

Schnelle Moleküle abpumpen - Wasser gefrieren

Eine kleine Menge Wasser wird unter einer Vakuumlöcke mit einer Drehschiebervakuumpumpe evakuiert. Die Temperatur des Wassers fällt ständig ab, in einer Variante sogar so weit, dass das Wasser gefriert. Der Abfall der Temperatur wird mit einem Temperaturfühler und einem Mobile-CASSY 2 WLAN, das sich unter der Vakuumlöcke befindet, mitverfolgt.

Hintergrund

Der Versuch erlaubt eine Verfeinerung des Teilchenmodells, indem auf die unterschiedliche Geschwindigkeit der einzelnen Teilchen bei einer bestimmten Temperatur eingegangen wird. Damit lässt sich auch leicht erklären, warum Wasser bereits unter seinem Siedepunkt verdunstet.

Gefahren



Signalwort: Gefahr

Schutzbrille und Schutzhandschuhe tragen. Schwefelsäure verursacht schwere Verätzungen der Haut und Augenschäden. Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.



Chemikalien

Schwefelsäure H314 H290  P280 P301+P330+P331 P305+P351+P338 P309+P310
Wasser, dest.

Materialien

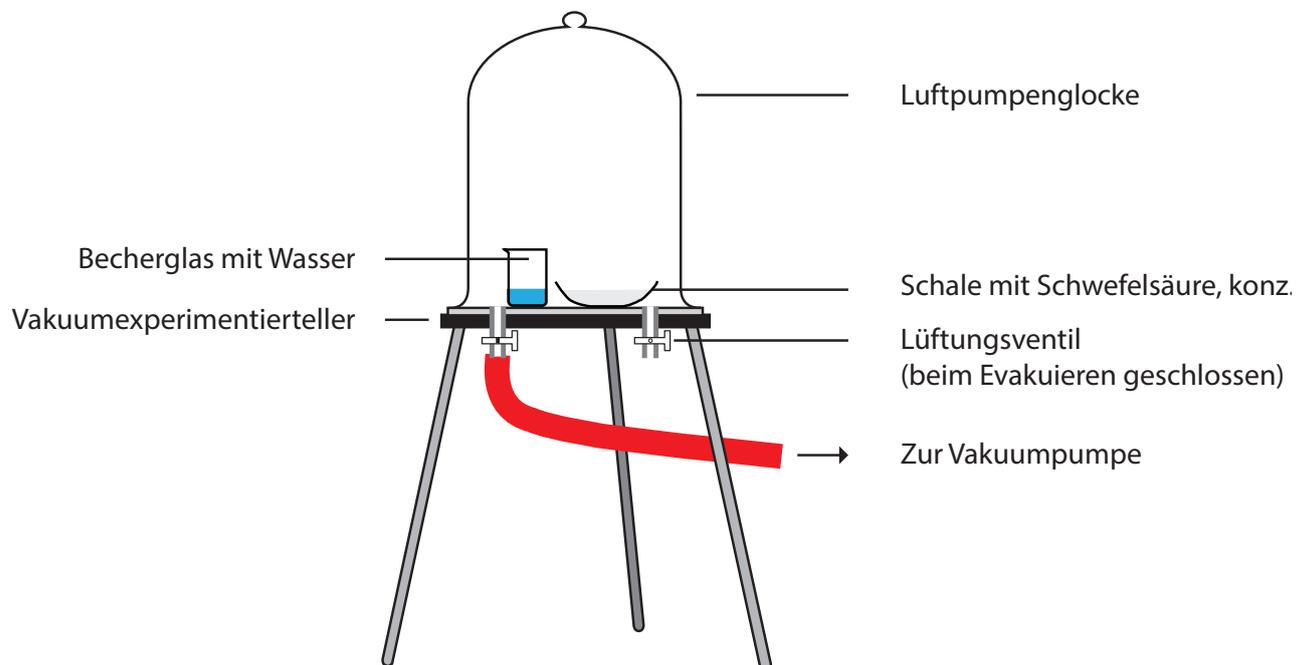
Computer mit CASSY Lab 2
Mobile CASSY 2 WLAN, 2 Stück
Temperaturfühler NiCr-Ni, schnell, Typ K [666 1261]
Absolutdrucksensor S, 0...1500 hPa [524 065] mit Verlängerungskabel [501 11]
Vakuumentfernterteller mit Stativstange [378 89]
Luftpumpenglocke, beschichtet [378 561]
Drehschieber-Vakuumpumpe (Saugleistung 4×10^{-3} mbar), z. B. Vacuubrand RZ 2.5
Übergangs-Zentrierring DN 10/16 KF, 3 Stück
Spannring DN 10/16 KF [378 050] 3 Stück
Schlauchwelle DN 16 KF [378 031] mit Vakuumschlauch
Becherglas 50 ml,
Porzellanschale, 6 cm oder Becherglas 250 ml, niedrige Form

Schnelle Moleküle abpumpen - Wasser gefrieren

Einstellungen CASSY Lab 2

Temperatur	Bereich:	20 °C .. 120 °C
Druck	Bereich:	0 ... 1500 hPa
Messbedingungen	Aufnahme:	automatisch
	Messzeit	kein Eintrag (Messzeit unbestimmt)
	Intervall	1 s
Standart/Kurve	Stil	Linien

Versuchsskizze (ohne Messtechnik dargestellt)



Versuchsdurchführung ohne Schwefelsäure (Variante 1)

1. Unter die Vakuumpumpe wird nur das Becherglas mit Wasser und das Mobile CASSY 2 WLAN mit angeschlossenem Temperaturfühler gestellt. Das lange Messkabel des Fühlers ist zusammengebunden, die Spitze des Sensors taucht knapp unter die Wasseroberfläche (mit Klebeband fixieren).
2. Das Mobile CASSY 2 wird angeschaltet, bevor die Glasglocke über die Versuchsanordnung gestülpt wird. Es wird über WLAN mit dem Computer verbunden.
3. Das zweite Mobile CASSY 2 ist an den Absolutdrucksensor angeschlossen (über ein Verlängerungskabel), dieses CASSY ist über USB mit dem Computer verbunden. Der Absolutdrucksensor ist über ein T-Stück an der Vakuumpumpe angeschlossen, die Vakuumpumpe ist über einen Vakuumschlauch mit dem Vakuumteller verbunden.
4. Das Lüftungsventil wird geschlossen, das Ventil, das mit der Pumpe verbunden ist, ist offen.
5. Das Programm CASSY-Lab 2 wird geöffnet, die zwei CASSYs aktiviert.
6. Die Messung in CASSY-Lab 2 starten, dann die Pumpe einschalten, bis das Wasser siedet.
7. Wenn das Wasser siedet, Messung beenden, Pumpe ausschalten, Apparatur belüften.

Schnelle Moleküle abpumpen - Wasser gefrieren

Hinweis:

Die Vakuumpumpe möglichst schon vorher unter Gasballast heiß laufen lassen. Dadurch bleibt das Vakuumpumpenöl frei von Wasser.

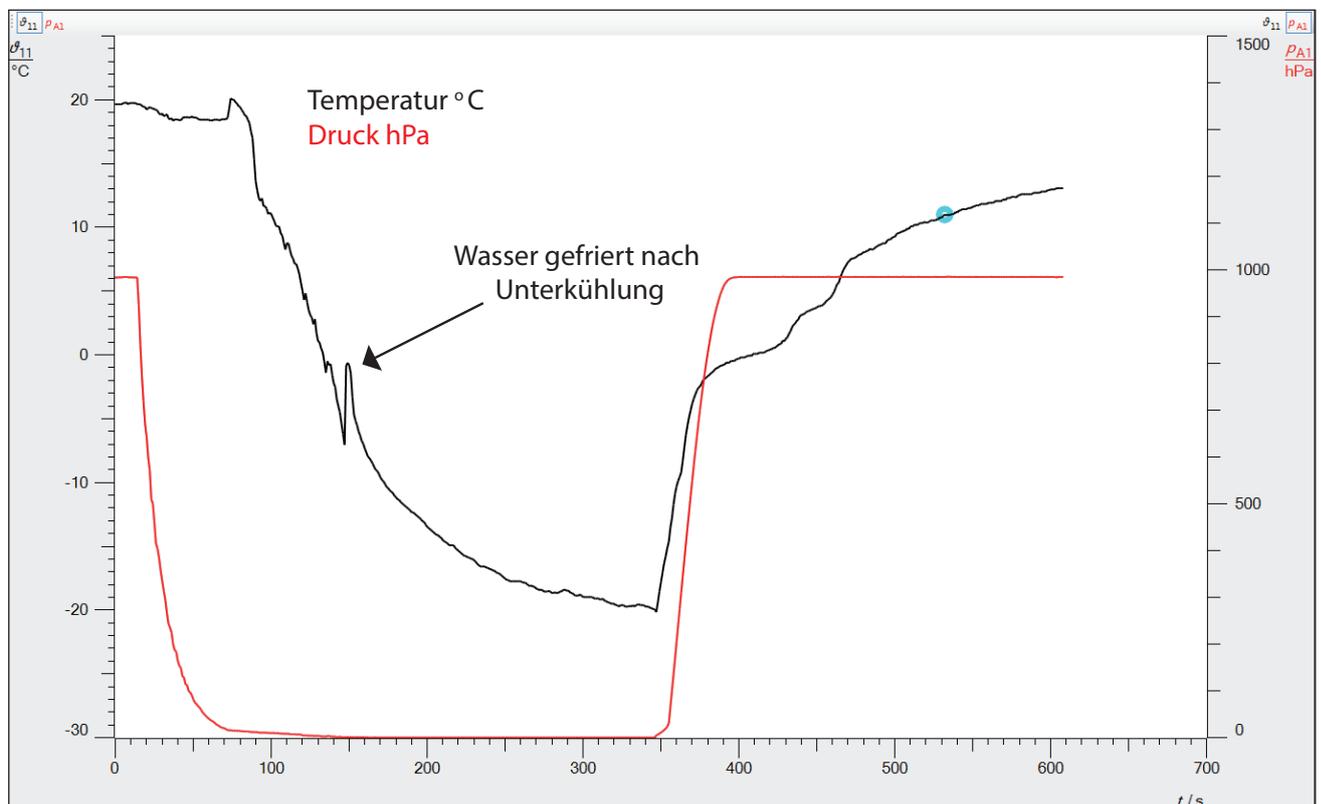
Versuchsdurchführung mit Schwefelsäure (Variante 2)

Der Versuch wird wie oben aufgebaut, im Becherglas sind etwa 10 - 15 ml Wasser, zusätzlich wird eine Schale mit konz. Schwefelsäure mit hineingestellt.

Die weitere Versuchsdurchführung erfolgt wie bei Variante 1.

Nach dem Starten der Messung wird die Vakuumpumpe angeschaltet. Nach dem Gefrieren kann die Messung beendet, die Pumpe abgestellt und die Apparatur belüftet werden.

Diagramm (Variante 2):



Versuchsergebnis

Bei Variante 2 beginnt das Wasser bei etwa 20 hPa zu siedeln, die Temperatur fällt innerhalb von 2 Minuten bis unter -0°C , das Wasser wird bis -6°C unterkühlt, bis es gefriert. Dabei steigt die Temperatur für einen Moment wieder auf 0°C an. Danach kühlt das gefrorene Wasser weiter ab (Sublimation), es werden Temperaturen von knapp -20°C erreicht.

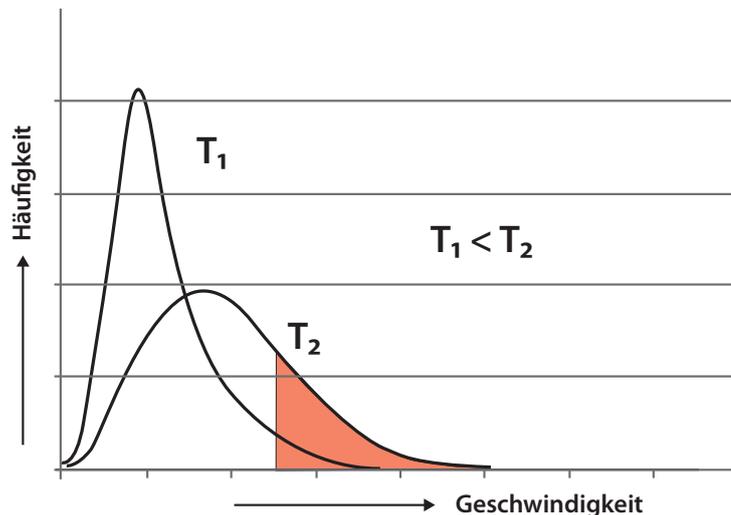
Nur die oberste Wasserschicht gefriert.

Bei Variante 1 fällt die Temperatur nicht unter 0°C , der Temperaturabfall beträgt nur einige wenige $^{\circ}\text{C}$. Wie bei Variante 2 beginnt das Wasser bei etwa 20 hPa heftig zu siedeln.

Schnelle Moleküle abpumpen - Wasser gefrieren

Erklärung

Bei einer bestimmten Temperatur sind nicht alle Moleküle gleich schnell. Es gibt in einer Flüssigkeit schnelle und langsame Moleküle. Je niedriger die Temperatur ist, um so mehr langsame Moleküle gibt es, je höher die Temperatur, um so mehr schnelle gibt es. Dies wird in folgender Graphik ausgedrückt:



Der rot unterlegte Bereich gibt die Moleküle an, deren Geschwindigkeit groß genug ist, in die Gasphase überzutreten. Auch bei Raumtemperatur gibt es solche Moleküle, allerdings nur wenige. Deswegen verdunstet Wasser auch bei Raumtemperatur, aber sehr langsam.

Legt man ein Vakuum an, ist die Geschwindigkeit, mit der man in die Gasphase übertreten kann, noch geringer als bei Raumtemperatur. Wasser siedet bei verminderten Druck bekanntlich bei einer Temperatur unter 100 °C.

Die genügend schnellen Moleküle werden jetzt abgepumpt, die Schwefelsäure, die ebenfalls Wasser anzieht, unterstützt diesen Abpumpereffekt. Ohne die Schwefelsäure dauert das Abpumpen über 30 Minuten, bis eine Temperatur von Null °C erreicht wird (in dem durchgeführten Versuch ohne Schwefelsäure war das Wasser nach 30 Minuten noch nicht gefroren).

Werden die schnellen Moleküle abgepumpt, bleiben nur die langsamen übrig. Da die Temperatur auf Teilchenebene durch die Durchschnittsgeschwindigkeit der Moleküle bestimmt wird, sinkt die Temperatur.

Durch eine starke Vakuumpumpe in Kombination mit der Schwefelsäure kann das Wasser auf Teilchenebene so verlangsamt werden, dass es gefriert, d. h. die Teilchen einen festen Ort haben und nur noch an diesem Ort schwingen.

Nach dem Gefrieren fällt die Temperatur noch weiter, ein Effekt, der durch Sublimation erklärt werden kann.

Entsorgung

Die Schwefelsäure kann für die Herstellung von verdünnter Schwefelsäure genutzt werden.

Literatur

Hunter, P. W. W. ; Knoespel, S. L.: Cryophori, Hot Molecules, and Frozen Nitrogen. J. Chem. Educ. 1994, 71, 67 - 68.