

Bonusssystem: 15%
nötige PZ

$$C_V = 3R \left(\frac{h\nu}{kT} \right)^2 \frac{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)}{\left(\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1 \right)^2}$$

$$\downarrow$$

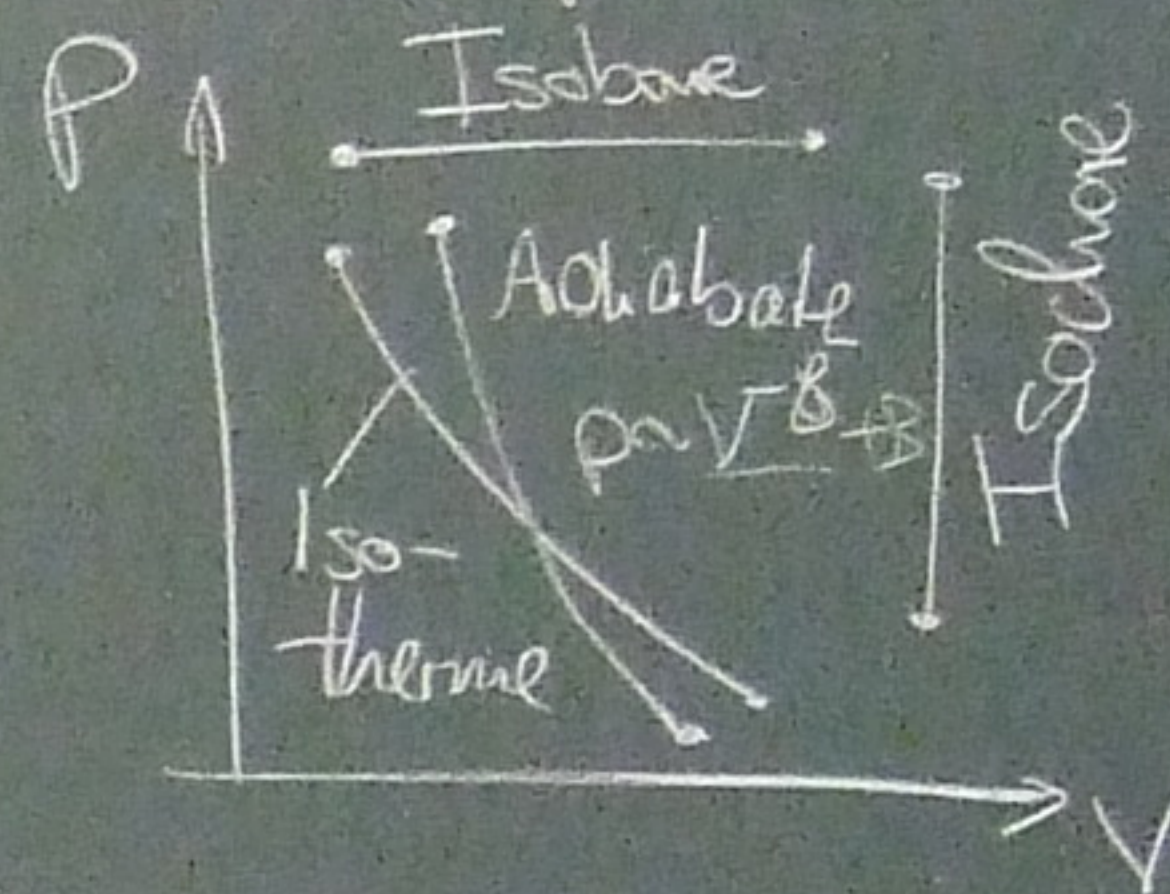
$$C_V \rightarrow 3R \quad 1 + \frac{h\nu}{kT} \rightarrow \left(\frac{h\nu}{kT} \right)^2$$

Anwendung Boltzmannfaktor
 $E = mgh, P(s) \sim e^{-mgh/kT}$
Barometrische Höhenformel

Kreisprozesse: Vorbereitung
für den Entropiesatz: $dS = \frac{\delta Q_{rev}}{T}$

Wiederholung

$$dU = \delta Q - p dV$$



• Isotherme
 $dT=0, dU=0$

$$\Delta Q = -\Delta W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$p = \frac{nRT}{V}$

• Isochore:
 $dV=0$

$$\Delta Q = C_V \Delta T \quad (n=1 \text{ mol})$$

• Isobare:
 $dp=0$

$$dW = p dV = p(V_2 - V_1)$$

$$\Delta Q = C_P \Delta T$$

• Adiabate: $(n=1 \text{ mol})$
 $(\delta Q=0)$

$$dU = -p dV = C_V \frac{dT}{RT}$$

$$-\int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_V}{R} \frac{dT}{T} \quad C_V/R$$

$$-\ln \frac{V_2}{V_1} = \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{C_V/R} \quad e^{\square}$$

$$\frac{C_V}{R} \cdot V = \text{const} \quad \gamma = 1.307$$

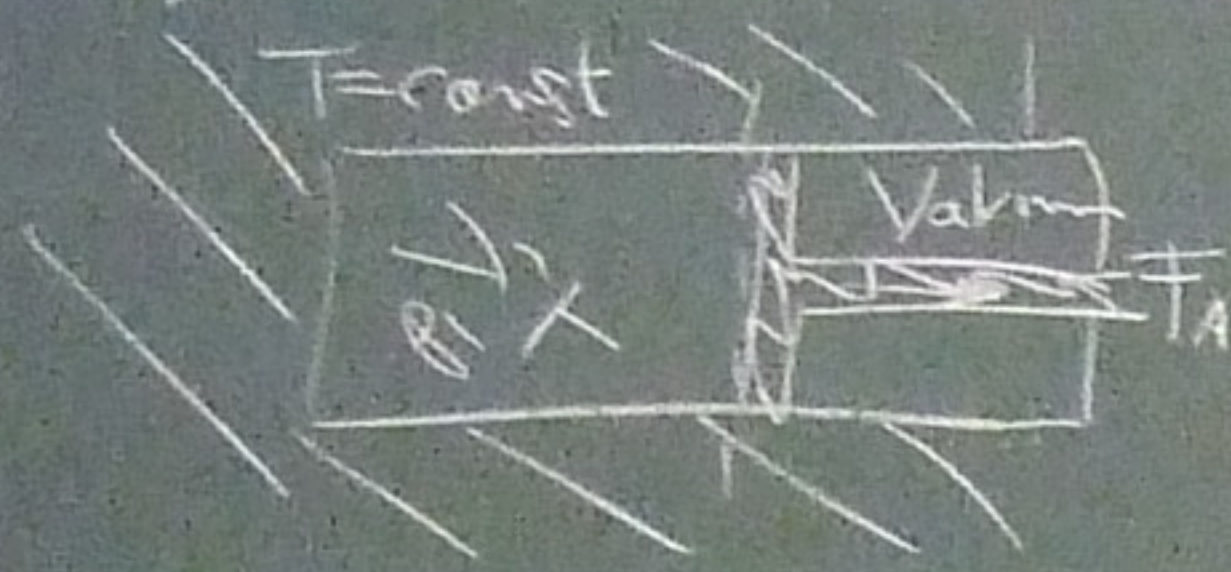
$$\sim p V^\gamma = \text{const.} \quad \boxed{\text{Adiabaten-gleichung}}$$

$$pV = RT$$

$$\gamma = C_P / C_V; \quad C_P = C_V + R$$

Beispiele

1) Isotherme Expansion

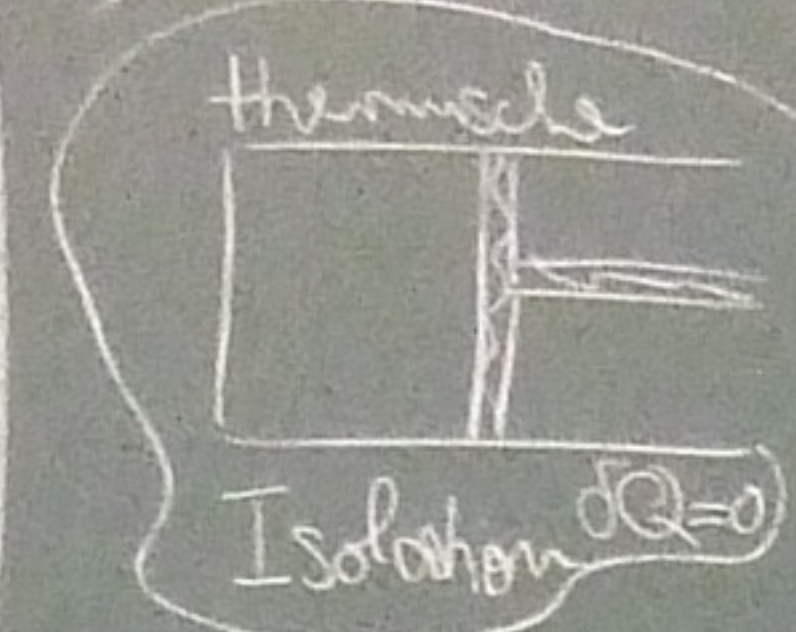


ausdehnen
Thermostaten
entnommene Wärme

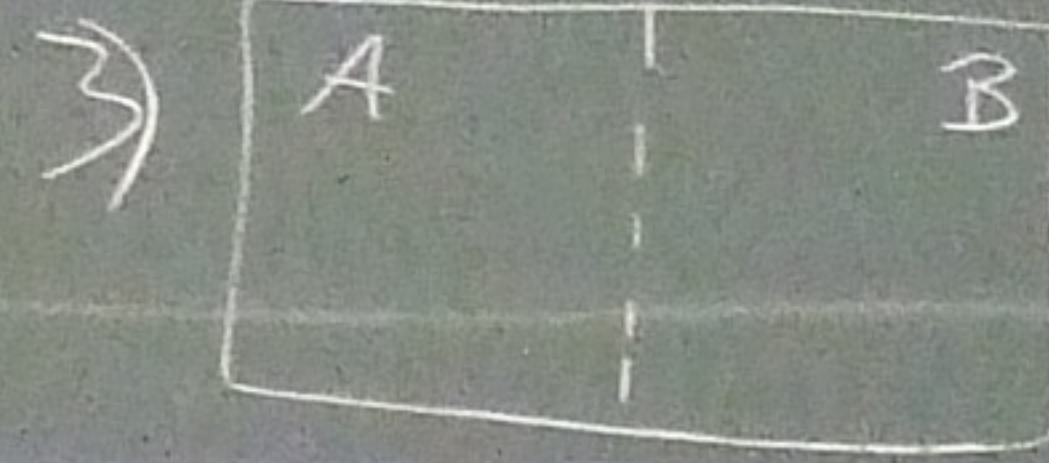
a) Inversibel
 $F_A = 0$
→ schnelle Ausdehnung
 $Q = 0, W = 0$

b) reversible Führung
 $Q_{rev} = -W_{rev} = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$
reversibel
abgegebene Arbeit

2) Adiabate



$Q_{rev} = 0$
 $W_{rev} = C_V(T_2 - T_1)$

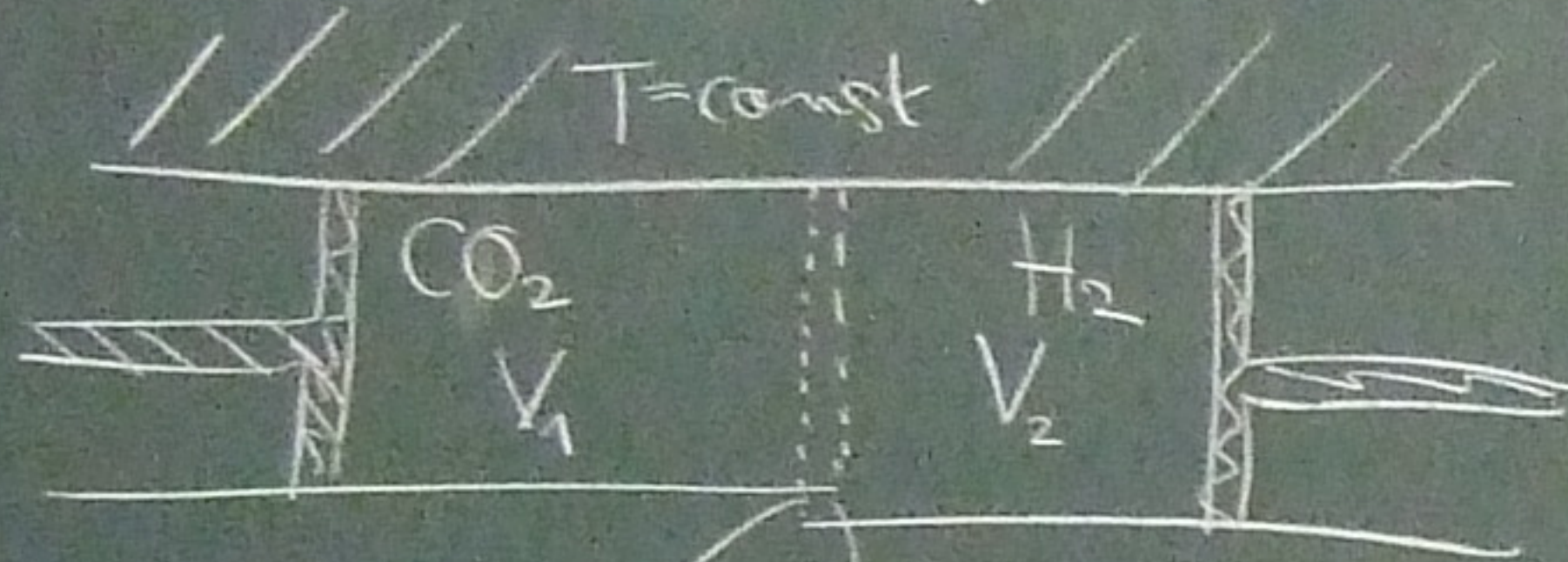


Mischung von Gasen

a) irreversible Führung

Entfernen der Membran
→ Mischung der Gase
durch Diffusion
 $Q = 0, W = 0$

b) Reversible Führung



durchlässig für CO₂
durchlässig für H₂

① Isotherme Expansion
beider Gasvolumina
 $n_1 + n_2 = n$
 $V_1, V_2 \rightarrow V_1 + V_2 = V$

$Q_{rev} = -W_{rev} = RT \left[n_1 \ln \frac{V}{V_1} + n_2 \ln \frac{V}{V_2} \right]$
ZdV

$dT = 0$
Wegen $pV = nRT$ und $pV_i = n_i RT$
 $Q_{rev} = RT \left[n_1 \ln \frac{n}{n_1} + n_2 \ln \frac{n}{n_2} \right]$
Stoßvolumen

② Reversible Mischung
beider Gase
durch ineinander-
schieben beider
Volumina
(ohne Arbeit und
Wärmeeinzufuhr möglich)

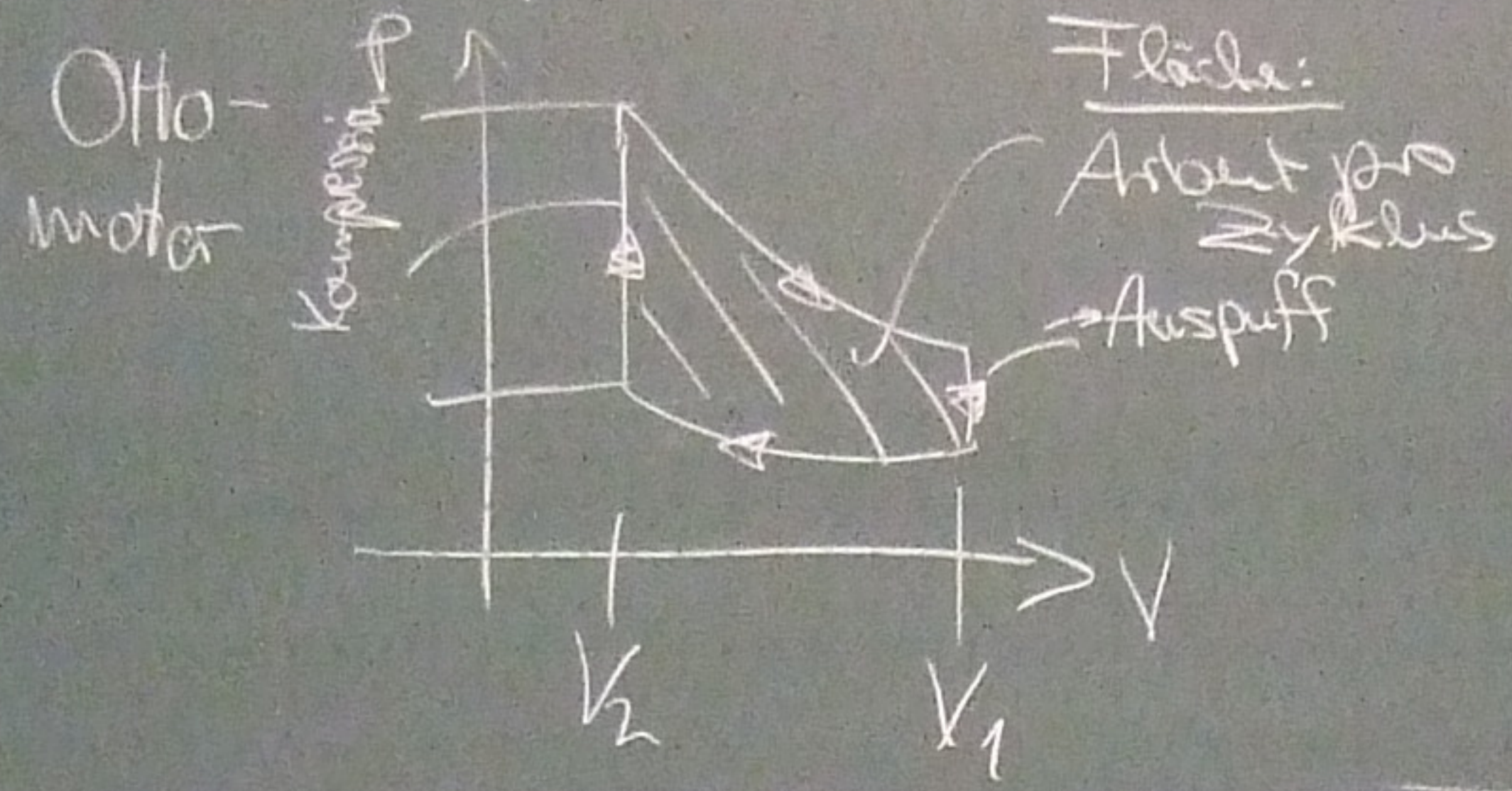
$$dU = C_v dT$$

$$U = \frac{f}{2} NkT$$

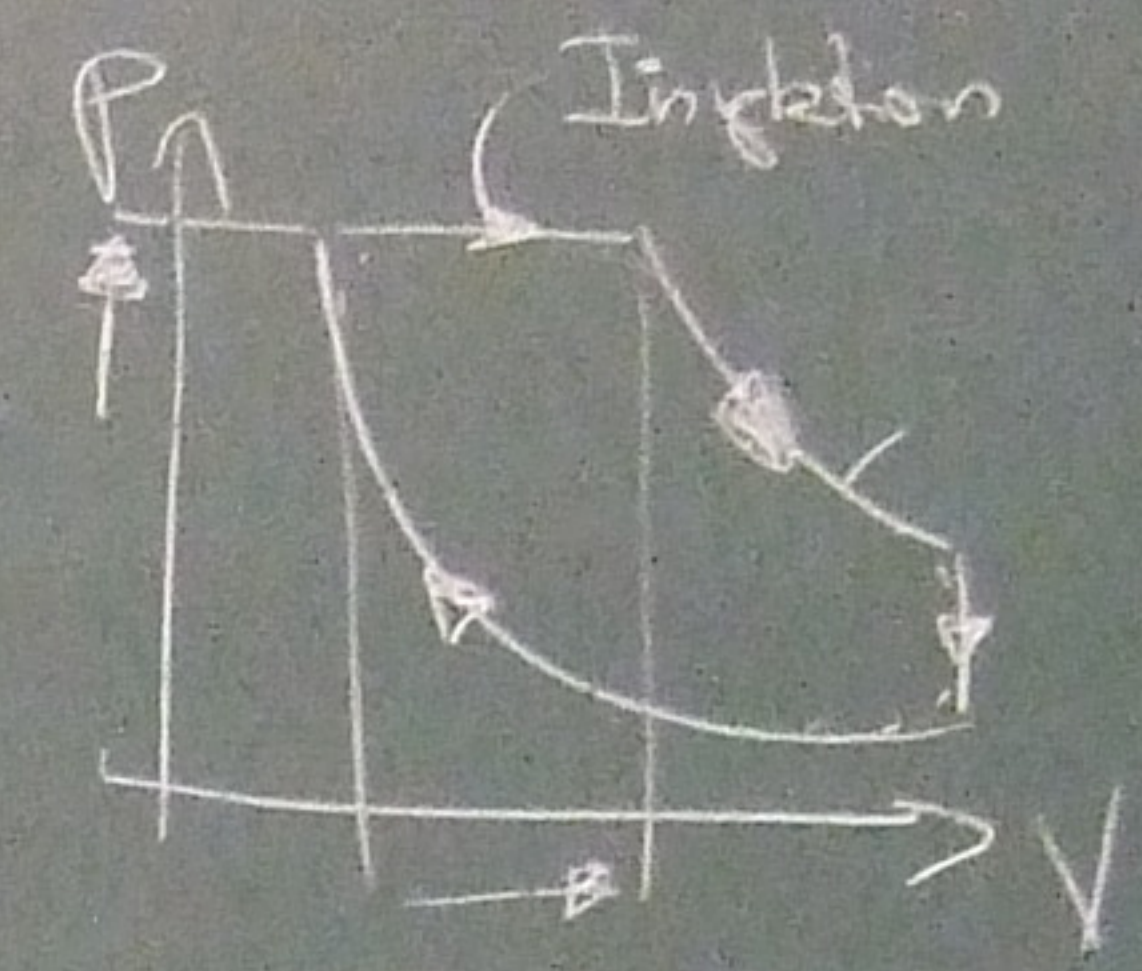
$$dU = \frac{f}{2} Nk dT$$

$$C_v$$

Kreisprozesse

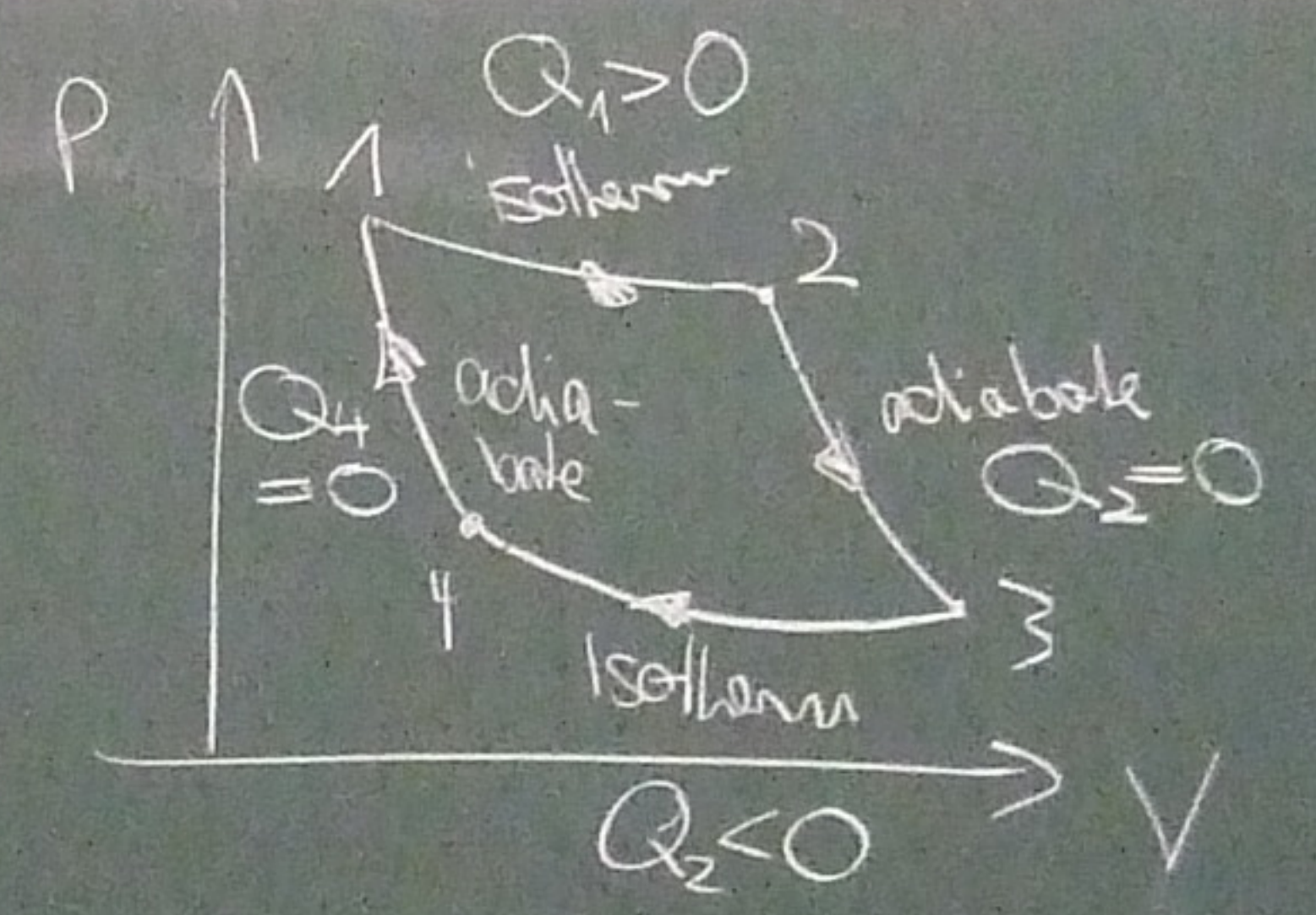


Dieselmotor

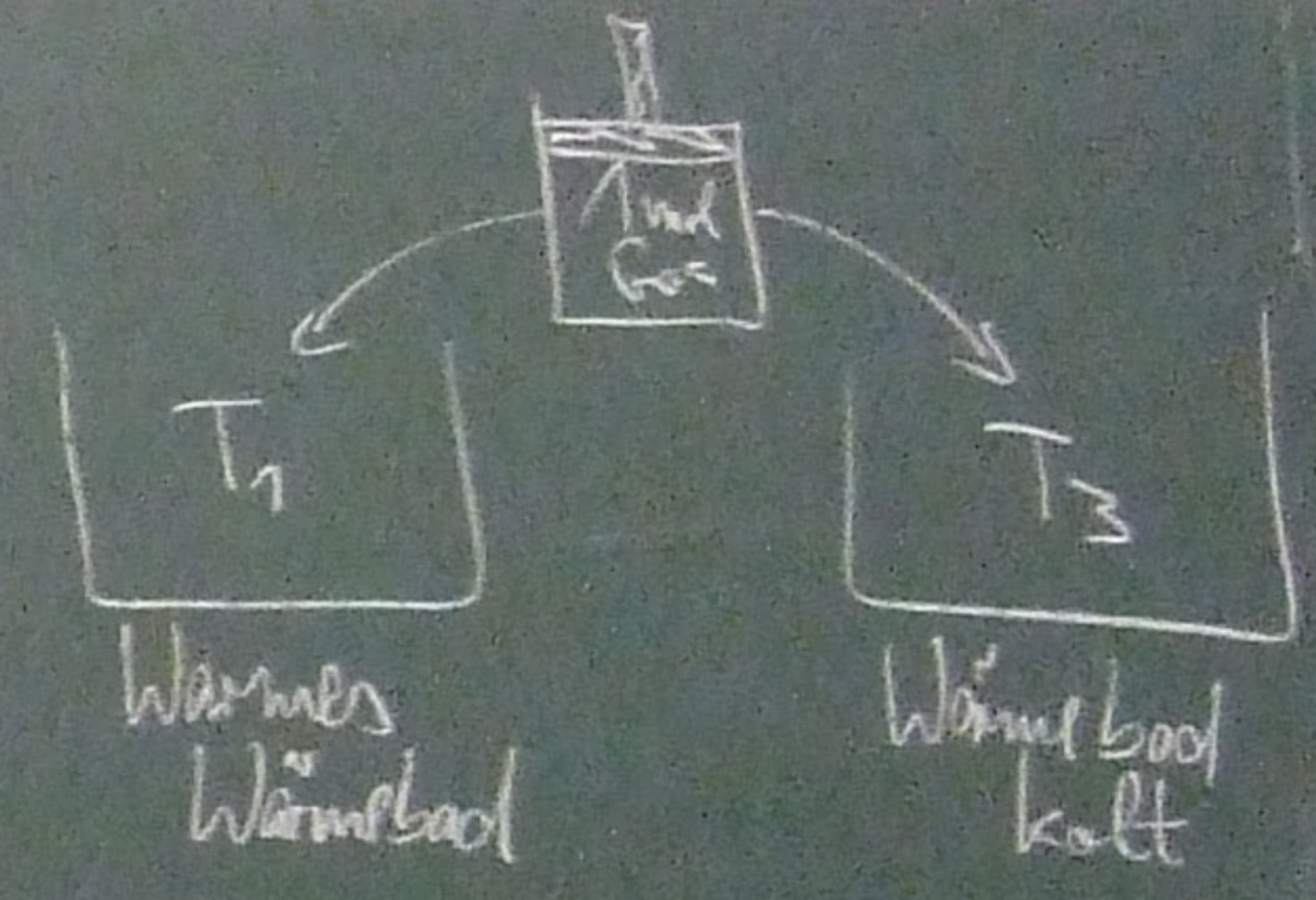


Carnot'scher Kreisprozess

Zur Begründung des II. Hauptsatzes (Entropiesatz) wird folgender streng-reversibel fñhbarer idealer Kreisprozess betrachtet.

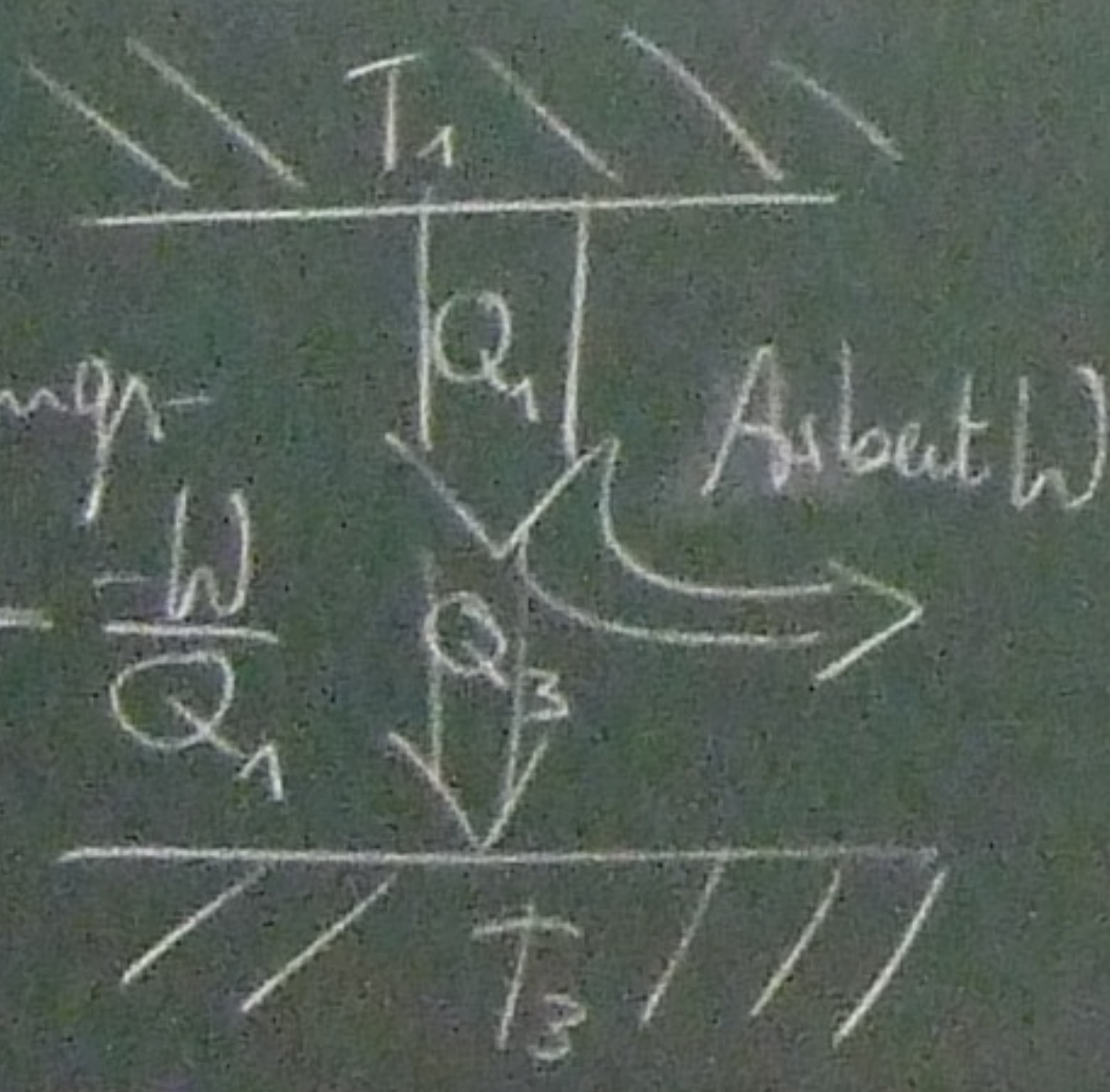


2 → 3 → 4 : Clement Desormes



Wirkungsgrad $\eta = \frac{W}{Q_1}$

Arbeit W



Energiebilanz während Kreisprozess ($n=1$ mol)

1 → 2: Isotherme. $Q_1 = -W_1 = \int_{V_1}^{V_2} p dV = RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$
 $(\Delta U_{12} = 0)$

2 → 3: Adiabate: $Q_2 = 0$
 $W_2 = C_v (T_3 - T_1) = \Delta U_{23}$

3 → 4: Isotherme $Q_3 = -W_3 = -RT_3 \ln \frac{V_3}{V_4} = -RT_3 \ln \frac{V_2}{V_1}$

4 → 1: Adiabate $Q_4 = 0$
 $W_4 = C_v (T_1 - T_3) = \Delta U_{41}$

Gesamte Arbeitsleistung während Kreisprozess } $-W = -(W_1 + W_2 + W_3 + W_4)$
 $= R(T_1 - T_3) \ln \frac{V_2}{V_1}$

$\eta = \frac{20^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}}{363\text{K}} = 40\%$

aus 1 Wärmebad $Q_1 = RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$ zugeführt

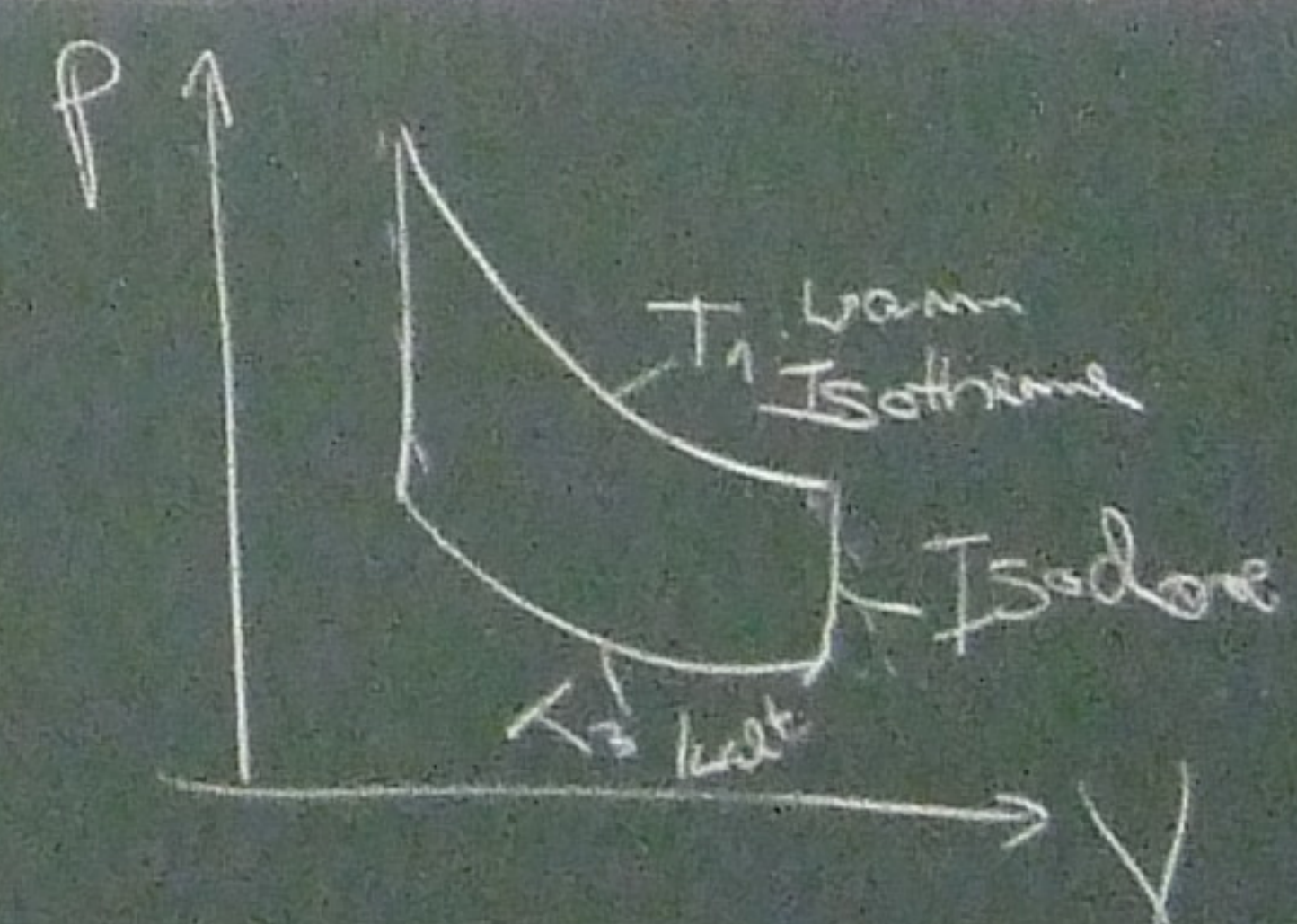
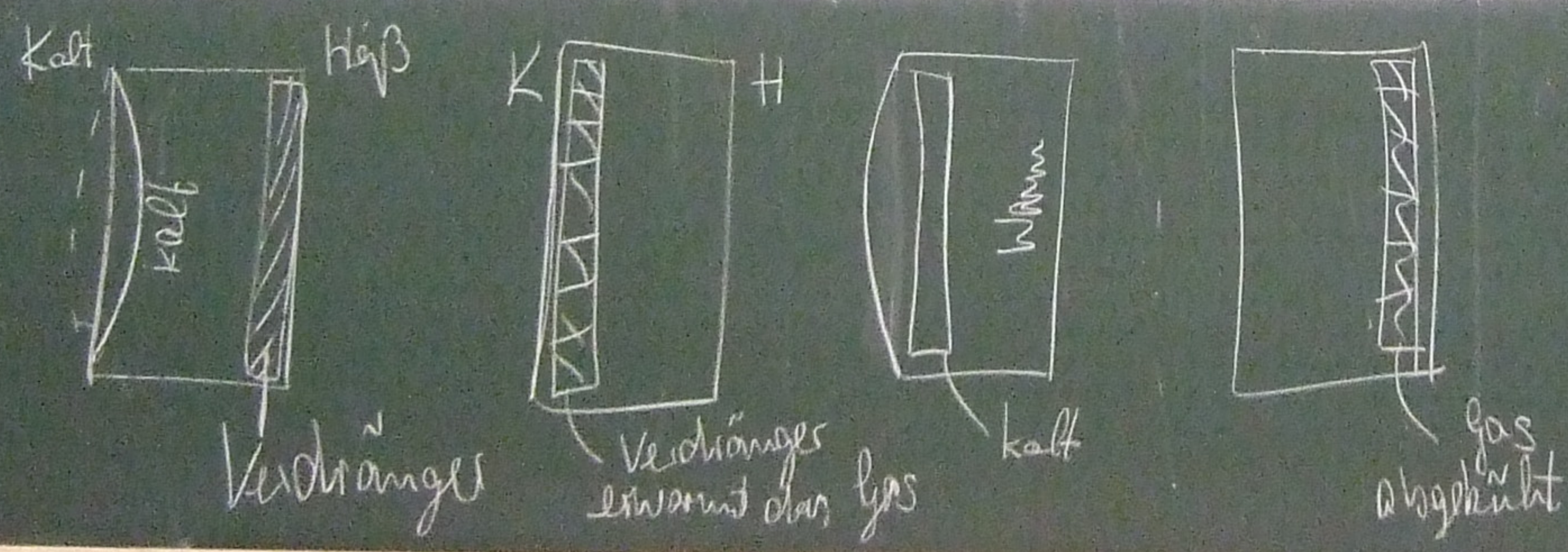
aus 2 Wärmebad $-Q_3 = RT_3 \ln \frac{V_2}{V_1}$ abgeführt

1. HS erfüllt: $Q_1 + Q_3 + W = 0$
 2. HS erfüllt: $\Delta S = \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_3}{T_3} = 0$

Wirkungsgrad

$\frac{\text{geleistete Arbeit}}{\text{aufgenommene Wärme}} = \eta = \frac{-W}{Q_1} = \frac{T_1 - T_3}{T_1} = \frac{\Delta T}{T_{\text{warm}}}$

Bem.: Teilweise irreversibel: $\eta \leq \frac{\Delta T}{T}$
 • Carnot zu langsam für praktische Anwendung



Abschl. Punkt

1. HS erfüllt: $Q_1 + Q_3 + W = 0$

2. HS erfüllt:

$$\Delta S = \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_3}{T_3} = 0$$

Bem.:
• Teilweise
• Carnot

Real: Kraftwerk

