

(Good to know (

1

$$\text{Dichte } \rho = \frac{m}{V} \left\{ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right\}$$

$$\text{Druck } p = \frac{F}{A} = \rho \cdot s \cdot L = v^2 \cdot \rho \left\{ p_2 \approx \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right\}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

Grundlagen

innere Energie [U] in J

Enthalpie [H] in J

Entropie [S] in J

Stoffmenge [n] in mol

Energietransport [Iw] in W

Temperatur in Kelvin $\Rightarrow T_c + 273,15$ in KDrei Hauptkräfte

- Zwei Körper sind in thermischem Gleichgewicht, wenn sie dieselbe Temperatur haben.
- Die Änderung der inneren Energie = thermische & verrichtete ausgetauschte Energie.
- Entropie kann erzeugt, aber nicht vernichtet werden.

innere Energie & Enthalpie

$$\Delta U = U_{t2} - U_{t1} = U_{th} + W_{Mech}$$

$$H = U + pV$$

$$\Delta U = m c_v (T_2 - T_1) \text{ (isochor)}$$

$$\Delta H = m c_p (T_2 - T_1) \text{ (isobar)}$$

$$c_v \text{ in } \frac{J}{kgK} \text{ für Gase; } c_l \text{ für Flüssigkeit; } c_s \text{ für solid}$$

Ideale Gasgleichung

isentrope Zustandsänderungen sind reversibel

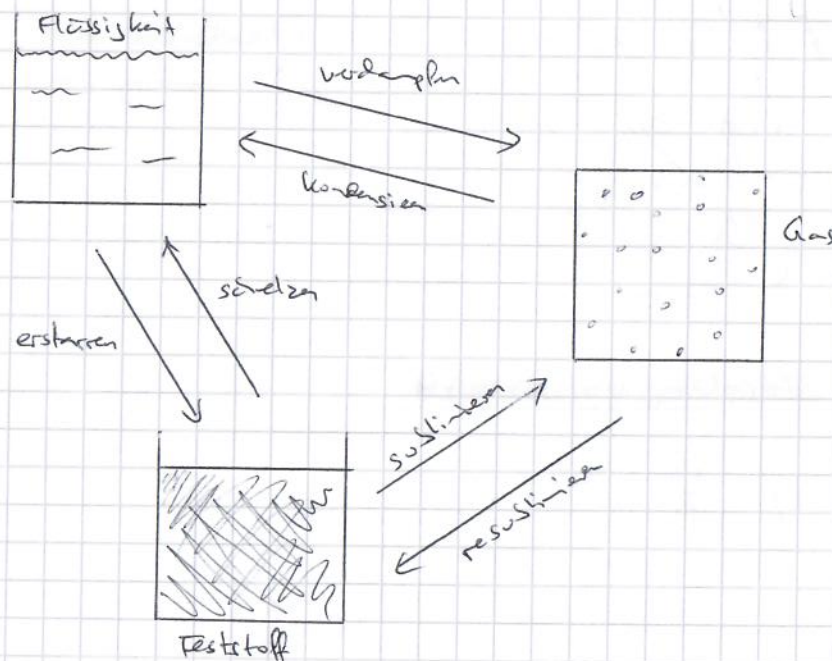
$$pV = nRT$$

$$n = \frac{m}{M}$$

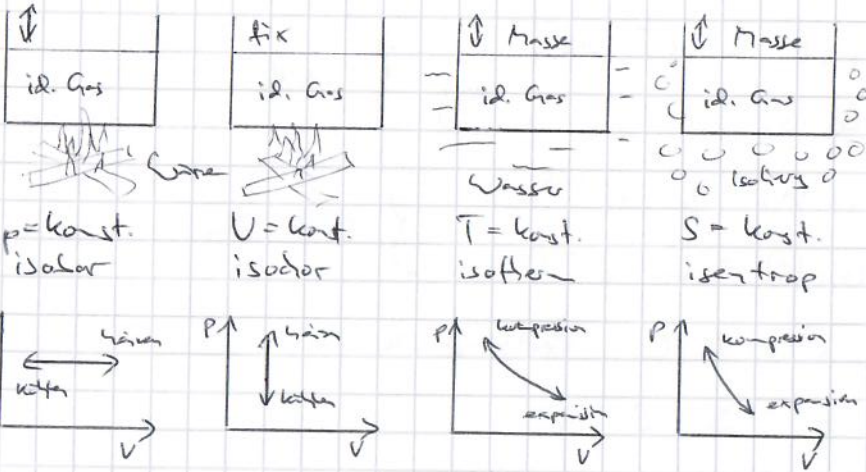
$$R = 8,314 \frac{J}{molK}$$

$$c_p = c_v + \frac{R}{M}$$

$$\Delta H = m \cdot \Delta h$$

Gaskonstante [R] in $\frac{J}{molK}$
Molare Masse [M] in kg/mol spezifischer Wert $[\Delta h]$ in $\frac{J}{kg}$ Phasenübergänge

Zustandsänderungen



$W_{\text{therm}} = m \cdot c_p \cdot \Delta T$ $m \cdot c_v \cdot \Delta T$ $-W_{\text{ech}}$ 0
 $W_{\text{ech}} = -p \cdot \Delta V$ 0 $-\frac{m}{M} R T \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$ $m \cdot c_v \cdot \Delta T$

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$ $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$ $p_1 V_1 = p_2 V_2$ $T_1 V_1^{k-1} = T_2 V_2^{k-1}$

$p_1 V_1^k = p_2 V_2^k$
 $p_1 T_1^{\frac{k}{1-k}} = p_2 T_2^{\frac{k}{1-k}}$

Konstante k

$k = \frac{c_p}{c_v}$

$k = \frac{1+\gamma}{\gamma}$

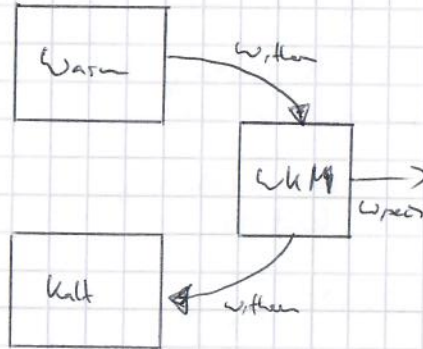
$c_v = Z \cdot \frac{R}{M}$

$c_v = Z R \frac{f}{2}$

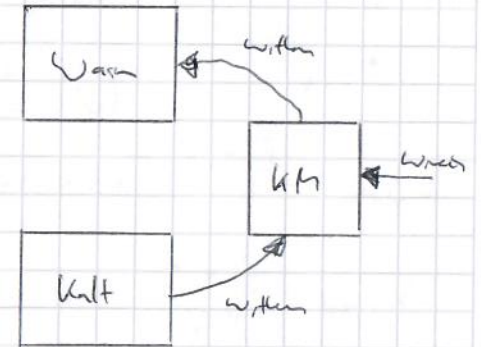
k	z	Stoff
5/3	3/2	1-atomig Helium, Argon
7/5	5/2	2-atomig N ₂ , O ₂ , H ₂ , CO, NO

Kreisprozesse

Wärmeleistungsmaschine



Kältemaschine



Wirkungsgrad

$\eta = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}}$ $\frac{W_{\text{ech}}}{W_{\text{therm}}}$ $\frac{W_{\text{ech}}}{W_{\text{ech}} - W_{\text{therm}}}$ $\frac{W_{\text{therm}}}{W_{\text{ech}}}$

Carnot-Kreisprozess

$\eta_c = 1 - \frac{T_k}{T_w}$ maximal möglicher Wirkungsgrad an Bord der Kette & von Temperatur

Entropiestrom

$\frac{dS}{dt} = I_S = \frac{I_{\text{W,therm}}}{T} \geq 0$

Gibbsgleichung

$\Delta S = S_2 - S_1 = m \left[c_v \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + \frac{R}{M} \ln(\dots) \right]$

für Druck $\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$

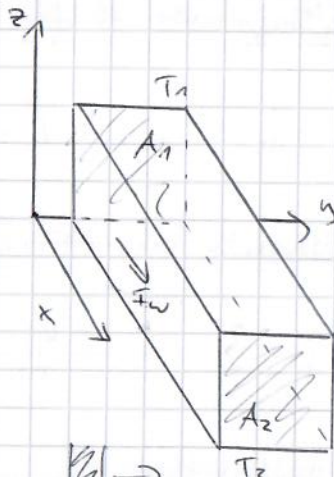
für Volumen $\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

Konduktion (Wärmeleitung)

$$I_{w, \text{kon}} = -k A \frac{T_2 - T_1}{\Delta x} \quad [\text{W}]$$

I_w fließt von warm nach kalt

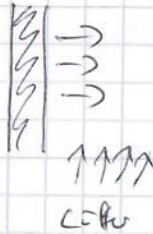
k = thermische Leitfähigkeit $[\frac{\text{W}}{\text{mK}}]$



Konvektion (Strömung)

$$I_{w, \text{konv}} = \alpha A \Delta T \quad [\text{W}]$$

α = Wärmeübergangskoeffizient $[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}]$



Strahlung

$$I_{w, \text{rad}} = \epsilon \sigma A T^4 \quad [\text{W}]$$

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \quad [\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4}]$$

ϵ = Emissionsgrad (0 bis 1)

thermischer Widerstand bei Konduktion

$$R_{th} = \frac{\Delta x}{kA} = \frac{1}{G_{th}} \quad [\frac{\text{K}}{\text{W}}]$$

$$I_w = \frac{\Delta T}{R_{th}} = G_{th} \cdot \Delta T \quad [\text{W}]$$

$$\begin{aligned} U &\stackrel{!}{=} \Delta T \\ R &\stackrel{!}{=} R_{th} \\ I &\stackrel{!}{=} I_w \end{aligned}$$

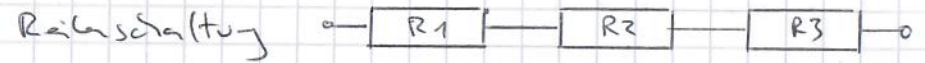
thermischer Widerstand bei Konvektion

$$R_{th} = \frac{1}{\alpha A} = \frac{1}{G_{th}} \quad [\frac{\text{K}}{\text{W}}]$$

$$I_w = \frac{\Delta T}{R_{th}} = G_{th} \cdot \Delta T \quad [\text{W}]$$

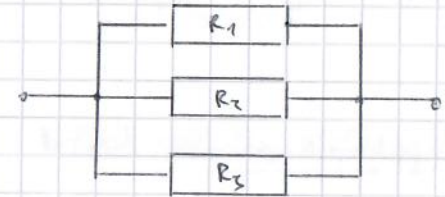
Widerstandsschaltungen TD

analog zu ED



$$R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 + R_3$$

Parallelschaltung



$$R_{\text{tot}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Wärmeübergangskoeffizient bei Gebäuden

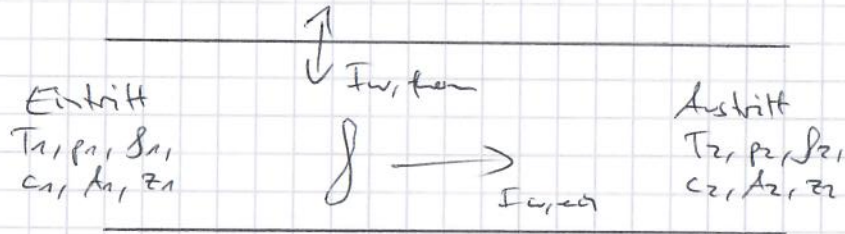
$$U = \frac{G_{\text{tot}}}{A} = R_{\text{tot}} \cdot A \quad [\frac{\text{K} \cdot \text{m}^2}{\text{W}}]$$

offenes System

Zustandsänderungen zwischen Ein- und Austrittsquerchnitt, zeitunabhängig

Konvektive Flüsse:

- Masse \Rightarrow Fan
- Impuls \Rightarrow Verbrennungsmotor
- Energie \Rightarrow Wasserturbine
- Entropie \Rightarrow Turboproptriebwerke

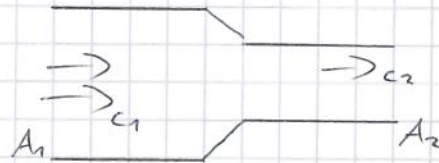


Austausch mechanischer & thermischer Energie

Massenbilanz

$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$

$\rho \cdot c_1 \cdot A_1 = \rho \cdot c_2 \cdot A_2$



c = Strömungsgeschwindigkeit [$\frac{m}{s}$]

z = Höhendifferenz [m]

Erweiterte Bernoulli-Gleichung

$$\dot{m} \left[\frac{(p_2 - p_1)}{\rho} + \frac{(c_2^2 - c_1^2)}{2} + g(z_2 - z_1) \right] = 0$$

\uparrow Druck \uparrow kinetisch \uparrow potentiell

Energiebilanz

$$\dot{m} \left[(h_2 - h_1) + \frac{1}{2} (c_2^2 - c_1^2) + g(z_2 - z_1) \right] = \dot{I}_{th} + \dot{I}_{mech}$$

Beispiel stationäres System mit Flüssigkeit

ideale Wasserturbine

$\dot{I}_{th} \cdot \frac{p_2 - p_1}{\rho} = \dot{I}_{mech} \cdot \Delta p = \dot{I}_{mech}^{rev}$

Beispiel stationäres System mit Gasen

isentrope Zustandsänderung

$\dot{I}_{mech}^{rev} = \dot{m} c_p T_1 \left[\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} - 1 \right]$

Periodensystem der Elemente

	1											18						
1	1 1,0 H Wasserstoff	2											13	14	15	16	17	18
2	3 6,9 Li Lithium	4 9,0 Be Beryllium											10,8 B Bor	6 12 C Kohlenstoff	7 14 N Stickstoff	8 16 O Sauerstoff	9 19 F Fluor	10 20,1 Ne Neon
3	11 22,9 Na Natrium	12 24 Mg Magnesium	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 26,9 Al Aluminium	14 28 Si Silicium	15 30,9 P Phosphor	16 32 S Schwefel	17 35,5 Cl Chlor	18 39,9 Ar Argon
4	19 39,1 K Kalium	20 40 Ca Calcium	21 45 Sc Scandium	22 47,8 Ti Titan	23 50,9 V Vanadium	24 52 Cr Chrom	25 54 Mn Mangan	26 55,8 Fe Eisen	27 58,9 Co Cobalt	28 58,7 Ni Nickel	29 63,5 Cu Kupfer	30 65,4 Zn Zink	31 69,7 Ga Gallium	32 72,6 Ge Germanium	33 74,9 As Arsen	34 78,9 Se Selen	35 79,9 Br Brom	36 83,8 Kr Krypton
5	37 85,5 Rb Rubidium	38 87,6 Sr Strontium	39 89,0 Y Yttrium	40 91,2 Zr Zirkonium	41 92,9 Nb Niob	42 95 Mo Molybdän	43 97,9 Tc Technetium	44 101 Ru Ruthenium	45 103 Rh Rhodium	46 106 Pd Palladium	47 107 Ag Silber	48 112 Cd Cadmium	49 114 In Indium	50 118 Sn Zinn	51 122 Sb Antimon	52 127 Te Tellur	53 126,9 I Jod	54 131 Xe Xenon
6	55 133 Cs Cäsium	56 137 Ba Barium	*	72 178,5 Hf Hafnium	73 180,9 Ta Tantal	74 183,8 W Wolfram	75 186 Re Rhenium	76 190 Os Osmium	77 192,2 Ir Iridium	78 195 Pt Platin	79 197 Au Gold	80 200 Hg Quecksilber	81 204 Tl Thallium	82 207 Pb Blei	83 209 Bi Bismuth	84 209 Po Polonium	85 210 At Astat	86 222 Rn Radon
7	87 223 Fr Francium	88 226 Ra Radium	**	104 261 Rf Rutherfordium	105 262 Db Dubnium	106 266 Sg Seaborgium	107 264 Bh Bohrium	108 269 Hs Hassium	109 268 Mt Meitnerium	110 273 Ds Darmstadtium	111 272 Rg Roentgenium	112 Cn Copernicium	113 Uut Ununtrium	114 Fl Flerovium	115 Uup Ununpentium	116 Lv Livermorium	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium

- Alkalimetalle
- Erdalkalimetalle
- Übergangsmetalle
- Lanthanoide
- Actinoide
- Metalle
- Halbmetalle
- Nichtmetalle
- Halogene
- Edelgase
- Unbekannt

Ordnungszahl → 1
 Molare Masse → 1,0
 Name → H
 Symbol ← H

Handwritten note: *g/mol*

57 138,9 La Lanthan	58 140 Ce Cer	59 140,9 Pr Praseodym	60 144 Nd Neodym	61 145 Pm Promethium	62 150 Sm Samarium	63 152 Eu Europium	64 157 Gd Gadolinium	65 159 Tb Terbium	66 162 Dy Dysprosium	67 165 Ho Holmium	68 167 Er Erbium	69 199 Tm Thulium	70 173 Yb Ytterbium	71 175 Lu Lutetium
89 227 Ac Actinium	90 232 Th Thorium	91 231 Pa Protactinium	92 238 U Uran	93 237 Np Neptunium	94 244 Pu Plutonium	95 Am Americium	96 247 Cm Curium	97 247 Bk Berkelium	98 251 Cf Californium	99 252 Es Einsteinium	100 257 Fm Fermium	101 Md Mendelevium	102 259 No Nobelium	103 267 Lr Lawrencium