


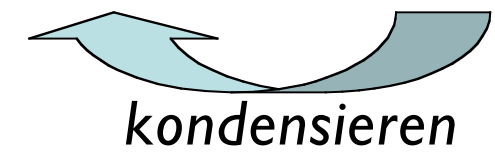


3.4 Änderung des Aggregatzustandes

Man unterscheidet **3 Aggregatzustände**:

| | Fest | Flüssig | Gasförmig | |
|-----------------|---|--------------|--|--|
| Temperatur: | niedrig | mittel | hoch | |
| Molekülbindung: | Gitter | lose Bindung | keine Bindung | |
| |  | |  | |
| |  | |  | |

Während des Schmelzens (Siedens) wird sehr viel Energie verbraucht, um die Bindung zwischen den Molekülen zu lockern (lösen)

... währenddessen bleibt die Temperatur konstant

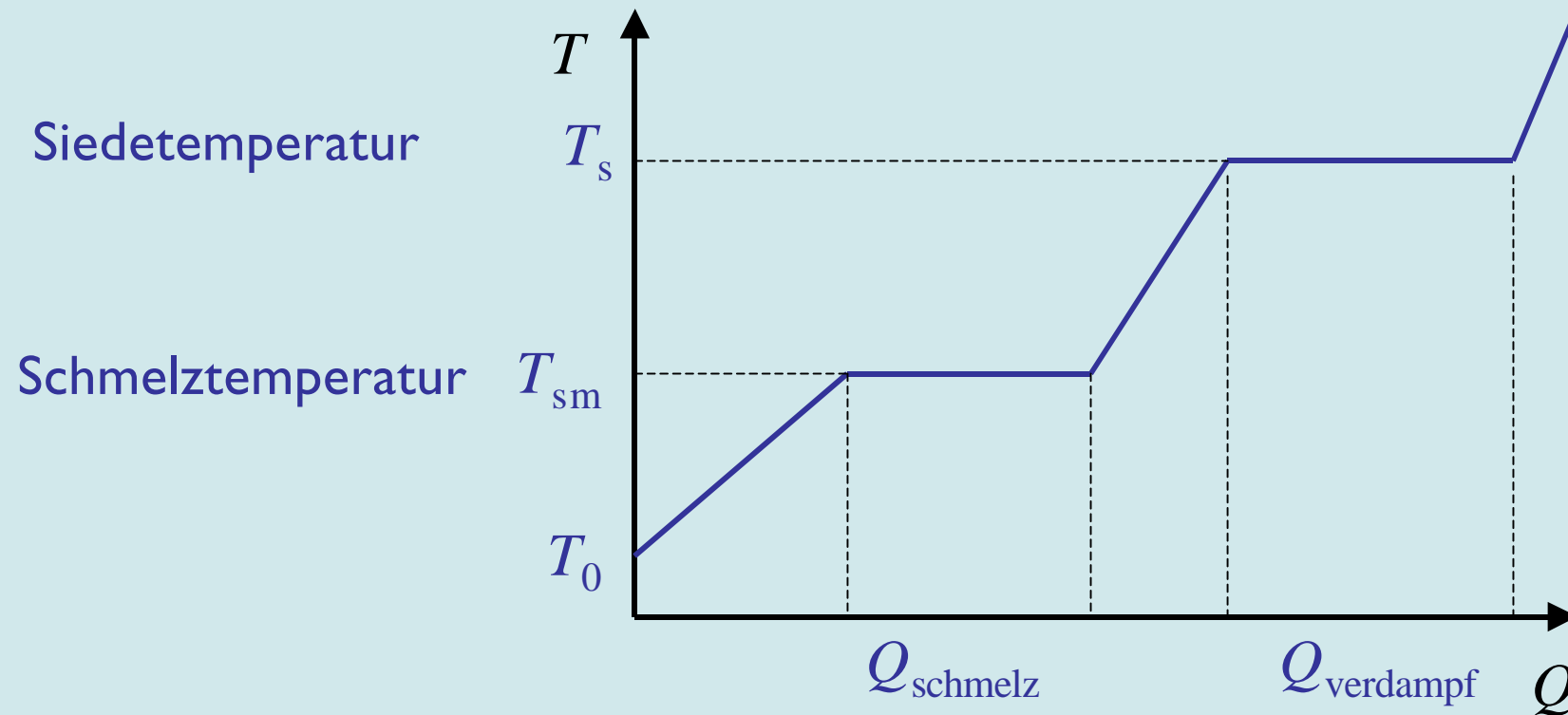
Sublimieren: langsamer Übergang fest → gasförmig

Verdunsten: langsamer Übergang flüssig → gasförmig

V: flüssige Luft

V: Sublimation

Wärmezufuhr vs T -Erhöhung



Beim Abkühlen werden die entsprechenden Wärmemengen wieder frei
d.h. Schmelzwärme = Erstarrungswärme, etc.

spezifische Schmelz-, Verdampfungswärme: $q_{s,v} = \frac{Q_{s,v}}{m}$

... ist in latenter Form in der Fl. (Gas) gespeichert („latente Wärme“)

Zahlenwerte...

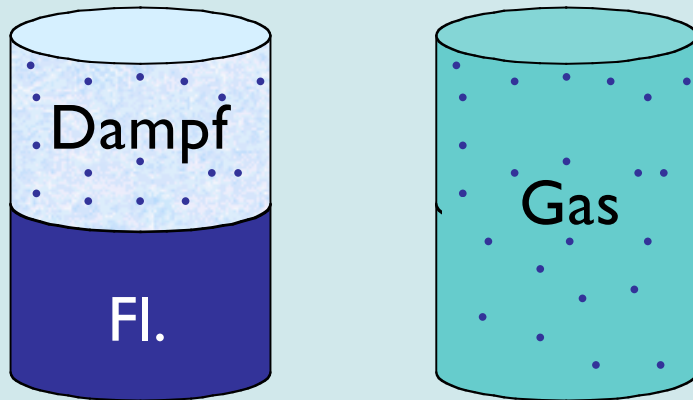
| | Schmelzpunkt °C | q_s [kJ/kg] | Siedepunkt °C | q_v [kJ/kg] |
|-----------|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| Wasser | 0 | 334 | 100 | 2256 |
| Aluminium | 660 | 397 | 2500 | |
| Grauguß | 1530 | 96 | | |
| Eisen | | | 2880 | |
| Ammoniak | | | -33.4 | 1368 |

Schmelzpunkte von Flüssigkeiten können durch gelöste Stoffe verändert werden:

Bsp: Salzwasser, Meerwasser $\rightarrow T_{sm} = -2.5 \text{ °C}$

Dampf vs Gas

Im Gleichgewicht ist der Raum über einer Flüssigkeit mit Dampf gesättigt. Er übt einen Druck aus, den **Dampf- oder Sättigungsdruck**.



Gas ist demnach „überhitzter“ oder „ungesättigter“ Dampf

Es können auch drei Phasen koexistieren: **Tripelpunkt**, allerdings nur bei einer wohl definierten Temperatur T_{Tr}
(später mehr)

Bestimmung des Dampfdrucks

Torricellische Röhre:

Dampfdruck des Quecksilbers kann vernachlässigt werden (0.002 hPa bei 20 °C)

Wasser:

$$18 \text{ mm} \rightarrow (18/760) \cdot 1010 \text{ hPa} = 23.4 \text{ hPa}$$



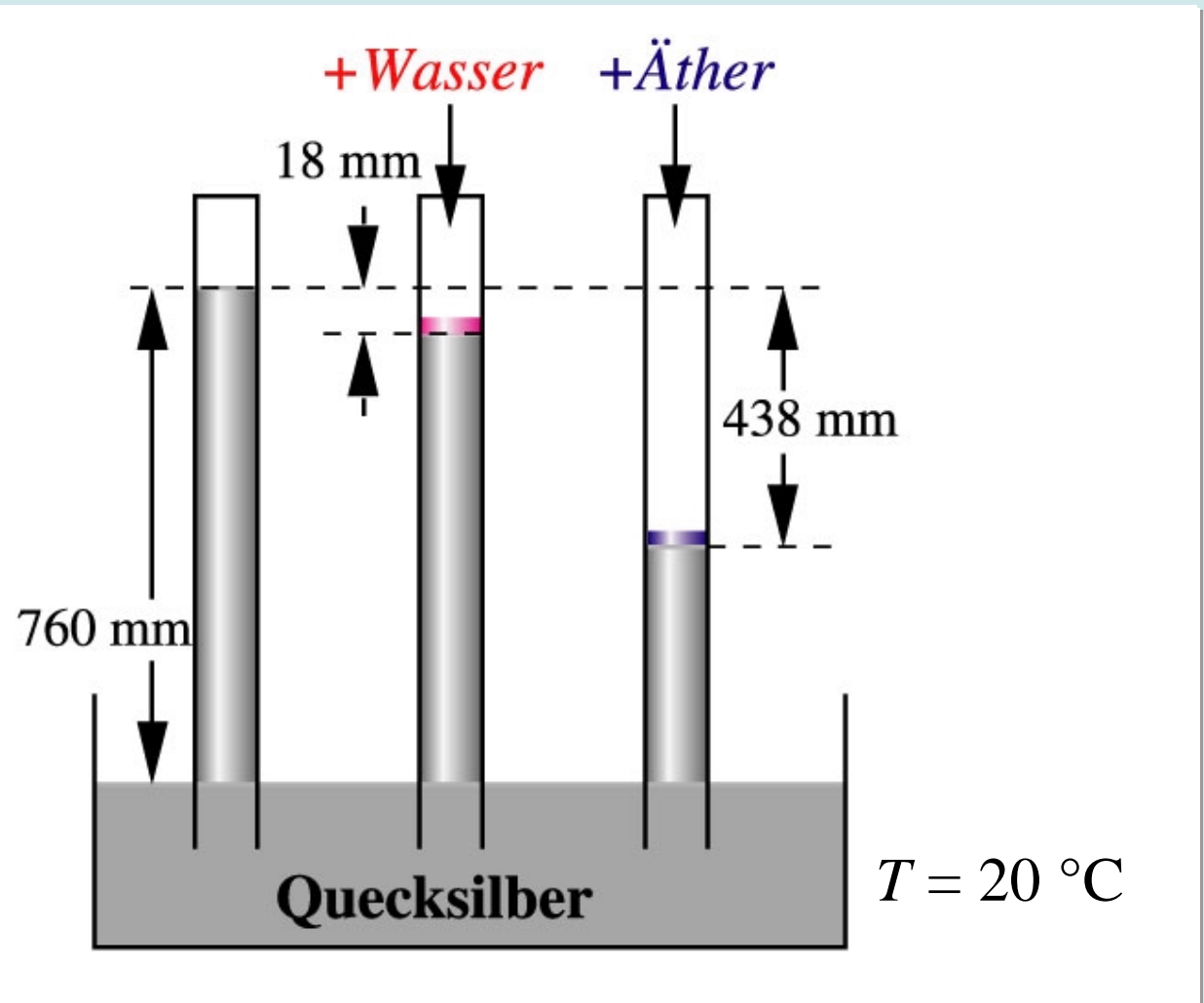
Äther:

$$438 \text{ mm} \rightarrow (438/760) \cdot 1010 \text{ hPa} = 576 \text{ hPa}$$

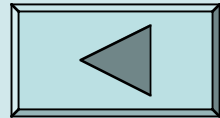
Dampfdrücke hängen nur von der Temperatur ab.

Gasgemische → Daltonsches Gesetz: Jedes Gas erfüllt den Raum so, als ob es allein dort wäre. Der Gesamtdruck eines Gasgemisches ergibt sich aus der Summe der **Partialdrücke**.

V: Dampfdruck von Fl.



Dampfdruckkurve Wasser



| Temperatur in °C | Partialdruck in hPa |
|---------------------|------------------------|
| -10 | 2,60 |
| - 5 | 4,01 |
| 0 | 6,11 |
| 2 | 7,1 |
| 4 | 8,1 |
| 6 | 9,3 |
| 8 | 10,7 |
| 10 | 12,3 |
| 12 | 14,0 |
| 14 | 16,0 |
| 16 | 18,1 |
| 18 | 20,7 |
| 20 | 23,4 |
| 22 | 26,4 |
| 24 | 29,9 |
| 26 | 33,6 |
| 28 | 37,7 |
| 30 | 42,4 |
| 32 | 47,6 |
| 34 | 53,2 |

Phasendiagramm Wasser

Am Siedepunkt ist der Dampfdruck gleich dem auf der Flüssigkeit lastenden Druck.

Wasser kann also auch schon bei Zimmertemperatur sieden !

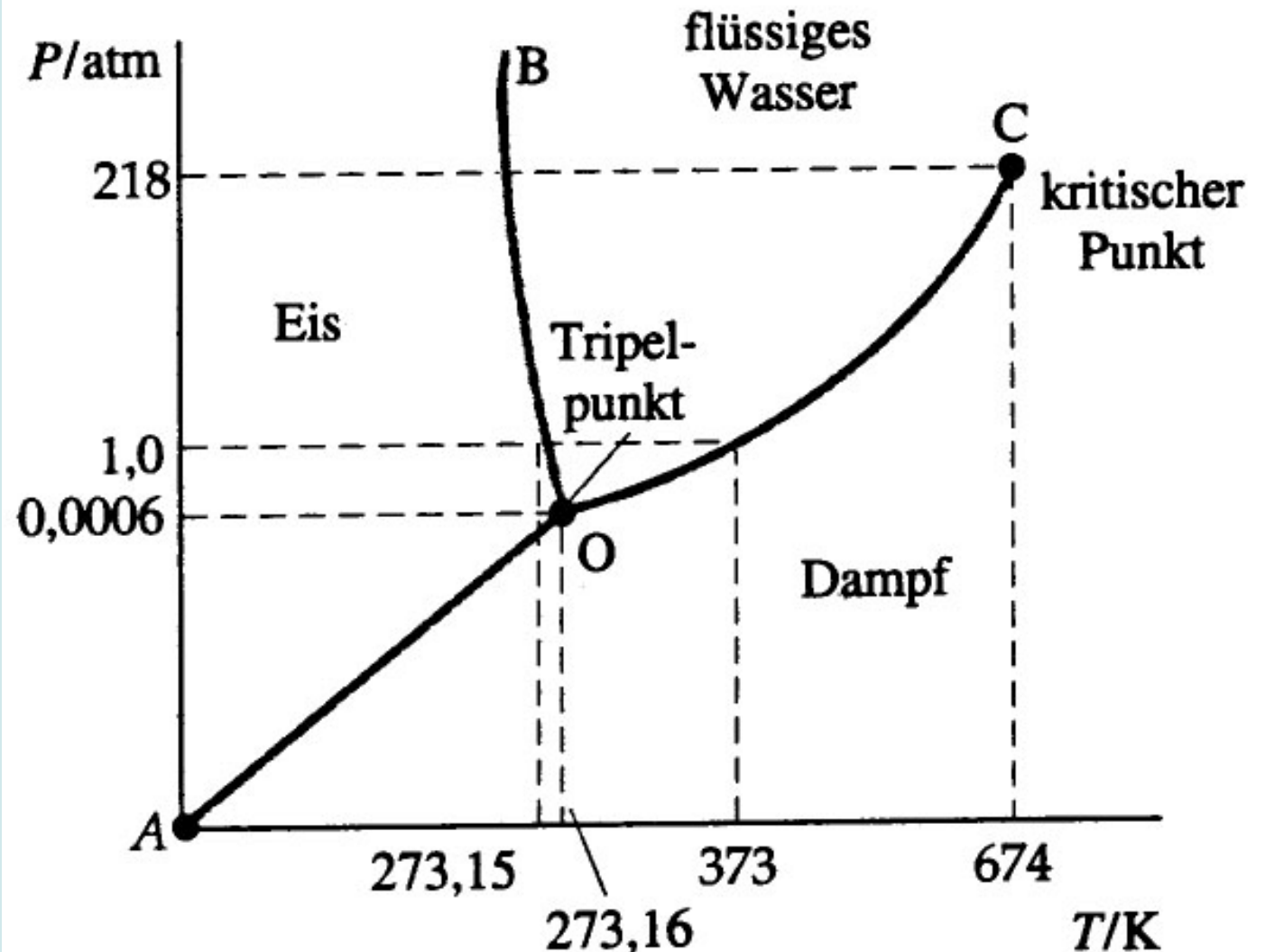
V: Sieden von Wasser

Auf dem Mt. Blanc siedet Wasser bei $80\text{ }^{\circ}\text{C}$!

Tripelpunkt des Wassers dient zur Festlegung der Temperaturskala Kelvin

$$T_{Tr}(\text{H}_2\text{O}) = 273,16\text{ K} \\ = + 0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$$

(Druck: $p_{Tr} = 612\text{ Pa}$)



Luftfeuchtigkeit

Bezeichnet den Wasserdampfgehalt der Luft;
große technische Bedeutung für Klimaanlage, Lebensmittelindustrie...

Man unterscheidet:

- **absolute Feuchte:** $f = \frac{m_D}{V} = \frac{\text{Masse Wasserdampf}}{\text{Luftvolumen}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$
- **Sättigungsmenge:** $f_{\max} = \frac{m_{D,\max}}{V} \quad ; \quad m_{D,\max} = m_D(T) = \text{max. Dampfmenge}$
- **relative Feuchte:** $\varphi = \frac{f}{f_{\max}}$

Wohlbefinden: $\varphi = 0.5 - 0.6 = 50-60 \%$

Temperaturabhängigkeit der Sättigungsmenge →
beim Abkühlen feuchter Luft steigt die relative Feuchte, da f_{\max} sinkt

Sättigungsmenge Wasserdampf

sinkt die Temperatur unter den **Taupunkt** τ , wird diejenige Menge Dampf als Flüssigkeit abgeschieden, welche die Sättigungsmenge überschreitet

Bsp:

- nächtliche Abkühlung bewirkt Taubildung auf Pflanzen
- Beschlagen von Brillen beim Eintritt in warme Räume

V: Taupunkt



| Temperatur in °C | Partialdruck in hPa | Sättigungsmenge in g/m ³ |
|---------------------|------------------------|--|
| -10 | 2,60 | 2,14 |
| - 5 | 4,01 | 3,24 |
| 0 | 6,11 | 4,84 |
| 2 | 7,1 | 5,6 |
| 4 | 8,1 | 6,4 |
| 6 | 9,3 | 7,3 |
| 8 | 10,7 | 8,3 |
| 10 | 12,3 | 9,4 |
| 12 | 14,0 | 10,7 |
| 14 | 16,0 | 12,1 |
| 16 | 18,1 | 13,6 |
| 18 | 20,7 | 15,4 |
| 20 | 23,4 | 17,3 |
| 22 | 26,4 | 19,4 |
| 24 | 29,9 | 21,8 |
| 26 | 33,6 | 24,4 |
| 28 | 37,7 | 27,2 |
| 30 | 42,4 | 30,3 |
| 32 | 47,6 | 33,8 |
| 34 | 53,2 | 37,5 |

Ein Beispiel...

Ein Zimmer von 20 m² Wohnfläche (Höhe: 2.5 m) wird bei Einschluss der Luft von 20°C auf 8°C abgekühlt. Die anfängliche relative Feuchte sei 65%.

Schätzen Sie die abgeschiedene Menge Wasser ab!

Aus $T = 20^\circ\text{C}$ folgt $f_{max} = 17,3 \text{ g/m}^3$



absolute Feuchte = relative Feuchte · Sättigungsmenge:

$$f = \varphi \cdot f_{max}(T=20^\circ\text{C}) = 0,65 \cdot 17,3 = 11,2 \text{ g/m}^3$$

Bei $f = 11,2 \text{ g/m}^3$ liegt der Taupunkt bei ca. 13 °C.



Bis dahin schlägt sich kein Wasser nieder, sondern es erhöht sich nur die relative Feuchte auf 100%.

Zwischen 13 °C und 8° C schlagen sich die überschüssigen $11,2 - 8,3 \approx 3 \text{ g/m}^3$ nieder.

Aus dem gesamten Volumen von 50 m³ ergeben sich also ungefähr 150 g Wasser.

Kap. 3.5

