

1. Grundbegriffe
2. Temperatur und Nullter Hauptsatz
3. Eigenschaften des idealen Gases
4. Reale Gase
5. Erster Hauptsatz der Thermodynamik

innere Energie, Arbeit, Wärme  
 Vorzeichenkonvention  
 Arbeit in der Thermodynamik  
 irreversible Expansion  
 reversible isotherme Expansion  
 reversible adiabatische Expansion  
 Wärme, Wärmekapazität, Enthalpie

**1. Hauptsatz**

In einem *geschlossenen* System ist die Änderung der inneren Energie  $\Delta U$  gleich der mit der Umgebung ausgetauschten Wärme  $Q$  und Arbeit  $W$   
 $\Delta U = Q + W$

In einem *isolierten* System ist die innere Energie konstant.

Es gibt kein perpetuum mobile.

1

1. Grundbegriffe
2. Temperatur und Nullter Hauptsatz
3. Eigenschaften des idealen Gases
4. Reale Gase
5. Erster Hauptsatz der Thermodynamik

innere Energie, Arbeit, Wärme  
**Vorzeichenkonvention**  
 Arbeit in der Thermodynamik  
 irreversible Expansion  
 reversible isotherme Expansion  
 reversible adiabatische Expansion  
 Wärme, Wärmekapazität, Enthalpie

**Vorzeichenkonvention**

Wärme oder Arbeit wird dem System zugeführt:  $Q > 0$ ,  $W > 0$

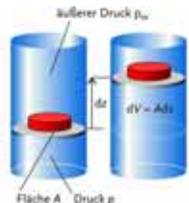
System leistet Arbeit oder gibt Wärme an Umgebung ab:  $Q < 0$ ,  $W < 0$

2

1. Grundbegriffe
2. Temperatur und Nullter Hauptsatz
3. Eigenschaften des idealen Gases
4. Reale Gase
5. Erster Hauptsatz der Thermodynamik

innere Energie, Arbeit, Wärme  
 Vorzeichenkonvention  
**Arbeit in der Thermodynamik**  
 irreversible Expansion  
 reversible isotherme Expansion  
 reversible adiabatische Expansion  
 Wärme, Wärmekapazität, Enthalpie

irreversible isotherme Expansion gegen einen konstanten äußeren Druck

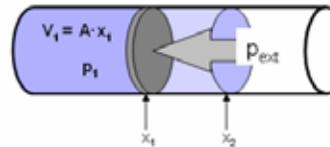
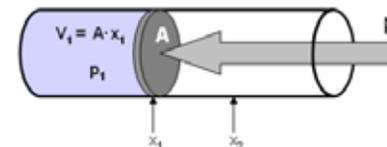


$$w = - \int_{V_1}^{V_2} p_{\text{ext}} dV = - p_{\text{ext}} \int_{V_1}^{V_2} dV = - p_{\text{ext}} (V_2 - V_1)$$

3

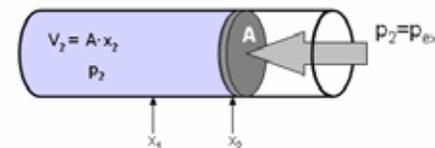
Wie viel Arbeit kann bei **irreversibler Expansion gegen einen konstanten äußeren Druck** vom System an der Umgebung geleistet werden?

Ausgangssituation:

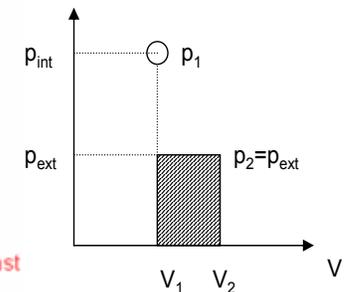


$p_{\text{ext}} = \text{const}$

Endstadium:



**pV Diagramm:**



**schrattierte Fläche entspricht der geleisteten Arbeit**

4

1. Grundbegriffe
2. Temperatur und Nullter Hauptsatz
3. Eigenschaften des idealen Gases
4. Reale Gase
5. Erster Hauptsatz der Thermodynamik

innere Energie, Arbeit, Wärme  
Vorzeichenkonvention

Arbeit in der Thermodynamik

irreversible Expansion

reversible isotherme Expansion

reversible adiabatische Expansion

Wärme, Wärmekapazität, Enthalpie

irreversible Expansion

$$w = -p_{\text{ext}}(V_2 - V_1)$$

reversible isotherme Expansion

$$w = -nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \quad \text{f. Ideales Gas}$$

$$w = -\int_{V_1}^{V_2} p_{\text{ext}} dV = -\int_{V_1}^{V_2} p_{\text{int}} dV = -\int_{V_1}^{V_2} p(T, V) dV = -nRT \ln(V_2/V_1)$$

1. Grundbegriffe
2. Temperatur und Nullter Hauptsatz
3. Eigenschaften des idealen Gases
4. Reale Gase
5. Erster Hauptsatz der Thermodynamik

innere Energie, Arbeit, Wärme  
Vorzeichenkonvention

Arbeit in der Thermodynamik

irreversible Expansion

reversible isotherme Expansion

adiabatische reversible Expansion

Wärme, Wärmekapazität, Enthalpie

adiabatische reversible Expansion – kein Wärmekontakt

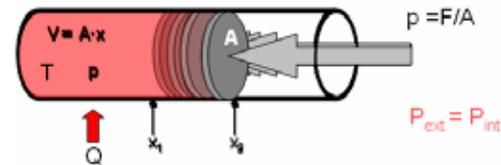
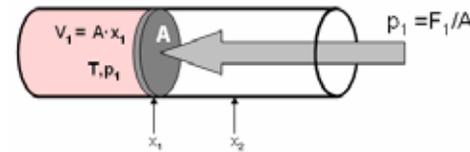
1.HS:  $\delta q = 0 \rightarrow \delta w = dU$

$$w = \int_{\text{Anfangszust.}}^{\text{Endzust.}} dU = \int_A^E \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV + \int_A^E \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT$$

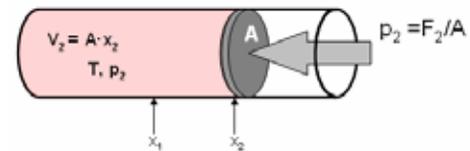
für id. Gas=0

Wieviel Arbeit kann bei **isothermer, reversibler Expansion** vom System an der Umgebung geleistet werden?

Anfangszustand:

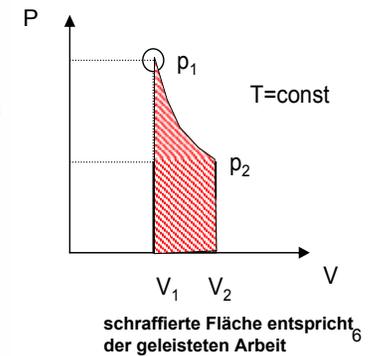


Endzustand:



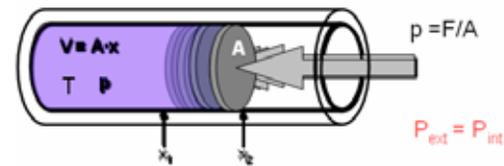
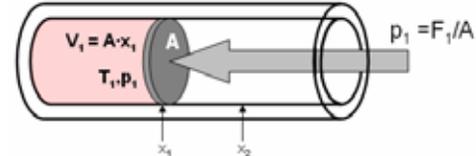
wichtig:  
Wärmekontakt zu Umgebung,  
Temperatur konstant

pV Diagramm:

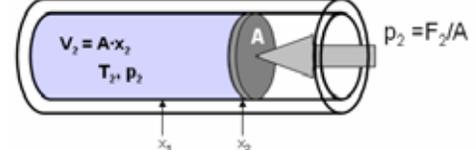


Wie viel Arbeit kann bei **adiabatischer, reversibler Expansion** vom System an der Umgebung geleistet werden?

Anfangszustand:



Endzustand:



wichtig:  
kein Wärmekontakt zu  
Umgebung (Q=0),  
Temperatur *variabel*  
W = ΔU

Problem:

$$w = \int_A^E \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV + \int_A^E \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT$$

für id. Gas=0

1. Grundbegriffe
2. Temperatur und Nullter Hauptsatz
3. Eigenschaften des idealen Gases
4. Reale Gase
5. Erster Hauptsatz der Thermodynamik

innere Energie, Arbeit, Wärme  
 Vorzeichenkonvention  
 Arbeit in der Thermodynamik  
 irreversible Expansion  
 reversible isotherme Expansion  
 reversible adiabatische Expansion

Wärme, Wärmekapazität, Enthalpie

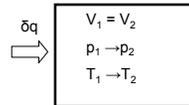
**Isochorer Prozeß**

$\Delta V = 0 \Rightarrow W=0$

spezifische molare Wärmekapazität

bei konstantem Volumen

$$C_{mv} = \frac{(\delta q)_V}{dT} := \left( \frac{\partial U_m}{\partial T} \right)_V$$



1. Grundbegriffe
2. Temperatur und Nullter Hauptsatz
3. Eigenschaften des idealen Gases
4. Reale Gase
5. Erster Hauptsatz der Thermodynamik

innere Energie, Arbeit, Wärme  
 Vorzeichenkonvention  
 Arbeit in der Thermodynamik  
 irreversible Expansion  
 reversible isotherme Expansion  
 reversible adiabatische Expansion

Wärme, Wärmekapazität, Enthalpie

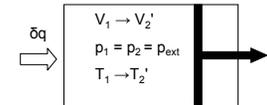
**Isobarer Prozeß**

$\Delta p = 0$

**Enthalpie  $H := U + PV$**

mit der Umgebung ausgetauschte Wärmemenge

ist gleich der Änderung der *Enthalpie*



1. Grundbegriffe
2. Temperatur und Nullter Hauptsatz
3. Eigenschaften des idealen Gases
4. Reale Gase
5. Erster Hauptsatz der Thermodynamik

innere Energie, Arbeit, Wärme  
 Vorzeichenkonvention  
 Arbeit in der Thermodynamik  
 irreversible Expansion  
 reversible isotherme Expansion  
 reversible adiabatische Expansion

Wärme, Wärmekapazität, Enthalpie

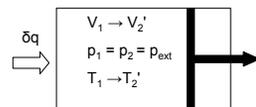
**Isobarer Prozeß**

$\Delta p = 0$

spezifische molare Wärmekapazität

bei konstantem Druck

$$C_{mp} = \frac{(\delta q)_p}{dT} := \left( \frac{\partial H_m}{\partial T} \right)_p$$



**Enthalpie**

$H := U + PV$

1. Grundbegriffe
2. Temperatur und Nullter Hauptsatz
3. Eigenschaften des idealen Gases
4. Reale Gase
5. Erster Hauptsatz der Thermodynamik

innere Energie, Arbeit, Wärme  
 Vorzeichenkonvention  
 Arbeit in der Thermodynamik  
 irreversible Expansion  
 reversible isotherme Expansion  
 reversible adiabatische Expansion

Wärme, Wärmekapazität, Enthalpie

**$U_m(V, T)$**

**totales Differential von U**

$$dU_m(V, T) = \underbrace{\left( \frac{\partial U_m}{\partial T} \right)_V}_{C_{mv}} dT + \left( \frac{\partial U_m}{\partial V} \right)_T dV$$

**$H_m(p, T)$**

**totales Differential von H**

$$dH_m(p, T) = \underbrace{\left( \frac{\partial H_m}{\partial T} \right)_p}_{C_{mp}} dT + \left( \frac{\partial H_m}{\partial p} \right)_T dp$$