionen. Wenn das Vitamin C im Oberflächenbereich verbraucht ist, wird die Frucht braun. Viele Früchte enthalten zwar Vitamin C, aber nicht in so großen Mengen wie Zitronen. Die Zugabe von Zitronensaft verstärkt also den Schutz. Darum ist bei Obstsalat-Rezepten immer auch Zitronensaft angegeben. Entscheidend ist dabei nicht die Säurewirkung, wie experimentell durch den Vergleich mit Zitronensäure gezeigt wird, sondern die Reaktion von Vitamin C (Ascorbinsäure) mit Luftsauerstoff.

Die Wirkung von Ascorbinsäure ist zeitlich beschränkt, da sie während der Umsetzung oxidiert wird. Daher sollten Lebensmittel zur Vermeidung der Bräunung in einem geschlossenen Gefäß,

am besten luftdicht, verpackt werden. So kommt kein Sauerstoff nach und er kann eher verbraucht werden als die Ascorbinsäure. Das Einwickeln von Obst in Frischhaltefolie verhindert die Bräunung nicht, weil die Folie sauerstoffdurchlässig ist.

Viele Lebensmittel enthalten von Natur aus Vitamin C, anderen wird es in Form von Ascorbinsäure extra zugegeben. Ascorbinsäure schützt als natürliches Antioxidationsmittel gegen den Luftsauerstoff und ist ein zugelassener Lebensmittelzusatzstoff (E300, bei den Nummern 301 – 304 handelt es sich um Salze der Ascorbinsäure). Die Verwendung muss auf der Zutatenliste angegeben werden.

Vitamine sind Stoffe, die durch die Nahrung aufgenommen werden müssen und im menschlichen Körper eine bestimmte, notwendige Wirkung in unserem Stoffwechsel entfalten. Unter der Bezeichnung Vitamin C werden die Formen der Ascorbinsäure und ihrer Abkömmlinge zusammengefasst, die eine biologische Aktivität aufweisen. Es handelt sich in erster Linie um L-(+)-Ascorbinsäure und auch Dehydroascorbinsäure (DHA).

5.4 Carotine

Carotine sind gelb-orange-rote Farbstoffe, die in vielen Obst- oder Gemüsesorten vorkommen, z.B. in Möhren, Tomaten oder Paprikaschoten. Der Name leitet sich von der Karotte ab, die besonders viel Carotin enthält. Einige Carotine sind als Lebensmittelzusatzstoffe zugelassen (E160 und E161).

In diesen Experimenten dienen die Carotine als Modellmoleküle, weil sie ähnlich aufgebaut sind wie Fettsäuren und auch ähnliche Eigenschaften wie Fette haben. Darum lösen sich Carotine besser in Öl als in Wasser (**Merksatz: Ähnliches löst sich in Ähnlichem.**). Bei beiden Stoffgruppen sind in den Molekülen Kohlenstoffketten mit Doppelbindungen enthalten. Bei den Carotinen wechseln sich die Doppelbindungen mit Einfachbindungen ab, sogenannte konjugierte Doppelbindungen. Stoffe mit einer derartigen Struktur erscheinen farbig. Die Doppelbindungen im Molekül können durch Sauerstoff zerstört werden, dieser Vorgang wird durch Licht und durch Metallionen wie Eisen verstärkt. Der Stoff verliert seine Farbe, dadurch lässt sich der Vorgang mit dem bloßem Auge gut verfolgen, anders als bei Fettsäuren.

Auch in Pflanzenölen wie z.B. Olivenöl mit vielen ungesättigten Fettsäuren laufen diese Vorgänge ab (siehe Fettranzigkeit). Darum sollten Öle dunkel und verschlossen lagern und möglichst nicht mit eisen- oder kupferhaltigen Gerätschaften in Berührung kommen (Pfannen mit Kratzern, rostige Messer, geöffnete Konservendosen, Kupfergefäße ...)

Fett- und Carotinhaltige Lebensmittel soll man nicht in Kunststoffdosen aufbewahren. Helle Kunststoffschüsseln können z.B. durch Tomatensoße orangerote Verfärbungen bekommen, da die Farbstoffe in den Kunststoff hinein wandern. Gleichzeitig können auch Zusatzstoffe aus dem Kunststoff ins Lebensmittel übergehen. Diese Verfärbungen lassen sich durch Abwaschen nicht entfernen, verschwinden aber in der Sonne nach kurzer Zeit, weil die Carotine im Licht zersetzt werden.

Viele Pflanzen enthalten sowohl den grünen Farbstoff Chlorophyll als auch gelb-orange-rote Carotine. Deren Farbe wird zunächst vom Chlorophyll überdeckt. Wird dies z.B. im Verlauf der Reifung abgebaut, erscheinen die verschiedenen Farbtöne der Carotine. Daher sagt man bei unreifen Früchten auch: „Die sind noch grün“. Auch bei Laubbäumen ist dieser Prozess zu beobachten, wenn ihre Blätter im Herbst gelb oder rot werden.

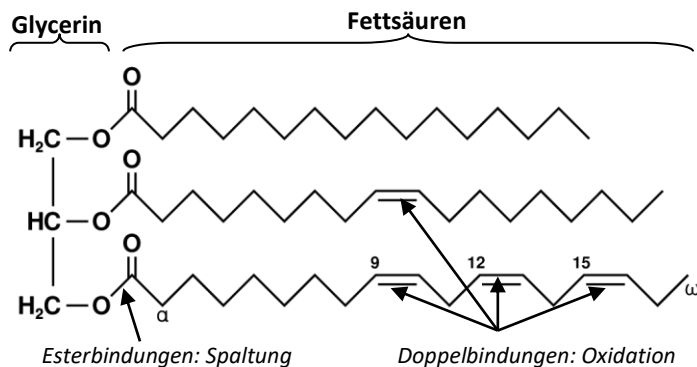
Bekanntester Vertreter ist das β -Carotin. Es ist die wichtigste Vorstufe von Vitamin A in Lebensmitteln und wird daher auch als Provitamin A bezeichnet. β -Carotin ist auch in einigen Sonnenschutzpräparaten enthalten. Ob es als Sonnenschutz für den Menschen wirkt, ist aber nicht sicher. β -Carotin kann den Einsatz von Sonnencremes nicht ersetzen.

5.5 Fettverderb

Alle Fette sind gleich aufgebaut: An einem Kopfteil aus Glycerin sind drei lange Fettsäuren geknüpft. Fettsäuren sind mittel- bis langkettige, unverzweigte Carbonsäuren. Sie können gesättigt oder ungesättigt sein. Ungesättigte Fettsäuren enthalten mindestens eine Doppelbindung in der Kohlenstoffkette. Die drei Fettsäuren in einem Fettmolekül können unterschiedlich sein, daher gibt es eine Vielzahl von Fetten. So genannte ungesättigte Fette schmelzen eher als gesättigte. Flüssige Fette nennt man Öle.

Durch äußere Einwirkungen wie Sauerstoff, Licht, Feuchtigkeit und Metallspuren sowie durch Enzyme kann Fett verderben, also ranzig werden. Höhere Temperaturen beschleunigen den Prozess. Beim Ranzigwerden kommt es zu chemischen Veränderungen in den Fettmolekülen. Fettmoleküle weisen zwei Schwachstellen auf, an denen sie besonders leicht angegriffen werden können. Einerseits sind das die Doppelbindungen in den Fettsäuren. Diese können leichter mit anderen Stoffen reagieren und sie anlagern. Andererseits können die Esterbindungen, also die Verknüpfungen zwischen dem Glycerin und den Fettsäuren, gespalten werden. Dabei wird Wasser angelagert. Dies nennt man allgemein Hydrolyse oder im Fall des enzymatischen Fettabbaus auch **Lipolyse** (lipos = griechisch für „Fett“; lysis = griechisch für „Lösen“). Es entstehen freie Fettsäuremoleküle.

Daher unterscheidet man zwei Arten des Fettverderbs, einmal die **Autoxidation** der Doppelbindungen durch Luftsauerstoff und die **hydrolytische Spaltung** der Esterbindungen durch Enzyme (Lipasen).



Beispiel für ein Fettmolekül:
An ein Kopfteil aus Glycerin sind drei lange Fettsäuren geknüpft

<https://www.lecturio.de/magazin/triglyceridabbau/> 27.09.2019

Die größere Rolle für die sensorische Veränderung von Fetten spielen die oxidativen Prozesse durch Sauerstoff. Als **Autoxidation** bezeichnet man eine Kettenreaktion, die - für radikalische Reaktionen typisch - langsam beginnt und dann mit stetig zunehmender Geschwindigkeit verläuft. Höhere Temperaturen und Licht sowie Eisen- (Fe³⁺/Fe²⁺) und Kupferspuren (Cu²⁺/Cu⁺), die während der Verarbeitung oder im Haushalt in das Fett gelangen, unterstützen den Prozess. Es kommt zur Bildung von Peroxiden, gefolgt von Spaltungen der Fettsäureketten, und führt in mehrstufigen Reaktionen zu den verschiedensten Abbauprodukten, v.a. (ungesättigten) Aldehyden und Ketonen mit typischen Geruchsnoten. Spielt Licht dabei eine Rolle, spricht man Photooxidation, die i.d.R. sehr viel schneller verläuft. Das Fett wird ungenießbar und ggf. gesundheitsschädlich.

Am anfälligsten für den Verderb sind Fette mit einem hohen Anteil ungesättigter Fettsäuren, da die Doppelbindungen ideale Angriffspunkte darstellen. Gerade diese sind allerdings aus ernährungsphysiologischer Sicht besonders wertvoll.

Der Anteil an ungesättigten Fettsäuren lässt sich mit dem Baeyer-Reagenz qualitativ bestimmen und vergleichen. Je höher ihr Anteil, desto schneller wird das violette Reagenz, eine alkalische Kaliumpermanganat-Lösung, entfärbt. Dabei entsteht Braunstein (Mangandioxid), der einen braunen, flockigen Niederschlag bildet.

Am Beispiel des Leinöls, das einen sehr hohen Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren hat, kann man die Veränderungen sehr gut demonstrieren: Stellt man einen mit einer dünnen Schicht Leinöl gefüllten Teller in die Sonne, entsteht innerhalb einiger Tage eine feste Schicht. Die Doppelbindungen der Fettsäuren werden durch Licht angegriffen, reagieren miteinander und vernetzen. Dieser Effekt tritt auch beim „Trocknen“ von Ölfarben auf, die nicht im eigentlichen Sinn trocknen (d.h. Wasser abgeben), sondern verfestigen durch Vernetzung.

Daher lagert man empfindliche Öle mit vielen ungesättigten Fettsäuren kühl und dunkel, z.B. in dunklen Glasflaschen mit Schraubverschluss. Außerdem sollen Fette mit einem hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren (die sogenannten Omega-Fettsäuren) nicht stark erhitzt werden, weil die Doppelbindungen sonst aufgebrochen werden können. Diese eignen sich besser für den rohen Verzehr, z.B. an Salat.

Bei der **hydrolytischen Spaltung** werden die Bindungen zwischen Glycerin und den Fettsäuren katalysiert durch Enzyme unter Anlagerung von Wasser gespalten. Dies nennt man allgemein Hydrolyse oder im Fall des enzymatischen Abbaus auch **Lipolyse** (lipos = griechisch für „Fett“; lysis = griechisch für „Lösen“). Da die Salze der Fettsäuren Seifencharakter haben, spricht man bei der alkalischen Spaltung auch von Verseifung. Es entstehen freie Fettsäuremoleküle.

Reine Fette enthalten kaum freie Fettsäuren. Ohne Wasser keine Hydrolyse: Daher soll kein Wasser in Öle eingetragen werden. Emulgierte Fette (Fett-Wassergemische wie z.B. Butter oder Mayonnaise) werden eher gespalten als reine Fette. Der Anteil an freien Fettsäuren kann durch eine Titration mit stark verdünnter Natronlauge gegen Phenolphthalein bestimmt werden. Durch freie Fettsäuren können Fette einen unangenehmen Geruch und Geschmack bekommen, sie sind aber gesundheitlich unbedenklich. Kurzkettige Fettsäuren sind sehr geruchsintensiv und können bereits in Spuren das Fett ungenießbar machen. Bekanntester Vertreter ist hier die Buttersäure. Bei manchen Lebensmitteln wie Käse trägt die Fettspaltung bei der Reifung zur Aromabildung bei.

Ranziges Fett kann man schon recht früh durch feine Geruchs- und Geschmacksveränderungen wahrnehmen. Die Gefahr, ranziges Fett zu verzehren, besteht also besonders bei stark gewürzten Produkten, da die Gewürze den unangenehmen Geruch und Geschmack überdecken können. Ihr Verzehr kann zunächst zu Verdauungsbeschwerden führen. Fette, die wiederholt mit feuchtem Gut sehr hoch erhitzt wurden, wie z.B. altes Fritteusenfett, sind chemisch stark verändert und enthalten verschiedene Reaktionsprodukte, unter denen sich auch krebserregende befinden können.

Einfluss von Bedarfsgegenständen und Verpackungen auf Lebensmittel

Verpackungen sollen Lebensmittel eigentlich schützen. Von Materialien, die mit Lebensmitteln in Kontakt kommen, können Spuren in das Lebensmittel übergehen. Dieser Vorgang heißt Migration. Diese Spuren werden beim Verzehr des Lebensmittels mit aufgenommen.

Kunststoffverpackungen oder -folien sollen Lebensmittel ebenfalls schützen, können jedoch nicht sämtliche äußere Einflüsse abschirmen. Je nach Material können z.B. Sauerstoff oder Feuchtigkeit hindurch diffundieren. Zum Schutz gegen Licht werden z.B. Braun- oder Grünglas oder aluminiumkaschierte Folien eingesetzt.

Erkenntnisse zu den einzelnen Experimenten und ihre Anwendung im Alltag

6.1 Eisenhaltige Materialien

Metallisches Eisen hat ein negatives Reduktionspotential, d.h. es wird von Säuren unter Bildung von elementarem Wasserstoff aufgelöst. Metallische Küchengeräte sind meist aus rostfreiem Stahl, der säureresistent ist. Allerdings kann Eisen als Werkstoff für Geräte und Anlagen bei der Gewinnung und Herstellung von Lebensmitteln eingesetzt werden. Überwiegend werden jedoch auch hier Edelstähle eingesetzt, die stabiler gegen Säureeinwirkung sind.

Haushaltsgeräte wie Besteck, Töpfe oder Pfannen sind meist aus Stahl. Einige Stahlarten können rosten, Überzüge können beschädigt sein. Dann können säurehaltige Lebensmittel das Metall angreifen und an- oder auflösen, z.B. Eisen oder auch Kupfer. Herausgelöste Metallspuren gehen in das Lebensmittel über. Hier können sie weitere Reaktionen auslösen oder verstärken wie die Fettoxidation oder Reaktionen mit Proteinen.

Konservendosen bestehen aus Weißblech. Dabei handelt es sich um mit einer Zinnschutzschicht überzogenen Stahl. Die Zinnschicht dient als Korrosionsschutz. Bei stark eingebeulten Dosen kann die innere Schutzschicht beschädigt sein, sodass das enthaltene Produkt in Kontakt mit dem Stahlblech kommt. Dann könnten Eisenspuren in das Produkt gelangen. Gleiches passiert bei geöffneten Dosen an den Schnittkanten. Daher sollten Lebensmittel nicht in geöffneten Konservendosen aufbewahrt, sondern immer sofort umgefüllt werden.

Eisenionen lassen sich nachweisen, indem sie mit einem Reagenz ein stabiles blaues Pigment bilden, das *Berliner Blau*.

6.2 Aluminium

Aluminium hat ebenfalls ein negatives Reduktionspotential, d.h. es wird theoretisch von Säuren unter Bildung von elementarem Wasserstoff aufgelöst. Allerdings bildet sich in Anwesenheit oxidierender Säuren eine schützende Aluminiumoxidschicht auf der Oberfläche, die dies verhindert. Man nennt dies „Passivierung“. Salzsäure und Essigsäure können Aluminium dagegen lösen. Auch starke Laugen lösen Aluminium auf.

Aluminium ist im Haushalt ein gängiges Material, z.B. als Folie, für Getränkedosen oder leichte Töpfe. Seine Oberfläche ist passiviert und so teilweise gegen Korrosion geschützt. jedoch nicht gegen stärkere Säuren und Laugen. Aluminium steht im Verdacht, die Gesundheit zu schädigen, z.B. Brustkrebs oder Alzheimer auszulösen. Allerdings ist dies bisher nicht endgültig erwiesen. Saure Lebensmittel, die durch Kontakt mit Aluminium Aluminiumionen aufgenommen haben, sollen nicht mehr verzehrt werden. Darum soll dieser Kontakt vermieden werden.

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

Aluminiumionen lassen sich in essigsaurer Lösung mit Morin nachweisen, es entsteht ein unter UV-Licht blau-grün fluoreszierender Komplex. Der angewandte Nachweis kann auch zur Prüfung von Deo auf Al genutzt werden.

6.3 / 6.4 Wasser- und Sauerstoffdurchlässigkeit von Folien

Empfindliche Lebensmittel müssen bei der Lagerung vor Austrocknen und vor schädlichen äußeren Einflüssen geschützt werden. Dazu müssen sie entsprechend verpackt werden. Oft werden Kunststofffolien (Beutel) genutzt. Die verschiedenen Verpackungsmaterialien haben unterschiedliche Eigenschaften. Manche schützen vor Licht, andere vor Luft (Sauerstoff) oder gegen den Verlust bzw. die Aufnahme von Feuchtigkeit.

Methylenblau ist ein Redoxindikator. Der Sauerstoffnachweis beruht darauf, dass Methylenblau zunächst mit Dithionit zur farblosen Leukoform reduziert wird, die anschließend durch Luftsau-

erstoff wieder zu Methylenblau oxidiert wird. Wasserdurchlässigkeit von Folien lässt sich mit Watesmopapier prüfen, dieses färbt sich bei Wasserkontakt blau.

Die meisten Frischhaltefolien sind weniger als 10 Mikrometer dick, Gefrierbeutel sind etwa 4 mal so dick und besonders kältetolerant. Beide bestehen üblicherweise aus Polyethylen. Nicht jede Frischhaltefolie oder jeder Gefrierbeutel ist gleich, es gibt Unterschiede je nach Hersteller. Zellglasfolie, die auch unter der Bezeichnung Zellophan bekannt ist, besteht aus dem kompostierbaren Naturstoff Cellulose.

Frischhaltefolie ist normalerweise wasserdicht, aber im gedehnten Zustand kann ggf. Wasserdampf durchdringen. Um Lebensmittel vor dem Austrocknen zu schützen, sollte man dieses also immer mit möglichst kleinem Luftraum in Gefrierbeutel oder in verschließbare Behälter verpacken, die Feuchtigkeit nicht durchlassen. Sauerstoff kann sowohl durch Gefrierbeutel als auch Frischhaltefolie diffundieren, diese sind für sauerstoffempfindliche Produkte wenig geeignet. Bei Produkten, die empfindlich gegen Sauerstoff sind, soll möglichst wenig Luft mit in der Verpackung kommen. Daher sollten Behälter möglichst vollgefüllt werden. Aus Gefrierbeuteln wird vor dem Einfrieren die Luft herausgedrückt. Am besten ist eine Vakuumverpackung.

Alternativ zu Kunststofffolien können wiederverwendbare, abwaschbare Bienenwachstücher verwendet werden, 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.