

Wie funktioniert „Gefriertrocknen“?

Hinweis: Diese Aufgabe ist so konzipiert, dass sie mit gestuften Hilfen gelöst werden kann.

Die Hilfen stehen im Medienportal zum Ausdruck auf Papier zur Verfügung oder können von den Schülerinnen und Schülern über den auf dem Arbeitsblatt enthaltenen QR-Code auf einem Tablet oder Smartphone online genutzt werden.

Das Arbeitsblatt für die Schülerinnen und Schüler sowie die Hilfen zum Druck sind in gesonderten Dateien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung verfügbar. Allgemeines zum Einsatz von Aufgaben mit gestuften Hilfen im Unterricht findet sich in Dokument „Aufgaben mit gestuften Hilfen – Einführung“, das auch auf dem Medienportal vorhanden ist.

1 Themenaspekte

Die Aufgabe steht im Zusammenhang mit den Aggregatzuständen des Wassers, genauer mit dem Übergang von der festen in die gasförmige Phase bei Temperaturen unter 0 °C und bei vermindertem Druck. Unter alltagsrelevanten Aspekten geht es um die schonende Konservierung von Lebensmitteln durch Wasserentzug im tiefgefrorenen Zustand.

2 Lernvoraussetzungen und Schwierigkeitsgrad

Die Schülerinnen und Schüler müssen über die Aggregatzustände des Wassers und die Übergänge zwischen seinen Phasen (fest – flüssig, flüssig – gasförmig, ebenso in der Gegenrichtung) hinaus auch die Sublimation und die Resublimation als Sonderfälle von Phasenübergängen kennen. Auch die Darstellung der Phasen in einem Phasendiagramm muss ihnen bekannt sein. Unter diesen Voraussetzungen hat die Aufgabe mittleren Schwierigkeitsgrad.

Prinzipiell lässt sich die Fragestellung auch auf der phänomenologischen Ebene bearbeiten, etwa ausgehend von der (heute eher nicht mehr verfügbaren) Erfahrung, dass nasse Wäsche auch dann trocknet, wenn sie auf der Wäscheleine im Freien bei Minusgraden erstarrt ist.

3 Zum Hintergrund der Aufgabe

Gefriertrocknen ist ein schonendes Verfahren zur Konservierung von Lebensmitteln, z. B. bei der Herstellung von löslichem Pulverkaffee. Es wird aber auch bei der Herstellung von Medikamenten eingesetzt, die sich beim Erhitzen zersetzen würden, ebenso bei der Herstellung von Outdoor-Verpflegung und „Astronautennahrung“, bei der Wasser entzogen wird, ohne die Struktur des betreffenden Lebensmittels zu zerstören. Weitere Anwendungen gibt es in der Restauration von Büchern nach Wasserschäden oder beim Trocknen archäologischer Funde, wie Holzteile oder Textilien, die aus dem Wasser oder feuchten Böden geborgen wurden.

Im Alltag konnte das Verdunsten von (gefrorenem) Wasser – wie oben erwähnt – früher noch beim Trocknen von Wäsche im Winter in seiner Wirkung beobachtet werden: Bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt und in kalter, aber trockener Luft wurden nasse Wäscheteile auf der Leine ebenso trocken wie zu anderen Jahreszeiten, allerdings deutlich langsamer.

Grundlage für den direkten Übergang vom festen in den gasförmigen Aggregatzustand ist die Tatsache, dass unterhalb des Tripelpunkts Wasser nicht flüssig werden kann. Der Tripelpunkt liegt bei 0,01 °C und bei ca. 6/1000 bar. Weil auch festes Eis einen merklichen Dampfdruck besitzt, kann bei solchen niedrigen Drücken durch vorsichtige Wärmezufuhr die Sublimation des Wassers beschleunigt werden.

4 Die Aufgabe

In der einfachsten Form kann die Aufgabe wie folgt formuliert werden:

Findet heraus, wie das Gefriertrocknen funktioniert.

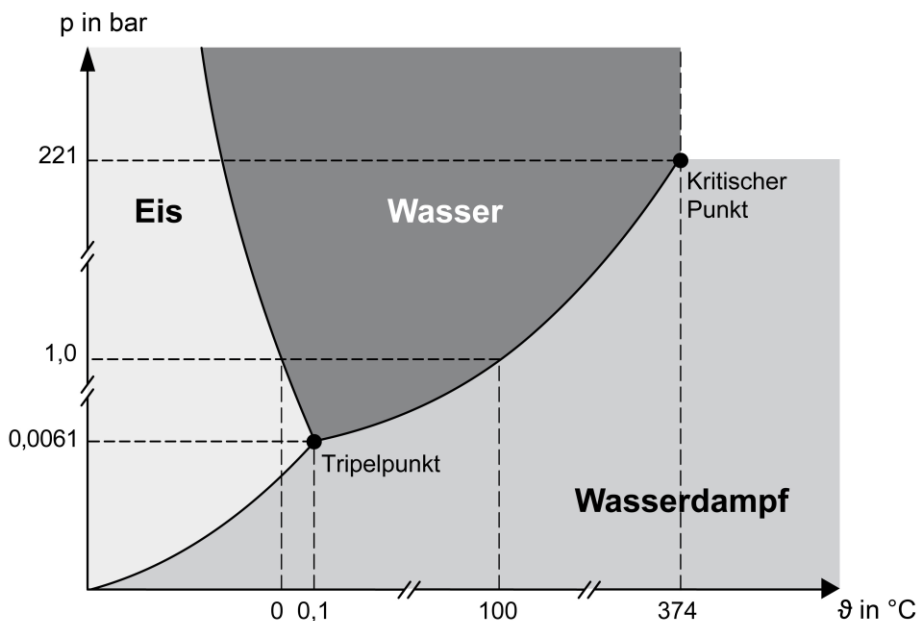
Nehmt dazu das Phasendiagramm des Wassers zu Hilfe.

Wegen der lernfördernden Wirkung eines Kontextes, aus dem heraus die Aufgabe entwickelt wird, kann je nach Einschätzung der Lehrkraft eine Kontextszene entwickelt werden, z. B. wie folgt:

Daniel und seine Freunde planen einen Campingausflug. Daniel ist für die Verpflegung zuständig. In einem Geschäft für Campingausrüstung empfiehlt ihm der Verkäufer gefriergetrocknete Fertiggerichte, die man nur noch mit kochendem Wasser aufgießen muss. Daniel kauft erst mal eine Packung „Sahnehühnchen mit Nudeln und Spinat“ und probiert sie zu Hause gleich aus: Heißes Wasser darüber, ein paar Minuten warten, und es schmeckt gar nicht schlecht. Daniel findet das so toll, dass er gleich herausfinden muss, wie das funktioniert mit dem Gefriertrocknen. Im Internet liest er „erst schockgefrieren, dann Wasserentzug bei vermindertem Druck“.

So weit, so gut, denkt Daniel, aber wenn das Wasser in den Lebensmitteln zu Eis geworden ist, wie kann es dann herausgezogen werden?“

Den Schülerinnen und Schülern sollte neben dem Aufgabenblatt und den Hilfen auch eine Kopie mit dem Phasendiagramm des Wassers zur Verfügung gestellt werden, in das sie ihre Überlegungen eintragen können.



Phasendiagramm des Wassers.

5 Variationen

Das Lesen von Phasendiagrammen erweist sich für viele Schülerinnen und Schüler als erhebliche Schwierigkeit. Um ihnen den Zugang zu erleichtern, können vor Bearbeitung der Aufgabe gemeinsam Fragen geklärt werden wie:

- Unser Lebensraum ist gekennzeichnet durch Temperaturen zwischen -20 °C und +40 °C und einem Druck von ca. 1 bar. Wo findet man diese Bedingungen im Phasendiagramm des Wassers?
- Wo befindet man sich im Phasendiagramm, wenn man den Mt. Everest besteigt?
- Was passiert in einem Dampfdrucktopf?

- Gibt es im Weltraum flüssiges Wasser oder eher Eis oder Wasserdampf?

Zu beachten ist dabei, dass praktisch alle Darstellungen des Phasendiagramms des Wassers nicht lineare (logarithmisch verzerrte) Achsen aufweisen. Im Anschluss an die Aufgabe sollte ggf. auch noch thematisiert werden, dass auf Grund der Tatsache, dass es sich nicht um reines Wasser handelt, sondern um Lösungen, die Dampfdrücke verändert sind. Dadurch kommt es zu einer Verschiebung von Schmelz- und Siedepunkten (Schmelzpunktniedrigung, Siedepunkterhöhung).

6 Die Hilfen in der Übersicht

Hinweis: Die Hilfen sind in einer separaten Datei zum Ausdruck vorbereitet oder können über die QR-Codes im Arbeitsblatt online genutzt werden.

Hilfe 1

Erklärt euch gegenseitig die Aufgabe noch einmal in euren eigenen Worten. Klärt dabei, wie ihr die Aufgabe verstanden habt und was euch noch unklar ist.

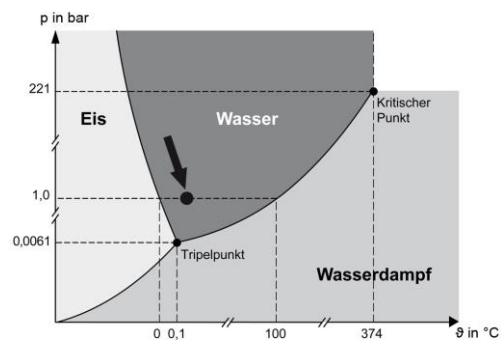
Antwort 1

Wir sollen an Hand des Phasendiagramms des Wassers klären, wie das Gefriertrocknen funktioniert.

Hilfe 2

Am besten, ihr vollzieht den Weg des Gefriertrocknens im Phasendiagramm Schritt für Schritt nach.
Beginnt dazu bei Zimmertemperatur und normalem Druck.

Antwort 2

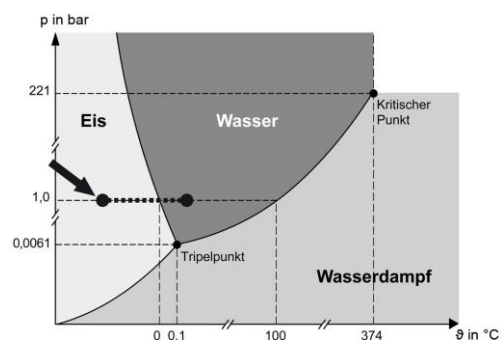


Normaler Druck bedeutet 1 bar, Zimmertemperatur (ca. 20 °C) müssen wir im Diagramm abschätzen.

Hilfe 3

Als erstes werden die Lebensmittel schockgefroren, z. B. mittels flüssiger Luft. Findet dazu den weiteren Weg im Phasendiagramm.

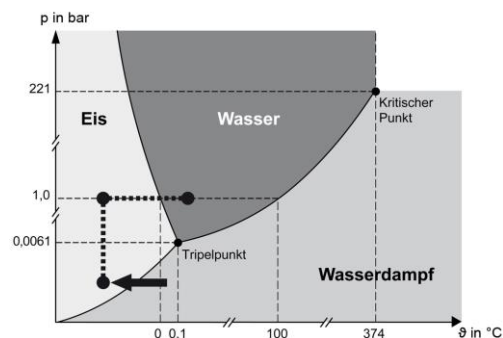
Antwort 3



Beim Schockgefrieren bleibt der Druck gleich, aber alles Wasser ist jetzt zu Eis gefroren.

Hilfe 4

Jetzt wird der Druck durch eine Vakuumpumpe vermindert; wie geht es im Diagramm weiter und was bedeutet das?

Antwort 4

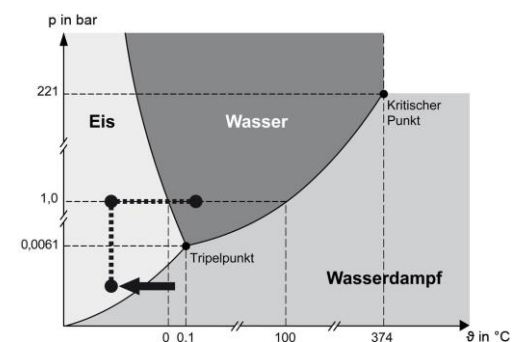
Im Phasendiagramm grenzt bei niedrigem Druck nur noch die Gasphase an die Eisphase. Jetzt kann das gefrorene Wasser auch dann nicht mehr schmelzen, wenn die Temperatur wieder erhöht wird.

Hilfe 5

Ihr wisst ja, dass Eis auch bei sehr niedrigen Temperaturen noch einen gewissen Dampfdruck hat.

Wie kann man bewirken, dass das gefrorene Wasser aus dem Gefriergut etwas schneller gasförmig wird?

Ein Blick auf das Phasendiagramm wird euch bei der Antwort helfen.

Antwort 5

Das ist ganz einfach: Man muss wieder Energie zuführen und damit die Temperatur etwas erhöhen. Dann verdampft das gefrorene Wasser aus den Lebensmitteln und sie werden getrocknet.

Hilfe 6

Jetzt habt ihr alles zusammen, um die Frage zu beantworten, wie das Gefriertrocknen physikalisch betrachtet funktioniert. Schreibt einen kurzen zusammenhängenden Text dazu.

Antwort 6

Das Gefriergut wird schnell sehr stark abgekühlt. Anschließend wird der Druck durch Vakuumpumpen so weit erniedrigt, dass das Wasser nicht mehr flüssig werden kann. Wird dann die Temperatur wieder erhöht, geht das gefrorene Wasser unmittelbar in die Gasphase über; auf diese Weise wird das Gefriergut getrocknet.