

► Cool – Verdunstungskälte und Verdampfungswärme

Otmar E. Danninger

Einführung:

Der Abtransport von Wärme in Kühltürmen, erfrischende Springbrunnen in italienischen Palazzi, Klimatisierung von Räumen durch Verdunstungstechnik oder die kühlende Wirkung des Schweißes auf der menschlichen Haut - all diese Phänomene beruhen auf der Verdampfung von Wasser. Die Verdampfung einer Flüssigkeit, also der Übergang von der flüssigen in die gasförmige Phase, ist ein endothermer Prozess. Dabei ist es egal, ob das Wasser bei 100 °C kocht oder ob es bei 20°C verdunstet. In beiden Fällen wird für den Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand Wärme benötigt. Die Wassermoleküle werden dabei aus dem Einfluss der anziehenden Wechselwirkung mit ihren Nachbarmolekülen befreit.

Die Verdampfungsenthalpie einer Flüssigkeit ist die Wärmemenge, die bei konstantem Druck zur Verdampfung eines Mols Moleküle benötigt wird. Sie stimmt mit der Wärmemenge überein, die beim Phasenübergang Flüssigkeit zu Dampf der Flüssigkeit zugeführt werden muss, um die zwischenmolekularen Kräfte zu überwinden, die die Moleküle zusammenhalten. Die Wärmeenergie steckt nun im entstandenen Dampf (im Gas), sie wird der Umgebung entzogen, weshalb diese sich abkühlt (Verdunstungskälte). Man braucht folglich wenig Energie zur Verdunstung, wenn die zwischenmolekularen Anziehungskräfte gering sind (starke Abkühlung). Sind umgekehrt die Anziehungskräfte groß, benötigt man viel Energie, um die Teilchen vom flüssigen in den gasförmigen Zustand zu bringen (geringe Abkühlung).

Diese Zusammenhänge kann man vorzüglich demonstrieren, wenn man die Temperaturänderung beim Verdunsten einer Flüssigkeit aufnimmt.

Experiment:

Geräte:

TI-Nspire™CX, TI-Nspire™ Lab Cradle, Temperaturfühler (stainless steel), Kabel

Materialien:

Reagenzgläser, Filterpapier oder Küchenpapier, Gummiband, Tesafilm, Stativmaterial

Durchführung:

Aus Filter- oder Küchenpapier schneidet man ein etwa 6 x 6 cm großes Stück und umwickelt damit den Metallstab eines Temperaturensors. Die Papierhülse lässt sich am besten folgendermaßen herstellen: Man rollt das Papier eng zusammen und schiebt es danach erst über den Sensor. Dort kann man es mit Gummiband oder Tesafilm fixieren. Man kann auch ein Erfrischungstuch auspacken und einfach über den Temperatursensor hängen.

Will man Vergleiche zwischen verschiedenen Flüssigkeiten anstellen, bereitet man mehrere Temperaturfühler vor. Ide-

alerweise verwendet man das neue TI-Nspire™ Lab Cradle mit 3 analogen Eingängen, womit z. B. gleichzeitig die Temperaturkurven von Luft und Wasser und Kölnisch Wasser (Erfrischungstuch) aufgenommen werden können. Steht kein TI-Nspire™ Lab Cradle zur Verfügung, führt man die Messungen nacheinander aus und speichert die Werte im Rechner.

Nach dem Anschließen der Temperatursensoren an das Messgerät ist der Rechner so einzustellen, dass alle 10 Sekunden eine Temperaturmessung über einen Zeitraum von 5 Minuten erfolgt. Man gibt in Reagenzgläser jeweils 1 mL Wasser bzw. Kölnisch Wasser (oder Rasierwasser), taucht die präparierten Temperatursensoren in die Flüssigkeit und saugt diese mit der Papierhülle auf. Nun startet man die Messung, zieht die Temperatursensoren heraus und fixiert den jeweiligen Griff an einem Stativ oder direkt an der Kante eines Tisches, so dass die Flüssigkeit ungehindert verdunsten kann (s. Abb.1).

Die Werte sind nur dann aussagekräftig, wenn man genau gleiche Mengen der verschiedenen Flüssigkeiten aufsaugt. Auch ist es bei parallelen Messungen wichtig, die Messfühler synchron aus den Reagenzgläsern zu ziehen, damit die Verdunstung zeitgleich beginnt.

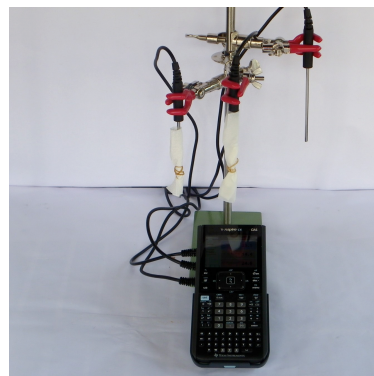


Abb.1: Aufbau der Messung

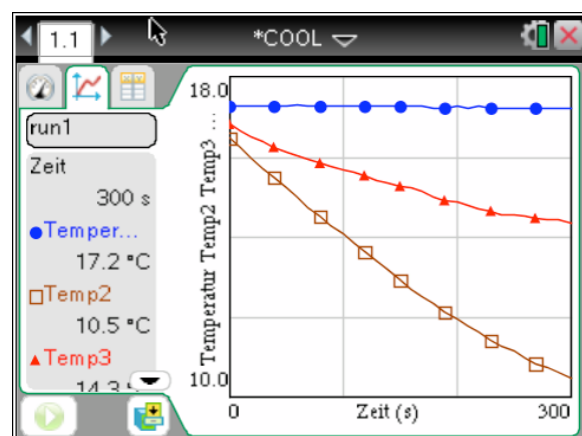


Abb.2: Vergleich Luft, Wasser, Erfrischungstuch

Ergebnisse:

Die mit den Messungen erhaltenen Korrelationen sind evident (s. Abb. 2). Im Zeitraum von 5 Minuten erfolgt die Abkühlung des wassergetränkten Papiers etwa von 18 °C auf 14 °C, bei Kölnisch Wasser noch deutlicher ausgeprägt bis auf 10 °C.

Je leichter ein Stoff verdunstet, desto stärker ist die Abkühlung bei der Verdunstung. Alkoholhaltige Flüssigkeiten (mit geringen Anziehungskräften zwischen den Teilchen) verdunsten leichter als Wasser (mit starken Anziehungskräften zwischen den Wassermolekülen). Wasser kühlt also stärker als Luft, Kölnisch Wasser (Erfrischungstuch oder Rasierwasser) noch stärker als Wasser.

Misst man wie beschrieben gleichzeitig die drei Temperaturkurven, so lässt sich zeigen, dass nicht ein kalter Luftzug die Abkühlung der Flüssigkeit bewirkt - die Lufttemperatur bleibt ja konstant. Eine Erweiterung der Experimente ist durch Anblasen mit einem Fön möglich.

Ausblick:

Das geschilderte Experiment kann mit Schülerinnen und Schülern unterschiedlicher Jahrgangsstufen durchgeführt werden. Sowohl Anspruchsniveau als auch Einsetzbarkeit sind in weiten Grenzen variabel.

Für jüngere Schülerinnen und Schüler ist die richtige Interpretation der Graphik ausreichend. Die Erfahrung, dass Schwitzen zur Abkühlung der Körpertemperatur beiträgt, kann auf einfacher Ebene erklärt werden (Verdunstung des im Schweiß enthaltenen Wassers). Die Erklärung mit Hilfe der Teilchenstruktur der Materie richtet sich nach dem Wissensstand der Schüler.

In höheren Jahrgangsstufen kann die üblicherweise recht „trockene“ Darstellung der Siedepunkte der homologen

Reihe der Alkane durch die experimentell bestimmbare Abkühlung bei der Verdunstung eindrucksvoll veranschaulicht werden.

Mit steigender Zahl der Kohlenstoffatome bei n-Pentan, n-Hexan, n-Heptan und n-Octan steigen Verdampfungsenthalpie und Siedepunkt, weil die steigende Kettenlänge eine größere Oberfläche und damit größere zwischenmolekulare Anziehungskräfte (van-der-Waals-Kräfte) bedingt. Dementsprechend verdunsten kurzkettige Alkane bei gegebener Temperatur rascher als langkettige und bewirken eine stärkere Abkühlung (bei n-Pentan fällt z. B. die Temperatur von 22 °C bereits innerhalb weniger Minuten auf etwa -12 °C).

Es gibt kaum einen schulrelevanten Versuch, der die Zusammenhänge zwischen Kettenlänge eines Alkans, Oberfläche des Moleküls, van-der-Waals-Kraft, Verdampfungsenthalpie und Siedepunkt so eindrucksvoll zeigt.

Eine vertiefende Betrachtung der Struktur - Eigenschaftskorrelation ist durch Experimente mit isomeren Alkanen oder mit einwertigen Alkanolen möglich. Man vergleiche molare Massen, Siedepunkte und Verdampfungsenthalpien der Alkanole mit den entsprechenden Alkanen und lasse den Temperaturverlauf bei der Verdunstung messen. Besonders bei Butanol bzw. Pentanol, die vergleichbare molare Massen wie Pentan bzw. Hexan besitzen, ist die Auswirkung der Wasserstoffbrückenbindungen im Vergleich zu den van-der-Waals-Kräften besonders gut erkennbar.

Autor

Otmar E. Danninger, Landshut

otmar.danninger@chemie.uni-regensburg.de