

Volumenänderungsarbeit W_V :

$$dW_V = F \cdot ds$$

$$= p \cdot A \cdot ds$$

$$W_{V12} = \int_1^2 dW_V = - \int_1^2 p dV \quad (\text{differenzielle Form})$$

$$= - \int_1^2 p dV \quad (\text{integrale Form})$$

Kolbenarbeit W_K

$$dW_K = F_{\text{ext}} ds = -(p - p_a) dV$$

$$W_{K12} = - \int (p - p_a) dV$$
$$= - \int p dV + p_a (V_2 - V_1)$$

Innere Energie U

$u := \frac{U}{m}$ spezifische innere Energie

$$dU = dW_V$$
$$U_2 - U_1 = \int_1^2 dU = - \int_1^2 p dV = W_{V,12}$$

mikroskopisch:

kinetische Energie

potenzielle Energie

- chemische Energie

- atomare Energie

- Kernenergie

- $E = mc^2$

Nullpunkt der inneren Energie:

wird "arbiträr" gewählt

Wärme Q

ist wegunabhängig

$$dU = dW_v + dQ$$

Wann? : Ausnahme: Q sei Zustandsgröße $\uparrow \uparrow$

$$U_2 - U_1 = W_{v12} + Q_{12}$$

$$\Rightarrow W_{v12} = U_2 - U_1 - Q_{12} \Rightarrow W_{v12} \text{ ist wegunabhängig}$$

Dissipationsarbeit W_{diss}

entspricht irreversiblen Prozessen

$W_{diss,12} = 0 \Leftrightarrow$ Prozess 1-2 ist reversibel

$$dW_{diss} > 0$$

1. Hauptgesetz: $\Rightarrow -pdV$

$$dU = dW_v + dQ + dW_{diss}$$

$$U_2 - U_1 = W_{v12} + Q_{12} + W_{diss,12} - \int_1^2 p dV$$