

Hintergrundinformationen für Lehrkräfte

Aktivität von Mikroorganismen und Enzymen

Mikroorganismen sind mikroskopisch kleine, meist einzellige Lebewesen. Sie sind mit bloßem Auge als Einzelwesen nicht erkennbar. Zu den Mikroorganismen zählen Bakterien, Pilze, Hefen und auch Mikroalgen. Im Schülerlabor wird Backhefe als Modellorganismus verwendet, weil sie leicht beschaffbar, einfach zu kultivieren und im Umgang ungefährlich ist.

Der Stoffwechsel von Mikroorganismen beruht wie bei allen Lebewesen auf der Aktivität von Enzymen. Enzyme sind Eiweißverbindungen, die als Biokatalysatoren wirken. Sie spielen bei biologischen Prozessen eine entscheidende Rolle, denn sie steuern den Stoffwechsel, indem sie die chemischen Reaktionen in der Zelle katalysieren. So sorgen sie für die beschleunigte Umsetzung der Reaktion, nehmen aber nicht daran teil. Sie wirken in der Regel sehr spezifisch, d.h. jedes Enzym hat eine spezielle Funktion, es katalysiert eine ganz bestimmte chemische Reaktion bei einem ganz bestimmten Stoff bzw. einer Stoffgruppe. Dies nennt man Wirkungsspezifität bzw. Substratspezifität.

Eiweiße (Proteine) können gerinnen, der Fachbegriff lautet *denaturieren*. Dabei handelt es sich um eine strukturelle Veränderung, die zum Verlust der biologischen Funktion führt. Denaturierung kann durch physikalische oder chemische Einflüsse verursacht werden. Dazu gehören Hitze, Säure, mechanische Einflüsse und Schwermetallsalze.

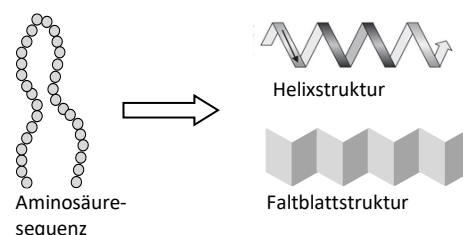
Dies gilt auch für Enzyme. Temperatur und pH-Wert beeinflussen daher die Aktivität von Mikroorganismen und Enzymen erheblich. Sowohl produkteigene Enzyme als auch die Enzyme von Bakterien oder Schimmelpilzen werden durch Hitze oder Säure inaktiviert oder sogar zerstört. Veränderungs- oder Verderbsprozesse können so verlangsamt bzw. gestoppt werden. Daher gehören Erhitzen und Säuern zu den klassischen Methoden der Lebensmittelhaltbarmachung. Auch bei der Kühlung wird die Aktivität von Enzymen herabgesetzt.

Zusatzinformation: Chemischer Aufbau von Proteinen

Die naturwissenschaftliche Bezeichnung für Eiweiß lautet Protein. Proteine bestehen aus Aminosäuren. Als Bausteine für natürliche Proteine dienen 20 verschiedene Aminosäuren, die unzählige Kombinationen bilden können. Sie sind zu einer langen Kette verbunden, dabei können hundert bis mehrere tausend Aminosäuren verknüpft werden.

Die Reihenfolge, in der die Aminosäurebausteine hintereinander folgen, die sogenannte Aminosäuresequenz, bildet die **Primärstruktur**.

Die räumliche Anordnung der Aminosäureketten bezeichnet man als **Sekundärstruktur**. Die Ketten können Spiralen (Helix) und Strukturen ähnlich einem gefalteten Blatt Papier annehmen (Faltblattstruktur).



Diese Strukturen ordnen sich dann dreidimensional an. Dabei werden sie durch hydrophobe, ionische oder π - π -Wechselwirkungen, Wasserstoffbrückenbindungen oder Metallkoordination stabilisiert. Diese räumliche Anordnung der Helix- und Faltblattbereiche bezeichnet man als **Tertiärstruktur**.

Durch die enorm vielfältigen Aufbaumöglichkeiten können Proteine die verschiedensten Aufgaben erfüllen. So sind sie zum Aufbau der Zellen nötig, übernehmen Transportfunktionen (z.B. Hämoglobin) und steuern z.B. als **Enzyme** oder Hormone den Stoffwechsel.

Außerdem unterscheidet man Faserproteine, die als Gerüst- und Stützsubstanz dienen wie z.B. Kollagen, das in Bindegewebe vorkommt, oder auch Keratin, aus dem Haare, Nägel und Federn bestehen. Daneben gibt es eher kugelige Proteine (Globuline), z. B. das Eiklarprotein und noch viele weitere Vertreter.

Bei der **Denaturierung** gehen die Proteine von ihrem geordneten dreidimensionalen Zustand in einen ungeordneten Zustand über. Die Primärstruktur, also die Aminosäuresequenz, bleibt dabei zwar erhalten, aber die räumliche Anordnung der Helix- bzw. Faltblattstrukturen, die Tertiärstruktur, wird zerstört. Die Ketten verhaken sich und liegen als ungeordnetes Knäuel vor, so dass sich Konglomerate bilden, die dann nicht mehr löslich sind und als Flocken sichtbar werden. Dieses Zusammenklumpen nennt man auch Koagulation.

Erkenntnisse zu den einzelnen Experimenten und ihre Anwendung im Alltag

4.3 Eiweiße in Lebensmitteln

Eiweiße können durch physikalische oder chemische Einflüsse denaturieren. Dazu gehören Hitze, Säure, mechanische Einflüsse und Schwermetallsalze. Der Vorgang der Denaturierung begegnet einem oft im Alltag, denn alle diese Verfahren spielen bei der Gewinnung bzw. Zubereitung von Lebensmitteln eine Rolle. Die Denaturierung von Eiweißen in Lebensmitteln kann erwünscht sein, wie z.B. beim Frühstücksei, bei gegartem Fleisch und beim Sahneschlagen, oder aber unerwünscht, z.B. bei sauer gewordener Milch. Da es verschiedene Eiweißarten gibt, ist nicht jede Methode bei jedem Eiweiß gleich wirksam.

Lebensmittel sind nach der Denaturierung von Eiweißen haltbarer als frische: Fisch oder Fleisch halten sich gebraten länger als roh. Neben dem Fisch- bzw. Fleischeiweiß werden auch die Eiweißmoleküle von Bakterien und Pilzen so verändert, dass sich diese nicht mehr vermehren können. Neben der Eiweißgerinnung wird bei der Zubereitung oft zusätzlich der Wassergehalt des Lebensmittels gesenkt. Dies alles zusammen verlängert die Haltbarkeit.

Bei der Käseherstellung wird Milcheiweiß zum Gerinnen gebracht. Die Eiweißmasse wird zusammen mit dem Milchfett auf verschiedenen Wegen zu ganz unterschiedlichen Käsesorten verarbeitet.

Auch die Salzsäure in unserem Magen lässt Eiweiß gerinnen. Wunden können mit Alkohol desinfiziert werden, weil dieser die Eiweiße der Bakterien und des Bluts gerinnen lässt.

4.7 Die Aktivität von Hefe: Temperatur und pH-Wert

Mikroorganismen wie Bakterien oder Hefen sind überall zu finden, auch auf oder in Lebensmitteln.

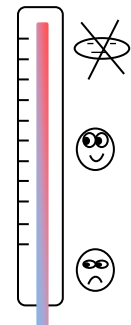
Backhefe baut unter sauerstoffreichen (aeroben) Bedingungen Zucker enzymatisch zu Kohlenstoffdioxid und Wasser ab. Da nur Einfachzucker (Monosaccharide wie Glucose oder Fructose) direkt abgebaut werden können, müssen Zweifachzucker (Disaccharide, z.B. der Haushaltszucker Saccharose) zunächst gespalten werden. Dazu besitzt Hefe das Enzym Invertase, das Saccharose in seine Bausteine Glucose und Fructose spaltet.

Gleichzeitig vermehrt sich die Hefe mittels Knospung. Je mehr Kohlenstoffdioxid entsteht, desto langsamer verläuft dieser Prozess. Deshalb sollte Teig bei langer Führung zwischendurch mehrfach gedehnt und gefaltet werden, da so das gebildete Kohlendioxid gegen Sauerstoff ausgetauscht werden kann.

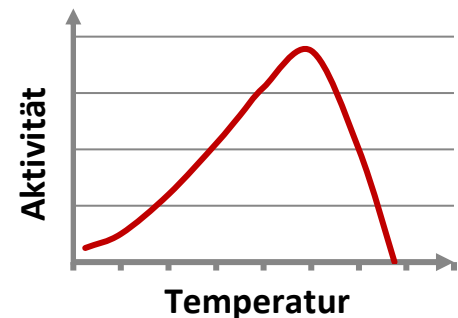
Die beste Temperatur für die Hefegärung liegt bei etwa 32 °C. Unterhalb von 10 °C verlangsamen sich die Stoffwechselprozesse erheblich. Die Hefe wird inaktiv, kann aber durch Wärmezufuhr wieder aktiviert werden. Bei Temperaturen über 50 °C wird Backhefe zunächst inaktiviert und beginnt dann zu sterben. Hefe ist im neutralen Bereich etwa bei pH 6-7 am aktivsten, bei niedrigeren oder höheren pH-Werten verringert sich ihre Aktivität.

Dieser Zusammenhang lässt sich im Experiment beobachten:

- Wie viel und wie schnell Hefe Kohlenstoffdioxid-Gas produziert, hängt von der Temperatur ab. In 40 °C warmem Wasser ist sie aktiv, es wird viel Gas gebildet. In sehr kaltem oder sehr heißem Wasser arbeitet die Hefe dagegen nicht.
- Wird der kalte Ansatz erwärmt, wird die Hefe aktiviert, die Gasproduktion beginnt. Die Hefe arbeitet also bei Kälte nicht oder kaum.
- Wird der heiße Ansatz gekühlt, lässt sich die Hefe nicht mehr aktivieren. Hefe wird durch hohe Temperaturen abgetötet, weil die enthaltene Eiweiße zerstört (denaturiert) werden.

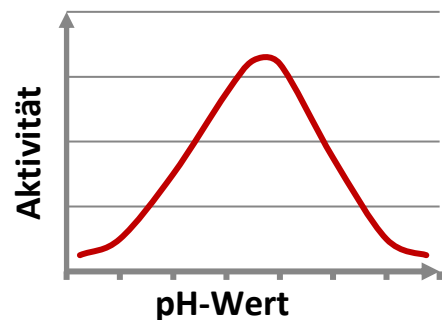


Diese Abhängigkeit gilt grundsätzlich für alle Mikroorganismen, also auch für Bakterien oder Schimmelpilze. Sie verhalten sich ähnlich wie Hefe. Es gibt eine optimale Temperatur, bei der sie am aktivsten sind. Oberhalb einer bestimmten Temperatur sterben sie ab. Es gibt jedoch auch besonders kälte- oder wärmeliebende Mikroorganismen.



Eine ähnliche Abhängigkeit findet sich beim pH-Wert. Essigsäure in der zuckerhaltigen Hefelösung hemmt die Hefe, weil sie ihre höchste Aktivität im neutralen Bereich hat.

Es gibt es einen optimalen pH-Wert, bei dem die Aktivität am höchsten ist. Bei kleineren Abweichungen nach oben oder unten verringert sie sich. Bei sehr niedrigen oder sehr hohen pH-Werten werden die Mikroorganismen inaktiviert bzw. sterben ab. Sehr hohe pH-Werte werden z.B. im Geschirrspüler erreicht.



Auf dieser Abhängigkeit beruht die Empfehlung, Kühlschrank oder Brotkasten regelmäßig mit Essig- oder Zitronenwasser auszuwischen.

Hefe gibt es frisch und als Trockenhefe. Frische Hefe hat den typischen Hefegeruch nach Vitamin B₁ (Thiamin). Sie hält sich im Kühlschrank etwa 2 Wochen. Trockenhefe hält sich aufgrund des geringen Wassergehalts monatelang.

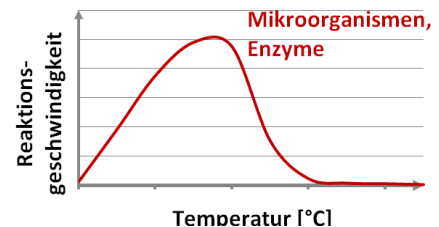
Enzyme

Enzyme sind spezielle Eiweiße, die wichtige Funktionen im Stoffwechsel von Zellen haben. Sie kommen in jeder Zelle vor und daher in Obst, Gemüse, Fisch, Fleisch, Ei... Auch nach der Ernte bzw. dem Schlachten können sie noch aktiv sein. Bei niedrigeren Temperaturen verringert sich die Enzymaktivität. Darum halten sich die meisten Lebensmittel im Kühlschrank länger.

Enzyme haben ein Temperatur- und ein pH-Optimum, d.h. ihre Aktivität ist abhängig von der Temperatur und dem pH-Wert. Die optimalen Bereiche, also die Bereiche, in denen die Aktivität

eines Enzyms am größten ist, können je nach Enzym sehr unterschiedlich sein. Sie entsprechen normalerweise den Bedingungen ihres Einsatzortes. Körpereigene Enzyme haben oft ein Temperaturoptimum um 37 °C, also Körpertemperatur, und bevorzugen eher ein neutrales Milieu. Manche Enzyme sind in aber auch in pH-Extremen aktiv, z.B. einige Verdauungsenzyme, die bei pH 1-2 besonders gut arbeiten (z.B. Pepsin, das erst durch die Magensäure aktiviert wird und für den Abbau von Eiweißen zuständig ist).

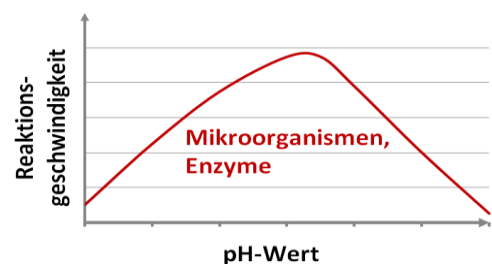
Enzyme sind in ihrem Temperatur-Optimum am aktivsten. Bei niedrigeren oder höheren Temperaturen arbeiten sie langsamer – ihre Aktivität ist reduziert. Bei sehr hohen Temperaturen werden Enzyme wie andere Eiweiße auch denaturiert, sie verlieren ihre Funktion irreversibel. **Dies gilt auch für Enzyme von Mikroorganismen.**



Gegarte oder tiefgefrorenen Lebensmittel halten sich daher länger als rohe.

- Bei höheren Temperaturen werden die Enzyme inaktiviert. Deswegen werden viele Gemüsesorten vor dem Einfrieren blanchiert (mit heißem Wasser übergossen).
- In tiefgefrorenen Produkten sind die enthaltenen Enzyme nicht aktiv (Ausnahme: Fettsplattend Enzyme. Fettreiche Tiefkühlprodukte halten sich nicht so lange wie fettarme).

Säure wirkt ähnlich auf Mikroorganismen und Enzyme wie die Temperatur. Enzyme sind im pH-Optimum am aktivsten. Die meisten Enzyme bevorzugen ein pH-neutrales Milieu. Im schwach sauren bzw. schwach basischen Bereich arbeiten diese nicht so schnell wie im neutralen – ihre Aktivität ist reduziert. In stark sauren und stark basischen Lösungen werden Enzyme wie andere Eiweiße auch denaturiert, sie verlieren ihre Funktion irreversibel.



Sauer eingelegte Lebensmittel halten sich daher länger als frische.

4.4 Proteasen in Ananas

Enzyme, die Eiweißverbindungen abbauen können, nennt man Proteasen. Sie sind in allen lebenden Zellen vorhanden. Manche Früchte wie Ananas, Kiwi und besonders Papaya enthalten besonders viel Proteasen, in Ananas ist es die Protease Bromelain (die Ananaspflanze gehört zur Familie der Bromelien).

Gelatine wird aus tierischem Bindegewebe hergestellt und besteht aus dem geschmacksneutralen Eiweiß Kollagen. Sie löst sich in ca. 50 °C warmen Wasser, beim Abkühlen bildet sie ein Gel, das bei Erwärmen wieder flüssig wird. Die Eiweißketten der Gelatine vernetzen sich, in dieses Netzwerk kann Wasser eingelagert werden. So entsteht eine feste Konsistenz.

Proteasen können Gelatine abbauen: Das Bromelain spaltet die Eiweißketten in kleinere Abschnitte. Dadurch wird das Netzwerk der Eiweißketten zerstört, Wasser kann nicht mehr gehalten werden, die Masse verflüssigt sich.

Durch Hitze werden die Enzyme inaktiviert. Bei der Herstellung von Obstkonserven werden die Produkte auf eine Temperatur über 80 °C erhitzt, sodass die fruchteigenen Enzyme denaturieren. In Dosenfrüchten sind sie daher nicht mehr aktiv. Desserts mit frischen Früchten können daher nicht mit Gelatine verfestigt werden. Auch zur Herstellung von einer Quarkspeise sollte man also besser Dosenananas verwenden.

Manche Firmen haben pulverförmige Produkte zum Zartmachen von im Sortiment. Diese Fleischzartmacher enthalten das Enzym Papain, das aus Papaya gewonnen werden kann. Zähes Fleisch lässt sich auch durch Zugabe von frischem Obst etwas zarter machen.



4.5 Peroxidasen in Kartoffeln

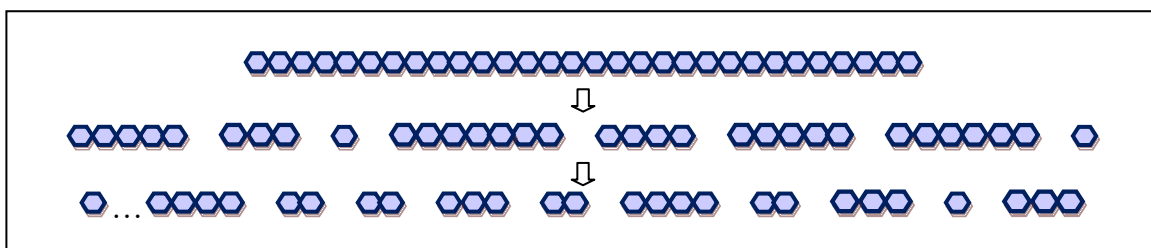
Enzyme aus der Gruppe der Peroxidasen sind in allen Lebewesen zu finden, besonders in Leber, Kartoffel und auch in Hefe. Sie katalysieren die Reduktion von Peroxiden. Peroxide können bei Stoffwechselreaktionen entstehen und müssen schnell abgebaut werden, da sie als Zellgift wirken. Tierische und pflanzliche Zellen enthalten das Enzym Katalase. Es zersetzt Wasserstoffperoxid und bildet dabei Sauerstoff: $2 H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2 H_2O$

Das pH-Optimum der Katalase, die speziell Wasserstoffperoxid abbaut, liegt um pH 7, also im neutralen Bereich. In stark sauren und stark basischen Lösungen kommt es zur Denaturierung des Enzyms, dabei verliert es seine Funktionsfähigkeit. Auch im schwach sauren bzw. basischen Bereich kann das Enzym nicht so effizient arbeiten wie im neutralen - die Enzymaktivität ist reduziert.

Die Sauerstoffbildung zeigt sich durch Schaumbildung. Je stärker der Ansatz schäumt, desto mehr Sauerstoff wird freigesetzt. Durch Kochen wird das Enzym denaturiert, daher ist bei gekochter Kartoffel keine Schaumbildung zu beobachten.

4.6 Obstreifung: Amylasen in Bananen

Stärke ist ein von Pflanzen gebildete Makromolekül, das aus Glucosebausteinen (Traubenzucker) aufgebaut ist. Sie dient der Pflanze als Energiespeicher und ist für Menschen und Tiere ein wichtiger Energielieferant. Nach Aufnahme der stärkehaltigen Nahrung wird sie mit Hilfe von Verdauungsenzymen gespalten und in einzelne Glucosebausteine abgebaut, die dann im Stoffwechsel zur Energiegewinnung dienen.



Stärke ist unlöslich und im Gegensatz zu einzelnen Glucosemolekülen osmotisch nicht wirksam. Wie bei einer Perlschnur sind einzelne Zuckerbausteine (⬡) zu langen Ketten aneinandergelagert, teilweise gibt es auch Verzweigungen. Die Bindungen zwischen den Zuckerbausteinen können gespalten werden, sodass kürzere Ketten und sogar einzelne Zuckerbausteine entstehen. Stärke kann durch Säure, aber auch durch bestimmte Enzyme, gespalten werden. Solche Enzyme, die man Amylasen nennt, haben wir in unserem Speichel. Der Abbau von Stärke aus unserer Nahrung beginnt also schon im Mund, sodass wir bei längerem Kauen von Brot (enthält Stärke) einen süßen Geschmack im Mund wahrnehmen können.

Im Versuch zum Stärkeabbau mit Enzymlösung wird eine Amylase aus der Bauchspeicheldrüse von Schweinen eingesetzt. Die Aktivität von Enzymen ist temperaturabhängig, dieses Enzym arbeitet bei Körpertemperatur optimal, also arbeiten wir hier bei 40 °C.

In den Reagenzgläsern 1 und 2 wird gezeigt, dass Stärke durch Speichel abgebaut wird. Stärke wird zu Beginn mit Iod nachgewiesen: Iodlösung färbt die Stärke intensiv blau. Durch Zugabe des Enzyms wird die Stärke abgebaut, die Blaufärbung wird schwächer, am Ende ist mit Iodlösung ggf. noch eine leichte Rosafärbung zu erkennen, die sogar ganz verschwinden kann.

In den Reagenzgläsern 3 und 4 des Versuches wird gezeigt, dass Stärke aus Zuckerbausteinen aufgebaut ist. Durch die Enzymzugabe wird die Stärke bis zur Glucose abgebaut, die sich durch Fehling-Reagenz als orange Färbung nachweisen lässt. Bei der Stärkesuspension ohne Enzym gelingt der Glucosenachweis nicht, die Lösung bleibt bläulich gefärbt.

Stärke wird von Pflanzen als Energiespeicherstoff eingelagert. Daher besitzen auch Pflanzen Amylasen, um die eingelagerte Stärke wieder abzubauen und dabei die gespeicherte Energie nutzen zu können. Das passiert z.B. bei der Obstreifung. Eine grün-gelb gefärbte, also noch unreife Banane enthält viel Stärke und wenig bis keine Glucose. Eine ausgereifte, also bereits braun gefärbte Banane enthält dagegen kaum noch Stärke und sehr viel Glucose. Die Stärke wurde während der Reifung langsam in zunächst kürzere Ketten und letztlich in ihre Glucosebausteine abgebaut.

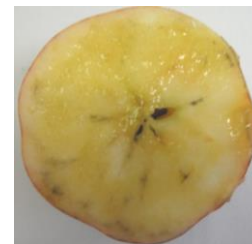
Stärke ergibt mit Iodlösung eine tiefblaue Lösung. Werden Stärkemoleküle in kürzere Kettenabschnitte gespalten, verschwindet allmählich die blaue Farbe des Iod-Stärke-Komplexes, die Lösung wird erst rötlich, dann farblos. Bei der Apfelernte wird das Verblässen der blauen Iod-Stärke-Farbe genutzt, um den richtigen Erntezeitpunkt zu bestimmen.



unreifer Apfel



halbreifer Apfel



reifer Apfel

Es gibt verschiedene stärkeabbauende Enzyme, sogenannte Amylasen. Manche spalten die Ketten in größere und kleinere Teile. Andere trennen vom Kettenende immer zwei Glucoseeinheiten ab oder spalten die Stärkeketten an ihren Verzweigungen. Amylasen kommen auch in vielen pflanzlichen Lebensmitteln ganz natürlich vor. Während der Reifung wandeln sie unter Energiegewinnung die gespeicherte Stärke wieder zu Glucose um. Das Obst schmeckt dadurch süßer und wird weicher, dies kann man Beispiel von Bananen gut zeigen. Unreife Bananen enthalten sehr viel Stärke, aber kaum Zucker. Die Stärke wird dann langsam durch die fruchteigenen Enzyme abgebaut, die Stärkegehalt sinkt, der Zuckergehalt steigt. Je reifer eine Banane ist, desto süßer schmeckt sie.

Amylasen arbeiten wie alle Enzyme nur in einem bestimmten pH-Wert-Bereich, meist im Neutralen bis leicht Sauren. Außerdem besitzen sie ein Temperaturoptimum, oft oberhalb von 40 °C. Das konkrete Optimum der Aktivität hängt von der Herkunft der Amylasen ab. Darum reift Obst im Kühlschrank nicht so schnell nach wie bei Raumtemperatur, die fruchteigenen Enzyme haben eine geringere Aktivität. Bananen werden im Kühlschrank zwar auch schnell braun, reifen im Inneren jedoch langsamer. Eine reife Banane hat also im Vergleich zu einer unreifen, wesentlich weniger Stärke, dafür aber deutlich mehr Zucker.

Zusatzinformation Stärke:

Chemischer Aufbau von Stärke

Glucose, auch als Traubenzucker oder Dextrose bezeichnet, ist ein wichtiger Energielieferant für uns. Sie wird von Pflanzen im Verlauf der Fotosynthese gebildet und findet sich als Baustein in ganz unterschiedlich zusammengesetzten Molekülstrukturen wieder.

So ist unser Haushaltszucker, die Saccharose, aus Glucose und Fructose (Fruchtzucker) zusammengesetzt. Zwei miteinander verknüpfte Glucosebausteine ergeben Maltose, auch Malzzucker genannt. Mit weiteren Glucosebausteinen kommt man über die Oligosaccharide („Mehrfachzucker“) schließlich zu den Polysacchariden („Vielfachzucker“). Diese können nicht nur aus langen Ketten bestehen, sondern auch verzweigt sein, da die Glucosebausteine über verschiedene Stellen miteinander oder mit anderen Bausteinen verknüpft werden können.

Stärke ist ein Polysaccharid, das aus vielen miteinander verknüpften Glucosemolekülen aufgebaut ist. Dabei gibt es zwei verschieden gebaute Komponenten: die **Amylose**, bei der bis zu 6000 Glucosebausteine zu einer langen, schraubenförmigen Kette (Helix) verknüpft sind, und das Amylopektin, das zusätzlich noch verzweigt ist wie ein Weihnachtsbaum und aus 60.000 bis 600.000 Glucosen besteht. Diese beiden Komponenten sind dann in den Stärkekörnern kunstvoll angeordnet. Unter dem Mikroskop kann man besonders bei Kartoffelstärke schön die Schichtung der Wachstumsringe erkennen.

Da Stärke den Pflanzen als Energiereserve dient, kommt sie besonders reichhaltig in Samenkörnern oder anderen Speicherorganen wie den Kartoffeln vor. Hauptstärkelieferanten sind Kartoffeln, Mais und Weizen.

Nachweis von Stärke mit Iodlösung

Stärke besteht zu 70-80% aus Amylopektin und zu 20-30 % aus Amylose. In den Hohlraum der spiralförmigen Amylose können verschiedene Stoffe eingelagert werden, sie müssen nur die richtige Passform haben. Bei dem Nachweis von Stärke durch Iodlösung, bildet die Stärke mit dem Iod eine Einschlussverbindung (Iod legt sich ins Innere der Kette), was eine starke Blaufärbung zu Folge hat.

Das verzweigte und verästelte Amylopektin kann immer nur kurze spiralförmige Abschnitte ausbilden. Dort hinein passen nur relativ kurze Iodketten und so reicht es nur zu einer schwach roten Färbung.

Wenn wir die Iodlösung direkt auf die Lebensmittel tropfen, sieht der Fleck bei positiver Reaktion fast schwarz aus. Den eigentlichen Farbton kann man erst richtig erkennen, wenn man eine Stärkelösung mit Iodlösung versetzt und gegebenenfalls mit Wasser verdünnt, bis man die blauviolette Farbe gegen das Licht gehalten gut erkennen kann.

Fazit: Iod bildet mit der Amylose eine dunkelblaue Einschlussverbindung.

Nachweis von Zucker mit Fehlingscher Lösung

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

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

Stärke reagiert dagegen nicht, weil die verknüpften Glucosebausteine nicht mehr reduzierend wirken. Erst wenn die Stärkemoleküle in kleine Bruchstücke zerlegt werden, zeigt sich diese Eigenschaft der Glucose wieder.

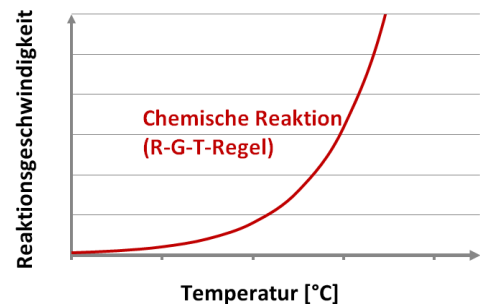
Fazit: Reduzierende Zucker wie Glucose bewirken im Fehling-Reagenz einen orange- roten Niederschlag.

Zum Vergleich von (mikro)biologischen und chemischen Vorgängen: Einfluss von Temperatur und pH auf chemische Reaktionen

Der Einfluss von Temperatur und pH-Wert auf die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen unterliegt völlig anderen Gesetzen als bei (mikro)biologischen Reaktionen.

Je höher die Temperatur ist, desto schneller verlaufen chemische Reaktionen. Eine Reaktion benötigt eine Mindestenergie, die sogenannte Aktivierungsenergie, die häufig durch Wärmezuvor (also Temperaturerhöhung) überwunden werden kann.

Säure kann Reaktionen ebenfalls beschleunigen, in dem die Aktivierungsenergie herabgesetzt wird.



Die RGT-Regel (Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel) beschreibt eine Faustregel zur Geschwindigkeit chemischer Reaktionen (Kinetik):

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

4.1 Karamellisierung

Der prinzipielle Unterschied kann am Beispiel eines zusätzlichen Experiments wie der Karamellisierung beobachtet werden. Die Karamellisierung wird hier als Modellreaktion genutzt, um die Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit zu untersuchen. Sie ist einfach durchzuführen und ihr Verlauf lässt sich gut visuell verfolgen.

Karamellisierung bezeichnet den Vorgang, der beim trockenen Erhitzen von Zucker stattfindet. 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 Tau-

omerisierung 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.

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.

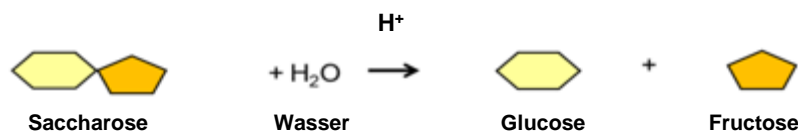
Werden Lebensmittel zu lange oder bei zu hoher Temperatur erhitzt, entstehen neben den erwünschten Röstprodukten auch bittere Produkte und auch Schadstoffe wie z.B. Acrylamid, die das Lebensmittel ungenießbar machen und gesundheitsschädlich sein können.

- 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 verdampft langsamer, wenn das Lebensmittel kühl gelagert wird.

4.2 Spaltung von Saccharose

Es gibt verschiedene Arten von Zucker. Saccharose ist der übliche Haushaltszucker. Als Disaccharid ist er aus zwei Zuckerbausteinen zusammengesetzt, nämlich aus Glucose (Traubenzucker) und Fructose (Fruchtzucker).

Saccharose lässt sich in seine Bausteine Glucose und Fructose spalten. Diese Reaktion verläuft mit Wasser sowie Säure als Beschleuniger (Katalysator) und heißt Hydrolyse. Die Bausteine können dann mit Fehling-Reagenz nachgewiesen werden, Saccharose aber nicht.



Diese Reaktion zeigt beispielhaft, dass auch der pH-Wert einen Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit hat. In dem hier untersuchten Fall der Spaltung von Saccharose beschleunigt er die Reaktion.

Je niedriger der pH-Wert der Lösung, d.h. je höher die Konzentration an H_3O^+ -Ionen ist, desto schneller läuft die Reaktion ab. Die Säure wirkt als Katalysator.

Definition **Katalysator**

Ein Katalysator erhöht die Reaktionsgeschwindigkeit, ohne selbst bei der Reaktion verbraucht zu werden.

Der Zuckernachweis mit Fehling-Lösung beruht auf einer Reaktion von reduzierenden Zuckern mit Kupfer-II-Ionen in alkalischer Lösung, die zu einer charakteristischen orange-roten Färbung führt. (Ausfall von rotem Kupfer(I)oxid).

Obst enthält oft viel Säure. Wenn Obstkonserven hitzesterilisiert werden, kann die eingesetzte Saccharose in der conserve gespalten werden. Gleiches kann bei der Lagerung von zuckerhaltigen Limonaden oder Cola passieren. Dadurch schmecken die Produkte süßer.

Saccharose kann nicht nur durch Säure, sondern auch mit Hilfe Biokatalysatoren, also von Enzymen (hier: Invertase) gespalten werden, z.B. in Früchten. Dies passiert auch bei der Umsetzung von Blütennektar zu Honig durch Bienen. Der optimale pH-Wert für das Enzym liegt im neutralen Bereich.