

# Thermodynamik 1

## Tutorium 3

Zustandsänderungen idealer Gase

## Ideales Gas

- Die Atome/Moleküle des Gases besitzen keine räumliche Ausdehnung (Massenpunkte).
- Es bestehen keine Wechselwirkungen zwischen den Gasteilchen.
- Mit den Behälterwänden finden ausschließlich voll elastische Stöße statt.

## Das ideale Gasgesetz

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T = n \cdot R_m \cdot T$$

- Druck  $[p] = Pa$
- Volumen  $[V] = m^3$
- Masse  $[m] = kg$
- Temperatur  $[T] = K$
- Stoffmenge  $[n] = mol$

## Das ideale Gasgesetz

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T = n \cdot R_m \cdot T$$

- Universelle Gaskonstante  $R_m = 8,314 \frac{J}{mol \cdot K}$
- Spezifische Gaskonstante  $[R] = \frac{J}{kg \cdot K}$

$$R = \frac{R_m}{M} \qquad m = n \cdot M$$

# Zustandsänderungen

## 1. Isochore Zustandsänderung $V = \text{const.}$

$$\frac{p}{T} = \frac{m \cdot R}{V} = \text{const.}$$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

## Zustandsänderungen

### 2. Isobare Zustandsänderung $p = \text{const.}$

$$\frac{V}{T} = \frac{m \cdot R}{p} = \text{const.}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

## Zustandsänderungen

### 3. Isotherme Zustandsänderung $T = \text{const.}$

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T = \text{const.}$$

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

## Zustandsänderungen

### 4. Isentrope Zustandsänderung $S = \text{const.}$

- Für die Entropie gilt:  $S_2 - S_1 = \Delta S_{12} = \int_1^2 \frac{dQ + dW_{diss}}{T}$
- Reversibler Prozess:  $dW_{diss} = 0$
- Adiabates System:  $dQ = 0$

$$p \cdot V^\kappa = \text{const.}$$

$$p_1 \cdot V_1^\kappa = p_2 \cdot V_2^\kappa$$



## Zustandsänderungen

### 4. Isentrope Zustandsänderung $S = \text{const.}$

$$p \cdot V^\kappa = \text{const.}$$

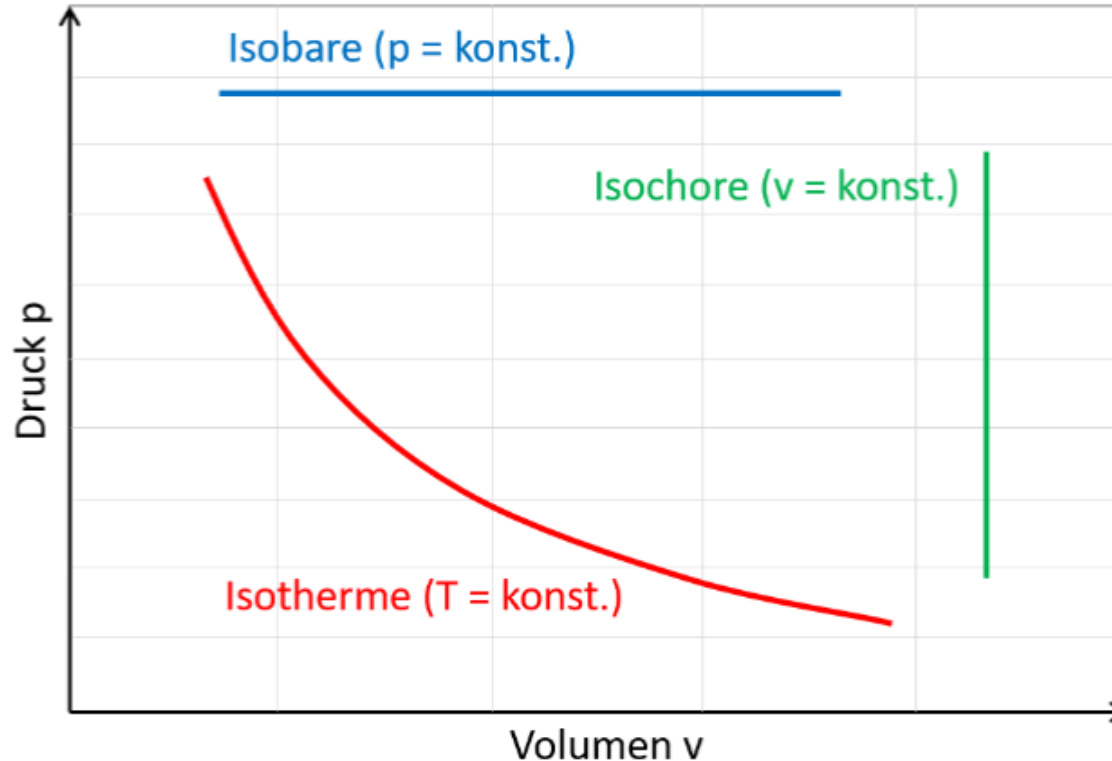
$$p_1 \cdot V_1^\kappa = p_2 \cdot V_2^\kappa$$

- Isentropenexponent

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v}, [\kappa] = 1$$

$$R = c_p - c_v$$

## Zustandsänderungen im p,v-Diagramm



## Berechnung von Wärmen und Volumenänderungsarbeiten

- Volumenänderungsarbeit

- Isobare Zustandsänderung:  $W_{12} = - \int_1^2 p \, dV$

- Isotherme Zustandsänderung:  $W_{12} = - \int_1^2 \frac{m \cdot R \cdot T}{V} \, dV$

- Isochore Zustandsänderung:  $V = \text{const.} \rightarrow W_{12} = 0$

- Isentrope Zustandsänderung:  $W_{12, \text{rev.ad.}} = \frac{p_1 \cdot V_1}{\kappa - 1} \cdot \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$

- Im p,v-Diagramm entspricht die Volumenänderungsarbeit die Fläche unter der Kurve

## Berechnung von Wärmen und Volumenänderungsarbeiten

- Wärmen

$$dU = dW + dQ$$

$$\Delta U_{12} = W_{12} + Q_{12}$$

Definitionsgleichung der Enthalpie:  $dH = dU + d(pV)$

Kalorische Zustandsgleichungen idealer Gase:

$$dU = m \cdot c_v dT$$

$$\Delta U_{12} = m \cdot c_v \cdot \Delta T_{12}$$

$$dH = m \cdot c_p dT$$

$$\Delta H_{12} = m \cdot c_p \cdot \Delta T_{12}$$

Nicht nur für  
ideale Gase!

Nur für  
ideale Gase!

- Isochore Wärmekapazität

$$[c_v] = \frac{J}{kg \cdot K}$$

- Isobare Wärmekapazität

$$[c_p] = \frac{J}{kg \cdot K}$$

## Berechnung von Wärmen und Volumenänderungsarbeiten

### Beispielrechnung 1: Isotherme Verdichtung eines Gases

- Kalorische Zustandsgleichung einsetzen und wenn möglich Energiebilanz vereinfachen.

$$\Delta U_{12} = W_{12} + Q_{12} = m \cdot c_v \cdot \Delta T_{12} = 0 \Leftrightarrow W_{12} = -Q_{12}$$

- Volumenänderungsarbeit berechnen.

$$W_{12} = - \int_1^2 \frac{m \cdot R \cdot T}{V} dV = -Q_{12}$$

## Berechnung von Wärmen und Volumenänderungsarbeiten

### Beispielrechnung 2: Isobare Kühlung eines Gases.

- Volumenänderungsarbeit berechnen.

$$W_{12} = - \int_1^2 p \, dV$$

- Verwendung der Definition der Enthalpie.

$$dH = dU + pdV + Vdp \quad = 0, \text{ da isobar}$$

$$dH = dQ + dW + pdV$$

$$dH = dQ - pdV + pdV \Leftrightarrow Q_{12} = \Delta H_{12} = m \cdot c_p \cdot \Delta T_{12}$$

# Berechnung von Wärmen und Volumenänderungsarbeiten

## Vorzeichenkonvention

$Q, W > 0$             die Energiemenge wird dem System zugeführt

$Q, W < 0$             die Energiemenge verlässt das System

**Viel Erfolg bei den Aufgaben!**