

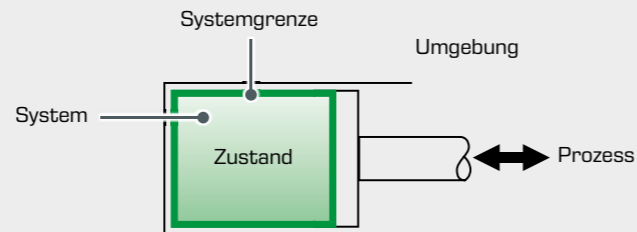
Basiswissen Thermodynamische Zustandsgrößen

Thermodynamische Zustandsgrößen und -funktionen

Zustandsgrößen sind die messbaren Eigenschaften eines Systems. Um den Zustand eines Systems zu beschreiben, müssen mindestens zwei unabhängige Zustandsgrößen angegeben werden.

Zu den thermodynamischen Zustandsgrößen gehören:

- Druck (p)
- Temperatur (T)
- Volumen (V)
- Stoffmenge (n)

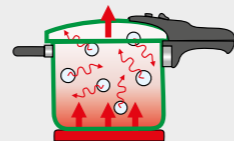


Aus den Zustandsgrößen lassen sich die Zustandsfunktionen ableiten:

- **innere Energie (U):** die thermische Energie des ruhenden, geschlossenen Systems. Prozesse bewirken durch von außen zugeführte Energie eine Änderung der inneren Energie.

$$\Delta U = Q + W$$

- ▶ Q : dem System zugeführte Wärmeenergie
- ▶ W : am System verrichtet mechanische Arbeit, die eine Wärmezufuhr bewirkt



Eine Erhöhung der inneren Energie des Systems am Beispiel eines Druckkochtopfes

- **Enthalpie (H):** definiert als Summe aus innerer Energie und der Verschiebearbeit $p \times V$

$$H = U + p \times V$$

- **Entropie (S):** gibt Aufschluss über die Ordnung in einem System und die damit verbundenen Anordnungsmöglichkeiten der Teilchen im System. Die Entropieänderung dS wird **reduzierte Wärme** genannt.

$$dS = \delta Q_{rev} / T$$

- ▶ δQ_{rev} : reversible Wärmeänderung
- ▶ T : absolute Temperatur



Dampfmaschine

Als die Dampfmaschine vor mehr als 200 Jahren entwickelt wurde, fragten sich Physiker, warum nur wenige Prozent der thermischen Energie in mechanische Energie umgewandelt wurden. Der Begriff Entropie wurde von Rudolf Clausius eingeführt, um erklären zu können, warum der Wirkungsgrad von Wärmekraftmaschinen auf wenige Prozent begrenzt ist. Wärmekraftmaschinen wandeln einen Temperaturunterschied in mechanische Arbeit um. Zu Wärmekraftmaschinen gehören z.B. Dampfmaschinen, Dampfturbinen oder Verbrennungsmotoren.



V6 Motor eines Rennwagens



Laufrad einer Dampfturbine im ausgebauten Zustand

Zustandsänderung von Gasen

In der Physik wurde eine idealisierte Modellvorstellung eines realen Gases eingeführt, um Prozesse von Gasen vereinfacht erklären zu können. Dieses Modell stellt eine starke Vereinfachung der realen Zustände dar und wird als ideales Gas bezeichnet. Viele thermodynamische Prozesse von Gasen lassen sich mit Hilfe der Modellvorstellung erklären und mathematisch beschreiben.

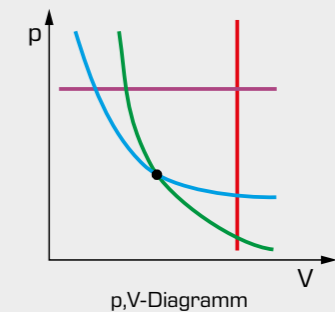
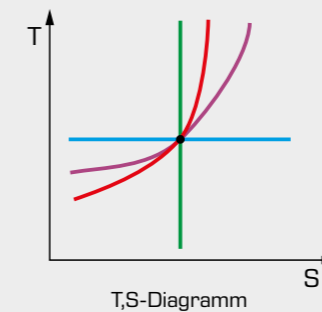
Zustandsgleichung für ideale Gase:

$$p \times V = m \times R_s \times T$$

- ▶ m : Masse
- ▶ R_s : spez. Gaskonstante des jeweiligen Gases

Zustandsänderungen eines idealen Gases

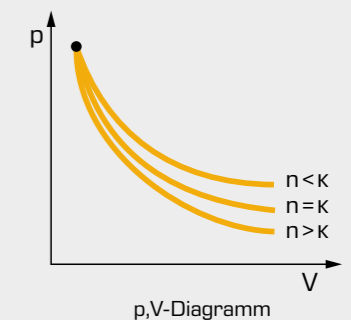
Zustandsänderung	isochor	isobar	isotherm	isentrop
Bedingung	$V = \text{konstant}$	$p = \text{konstant}$	$T = \text{konstant}$	$S = \text{konstant}$
Folge	$dV = 0$	$dp = 0$	$dT = 0$	$dS = 0$
Gesetzmäßigkeit	$p/T = \text{konstant}$	$V/T = \text{konstant}$	$p \times V = \text{konstant}$	$p \times V^{\kappa} = \text{konstant}$ $\kappa = \text{Isentropen-exponent}$



Zustandsänderungen lassen sich in Diagrammen anschaulich darstellen.

Zustandsänderungen unter realen Bedingungen

Zustandsänderung	polytrop
Bedingung	technischer Prozess unter realen Bedingungen
Folge	Wärmeaustausch mit der Umgebung
Gesetzmäßigkeit	$p \times V^n = \text{konstant}$ $n = \text{Polytropenexponent}$



Die oben genannten Zustandsänderungen sind Sonderfälle der polytropen Zustandsänderung, bei der ein Teil der Wärme mit der Umgebung ausgetauscht wird.

- isochor $n \rightarrow \infty$
- isobar $n = 0$
- isotherm $n = 1$
- isentrop $n = \kappa$

polytrope Zustandsänderungen mit unterschiedlichem Wärmeaustausch:
 $n < \kappa$ Wärmeabgabe,
 $n > \kappa$ Wärmeaufnahme