

Hintergrundinformationen für Lehrkräfte

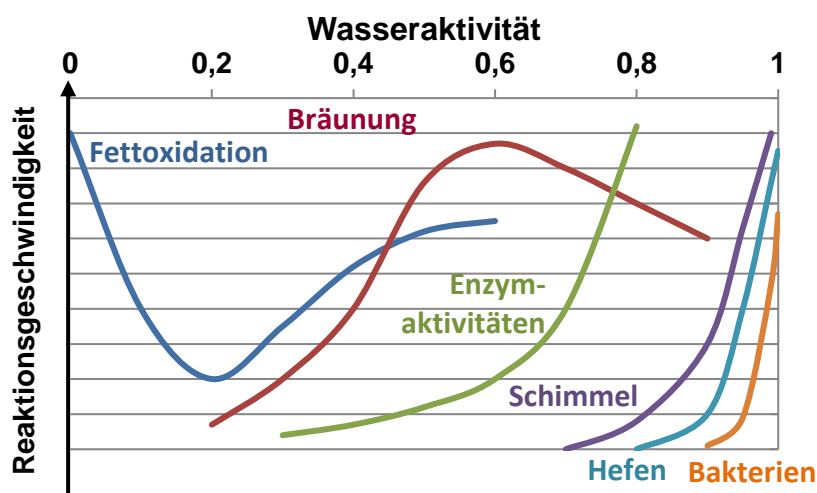
Wasserverfügbarkeit in Lebensmitteln

Wasser ist ein wichtiger Inhaltsstoff fast aller Lebensmittel. In den meisten Lebensmitteln überwiegt der Wasseranteil sogar die anderen Inhaltsstoffe, auch bei vielen festen Produkten. So enthalten Obst und Gemüse i.d.R. über 80 bis weit über 90 % Wasser, Fleisch oder Wurst je nach Fettgehalt meist 60 – 70 % Wasser. Bei Käse ist die Varianz größer, von Frischkäse mit über 70 % bis zu Hartkäse unter 56 % Wasser. Brot hat einen Wassergehalt von etwa 40 %.

Nicht das gesamte in Lebensmitteln enthaltene Wasser ist frei verfügbar. Ein nicht unerheblicher Teil wird im Produkt auf unterschiedliche Arten gebunden. Barrieren wie Zellwände oder Membranen umhüllen das wasserhaltige Zellplasma. Obst und Gemüse haben meist zusätzlich eine feste Außenhaut. In feinen Kapillaren, wie sie natürlicherweise in Fleisch, Fisch oder Pflanzenteilen vorkommen, wird das Wasser durch Kapillarkräfte gehalten. Beim Zerkleinern wird dieses Gefüge zerstört und das Wasser freigesetzt. Daher sind zerkleinerte Lebensmittel anfälliger für Verderb und chemische Veränderungen. Zucker und Salz, aber auch Säuren, binden Wasser in Hydrathüllen um die Moleküle herum. Gleiches gilt für Verdickungsmittel wie z.B. Stärke oder Gelatine. Hierbei handelt es sich um Stoffe mit sehr großer Molekülmasse, ihre kettenförmigen Moleküle bilden ein mit Wasser gefülltes Netzwerk.

Wasser, das auf diese Arten im Produkt gebunden ist, steht für chemische Reaktionen oder das Wachstum von Mikroorganismen nicht zur Verfügung. Ein Maß für die Verfügbarkeit von Wasser ist die Wasseraktivität. Sie gibt an, in welchem Maße das Wasser in dem Produkt gebunden ist und also nicht für Reaktionen zur Verfügung steht. Für die Haltbarkeit eines Lebensmittels ist die Wasseraktivität entscheidender als der reine Wassergehalt. Sie beeinflusst die chemische, enzymatische und physische Stabilität eines Produkts, also seine Haltbarkeit. Die Wasseraktivität (kurz: a_w -Wert) bei einer bestimmten Temperatur wird folgendermaßen ermittelt:

$$a_w\text{-Wert} = \frac{\text{Wasserdampfdruck über dem Lebensmittel}}{\text{Wasserdampfdruck über reinem Wasser}}$$



Eine Wasseraktivität von 1 entspricht also einer relativen Luftfeuchte von 100 %.

Dem Diagramm lässt sich entnehmen, welche Reaktionstypen bei welchen a_w -Werten besonders schnell ablaufen. Es zeigt, dass die meisten Reaktionen, die zu Qualitätseinbußen oder Verderb führen, bevorzugt bei hohen a_w -Werten ablaufen. Lebensmittel mit einem a_w -Wert zwischen 0,2 und 0,4 besitzen die größte Lagerstabilität.

Erkenntnisse zu den einzelnen Experimenten und ihre Anwendung im Alltag

3.1 Feuchtigkeit

Wenn ein Produkt in einem geschlossenen Gefäß gelagert wird, stellt sich eine Gleichgewichtsfeuchte mit der Umgebung ein. Sie ist entscheidend für die chemische, enzymatische und physikalische Stabilität eines Produkts, also für seine Haltbarkeit. Die **Gleichgewichtsfeuchte** entspricht nicht dem absoluten Anteil von Wasser im Lebensmittel, sondern dem Anteil, der für Reaktionen **verfügbar** ist. Der Wassergehalt ist meist viel höher, weil ein Teil des Wassers im Lebensmittel festgehalten wird, z.B. durch Barrieren, Kapillaren oder Osmose.

Lebensmittel können Wasser aufnehmen, wenn ihre Umgebung feuchter ist als das Produkt selbst. Wasser aus der Umgebungsluft wird an der Oberfläche adsorbiert, dies findet an fast allen Oberflächen statt. Dann werden die Produkte pappig werden oder fangen an zu klumpen. Die Gefahr von chemischen oder mikrobiologischen Veränderungen steigt. Um dies zu vermeiden, sollten Lebensmittel immer verpackt oder abgedeckt werden. Besonders Produkte, auf deren Oberfläche Salz vorhanden ist wie z.B. bei Salzstangen, nehmen recht schnell Wasser auf.

Lebensmittel können auch Wasser an ihre Umgebung abgeben, also trocken werden. Dies passiert, wenn die Umgebungsluft trockener ist als die Feuchtigkeit direkt über der Oberfläche. Die Produkte trocknen aus oder werden schlaff, z.B. besonders Obst und Gemüse. Darum müssen empfindliche Lebensmittel bei der Lagerung vor Austrocknen oder Wasseraufnahme geschützt werden.

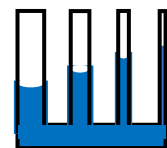
Damit Schimmelpilze oder Bakterien sich vermehren können, benötigen sie Wasser. Die Feuchtigkeit auf der Oberfläche eines Produkts ist entscheidend dafür, ob sich Schimmel bilden kann. Die meisten Schimmelarten wachsen erst ab einer Feuchtigkeit oberhalb von ca. 70 %, Bakterien benötigen sogar noch mehr Feuchtigkeit.

3.2 Kapillarkräfte

In sehr feinen Hohlräumen steigt Wasser gegen die Schwerkraft auf und steht höher als die Flüssigkeit außerhalb. Dies nennt man Kapillareffekt (lateinisch: *capillus* = das Haar). Die Anziehungskraft zwischen der Glaswand und den Wasserteilchen ist größer als zwischen den Wasserteilchen selbst.

Je dünner der Durchmesser der Röhre ist, desto höher kann das Wasser steigen. Innendurchmesser und Höhe des Wasserspiegels sind also umgekehrt proportional:

$$\text{es gilt: } \text{Innendurchmesser} \approx \frac{1}{\text{Radius}}$$



Produkte, die feine, miteinander verbundene Hohlräume besitzen, können Wasser durch Kapillarkräfte in sich hineinziehen und festhalten. Für Pflanzen ist der Kapillareffekt lebensnotwendig: Das Wasser wird in den Pflanzen von den Wurzeln aufgenommen und dann bis in die Spitze transportiert. Pflanzen haben dafür im Inneren ein Wasserleitsystem aus feinen Kapillaren.

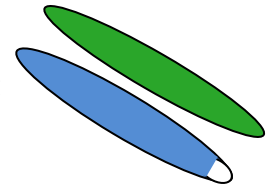
Auch in Lebensmitteln können Kapillarkräfte wirken, besonders in Obst und Gemüse oder in frischem Fleisch. Wird das Produkt zerkleinert und die Kapillaren dabei zerstört, wird das so im Produkt gehaltene Wasser frei. U.a. daher tritt aus Fleisch und Gemüse beim Zerschneiden immer Flüssigkeit aus. Deswegen liegen Fleischstücke in Fertigpackungen meist auf einer saugfähigen Unterlage.

Wischtücher und Schwämme weisen ebenfalls eine gute Saugwirkung auf, weil auch sie viele winzig kleine Hohlräume haben, in die das Wasser eindringen kann und in denen es bei ausrei-

chend kleinem Durchmesser, festgehalten werden kann. Hohe Saugkraft heißt also, dass starke Kapillarkräfte wirken.

3.3 Barrieren

Die meisten Lebensmittel enthalten viel Wasser, besonders hohe Werte findet man bei Obst und Gemüse. Es hat seine Festigkeit dem Wasser zu verdanken, welches die Zellen prall hält. Bei Wasserverlust wird es meist schlaff. Die meisten Sorten enthalten mehr als 90 % Wasser.



So bestehen Salatgurken zu etwa 96-97 % aus Wasser, Zucchini zu etwa 93-95 %. Zucchini haben eine feinere Zellstruktur als Gurken, das ist insbesondere in der Kernzone in der Mitte schon mit dem bloßen Auge zu entdecken. Werden die Zellen beim Reiben aufgerissen, wird aus jeder einzelnen Zelle weniger Wasser freigesetzt als bei den größeren Gurkenzellen. Darum wird trotz des ähnlichen Wassergehalts bei geriebenen Zucchini weniger Wasser freigesetzt als bei Salatgurken.

Viele Lebensmittel besitzen verschiedene Barrieren, die Wasser einschließen. Sie haben z.B. eine Schale oder Außenhaut. Im Inneren sind sie aus einzelnen Zellen aufgebaut, die mit Flüssigkeit gefüllt sind. Das gilt auch für Fisch und Fleisch. Wenn die Zellen zerstört wird, wird das Wasser freigesetzt, z.B. bei der Hackfleischherstellung. Deswegen liegen Fleischstücke, insbesondere Hackfleisch, in Fertigpackungen meist auf einer saugfähigen Unterlage.

Sind die Barrieren verletzt, z.B. bei angeschnittenen Lebensmitteln, können nicht nur Wasser und Nährstoffe austreten, sondern auch Mikroorganismen oder andere Stoffe eindringen. Dadurch verdirbt das Lebensmittel schneller. Lebensmittel können meist trotz Barrieren Wasser an ihre Umgebung abgeben, also trocken werden. Dies passiert, wenn die Umgebungsluft trockener ist als die Feuchtigkeit direkt über der Oberfläche.

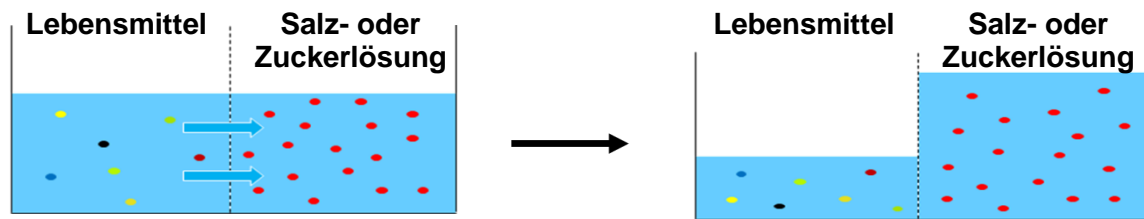
Im Gemüsefach im Kühlschrank herrscht bei korrekter Nutzung eine relativ hohe Luftfeuchtigkeit, die verhindern soll, dass die Produkte Wasser verlieren. Obst und Gemüse sollten darin unverpackt gelagert werden, damit sich eine einheitliche Luftfeuchtigkeit im Fach ausbilden kann. Außerdem sollte das Fach möglichst gut gefüllt sein, um eine hohe relative Luftfeuchtigkeit zu erreichen.

3.4 Osmose

Osmose bezeichnet die gerichtete Diffusion eines Stoffes, in der Regel Wasser, durch eine nur für bestimmte Stoffe durchlässige, also semipermeable Membran aufgrund eines Konzentrationsunterschieds im Wasser gelöster Teilchen. Triebkraft ist der sogenannte osmotische Druck, der von der Anzahl der gelösten Teilchen abhängt und den Wasserfluss durch die semipermeable Membran antreibt. „Ziel“ ist der Konzentrationsausgleich, also dass auf beiden Seiten der Membran die gleiche Anzahl an gelösten Teilchen vorhanden ist. Dazu diffundieren Wasserteilchen in die hypertonische, also höher konzentrierte Lösung, die hypotonische, also weniger konzentrierte Lösung verliert Wasser.

Durch das Einströmen von Wasser erhöht sich in einem festen Gefäß zunehmend der Wasserdruck (hydrostatischer Druck). Dieser wirkt dem abnehmenden osmotischen Druck entgegen, die Bewegung des Wassers endet mit Erreichen des Druckgleichgewichts.

Durch Umkehrosmose kann Trinkwasser aus Meerwasser gewonnen werden. Dabei wird unter Druck eine Lösung weiter konzentriert. Der äußere Druck auf die Lösung muss größer sein als der osmotische Druck, sodass Wasser entgegen dem Konzentrationsgefälle durch die Membran gedrückt wird.



Osmose ist in der Natur von zentraler Bedeutung, insbesondere für die Regulation des Wasserhaushalts von Lebewesen und ihren Zellen. Außerdem ist es ein wichtiges Trennverfahren, z.B. in der Medizin.

Bei der Osmose ist allein der Unterschied in der Anzahl der Teilchen zwischen den beiden Seiten entscheidend, nicht die Art der Teilchen. Dies ist auch bei Eigenschaften wie Schmelzpunktniedrigung oder Siedepunkterhöhung der Fall.

Zucker und Salz entziehen Lebensmitteln Wasser. ihre osmotische Wirkung nutzt man schon lange, um Lebensmittel haltbar zu machen. Die Zucker- oder Salzteilchen halten das Wasser in einer Hülle um sich herum fest. Beispiele sind Salzgurken, Salzheringe, Marmelade oder gezungerte/kandierte Früchte. Das durch Salz oder Zucker gebundene Wasser fehlt Bakterien oder Schimmelpilzen, sie können nicht oder nicht so schnell wachsen. Zuckerreduzierte Fruchtaufstriche können im Gegensatz zu richtiger Konfitüre schimmeln! Darum enthalten manche Fruchtaufstriche auch Konservierungsstoffe.

Beim Umgang mit Lebensmitteln im Alltag findet an vielen Stellen Osmose statt:

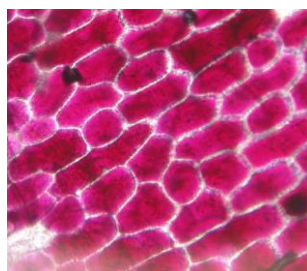
- beim Waschen von Lebensmitteln
- Sehr reife, zuckerreiche Kirschen können nach einem Regenguss aufquellen und platzen.
- Blattsalat wird im Salatdressing weich und schlaff. Weißkohl- bzw. Krautsalat lässt man dagegen extra im Dressing „ziehen“, damit er weich wird.
- Beim Kochen von Kartoffeln und Gemüse gibt man Salz hinzu, damit außen ähnlich viele gelöste Teilchen sind wie im Inneren. So vermeidet man den Verlust von Mineralstoffen im Gemüse.

Die Zwiebelhaut: Plasmolyse und Deplasmolyse bei Pflanzenzellen

Eine Zelle versucht Konzentrationsunterschiede an gelösten Stoffen zwischen Zellinnerem und der umgebenden Lösung auszugleichen, indem sie durch gerichtete Diffusion entweder Wasser abgibt oder aufnimmt. Dieser Vorgang ist reversibel, aufgrund ihrer stabilen Zellwand behält die Zelle dabei ihre äußere Form. Wasser kann die Zellwände sehr schnell passieren.

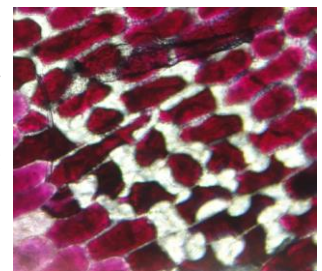
Zwiebelhaut in destilliertem Wasser:

Es sind mehr Teilchen in der Zelle gelöst als außen. Also dringt Wasser in die Zelle ein. Das Zellplasma weitet sich aus und drückt an die Zellwand, die Zelle wird prall.



Zwiebelhaut in Salzlösung:

Außen ist mehr Salz vorhanden als innen. Also tritt Wasser aus der Zelle aus. Das rot gefärbte Zellplasma löst sich von der Zellwand ab und zieht sich zusammen, die Farbe wird dadurch dunkler.

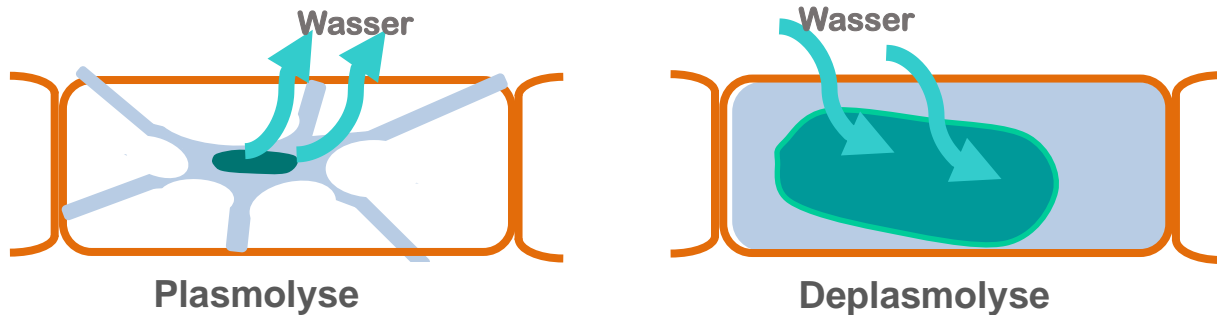


Plasmolyse: Wenn außerhalb der Zelle die Konzentration an gelösten Stoffen höher ist (hypertonische Lösung), tritt Wasser aus der Zelle, konkret aus der Zellvakuole, aus. Das Plasma löst

sich von der Zellwand ab und zieht sich zusammen. Dieser Vorgang ist über die Deplasmolyse umkehrbar.

In einem isotonischen Medium löst sich das Plasma gerade eben von der Zellwand, sodass die Zelle nicht mehr turgeszent, also prall gefüllt ist. Diesen Zustand nennt man **Grenzplasmolyse**.

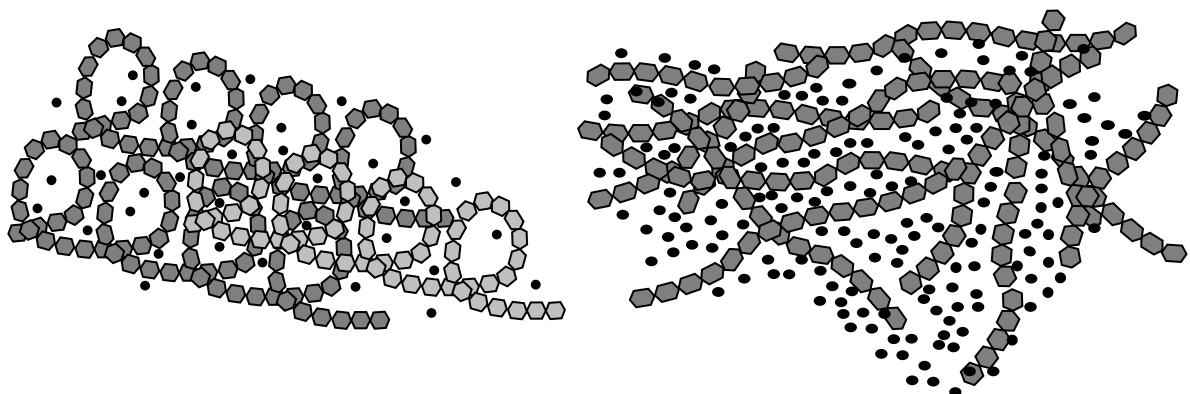
Deplasmolyse: Wenn außerhalb der Zelle die Konzentration an gelösten Stoffen niedriger ist (hypotonische Lösung), dringt Wasser in die Zelle, also in Plasma und Zellsaftraum, ein: Das Plasma weitet sich aus und drückt an die Zellwand. Die Zelle wird prall (turgeszent).



3.5 Stärkeverkleisterung

Stärke gehört zu den sogenannten Polysacchariden. Ein Stärkemolekül besteht aus unzähligen Glucosebausteinen, die wie bei einer Perlenschnur zu langen Ketten aneinandergebunden sind. Stärke besteht aus zwei Fraktionen, der linearen Amylose und dem verzweigten Amylopektin. Native Stärke bildet kompakte Stärkekörner, in denen sie semikristallin vorliegt.

Wird ein Wasser-Stärke-Gemisch erhitzt, wird es an einem bestimmten Punkt dickflüssig und zäh. Dies nennt man **Verkleisterung**. Die Stärkekörner quellen und platzen gewissermaßen auf und verlieren ihre äußere Begrenzung. Die nun ungeordneten Stärkemoleküle verhaken sich und bilden eine durchgängige lockere Struktur, in die viel Wasser eingelagert wird. Die Stärke geht dabei von einem geordneten in einen ungeordneten (amorphen) Zustand über. Es entsteht eine zähflüssige Lösung, die sich beim Abkühlen verfestigt (Stärkegel, z.B. Pudding).



a) Stärkekorn platzt auf, Wasser (●) dringt in die geordneten Strukturen ein

b) Wasser (●) eingelagert zwischen den Stärkekettchen, die Verkleisterung läuft

Auch beim Backen von stärkehaltigen Lebensmitteln wie Brot und Gebäck verkleistert die Stärke, der Stärkekleister hält das Gebäck zusammen und bindet auch das Wasser. Das Wasser funktioniert wie ein Weichmacher zwischen den großen Stärkemolekülen. Die aufgequollene Stärke kristallisiert ganz langsam wieder aus, dabei gibt sie gebundenes Wasser ab und wird weniger beweglich. Dieser Vorgang heißt Retrogradation. Das Gebäck wird trocken und hart, diesen Zustand nennt man „altbacken“.

Kühle Temperaturen zwischen -7 und $+7$ °C begünstigen den Vorgang. Brot wird also im Kühlschrank schneller trocken als bei Raumtemperatur und sollte daher dort nicht aufbewahrt werden. (Allerdings lässt sich das Verschimmeln von Brot besser im Kühlschrank vermeiden.) Bei tiefgefrorenen Backwaren dagegen bleibt das eingelagerte Wasser an seinem Platz. Wird frisches Brot eingefroren, weist es nach dem Auftauen eine frische Konsistenz auf.

Durch Feuchtigkeit und Wärme lässt sich die Verfestigung 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 („auffrischen“).

Reis oder Nudeln werden beim Kochen weich, weil die darin enthaltene Stärke verkleistert, beginnend in der äußeren Schicht. Nach längerem Stehen gibt die Stärke das vorher gebundene Wasser langsam wieder ab, Nudeln oder Reis trocknen ein. Die Stärke kristallisiert zum Teil wieder aus. Auch andere Makromoleküle wie Gelatine, Alginate, Carrageene u.a. können viel Wasser binden und werden in Lebensmitteln als Verdickungsmittel eingesetzt.

3.6 Gefrieren von Wasser - Kristallbildung

In einem Kristall besteht eine hohe Ordnung, jedes Teilchen hat einen bestimmten Platz. Wenn die Kristalle langsam wachsen, haben die einzelnen Teilchen ausreichend Zeit, diese Plätze einzunehmen. Es bilden sich große Kristalle, die für den jeweiligen Stoff eine typische Kristallform haben. Bei schneller Kristallisation bilden sich viele kleine Kristalle, meist ohne typische Kristallform.

Beim Tiefgefrieren kristallisiert das in Lebensmitteln enthaltene Wasser aus, es bilden sich Eiskristalle. Bei schnellem Tiefgefrieren bilden sich viele kleine Eiskristalle. Wird die Temperatur im Gefriergut dagegen nur langsam abgesenkt, können sich große Eiskristalle bilden.

In tierischem oder pflanzlichem Gewebe, also Fleisch, Fisch, Obst oder Gemüse, zerstören diese großen Kristalle das Gewebe. Dies zeigt sich nach dem Auftauen durch eine erhöhte Menge an Abtropfwasser. Lebensmittel sollten daher sehr schnell tiefgefroren werden. In den meisten Gefriergeräten gibt es dafür eine Funktion zum „Schockgefrieren“. Dabei wird die Kühlleistung erhöht, um eine schnelle Temperaturabsenkung zu erreichen. Daher sollten niemals warme Lebensmittel oder sehr große Portionen auf einmal eingefroren werden. Außerdem können sich die Kristalle während der Lagerung verändern. Größere Kristalle wachsen weiter und sehr kleine verschwinden. Dies passiert besonders bei Temperaturschwankungen, speziell vorne bei häufigem oder längerem Öffnen der Tür.

Eingefrorene Lebensmittel halten sich länger, weil für die meisten Reaktionen frei bewegliches Wasser erforderlich ist. Auch Mikroorganismen und die meisten Enzyme im Lebensmittel sind kaum aktiv (Ausnahme: Fettsplattende Enzyme. Fettreiche Tiefkühlprodukte halten sich nicht so lange wie fettarme).

Auch gefrorene Lebensmittel können in den äußeren Schichten austrocknen, z.B. durch Temperaturschwankungen oder undichte Verpackungen. 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 möglichst kleinem Luftraum, z. B. Gefrierbeutel. Zum Schutz vor Gefrierbrand können empfindliche Produkte wie z.B. Fischfilet „glasiert“, d.h. mit einer dünnen Eisschicht überzogen werden.

Bei starkem Wasserverlust können Inhaltsstoffe verändert werden, das Lebensmittel wird trocken und strohig. Dadurch wird nicht nur der Geschmack beeinträchtigt, sondern eventuell auch die Genießbarkeit. Das Lebensmittel kann verderben. Meist reicht es, die betroffenen Stellen

großzügig herauszuschneiden. Gefrierbrand kann auch auf Temperaturschwankungen bei der Lagerung hinweisen, z.B. auf eine Unterbrechung der Kühlkette. Dann muss geprüft werden, ob das Lebensmittel eventuell durch Mikroorganismen verdorben ist.

Wasser dehnt sich beim Gefrieren etwa um 10 % aus. Behälter sollten daher mit Flüssigkeiten nicht randvoll gefüllt werden, um ein Platzen zu vermeiden.