

MOTORTHERMODYNAMIK

Dr.-Ing. Karl W. Najar

Universität Rostock

Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und Verbrennungsmotoren

Wintersemester 2020 / 2021





Inhaltsverzeichnis

1. Literatur

2. Einführung

2.1. Grundbegriffe der Thermodynamik

2.2. Schreibweise

2.3. Energieformen

2.4. Zustandsänderungen

2.5. Bilanzierung

2.6. Thermische Zustandsgleichung

2.7. Kalorische Zustandsgleichungen

2.8. Rechtsläufige Kreisprozesse

2.9. Vereinfachter Vergleichsprozess

2.10. Realer Kreisprozess

2.11. Motorische Kenngrößen



Inhaltsverzeichnis

3. Modellierung des Motorinnenprozesses

3.1. Motorinnenprozess

3.2. Verbrennungsmodelle

3.2.1. Nulldimensionale thermodynamische Modelle

3.2.2. Phänomenologische Mehrzonenmodelle

3.2.2.1. Verbrennungsmodelle für Ottomotoren

3.2.2.2. Verbrennungsmodelle für Dieselmotoren

3.2.2.3. Verbrennungsmodelle für Dual-Fuel-Motoren

3.2.3. Dreidimensionale Modelle

3.3. Modellierung von Schadstoffentstehungsmechanismen

4. Verbrennungsdiagnostik

4.1. Optische Messverfahren

4.2. Druckindizierung



1. Literatur

- Merker, G. P., Teichmann, R. „Grundlagen Verbrennungsmotoren.“ Springer Fachmedien.
- Pischinger, R., Klell, M., & Sams, T. „Thermodynamik der Verbrennungskraftmaschine.“ Springer-Verlag.
- Bosnjakovic, F., & Knoche, K. F. „Technische Thermodynamik.“ Springer-Verlag.
-

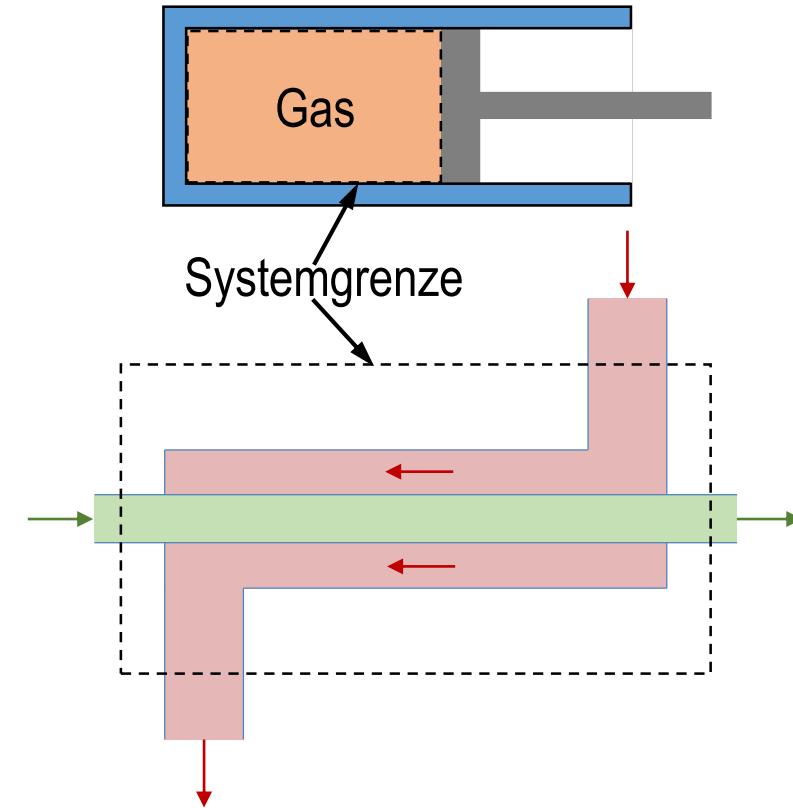




2. Einführung

2.1. Grundbegriffe der Thermodynamik

- Das thermodynamische System
 - Es ist definiert als feste Materiemenge oder feste Region im Raum.
 - Alles außerhalb des thermodynamischen Systems heißt Umgebung.
 - Die materielle oder gedachte Oberfläche, die das System von seiner Umgebung trennt, wird als Systemgrenze bezeichnet.
 - Die Systemgrenze sollte stets in Abhängigkeit vom Ziel der thermodynamischen Untersuchung festgestellt werden.

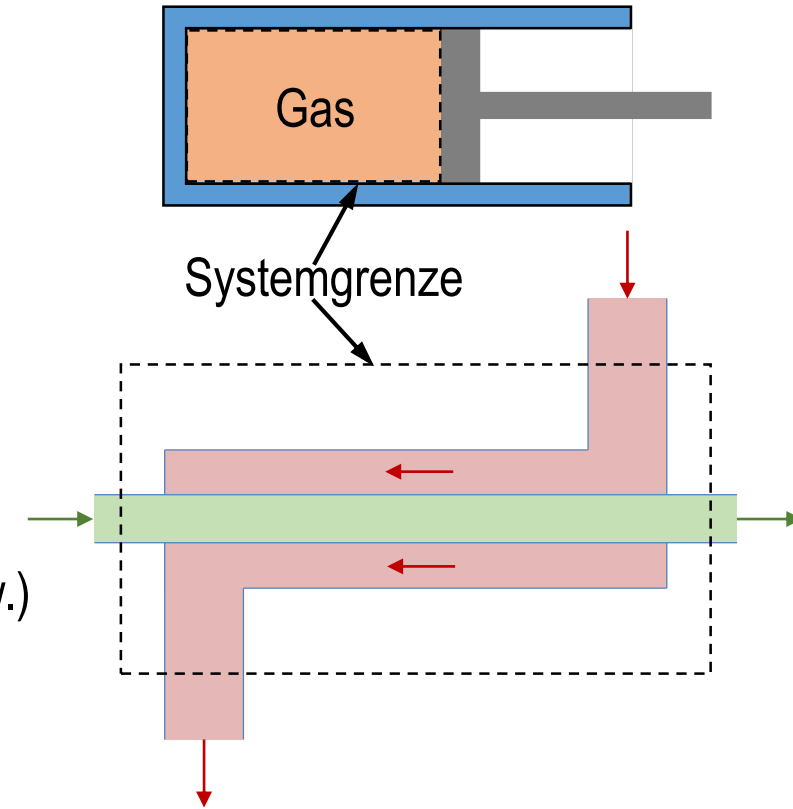


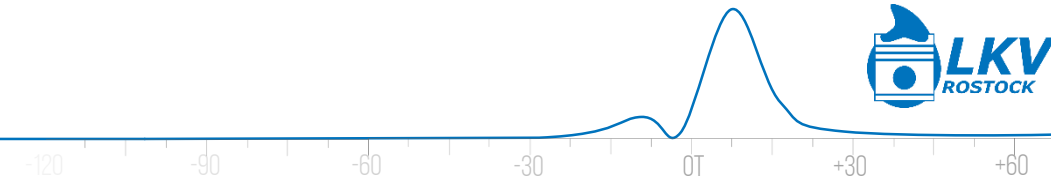


2. Einführung

2.1. Grundbegriffe der Thermodynamik

- Das thermodynamische System
 - Klassifizierung nach:
 - System-Umgebung-Wechselwirkung
 - Stofftransport (offenes, geschlossenes usw.)
 - Nichtstoffgebundene Energietransport (adiabat, diatherm usw.)
 - Eigenschaften der im System befindlichen Stoffe
 - Chemische Eigenschaften (Ein- oder Mehrstoffsysteme)
 - Physikalische Eigenschaften (Ein- oder Mehrphasensysteme)
 - Ein **homogenes** System → die physikalischen und chemischen Eigenschaften sind ortsunabhängig.





2. Einführung

2.1. Grundbegriffe der Thermodynamik

- Das thermodynamische System
 - Der **Zustand** eines thermodynamischen Systems wird durch eine Reihe von physikalischen Eigenschaften definiert.
 - Diese physikalischen Variablen sind **Zustandsgrößen** genannt.
 - Extensive Zustandsgröße: $Z = \sum_i Z_i$ i Teilsysteme
 - Intensive Zustandsgröße: $Z = Z_i$

m
V
T
p
ρ

Intensive	Extensive	$m/2$	$m/2$
		$V/2$	$V/2$
		T	T
	Intensive	p	p
		ρ	ρ



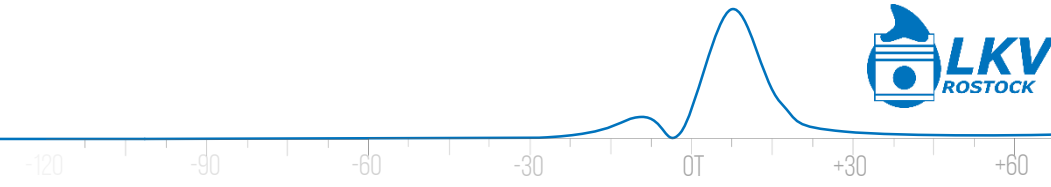
2. Einführung

2.1. Grundbegriffe der Thermodynamik

- Das thermodynamische System

- Spezifische Zustandsgröße: auf die Systemmasse bezogene extensive Zustandsgröße $z = Z/m$

- Molare Zustandsgröße: auf die Molzahl bezogene extensive Zustandsgröße $Z_M = Z/n$



2. Einführung

2.2. Schreibweise

- Zustandsgröße: beschreibt den Zustand des Systems → für jeden Kreisprozess gilt $\oint dZ = 0$

- Endliche Änderung: ΔZ

- Differentielle Änderung: dZ

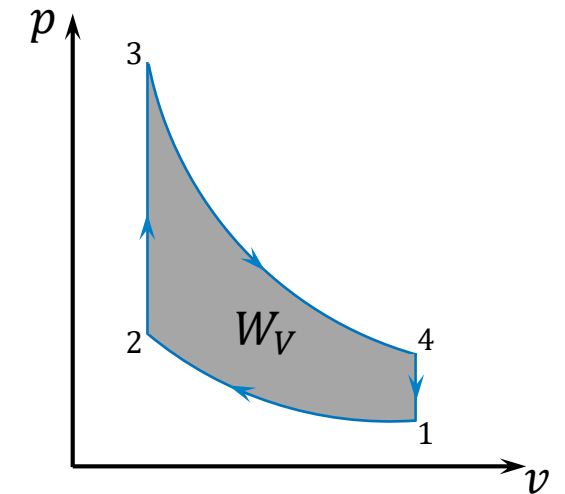
- Integration: $\Delta Z = Z_2 - Z_1 = \int_1^2 dZ$

- Prozessgröße: beschreibt die Zustandsänderung → vom Weg der Änderung abhängig

- Endliche Größe: Z

- Differentielle Größe: δZ

- Integration: $Z = \int_1^2 \delta Z$





2. Einführung

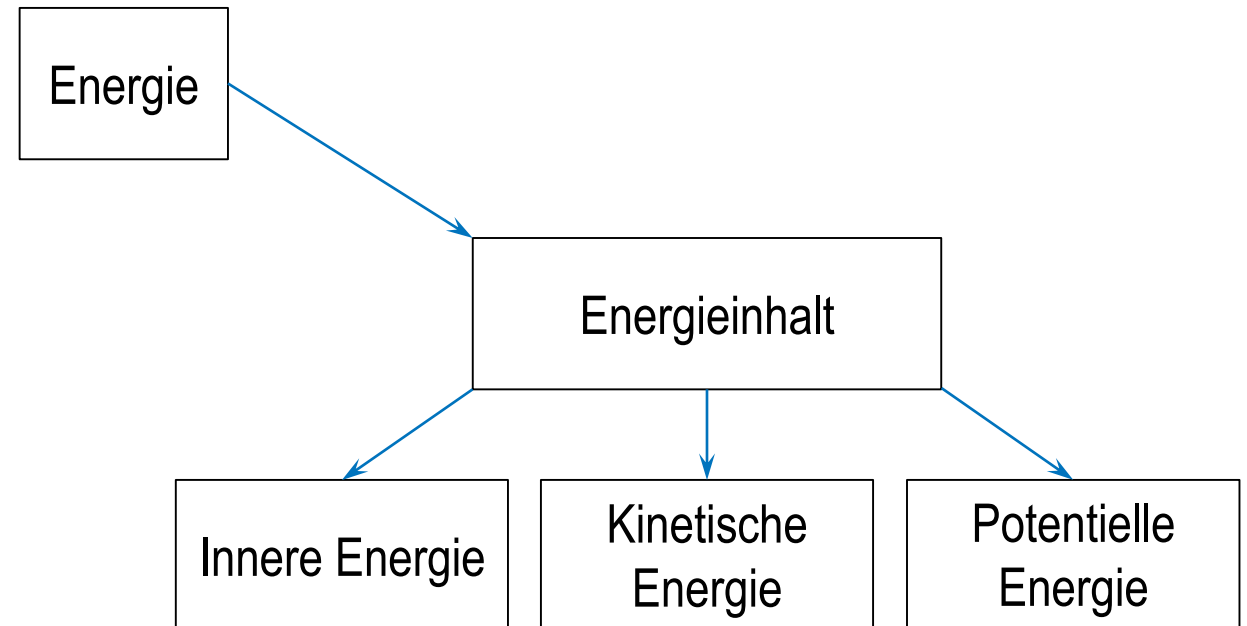
2.3. Energieformen

- Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten.
- Arbeit ist Kraft mal zurückgelegtem Weg: $W = \int \vec{F}(\vec{s}) \cdot d\vec{s}$
 - Volumenänderungsarbeit: $W_V = - \int p \cdot dV$
 - Technische Arbeit: $W_t = \int V \cdot dp + \int \delta W_R$
 -

2. Einführung

2.3. Energieformen

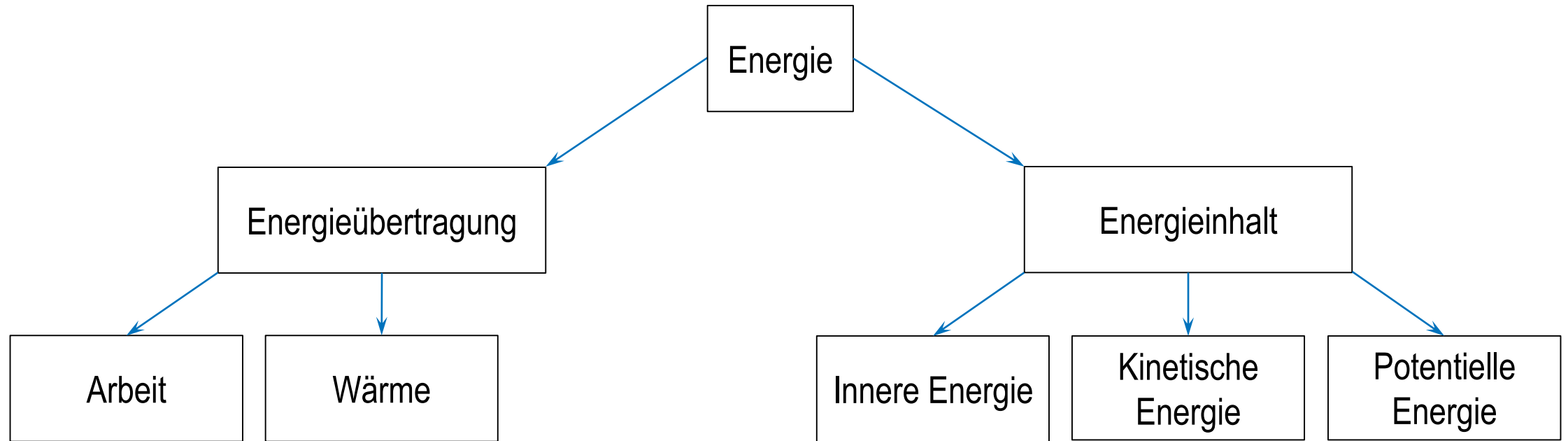
- Energieinhalt:
 - Innere Energie: die gesamte Energie eines Systems, das sich im thermodynamischen **Gleichgewicht** befindet.
 - Kinetische Energie: $e_{kin} = \frac{c^2}{2}$
 - Potentielle Energie: $e_{pot} = g \cdot z$





2. Einführung

2.3. Energieformen



2. Einführung

2.3. Energieformen

- Die Wärme ist die Energie, die allein durch einen Temperaturunterschied zwischen dem System und seiner Umgebung transportiert wird.
- Arten der Wärmeübertragung:
 - Wärmeleitung (das Fouriersche Gesetz)

$$\dot{Q} = -\lambda \cdot A \cdot \text{grad}(T)$$

- Wärmestrahlung
- Konvektion (Wärmeleitung in einer Grenzschicht)

$$\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot (T_W - T_{gas})$$