

sich alle extensiven Größen des Bereiches in gleichem Maß. Beispiele sind Volumen, Masse, Energie und Entropie.

Zustandsgrößen

Eine Zustandsgröße oder Zustandsfunktion Y ist eine physikalische Größe, die nur vom gegenwärtigen Zustand des Systems abhängt, unabhängig davon, wie dieser Zustand erreicht wurde. Wichtige Zustandsgrößen sind:

- Innere Energie (U)
- Enthalpie (H)
- Entropie (S)
- Freie Energie (F)
- Freie Enthalpie (G)
- Pot. und kin. Energie (E)

Zustandsänderungen

Der Prozeß als Ursache hat eine Zustandsänderung zur Folge. Beim Heben einer Masse wird Hubarbeit (**Prozeßgröße**) verrichtet und hierbei die potentielle Energie (**Zustandsgröße**) vergrößert. Zur Beschreibung von Zustandsänderungen benutzt man das Δ -Zeichen und bildet die Differenz zwischen dem Wert der entsprechenden Zustandsfunktion nach und vor der Umwandlung.

$$\Delta Y = \sum \nu_i Y_i (\text{Produkte}) - \sum \nu_i Y_i (\text{Edukte})$$

ΔY Reaktionsgröße (Umwandlungsgröße)

Y_i Einzelgrößen des Endzustands (Produkte) und des Ausgangszustands (Edukte)

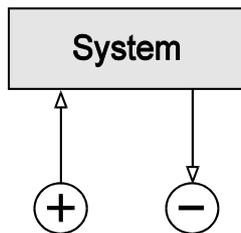
ν_i stöchiometrischer Koeffizient

Zur Kennzeichnung von Zustandsänderungen werden spezielle Begriffe verwendet:

- isotherm (bei konstanter Temperatur)
- isochor (bei konstantem Volumen)
- isobar (bei konstantem Druck)
- isentrop (bei konstanter Entropie)

Vorzeichenkonvention

Die Werte von Zustandsgrößen beziehen sich ausschließlich auf stoffliche Systeme. Wird einem Stoff oder System Energie zugeführt, so erhöht sich dessen Energieinhalt.



Jede dem System zugeführte Energie - gleich welcher Art - wird **positiv** gezählt. Die von einem System abgegebene Energie erhält dann ein **negatives** Vorzeichen.

T

Standardbedingungen

Viele physikalisch-chemische Daten werden für bestimmte Bedingungen tabelliert. Die **Standardwerte für Druck und Temperatur (SATP)** sind 298,15 K (= 25 °C) und 100 kPa (= 1 bar) und durch den **Index** [Ⓢ] gekennzeichnet.

Allgemeine Gaskonstante

$$R = \frac{p \cdot V}{n \cdot T}$$

p	Druck
V	Volumen
n	Stoffmenge
T	absolute Temperatur

Zahlenwert von R	Einheiten für:		
	$p V$	T^{-1}	n^{-1}
8,314 1	J = Nm	K ⁻¹	mol ⁻¹
8,314 1	kPa dm ³	K ⁻¹	mol ⁻¹
0,083 14	l bar	K ⁻¹	mol ⁻¹
$2,309 5 \cdot 10^{-6}$	kWh	K ⁻¹	mol ⁻¹
62,58	mmHg l	K ⁻¹	mol ⁻¹

T.2 Erster Hauptsatz

Verändert sich ein geschlossenes System von einem Zustand in einen anderen auf beliebige Weise, so sind die ausgetauschte Wärme und Arbeit immer gleich der Änderung der Inneren Energie.

$$Q + W = (U_E - U_A) + (E_{E, \text{pot}} - E_{A, \text{pot}}) + (E_{E, \text{kin}} - E_{A, \text{kin}})$$

- W** Arbeit
Q Wärme
U Innere Energie
E_{pot} potentielle Energie
E_{kin} kinetische Energie
A, E Anfangszustand, Endzustand

Mechanische Arbeit

$$W_M = \int_A^E F(z) dz$$

- F** Kraft
dz Differential der Entfernung von A nach E
 Sonderfall: $W_M = F(z_E - z_A)$ $F = \text{konst.}$

Volumenänderungsarbeit

$$W_V = - \int_A^E p \, dV$$

p Druck im System

V Volumen (A = Anfangszustand, E = Endzustand)

Sonderfälle: $W_V = -p (V_E - V_A)$ $p = \text{konst.}$

$W_V = 0$ $V = \text{konst.}$

Reversibler Prozeß

Unter einem reversiblen Vorgang versteht man in der Thermodynamik einen Vorgang, der durch **infinitesimale Änderung** einer Variablen umgekehrt werden kann. Es gilt für reversible Prozesse und ideale Gase und konstante Temperatur:

$$W_V = - n \cdot R \cdot T \cdot \ln (V_E/V_A)$$

W_V Volumenänderungsarbeit

n Stoffmenge des Gases

R allgemeine Gaskonstante

T absolute Temperatur

V Volumen (A = Anfangszustand, E = Endzustand)

Wärme

Wärme ist eine Prozeßgröße, die immer von dem System höherer Temperatur zu dem System niedrigerer Temperatur übertragen wird. Sie wird stets mit dem ersten Hauptsatz berechnet, wobei potentielle und kinetische Energie in der Regel vernachlässigbar sind.

T

$$\begin{array}{ll} \text{Sonderfälle:} & W = 0 & Q = U_E - U_A \\ & Q = 0 & W = U_E - U_A \\ & T = \text{konst.} & Q + W = 0 \end{array}$$

Wärmekapazität

Die Wärmekapazität hängt von der auf die Temperaturerhöhung bezogenen zugeführten Wärme und von den Bedingungen ab, unter denen dem System Wärme zugeführt wird.

$$C_V = \left(\frac{\Delta U}{\Delta T} \right)_V \quad \Delta V = 0 \qquad C_p = \left(\frac{\Delta H}{\Delta T} \right)_p \quad \Delta p = 0$$

T

C_V Wärmekapazität bei konstantem Volumen

C_p Wärmekapazität bei konstantem Druck

ΔU Änderung der Inneren Energie

ΔH Änderung der Enthalpie

ΔT Temperaturerhöhung

$$C_{m,V} = \frac{C_V}{n} \quad \Delta V = 0 \qquad C_{m,p} = \frac{C_p}{n} \quad \Delta p = 0$$

$C_{m,V}$ molare Wärmekapazität bei konstantem Volumen

$C_{m,p}$ molare Wärmekapazität bei konstantem Druck

Für ideale Gase gilt:

$$C_p - C_V = n \cdot R \quad \text{bzw.} \quad C_{m,p} - C_{m,V} = R$$

n Stoffmenge

R allgemeine Gaskonstante