

Prof. Dr. Klaus Eckhardt

## **Wärmepumpe**

veröffentlicht im Internet unter [aufgabomat.de](http://aufgabomat.de)

## **Inhalt**

<b>1</b>	<b>Phasenübergänge .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Kraft-Wärme-Maschinen .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Die Wärmepumpe .....</b>	<b>3</b>

## 1 Phasenübergänge

Eine Substanz kann fest, flüssig oder gasförmig vorliegen. Dies sind die drei so genannten **Aggregatzustände**. Wechselt eine Substanz ihren Aggregatzustand, so spricht man von einem **Phasenübergang** (Abbildung 1).

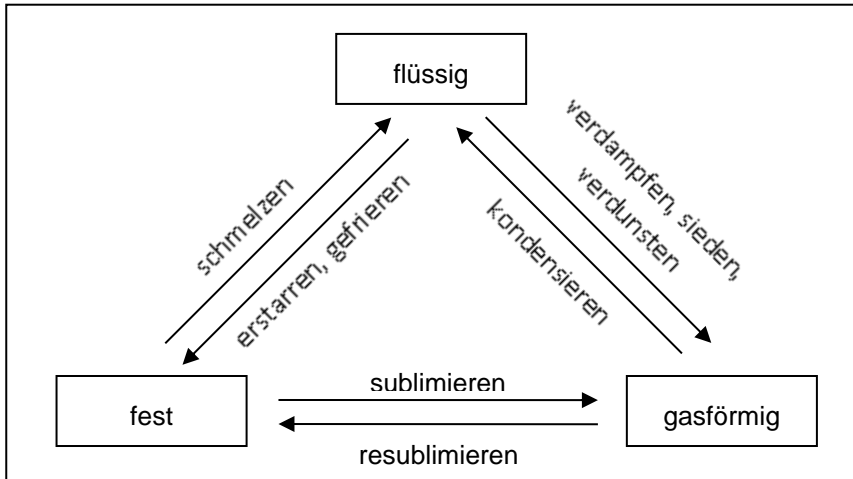


Abbildung 1: Phasenübergänge zwischen den Aggregatzuständen fest, flüssig und gasförmig.

Als Beispiel wird nachfolgend das Wasser betrachtet. Das Wassermolekül besteht aus einem Sauerstoff- und zwei Wasserstoffatomen (Abbildung 2). Der Kern des Sauerstoffatoms enthält acht positiv geladene Protonen. Er zieht daher die negativ geladenen Elektronen der beteiligten Atome stärker an als die Kerne der beiden Wasserstoffatome, die jeweils aus nur einem Proton bestehen. Im Bereich des Sauerstoffatoms entsteht so ein negativer Ladungsüberschuss, während sich auf der Seite der Wasserstoffatome eine vom Betrag her gleich große positive Gegenladung ausbildet. Man spricht davon, dass das Wassermolekül elektrisch **polarisiert** ist.

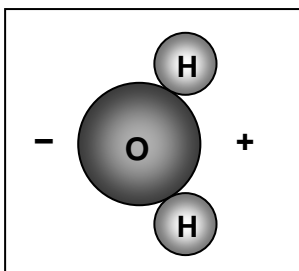


Abbildung 2: Struktur und Polarisation des Wassermoleküls.

Aufgrund der Polarisation kommt es zwischen zwei Wassermolekülen zu Wechselwirkungen. Positiv und negativ geladene Seiten der Moleküle ziehen sich gegenseitig an. Man spricht davon, dass sich **Wasserstoffbrückenbindungen** ausbilden. Wie stark diese Bindung wirkt, hängt von der thermischen Bewegung der Moleküle ab. Ist diese gering, so ordnen sich Wassermoleküle zu einem regelmäßigen, fest gefügten Gitter an. Das Wasser liegt in diesem Fall als Eis vor.

Führt man dem Eis Wärmeenergie zu, so nimmt die kinetische Energie der Moleküle zu, d. h. sie schwingen immer stärker um ihre Position. Schließlich beginnt der Gitterverband der Moleküle aufzubrechen. Das Eis schmilzt (Abbildung 3). Während dieses Vorgangs bleibt die Temperatur konstant, da die zugeführte Wärmeenergie vollständig in die Auflösung der intermolekularen Bindungen eingeht.

Im flüssigen Zustand können sich die Moleküle gegeneinander verschieben. Die Wasserstoffbrückenbindungen wirken aber noch lange genug, um für einen Zusammenhalt der Moleküle zu sorgen, sodass sie sich nicht völlig unabhängig voneinander bewegen können. Dies geschieht erst dann, wenn sich die thermische Bewegung der Moleküle durch weitere Energiezufuhr so stark erhöht, dass die Wasserstoffbrückenbindungen praktisch keine Wirkung mehr zeigen. Das Wasser siedet in diesem Fall und wird gasförmig.

Schmelz- und Verdampfungswärme berechnen sich wie folgt:

- **Schmelzwärme**  $W = q_s m$  (1)

mit  $q_s$ : spezifische Schmelzwärme (Einheit: 1 J/kg)

- **Verdampfungswärme**  $W = q_v m$  (2)

mit  $q_v$ : spezifische Verdampfungswärme (Einheit: 1 J/kg)

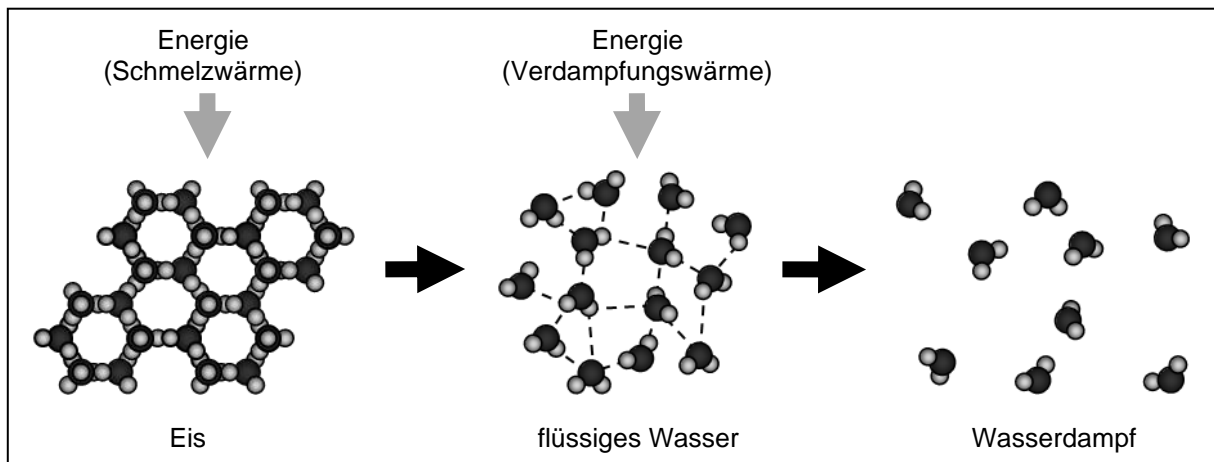


Abbildung 3: Phasenübergänge des Wassers bei Energiezufuhr.

Werden die Phasenübergänge in umgekehrter Richtung durchlaufen, so wird die Energie, die dem Wasser zuvor zugeführt wurde, wieder frei (Abbildung 4). Wasser kann daher als Energiespeicher und als Transportmedium für Energie dienen. Man spricht davon, dass eine Flüssigkeit die Energie, die zum Schmelzen notwendig war, als **latente Wärme** enthält. Erstarrt sie, so wird diese Energie wieder freigesetzt. Ebenso verhält es sich mit einer Substanz im gasförmigen Zustand. Kondensiert sie, so wird die Energie, die zu ihrem Verdampfen notwendig war, wieder frei. Dies wird in der Wärmepumpe technisch genutzt.

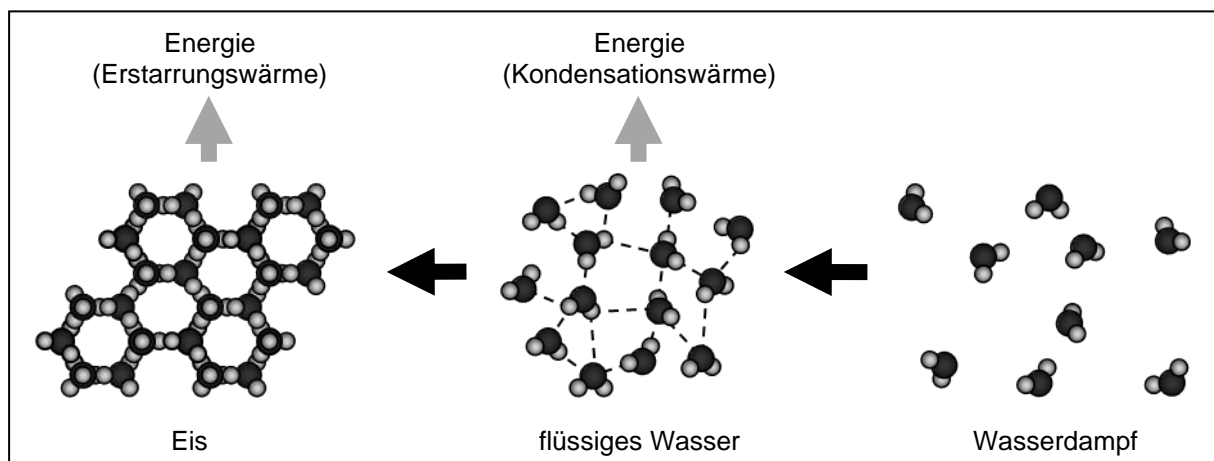


Abbildung 4: Freisetzung von Wärmeenergie bei Kondensation und Gefrieren von Wasser.

## 2 Kraft-Wärme-Maschinen

Wärme fließt von Bereichen höherer Temperatur zu Bereichen niedrigerer Temperatur. Dieser Prozess vollzieht sich von alleine. Soll jedoch umgekehrt einem Bereich niedrigerer Temperatur Wärmeenergie entzogen und einem Bereich höherer Temperatur zugeführt werden, so geht dies nur unter Aufwendung von Arbeit. Maschinen, die dies leisten, werden als **Kraft-Wärme-Maschinen** bezeichnet. Beispiele sind die Wärmepumpe und der Kühlschrank.

Das Funktionsprinzip einer Kraft-Wärme-Maschine ist in Abbildung 5 dargestellt. Zunächst wird ein Arbeitsmedium unter Aufwendung der Energie  $W_1$  von einer Temperatur  $T_1$  auf eine Temperatur  $T_2$  erwärmt. Anschließend kühlt sich das Arbeitsmedium wieder auf die Ausgangstemperatur  $T_1$  ab. Dabei wird die Wärmeenergie  $W_2$  frei, die beispielsweise zu Heizzwecken genutzt werden kann. Das Verhältnis aus nutzbarer Wärmeenergie und zugeführter Energie wird als die **Leistungszahl**  $\varepsilon$  der Kraft-Wärme-Maschine bezeichnet:

$$\varepsilon = \frac{\text{nutzbare Wärmeenergie } W_2}{\text{zugeführte Energie } W_1} \quad (3)$$

$\varepsilon$  hat einen Wert größer als 1. Das bedeutet aber nicht, dass die Maschine mehr Energie liefert als ihr zugeführt wird.  $W_2$  ist größer als  $W_1$ , weil die Kraft-Wärme-Maschine zusätzlich zu der Energie  $W_1$  auch Wärmeenergie aus ihrer Umgebung aufnimmt. Der Energieerhaltungssatz wird nicht verletzt.

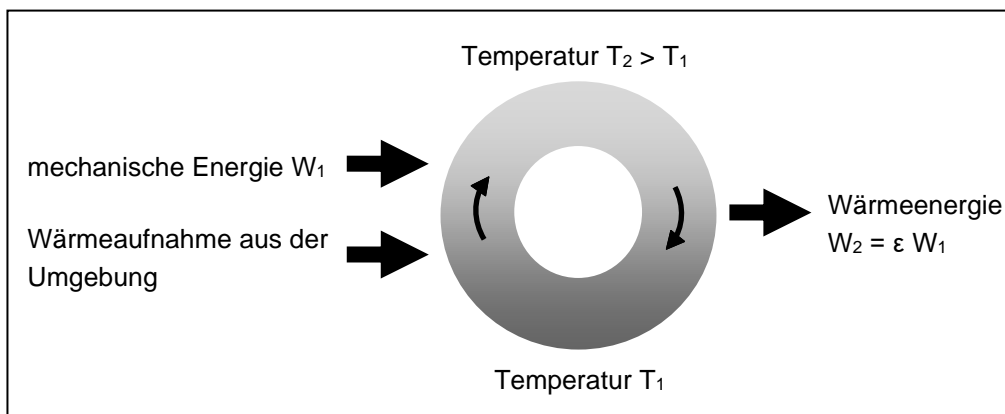


Abbildung 5: Funktionsprinzip einer Kraft-Wärme-Maschine.

## 3 Die Wärmepumpe

Die Erwärmung des Arbeitsmediums erfolgt im Kompressor der Wärmepumpe (Abbildung 6). In ihm wird elektrische Energie in mechanische Energie umgewandelt, um das gasförmige Arbeitsmedium zu komprimieren. Dies geschieht näherungsweise adiabatisch, d. h. ohne Wärmeaustausch mit der Umgebung, sodass Druck und Temperatur des Arbeitsmediums steigen.

Anschließend strömt das Arbeitsmedium in den Kondensator. Hier gibt es Wärmeenergie ab und kondensiert dabei. Bis dieser Phasenübergang vollständig vollzogen ist, bleibt die Temperatur konstant. Es handelt sich um eine isotherme Zustandsänderung.

Das verflüssigte Arbeitsmedium strömt nun durch ein Drosselventil. Durch die weitgehend adiabatische Ausdehnung, die es dort erfährt, sinken Druck und Temperatur. Im Verdampfer nimmt das Arbeitsme-

dium Wärmeenergie auf und wird wieder gasförmig. Auch hier bleibt die Temperatur während des Phasenübergangs konstant. Anschließend wird das Arbeitsmedium im Kompressor erneut verdichtet und der Zyklus wiederholt sich.

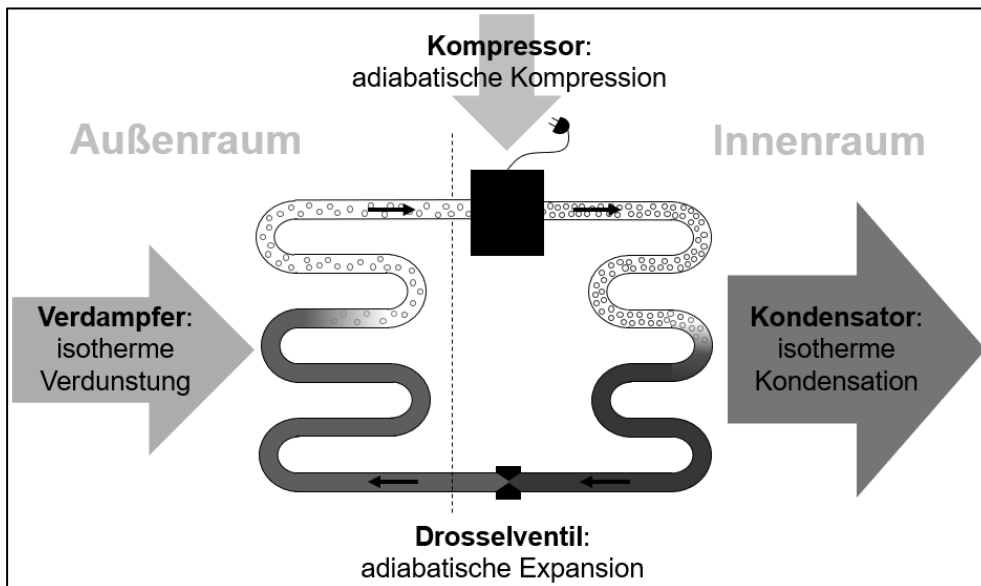


Abbildung 6: Funktionsprinzip der Wärmepumpe. Die Pfeile zeigen Energiezufuhr und -abfluss an.

Das Funktionsprinzip der Wärmepumpe lässt sich somit folgendermaßen zusammenfassen: Durch das Arbeitsmedium wird am Verdampfer Wärmeenergie bei der Temperatur  $T_1$  aufgenommen, in Form latenter Wärme zum Kondensator transportiert und dort bei der Temperatur  $T_2 > T_1$  wieder abgegeben.

Die Leistungszahl ist zeitlich variabel. Je größer die Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenraum ist, desto mehr Energie muss der Wärmepumpe am Kompressor zugeführt werden, um Wärmeenergie vom Außen- in den Innenraum zu transportieren. Um die Leistungsfähigkeit einer Wärmepumpe zu charakterisieren, wird daher normalerweise statt der Leistungszahl die **Arbeitszahl** angegeben. Sie stellt den Mittelwert der Leistungszahl über eine Zeitspanne  $t_2 - t_1$  dar. Entspricht der Bezugszeitraum  $t_2 - t_1$  einem Jahr, so spricht man von der **Jahresarbeitszahl** (Abkürzung: JAZ). Je höher die Arbeitszahl ist, desto effizienter ist die Wärmepumpe. Da die Effizienz beim Ausbau der erneuerbaren Energien ein wesentliches Kriterium sein muss, wird von der Jahresarbeitszahl die finanzielle Förderung von Wärmepumpen abhängig gemacht.

*veröffentlicht im Internet unter [aufgabomat.de](http://aufgabomat.de)*