

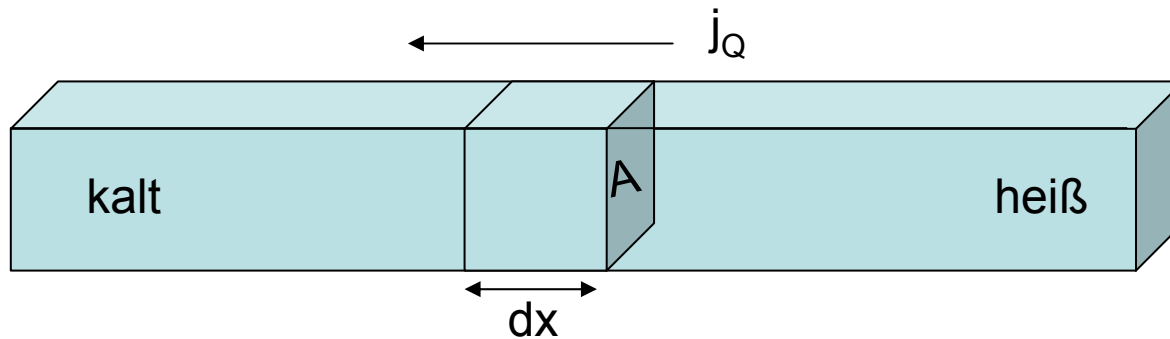
### 4.2.3. Wärmeleitung

Temperaturen zweier Körper im Kontakt gleichen sich an  
⇒ Übertragung von Wärme (Energie)

Definition:

Wärmestrom = Wärmemenge die pro Zeit durch eine Fläche transportiert wird  $I_Q := \frac{dQ}{dt}$

Wärmestromdichte = Wärmestrom pro (Querschnitts)-Fläche  $j_Q := \frac{I_Q}{A}$



Wärmeleitungsgleichung:  $j_Q = -\lambda \frac{dT}{dx}$

## 4.2.3. Wärmeleitung

$\lambda$  ist eine Materialeigenschaft, die **Wärmeleitfähigkeit**

Einheit von  $\lambda$ :  $\frac{\text{J}}{\text{s K m}} = \frac{\text{W}}{\text{K m}}$

Beispiele für Wärmeleitfähigkeiten:

Stoff	$\lambda$ [W/Km]
Aluminium	238
Eisen	15
Kupfer	394
Holz	~0.2
Glas	1.0
Glaswolle	0.042
Wasser	0.6
Luft	0.026

## 4.2.3. Wärmeleitung

### Rechenbeispiel:

Kellerdecke habe konstant  $T=10^{\circ}\text{C}$ , im darüberliegenden Wohnzimmer heizt die Heizung auf  $T=25^{\circ}\text{C}$ .

Welche Wärmemenge wird in den Keller transportiert (pro  $\text{m}^2$  und sec),

1. wenn der Boden mit 1cm Marmor belegt ist?
2. wenn der Boden mit 2mm Kork belegt ist?

### Lösung:

$$Q = I_Q t = j_Q A t = \left(-\lambda \frac{dT}{dx}\right) A t$$

$$P = \frac{Q}{A t} = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$\text{Marmor : } \lambda = 2.8 \text{ W / Km}, \Delta T = 15 \text{ K}, \Delta x = 1 \text{ cm} : P = 4.2 \text{ kW / m}^2$$

$$\text{Kork : } \lambda = 0.04 \text{ W / Km}, \Delta T = 15 \text{ K}, \Delta x = 0.2 \text{ cm} : P = 0.3 \text{ kW / m}^2$$

Große Wärmeleitfähigkeit von Metallen ist Grund dafür, dass sich Metalle bei Raumtemperatur oft “kalt” anfühlen.

### 4.2.3. Wärmeleitung

Weitere Mechanismen für Wärmetransport

- Konvektion (Stofftransport)
- Wärmestrahlung (alle Körper, Leistung  $\sim T^4$ )

## 4.2.4. Diffusion und Osmose

Diffusion:

Wanderung von Molekülen aus Gebiet mit hoher Konzentration  
in Gebiet mit geringer Konzentration

Ursache: thermische Bewegung der Moleküle

Für die Teilchenstromdichte  $j$  gilt das Diffusionsgesetz

$$j = -D \frac{dc}{dx}$$

$D$ : Diffusionskoeffizient (Materialeigenschaft, temperaturabhängig)

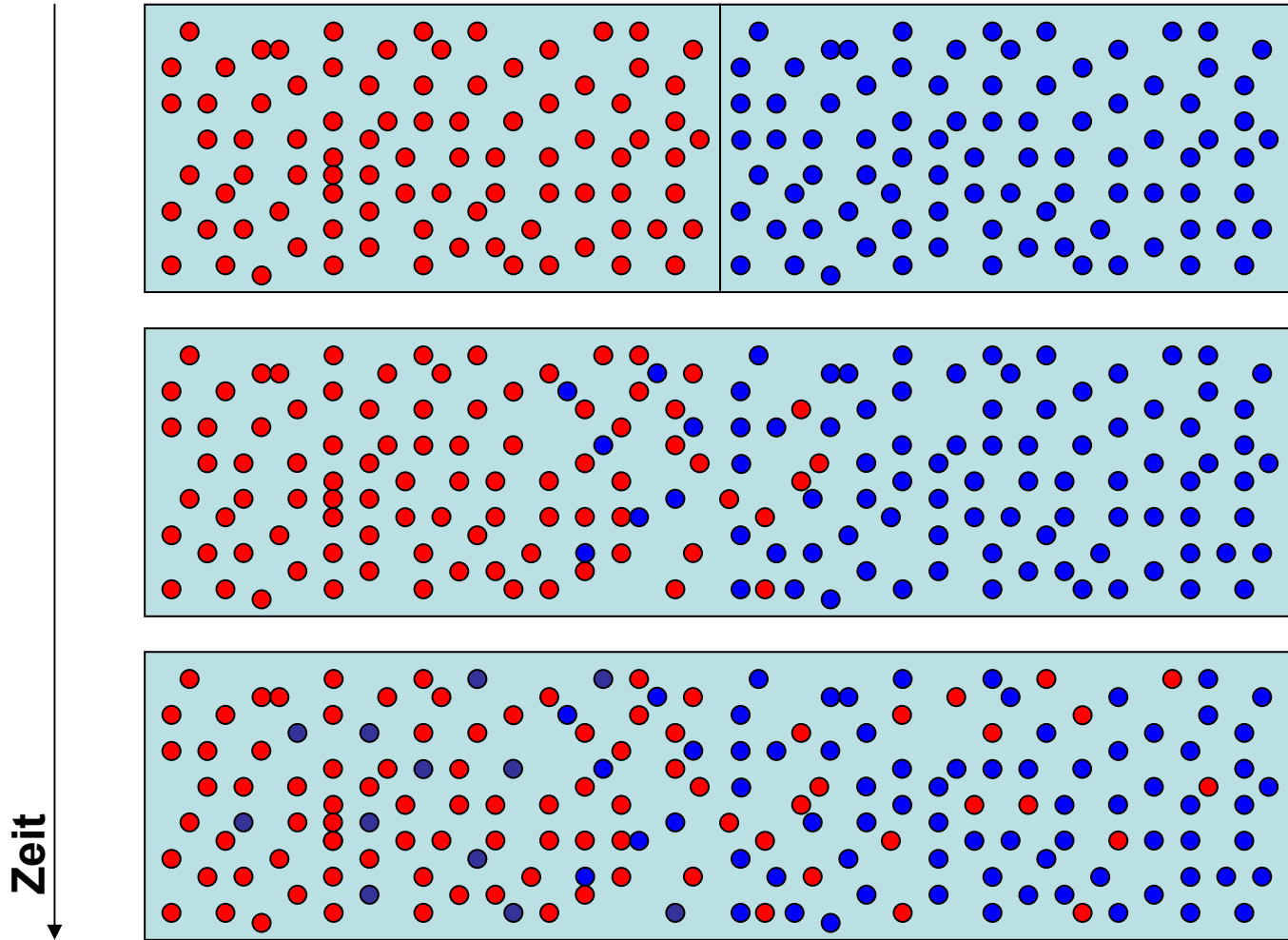
$dc/dx$ : Konzentrationsgradient (Änderung der Konzentration pro Strecke)

(Formal ähnlich zur Wärmeleitung, hier wird aber Stoff transportiert, keine Wärme)

Oft verändert der Diffusionsstrom die Konzentration selbst

⇒ nach langer Zeit völlige Durchmischung

## 4.2.4. Diffusion und Osmose

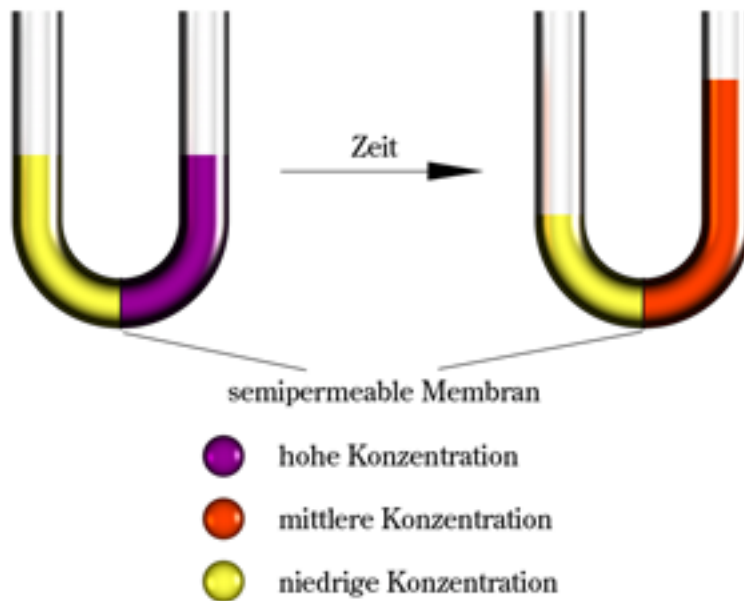


## 4.2.4. Diffusion und Osmose

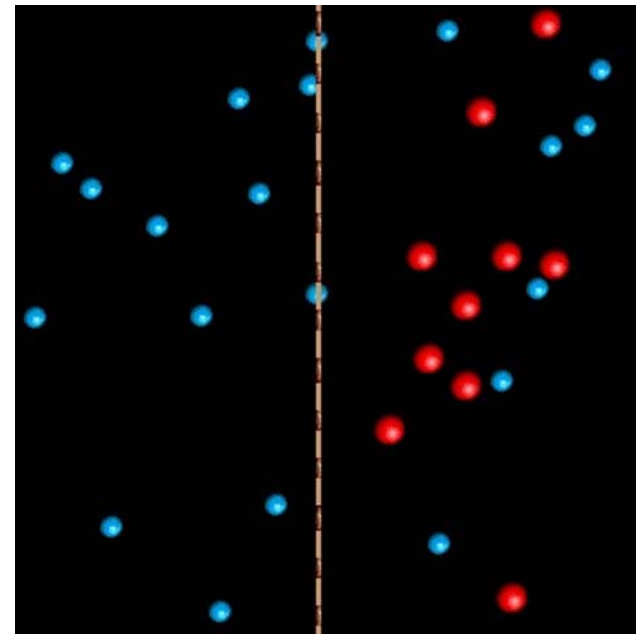
Osmose:

Spezialfall der Diffusion bei halbdurchlässigen (semi-permeablen) Membranen

Gelöster Stoff in Lösungsmittel:



mikroskopisch:



osmotischer Druck:  $p_{\text{osm}} = \frac{n}{V}RT$

van't Hoff Gleichung

## 4.3. Hauptsätze der Wärmelehre

### 4.3.1 Zustandsdiagramme

Thermodynamischer “Zustand” eines Stoffes ist charakterisiert durch 3 Größen:

Druck  $p$    Volumen  $V$    Temperatur  $T$

Gibt man 2 Größen vor, ist die dritte bestimmt. Z.B. im idealen Gasgesetz:

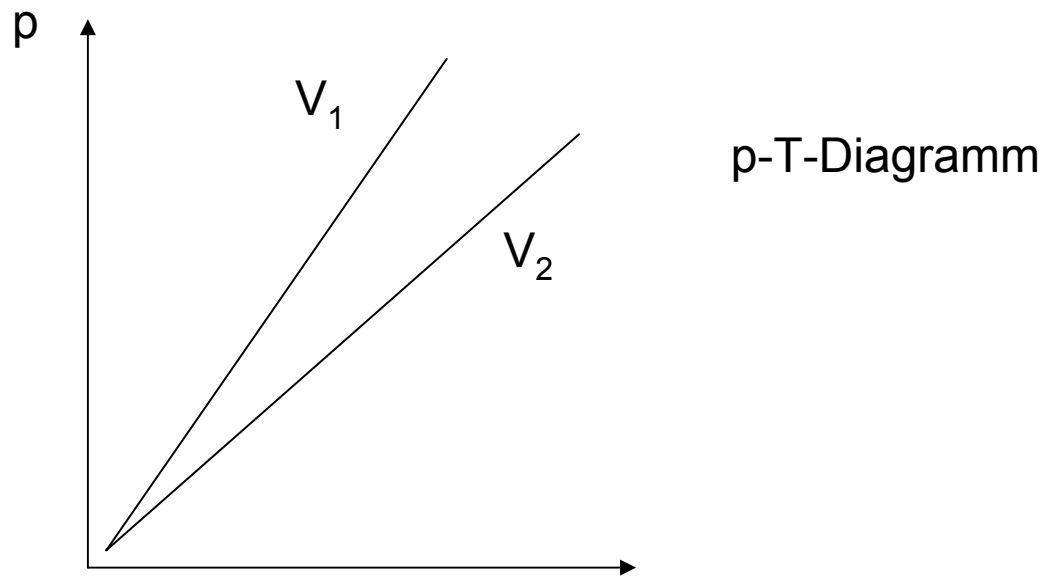
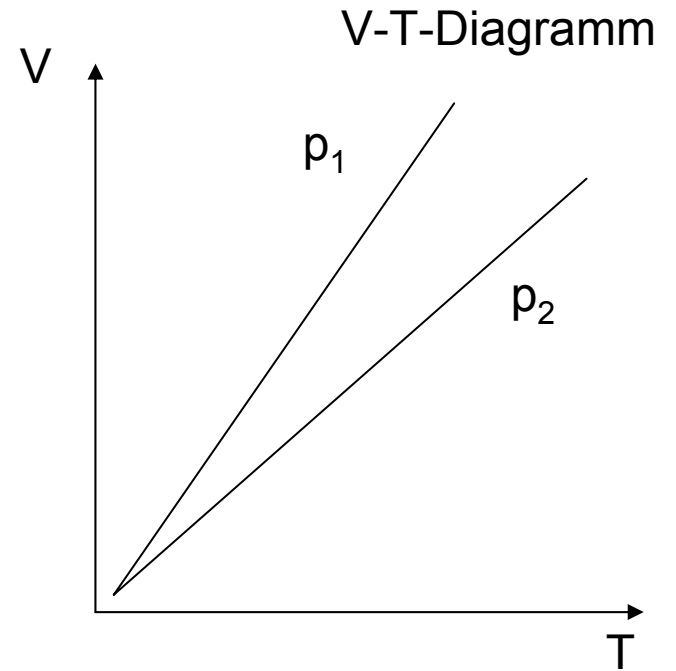
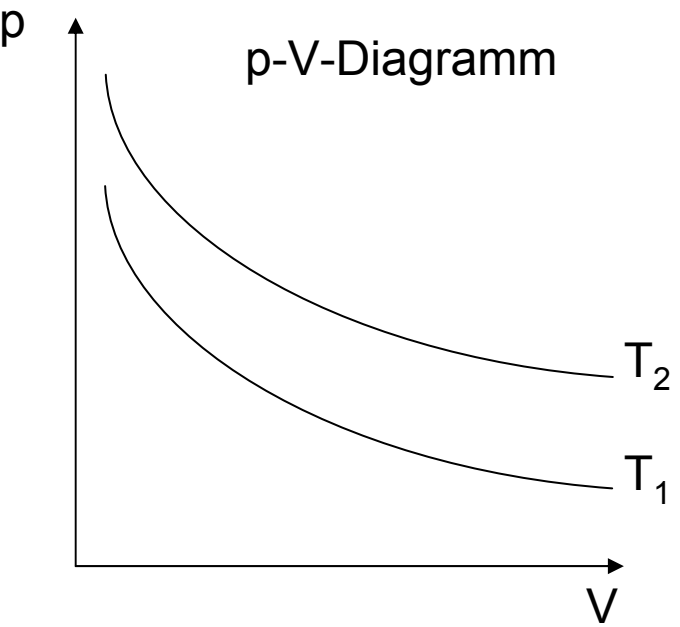
$$p V = n R T$$

Wenn man das “Eigenvolumen”  $b$  der Moleküle und (pauschal) die Molekülkräfte  $a$  berücksichtigt, erhält man die van-der-Waals-Gleichung:

$$(p + a/V_n) (V - b) = R T \qquad \text{(hier ist } V_n = V/n \text{)}$$



## 4.3.1 Zustandsdiagramme



## 4.3.2 Innere Energie, erster Hauptsatz d. Wärmelehre

Erwärmung bei konstanten Volumen:

zugeführte Wärme wird komplett in (ungeordneter) Bewegungsenergie der Moleküle gespeichert. Man diese Bewegungsenergie auch die

innere Energie  $\Delta U$

Erwärmung bei konstantem Druck:

zugeführte Wärme wird nur teilweise in innerer Energie gespeichert, der andere Teil verrichtet mechanische Arbeit (Volumenarbeit)  $W = p \Delta V$

Ganz allgemein gilt:  $Q = \Delta U + W$  (erster Hauptsatz der Wärmelehre)

Besagt, dass zugeführte Wärme in innere Energie und mechanische Arbeit umgewandelt wird, dass also die Gesamtenergie erhalten ist.

## 4.3.3 Zweiter Hauptsatz der Wärmelehre

Der erste Hauptsatz  $Q = \Delta U + W$  lässt offen, wieviel der Wärme in innere Energie geht, wieviel in mechanische Arbeit.

Der zweite Hauptsatz besagt:

Die einem System zugeführte Wärme kann >prinzipiell< nicht zu 100% in mechanische Arbeit umgewandelt werden

Es ist z.B. nicht möglich ein Schiff zu betreiben indem man dem Ozean Wärme entzieht und damit den Schiffsmotor betreibt

## 4.4. Aggregatzustände, Phasenübergänge,

### 4.4.1 Umwandlungswärmen

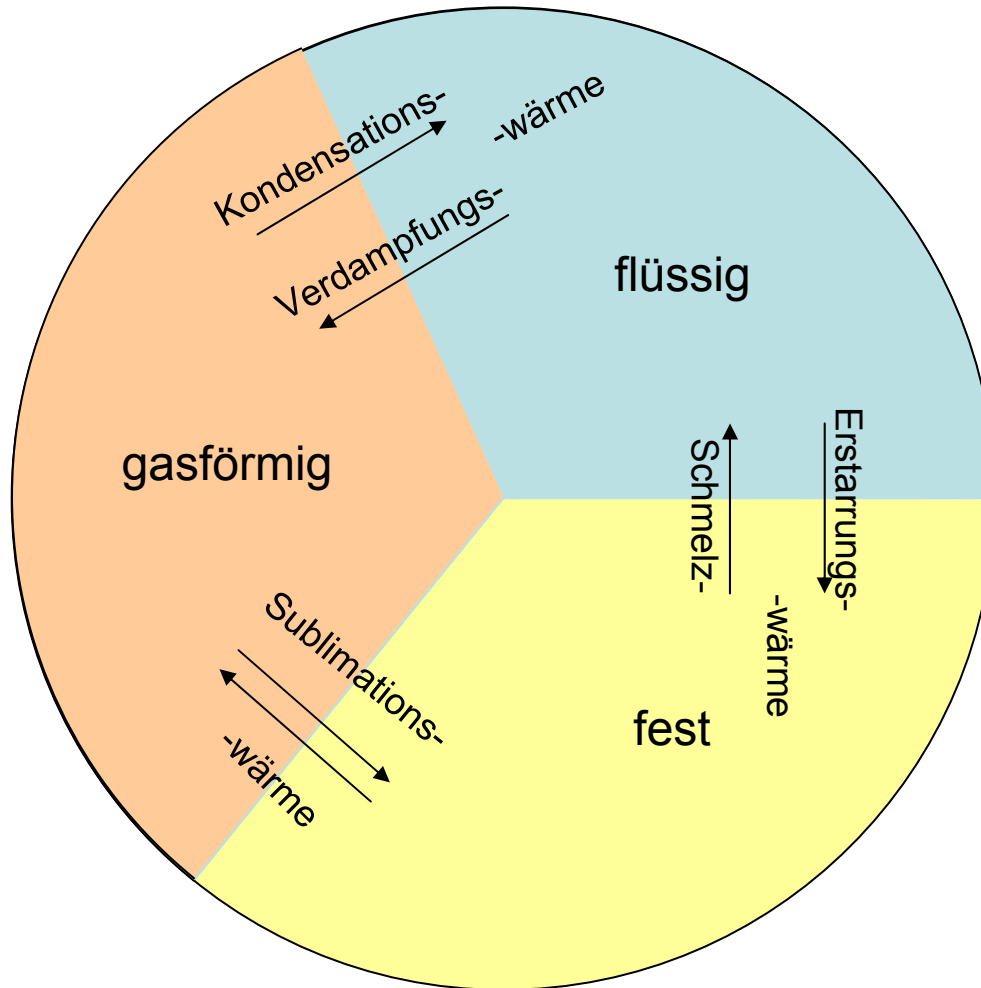
#### Übergänge

fest → flüssig  
flüssig → gasförmig  
fest → gasförmig

benötigen Energie zur  
Überwindung der  
Bindungsenergie

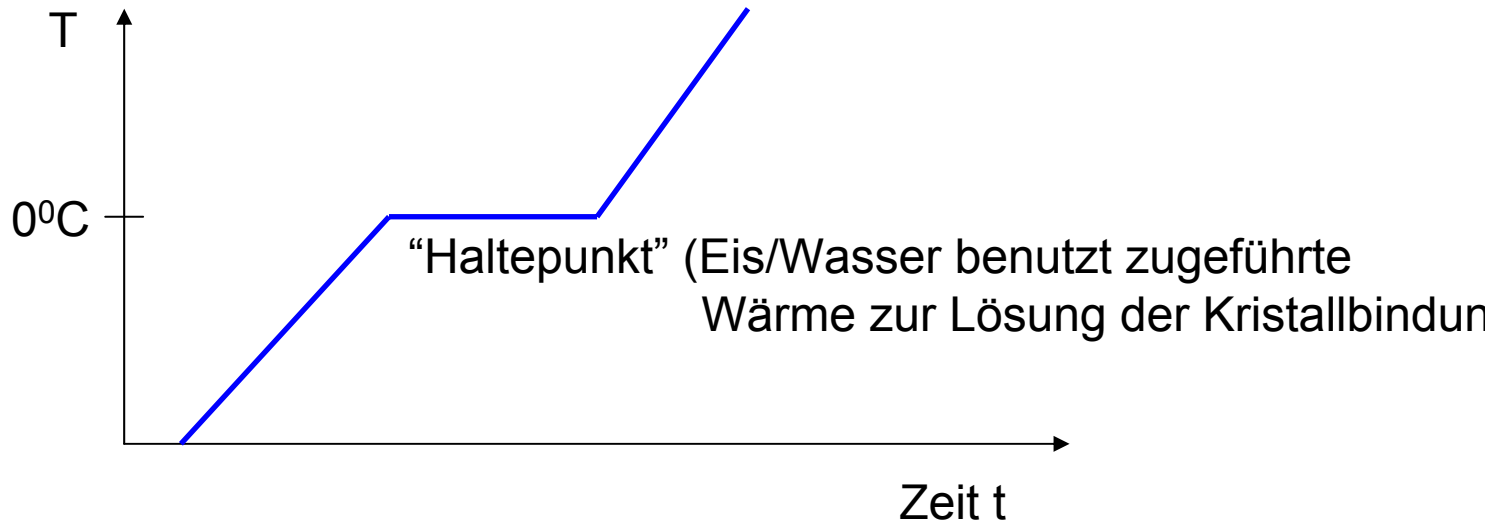
Muss beim Erwärmen  
als zusätzliche  
Wärmemenge  
zugeführt werden

Wird beim Abkühlen  
zusätzlich frei



## 4.4.2 Schmelzwärme

Versuch: führe einem Eiswürfel eine konstante Wärmemenge pro Zeit zu.  
messe Temperatur. Ergebnis (qualitativ)

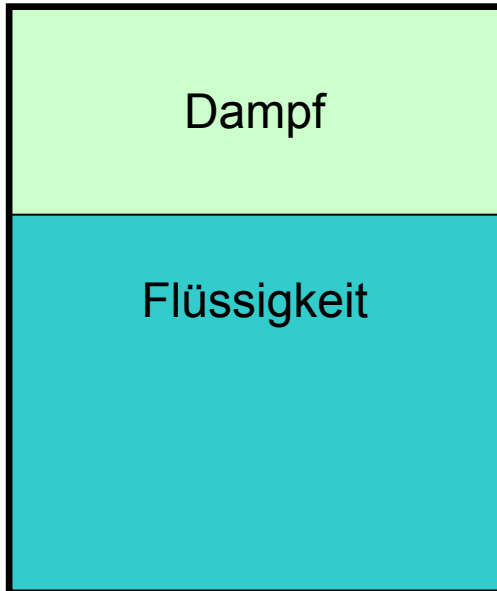


Ohne Umwandlungswärme:  $\Delta Q = m c \Delta T$

Mit Schmelzwärme :  $\Delta Q = m (c \Delta T + c_S)$  (wenn  $c$  unter und oberhalb  
des Schmelzpunktes gleich)

$c_S$  : spezifische Schmelzwärme (z.B. Wasser 333kJ/kg)

## 4.4.3 Dampfdruck



Flüssigkeit verdampft auch unterhalb des Siedepunktes

die schnellsten Moleküle verlassen die Flüssigkeit und verdampfen ( $\Rightarrow$  Verdunstungskälte)

Über der Flüssigkeit baut sich ein Druck auf.  
Wenn der Druck genügend groß ist  
 $\Rightarrow$  Gleichgewicht zwischen Dampf und Flüssigkeit

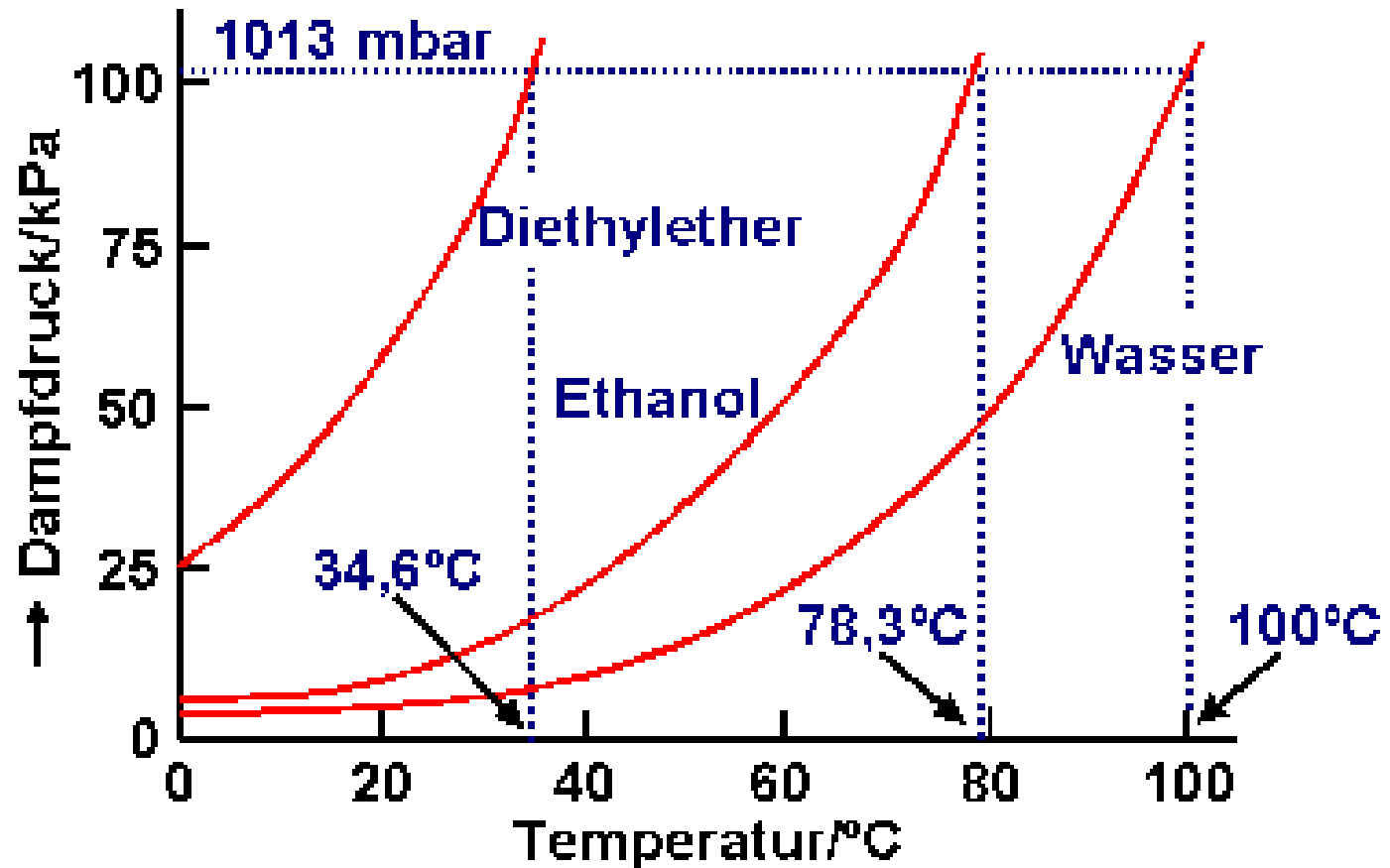
Gleichgewichtsdruck: **Dampfdruck**  
(steigt  $\sim$  exponentiell mit der Temperatur an)

Siedepunkt: Flüssigkeit siedet, wenn der Dampfdruck gleich dem äußeren Luftdruck ist.

( $\Rightarrow$  Wasser kocht in der Höhe bei niedrigeren Temperaturen)

### 4.4.3 Dampfdruck

Dampfdruckkurven



## 4.4.4 Phasenübergänge,

