

## Die Änderungen der Aggregatzustände

Der Aggregatzustand (fest, flüssig oder gasförmig) eines Körpers kann durch Wärmezufuhr oder durch Wärmeentzug (Temperaturerhöhung oder Temperaturniedrigung) geändert werden: Durch Wärmezufuhr wird ein fester Körper in den flüssigen oder gasförmigen Zustand übergeführt, ein flüssiger wird dadurch in den gasförmigen übergeführt. Bei Wärmeentzug erfolgt der umgekehrte Vorgang.

Der **Energiegehalt** eines Körpers nimmt daher vom festen über den flüssigen zum gasförmigen Aggregatzustand zu.

### Schmelzen und Erstarren (Gefrieren)

Unter der Voraussetzung, daß der äußere Druck (Luftdruck) stets derselbe ist, erfolgt das Schmelzen eines Körpers immer bei derselben Temperatur, dem sogenannten **Schmelzpunkt**.

Während des Schmelzens steigt trotz zugeführter Wärme die Temperatur des schmelzenden Körpers nicht. Erst wenn der ganze Körper geschmolzen ist, steigt bei weiterer Wärmezufuhr die Temperatur des jetzt flüssigen Körpers.

Grund: Die beim Schmelzen zugeführte Wärme wird für den Schmelzvorgang verwendet.

Der Körper verbraucht nämlich beim Schmelzen Energie, die sogenannte **Schmelzwärme**.

Beispiel: Wenn man 1kg Eis von  $-5^{\circ}$  zum Schmelzen bringen will, muß man es erst bis auf  $0^{\circ}$  erwärmen. Diese hierbei zugeführte Wärmemenge ist noch nicht die Schmelzwärme. Erst wenn das Eis die Temperatur von  $0^{\circ}$  erreicht hat, dann ist die Wärmemenge, die 1kg Eis von  $0^{\circ}\text{C}$  in Wasser von  $0^{\circ}\text{C}$  verwandelt, die Schmelzwärme des Wassers.

Wasser hat wieder einmal die Sonderstellung: es hat von allen Körpern die größte Schmelzwärme. Um 1 kg Eis zum Schmelzen zu bringen (ohne dabei die Temperatur zu erhöhen), ist eine Energie von 335 kJ erforderlich!

Mit dieser Energiemenge könnte man 1 kg Wasser um 80 Grad wärmer machen.

Wird ein flüssiger Körper abgekühlt, so erstarrt (gefriert) er bei einer bestimmten Temperatur, dem Erstarrungs- oder Gefrierpunkt. Es zeigt sich:

**Schmelzpunkt  $\equiv$  Erstarrungspunkt**  
(Voraussetzung: gleicher äußerer Druck).

Beim Erstarren gibt der Körper Wärme ab, die sogenannte Erstarrungswärme. Auch jetzt sollten Sie nicht überrascht sein:

**Erstarrungswärme = Schmelzwärme**  
(Der Grund: das Energieprinzip).

Ein Körper gibt somit beim Gefrieren die selbe Wärmemenge ab, die er beim Schmelzen aufgenommen hat.

**Bemerkung:**

Viele physikalische Größen, die sich mit der Temperatur verändern, werden auf  $0^{\circ}\text{C}$  festgelegt. Warum? Diese Temperatur ist leicht herstellbar. Reines Wasser und reines Eis in einem Gefäß gemischt haben immer diese Temperatur. Wärmezufuhr bringt ja wie besprochen keine Erwärmung des Topfinhaltes, sondern löst den Schmelzvorgang aus.

## Abhängigkeit des Schmelzpunktes vom äußeren Druck

In der Regel dehnen sich feste Körper beim Schmelzen aus und ziehen sich beim Erstarren zusammen. Die Ausnahme macht das Wasser. Es zieht sich beim Schmelzen zusammen und dehnt sich beim Gefrieren aus. Daher ist Eis spezifisch leichter als Wasser und schwimmt oben.

Der Schmelz- bzw. Gefrierpunkt ist nun in geringem Maße vom äußeren Luftdruck abhängig:

Äußere Druckerhöhung begünstigt den Zustand, der das kleinere Volumen einnimmt. Bei den meisten Körpern wird der Schmelzpunkt dabei erhöht (kleineres Volumen, noch fester Zustand, auch noch bei höherer Temperatur als bei normalem Luftdruck). Beim Wasser aber wird durch Druckerhöhung der Schmelzpunkt erniedrigt.

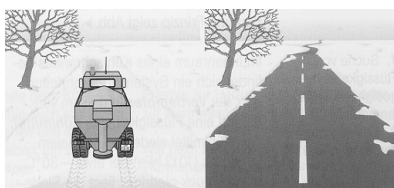


Wird auf Eis von  $0^{\circ}\text{C}$  ein Druck ausgeübt, so schmilzt es und würde erst bei tieferer Temperatur gefrieren. Anwendung beim Schlittschuhlaufen: Unter dem Druck des Schlittschuhes wird das Eis flüssig und vermindert stark die Reibung. Auf einer Glasplatte, auch wenn sie noch so glatt ist, läßt es sich nicht Schlittschuhlaufen.

Unterkühlung:

Eine Flüssigkeit kann bei vorsichtigem Abkühlen unter den Gefrierpunkt abgekühlt werden, ohne daß sie dabei erstarrt. Die Erstarrung erfolgt dann sofort bei Erschütterung oder beim Hineinwerfen eines Kristalles. Dabei wird Erstarrungswärme frei, die Temperatur steigt bis zum Schmelzpunkt.

## Abhängigkeit des Schmelzpunktes von der Beimengung anderer Körper



Lösungen haben einen tieferen Gefrierpunkt als das reine Lösungsmittel!

Eine wässrige Zucker- oder Salzlösung zum Beispiel gefriert nicht bei  $0^{\circ}\text{C}$ , sondern bei einer tieferen Temperatur. Anwendung: Salzstreuung im Winter.

Versuch: Kältemischung

Ein Gewichtsteil Kochsalz wird mit drei Gewichtsteilen zerstoßenem Eis von  $0^{\circ}\text{C}$  vermischt. Das Eis schmilzt, die Temperatur sinkt dabei auf  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Erklärung: Salz in Wasser erniedrigt den Gefrierpunkt. Also bei  $0^{\circ}$  gibt es kein salziges Eis, auch nicht bei  $-1^{\circ}$ ,  $-2^{\circ}$ ... Das Eis muß daher schmelzen. Schmelzen braucht aber Wärme (Schmelzwärme). Woher kommt die Schmelzwärme? - Aus der Mischung selbst, indem diese sich aber dabei abkühlt.

## Verdampfung und Kondensation

**Verdampfen** (Verdunsten, Sieden) ist der Übergang eines Körpers vom flüssigen Zustand in den gasförmigen Zustand. Der umgekehrte Vorgang heißt Verflüssigung oder Kondensation.

**Verdunsten** ist die Verdampfung einer Flüssigkeit bei jeder Temperatur und nur an der Oberfläche der Flüssigkeit.

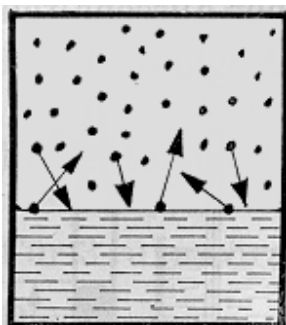
**Sieden** ist die Verdampfung einer Flüssigkeit bei einer ganz bestimmten Temperatur, dem sogenannten Siedepunkt; das Sieden findet in der ganzen Flüssigkeit statt, nicht nur bloß an der Oberfläche. Man erkennt das am Aufsteigen von Dampfblasen **in** der Flüssigkeit.

*Erklärung des Verdampfungsvorganges:*

*In der Flüssigkeit befindet sich eine bestimmte Zahl von Molekülen, die eine so große Geschwindigkeit (kinetische Energie) haben, daß sie die Oberflächenspannung überwinden und aus der Flüssigkeit austreten können. Diese aus der Flüssigkeit austretenden Moleküle bilden dann einen gasförmigen Zustand, der **Dampf** heißt. Der Dampf übt infolge seines gasförmigen Zustandes einen Druck aus. Je mehr Moleküle aus der Flüssigkeit herausgekommen sind, desto größer ist der ausgeübte Druck. Der Druck des Dampfes treibt dann andere Dampfmoleküle wieder in die Flüssigkeit zurück.*

*In einem abgeschlossenen Raume verlassen nicht unbegrenzt viele Moleküle die Flüssigkeitsoberfläche, bilden Dampf und üben Druck auf Flüssigkeit und Raumwand aus. Es kommt auf die Temperatur an:*

*Bei höherer Temperatur verlassen mehr Moleküle die Flüssigkeitsoberfläche und bilden einen höheren Druck im Raum über der Flüssigkeit.*



Für jede Temperatur gibt es einen gewissen Druck des Dampfes, der nicht überschritten wird (für neu austretende Moleküle werden andere wieder in die Flüssigkeit hineingedrückt).

Der **Dampfdruck** einer Flüssigkeit ist der höchste Druck, der bei einer bestimmten Temperatur vom Dampf ausgeübt werden kann.

Die wärmere Flüssigkeit hat den höheren Dampfdruck.

Allerdings gilt für den letzten Satz folgende Einschränkung: es muß sich um die gleiche Flüssigkeit handeln.

Verschiedene Flüssigkeiten haben nämlich unterschiedliche Dampfdrücke. Alkohol und Äther haben einen höheren Dampfdruck als Wasser – sie verdampfen deshalb leichter. Quecksilber hat einen niedrigeren als Wasser.

Der Dampfdruck einer Flüssigkeit nimmt mit steigender Temperatur zu.

*Erklärung:*

*Mit steigender Temperatur nimmt die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsmoleküle und somit ihre kinetische Energie zu. Also wird auch die Zahl der Moleküle, die aus der Flüssigkeit treten, größer. Es verdampft also bei Erwärmung mehr Flüssigkeit.*

*Bei Abkühlung verflüssigt sich ein Teil des Dampfes – man sagt dazu „**kondensiert**“.*

Wenn nun der Dampfdruck bei steigender Temperatur den äußeren Luftdruck erreicht hat, kann er diesen überwinden – die Flüssigkeit verdampft dann nicht mehr bloß an der Oberfläche, sondern auch im Inneren. Dampfblasen steigen aus dem Inneren der Flüssigkeit empor – die Flüssigkeit **siedet**.

**Siedepunkt (Siedetemperatur)** einer Flüssigkeit ist die Temperatur, bei welcher der Dampfdruck der Flüssigkeit gleich dem äußeren Luftdruck ist.

Der Siedepunkt ist bei den verschiedenen Flüssigkeiten nicht gleich: je höher der Dampfdruck der Flüssigkeit, desto niedriger ihr Siedepunkt. Alkohol und Äther haben einen tieferen Siedepunkt als Wasser, Quecksilber einen höheren.

Bei normalem Luftdruck siedet Wasser bei 100°C, Alkohol bei 78,3°, Äther bei 34,6°, Quecksilber bei 357°C, Sauerstoff bei –183°C, ... und den niedrigsten Siedepunkt hat Helium mit –268,8°C.

## Abhängigkeit des Siedepunktes vom äußeren Druck

Größerer Druck erhöht den Siedepunkt, kleinerer Druck erniedrigt ihn.

*Beispiel:*

*Wenn der äußere Luftdruck über dem Erdäpfelwasser erhöht wird – zum Beispiel im Druckkochtopf – dann muß auch das Wasser kräftigeren Dampf bilden, also Dampf größeren Druckes. Wie wir gerade gehört haben, ist der Druck des Dampfes von der Wassertemperatur abhängig. Höhere Temperatur ist für größeren Dampfdruck nötig. Also wird das Wasser bei Erhitzen heißer, heißer, ... und erst bei über 100°C beginnen die endlich gekräftigten Dampfblasen im Inneren, sich zur Oberfläche hinaufarbeiten zu können. Resultat: Der Siedepunkt ist höher.*

*Umgekehrt nimmt der Siedepunkt von Wasser, auch jeder anderen Flüssigkeit mit zunehmender Höhe ab: Auf den Bergen, wo der äußere Luftdruck geringer ist, beginnen die Erdäpfel früher zu sieden (auf der Zugspitze, in rund 3000m Höhe, bei 86°C. Bis sie gar sind, braucht es dann wohl länger als ½ Stunde.*

## Abhängigkeit des Siedepunktes von der Beimengung anderer Stoffe

Lösungen (z.B. Salzwasser) haben einen höheren Siedepunkt als das reine Lösungsmittel (z.B. Wasser).

### Siedeverzug

Es kann vorkommen, daß völlig reines Wasser bei vorsichtigem Erhitzen über den Siedepunkt erwärmt wird – ohne daß es siedet. Löst dann aber irgendein Umstand das Sieden aus, z.B. das Hineinfallen eines Körnchens, explodiert das Wasser, das ja in der Gesamtheit über 100°C bereits gasförmig sein sollte (Kesselexplosionen).

Nun wieder weg von den Ausnahmen wie dem Siedeverzug:

Wenn eine Flüssigkeit den Siedepunkt erreicht hat, dann bewirkt weitere zugeführte Wärme keine Steigerung der Temperatur. Die Temperatur bleibt beim Sieden konstant. Erst wenn die ganze Flüssigkeit verdampft ist, dann steigt bei weiterer Zufuhr von Wärme die Temperatur des nun allein vorhandenen Dampfes. Der Dampf hat einen größeren Energiegehalt als die Flüssigkeit.

Eine Flüssigkeit verbraucht beim Sieden, wenn sie in Dampf verwandelt wird, Wärme, die sogenannte **Verdampfungswärme**.

Wasser hat übrigens wieder die größte Verdampfungswärme von allen Stoffen (2,26MJ/kg).

Auch beim Verdunsten braucht eine Flüssigkeit Wärme, die **Verdunstungswärme**. Die Flüssigkeit kühlt sich durch das Verdunsten ab.

*Erklärung:*

*Wenn eine Flüssigkeit verdunstet, treten aus ihr die Moleküle mit der größten kinetischen Energie heraus (die anderen, die zu langsam sind, schaffen es ja nicht). Bleiben aber nur noch die Moleküle in der Flüssigkeit, die nicht so schnell sind, dann hat man es mit einer Flüssigkeit niedrigerer Temperatur zu tun. Anwendungen: Abkühlende Wirkung von nassen Umschlägen, Lokalanästhesie mit dem leicht verdunstenden Äthylchlorid.*

Wird Dampf abgekühlt, erfolgt Verflüssigung oder Kondensation. Hierbei wird, weil der energieärmere Zustand daraus geworden ist, Wärme frei – die sogenannte **Kondensationswärme**. Aus dem Energiesatz folgt:

## Kondensationswärme = Verdampfungswärme



Der Physiklehrer testet die Temperatur des austretenden Dampfes



Literatur:

Bredthauer, Wilhelm et al.: Impulse Physik 1. Verlag Ernst Klett: Stuttgart 1993.  
 Epstein, Lewis Carroll: Epsteins Physikstunde. Verlag Birkhäuser: Basel Boston Berlin 1988.  
 Hoffmann, Herbert: Physik I. Mechanik, Wärmelehre, Akustik, mechanische Schwingungen und Wellen. Verlag Mentor: München 1985, 10. Auflage.  
 Höfling, Oskar: Physik. Lehrbuch für Unterricht und Selbststudium. Verlag Ferdinand Dümmler: Bonn 1990 (15.Auflage).  
 Jaros, Albert/Nussbaumer, Alfred/Nussbaumer, Peter: Basiswissen 2. Physik - compact. Verlag Höller-Pichler-Tempsky: Wien 1992.  
 Schreiner, Josef: Lehrbuch der Physik, 1.Teil. Verlag Höller-Pichler-Tempsky: Wien 1971. 4.Auflage.  
 Sckell, O.: Physik-Repetitorium. Verlag Dr. O. Sckell: Marburg a.L. o.J. 31.Auflage.  
 Tipler, Paul A.: Physik. Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg Berlin Oxford 1994.