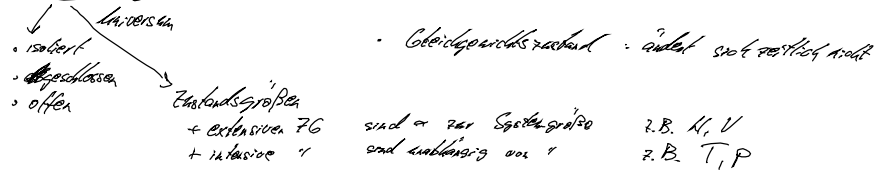


Mo 12<sup>00</sup> - 14<sup>00</sup> } EW 229  
 Di 16<sup>00</sup> - 18<sup>00</sup> } Termine Tabellen  
 Fr 14<sup>00</sup> - 16<sup>00</sup> EW 114

Wahl: System - Wand - Bad



Übergänge = Prozesse  
 + adiabatisch: kein Wärmeaustausch mit Umgebung Bad/Reservoir + reversibel:

o Zustandsgleichung des idealen Gases Stoffmenge [mol]

$$p \cdot V = N \cdot k_B \cdot T = n \cdot R \cdot T$$

↑ ↑ ↑ ↑  
 Druck Volumen T Boltzmann-k. Temperatur n mol Gaspart.

• gilt für Gleichgewicht  
 • verknüpft Zustandsgrößen

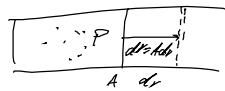
o reale Gase: van-der Waals-Gl.

$$\left[ p + a \left( \frac{N}{V} \right)^2 \right] [V - N \cdot b] = N k_B T = n \cdot R \cdot T$$

kollisionsdruck "Korrekturen"

→ für  $a=b=0$  → ideales Gas

1.4. Arbeit



$$dW = p \cdot dV \quad \text{auch } dW = \delta W = d'W$$

$d$  bedeutet "involles" Differential ("unvollständiges")

Physik: Arbeit ist eine Prozessgröße

Einschub Mathematik

vollst. Differentiale  $F(x,y)$

$$\rightarrow dF = \frac{\partial F}{\partial x} dx + \frac{\partial F}{\partial y} dy = A(x,y) dx + B(x,y) dy$$

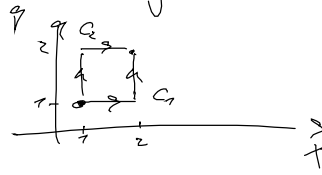
$$\frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial F}{\partial x} = \frac{\partial A}{\partial y} = \frac{\partial B}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial F}{\partial y}$$

$$\oint dF = 0$$

allg. Diff. Formale  $dtG = \vec{A}(x,y) dx + \vec{B}(x,y) dy$   
 aber  $\frac{\partial A}{\partial y} \neq \frac{\partial B}{\partial x} \rightarrow \oint dtG \neq 0$

Beispiel  $dtG = a \cdot dx + b \cdot \frac{x}{y} dy$

$$\frac{\partial a}{\partial y} = 0 \neq \frac{\partial}{\partial x} b \cdot \frac{x}{y} = \frac{b}{y}$$



$$I_1 = \int_{C_1} dtG = \int_1^2 a \cdot dx + \int_1^2 b \cdot \frac{x}{y} \Big|_{x=2} dy = a + 2 \cdot b \cdot \ln 2$$

$$I_2 = \int_{C_2} dtG = \int_1^2 b \cdot \frac{x}{y} \Big|_{x=1} dy + \int_1^2 a dx = b \cdot \ln 2 + a$$

• man kann manchmal einen "erprobenden" Faktor  $\alpha$  finden so dass  $dF = \alpha(x,y) \cdot dtG$   
 geht in 2d immer  $\alpha$  exaktes Diff. ist

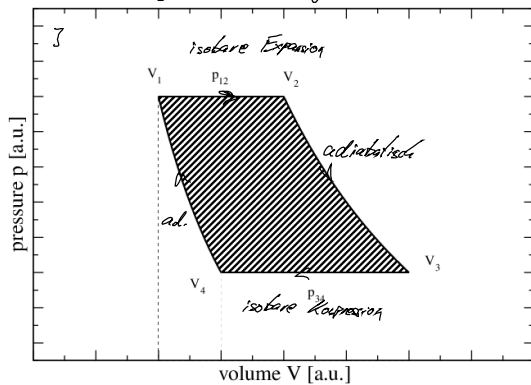
siehe Bsp:  $\alpha(x,y) = \frac{\sigma}{x}$

$$dF(x,y) = \sigma \cdot \frac{a}{x} dx + \sigma \cdot \frac{b}{y} dy$$

$$\frac{\partial}{\partial y} [\dots] = 0 \quad \frac{\partial}{\partial x} [\dots] = 0$$

• betrachte geschl. Kurve

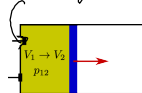
$$\Delta W = \oint dtW = \oint p dV = \oint p(V) dV \neq 0$$



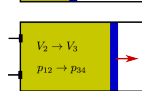
Tschickor Diagramm  
 oder  
 pV-Diagramm

Arbeit  $\int$  eingeschlossene Fläche  
 im pV-Diagramm

Wärmedehnglieder

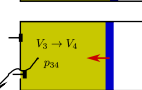


1  $\rightarrow$  2



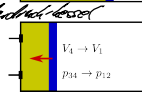
2  $\rightarrow$  3

adiabatisch: + kaltes x1 mit isobar  
 + sehr schnell



3  $\rightarrow$  4

Wärmedehnglieder



4  $\rightarrow$  1 schließt den Zyklus  
 adiabatisch

## 1.5. Wärme

historisch: Wärme ist ein Stoff

heute: Wärme ist eine Form von Energie

exp. Klassif. von Stoffen  $\Delta Q_V = C_V \cdot m \cdot \Delta T$   
 $\uparrow \quad \uparrow$   
 Wärme soll konstant sein

$C_V$  heißt spezifische Wärmekapazität

$\Delta Q_P = C_P \cdot m \cdot \Delta T$   
 $\uparrow \quad \uparrow$   
 konst. Druck Temperaturänderung

$$[C_{V/P}] = \frac{J}{K \cdot kg}$$

$$\Delta Q_{V/P}^{mol} = n \cdot C_{V/P}^{mol} \cdot \Delta T \quad n = \frac{m}{M_A} \rightarrow C_{V/P}^{mol} = \frac{m}{M_A} \cdot C_{V/P}$$

$\uparrow$   
Stoffmenge

$$[C_{V/P}^{mol}] = \frac{J}{K \cdot mol}$$

- Material "konstant", allerdings  $C_{V/P}(T)$  abhängig in Praxis
- allgemein:  $C_P > C_V$   
 bei konst. Volumen  $\rightarrow$  keine Volumenarbeit  $\rightarrow$  komplette Umwandlung in innere Energie  
 $\rightarrow$  stärkere Erhitzung als bei konst. Druck
- experimentell: WK von Gasen mit dem gleichen Anzahl von At. pro Molekül sind gleich  
 z.B.  $O_2$  &  $H_2$
- häufig in Praxis Arbeit  $\neq$  nutzbare Energie  
 Wärme nicht (ohne Weiteres)

## 1.6. Die Axiome der TD

TD  $\ni$  3 Axiome

### 1.6.1. Der Nullte Hauptsatz

Jedes physik. System und eine Temp.  $T$  zugeordnet.  
 Zwei Systeme befinden sich genau dann in GG, falls ihre Temp. gleich sind.

- z.B. für id. Gas  $T = \frac{p \cdot V}{n \cdot k_B} = \frac{p \cdot V}{n \cdot R}$
- in d. Wissenschaft Kelvin-Skala  $1K \ni 273,16$  Teil von Tripelpunkt des Wassers  
 $\uparrow$   
 Eis, Wasser, Dampf können koexistieren
- $273,15^\circ K = 0^\circ C$

- kelvinsche und Celsius-Skalen
- Celsius-Skala:  $T_{\text{Schmelz}} = 0^\circ\text{C}$   
 $T_{\text{Siedep}} = 100^\circ\text{C}$
- Fahrenheit-Skala:  $0^\circ\text{F} \hat{=} -17,8^\circ\text{C}$  } veraltet  
 $32^\circ\text{F} \hat{=} \text{Gefrierpunkt } H_2O$   
 $(96^\circ\text{F} \hat{=} \text{Körpertemp.})$   
historisch

Beispiel Kopplung zweier Körper  $k_1, k_2, V_1, V_2$



- Besatz & Entz. adiab. ist konstant
- Gesamtenergie ist konstant

$$0 = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 = k_1 \int_{T_1} C_V^{(1)}(T') dT' + k_2 \int_{T_2} C_V^{(2)}(T') dT'$$

$$= k_1 \cdot C_V^{(1)}(T - T_1) + k_2 \cdot C_V^{(2)}(T - T_2)$$

falls  $C_V = \text{const}$

→ nach  $T$  auflösen

$$T = \frac{k_1 C_V^{(1)} T_1 + k_2 C_V^{(2)} T_2}{k_1 C_V^{(1)} + k_2 C_V^{(2)}} \quad \text{Mischtemperatur im Gleichgewicht}$$

falls obd.  $T_1 < T_2 \implies T_1 < T < T_2$

falls  $C_V^{(1)} = C_V^{(2)} \implies T = \frac{k_1 T_1 + k_2 T_2}{k_1 + k_2}$

### 1. & 2. Der erste Hauptsatz

+ Energie-Erhaltung

Jedes TD System wird eine innere Energie  $U$  zugeordnet, welche sich durch Vermitteln von Arbeit oder Zufuhr von Wärme ändern kann

$$dU = dt Q - dt W$$

exaktes Diff.

inexaktes Diff.

• ist bis auf eine konst. definiert

• oft  $dU = dt Q + dt \tilde{W} \quad dt \tilde{W} = -dt W$

• für Kreisprozesse

$$\oint dU = 0 \implies \oint dt Q = \oint dt W$$

• Problem: Apparatus von Arbeit & Wärme

→ Änderungen der Energie, welche mit zeitl. Parameter - Änd. der Hamilton-Fkt. erklärbar werden als Arbeit interpretiert

→ Wärme fließt von selbst.

•  $\exists$  kein Perpetuum mobile 1. Art