

# Physik I

Mechanik der Kontinua und Wärmelehre

**Thomas Schörner-Sadenius**



Universität Hamburg

Wintersemester 2014/15

# ORGANISATORISCHES

Thomas Schörner-Sadenius: Wissenschaftler (Teilchenphysik) am Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY)

Kontakt: [thomas.schoerner@desy.de](mailto:thomas.schoerner@desy.de)

Telefon 8998 3429

DESY, Notkestr. 85, Gebäude 1, Zimmer O2/337

Skript und Bücher:

- Vorlesungstemplate typisch zwei Tage vor Vorlesung auf dem Netz
- Bücher: Demtröder, Tipler, Giancoli, ...
- Wichtig, in mehr als einem Buch nebenher zu lesen!

# INHALTE

## 1. Mechanik der Kontinua

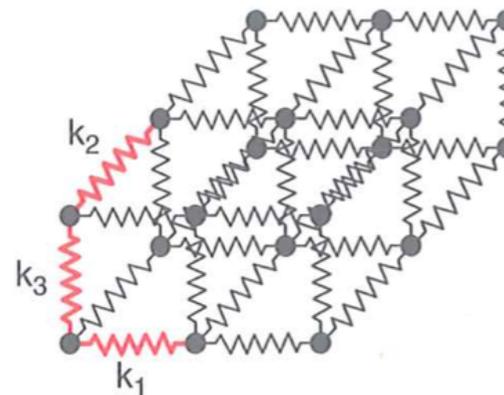
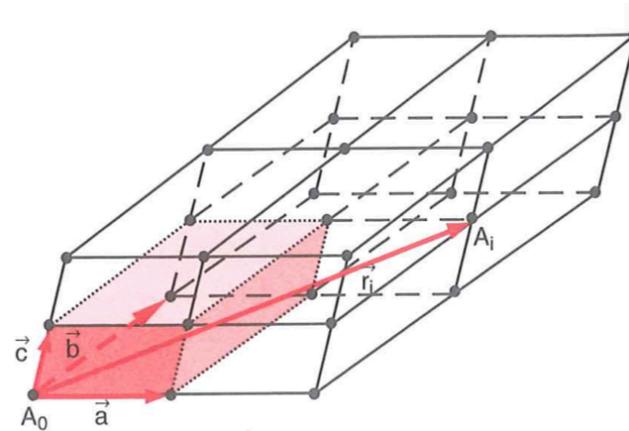
- 1.1 Festkörper (deformierbare Körper)
- 1.2 Flüssigkeiten (inkompressibel, hydrostatischer Druck)
- 1.3 Gase (Druck, Kompressibilität, barometrische Höhenformel)

## 2. Wärmelehre

- 2.1 Temperatur
- 2.2 thermische Ausdehnung
- 2.3 ideales Gas
- 2.4 kinetische Gastheorie
- 2.5 1. Hauptsatz der Wärmelehre
- 2.6 spezifische Wärmen und Zustandsänderungen
- 2.7 Kreisprozesse
- 2.8 Entropie und 2. Hauptsatz der Wärmelehre
- 2.9 reale Gase
- (2.10 Phasen und Phasenübergänge)

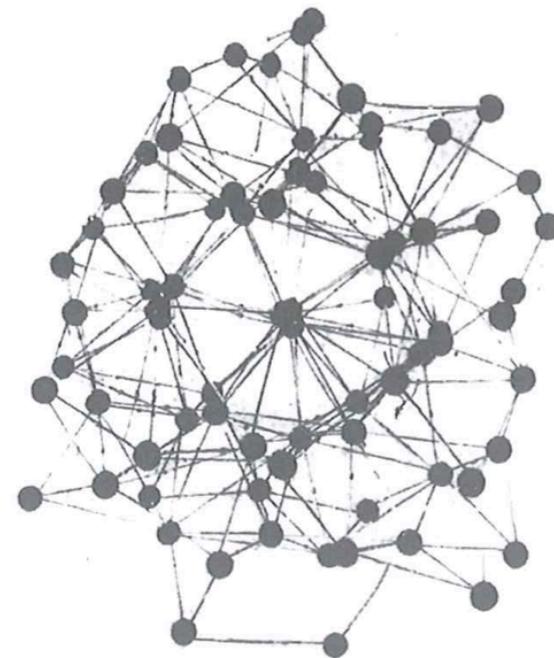
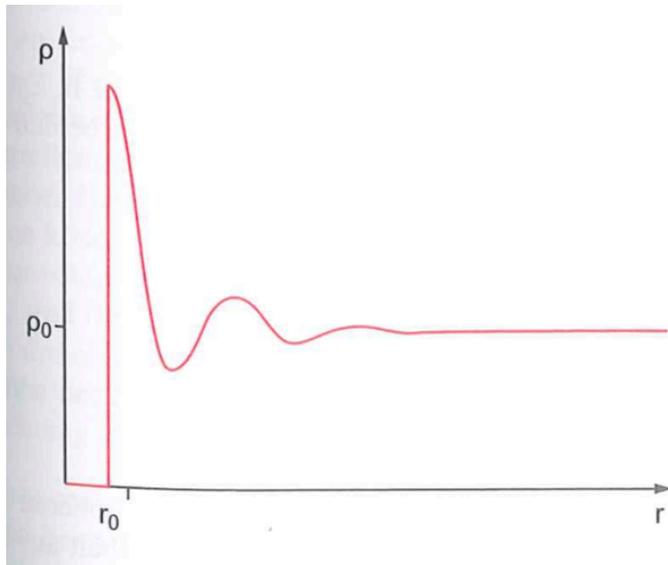
# 1. MECHANIK DER KONTINUA

# 1. FEST – FLÜSSIG – GASFÖRMIG



Bilder: Demtröder

# 1. FEST – FLÜSSIG – GASFÖRMIG



Bilder: Demtröder

# 1. DICHTEN

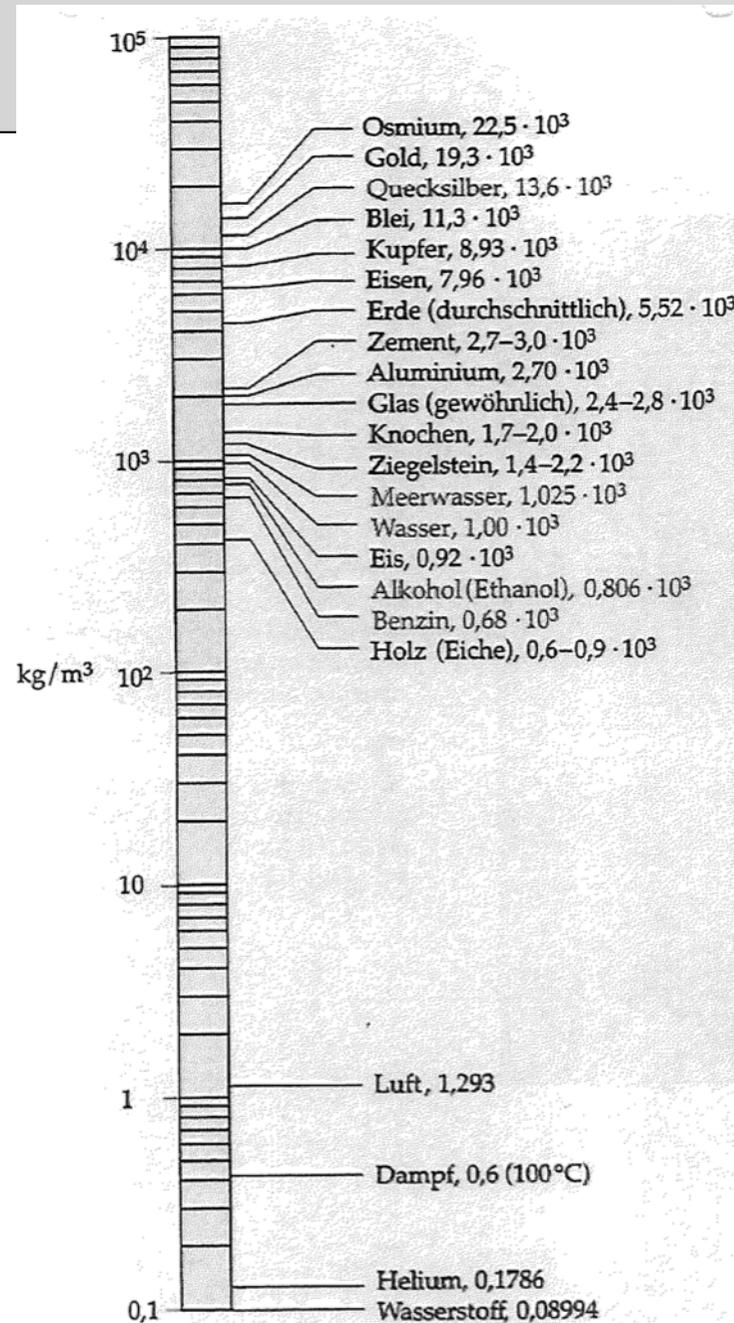


Bild: Tippler

# 1.1 FESTKÖRPER – ZUG, SPANNUNG, SCHERUNG

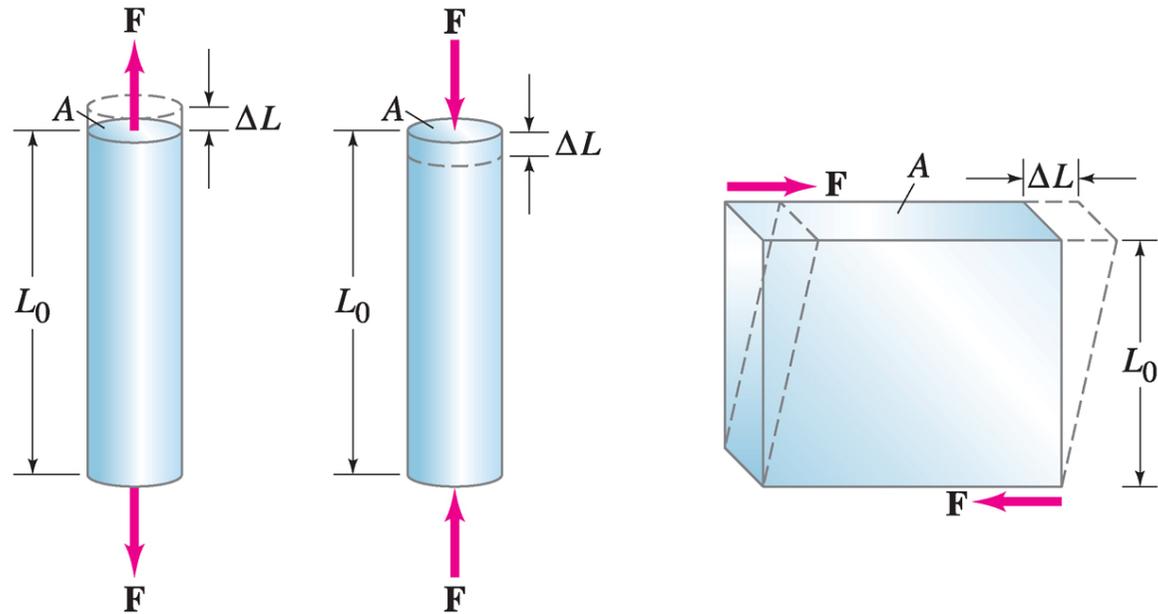
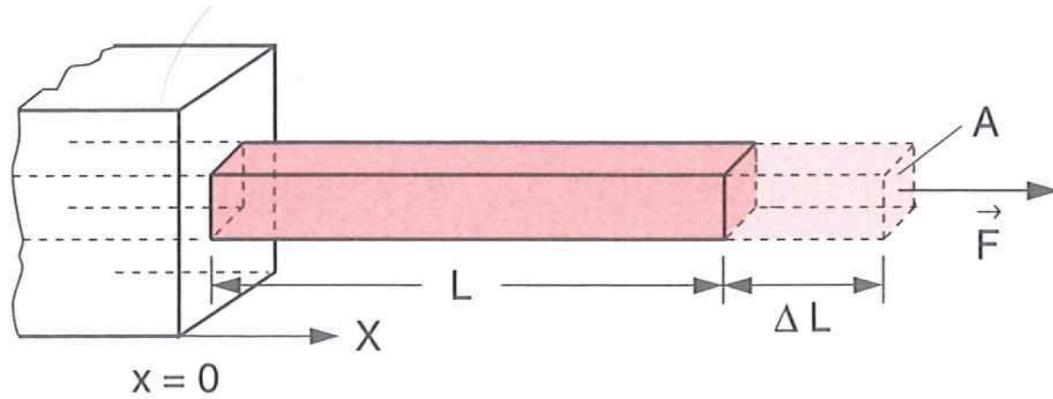


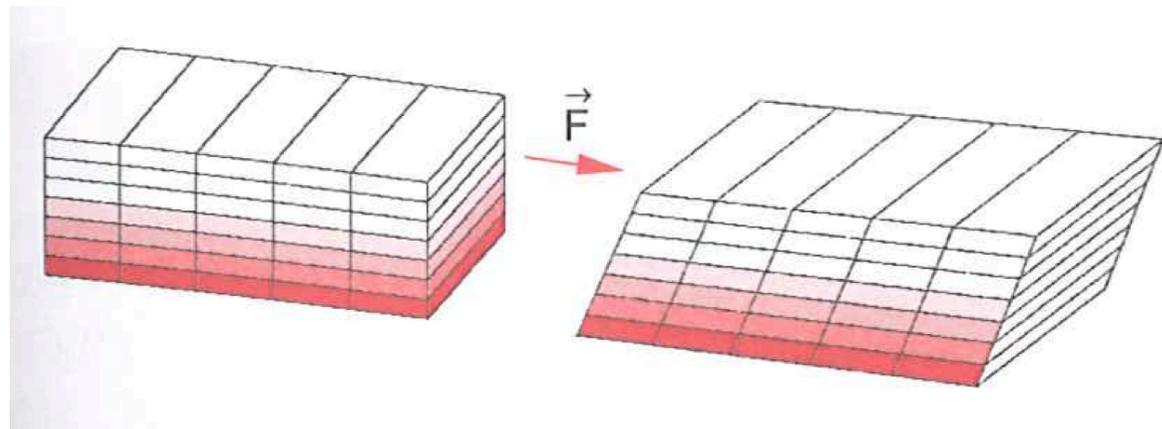
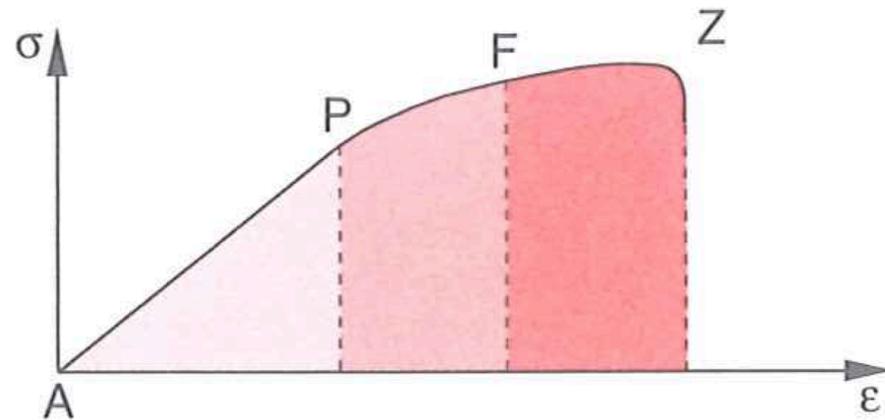
Bild: Giancoli

# 1.1 BEISPIELE I



Bilder: Demtröder

# 1.1 BEISPIELE I (fortgesetzt)



Bilder: Demtröder

## 1.1 BEISPIELE II



(a)



(b)

Bild: Giancoli

# 1.1 BEISPIELE III

## 1.2 FLÜSSIGKEITEN

## 1.2 HYDRAULISCHE PRESSE

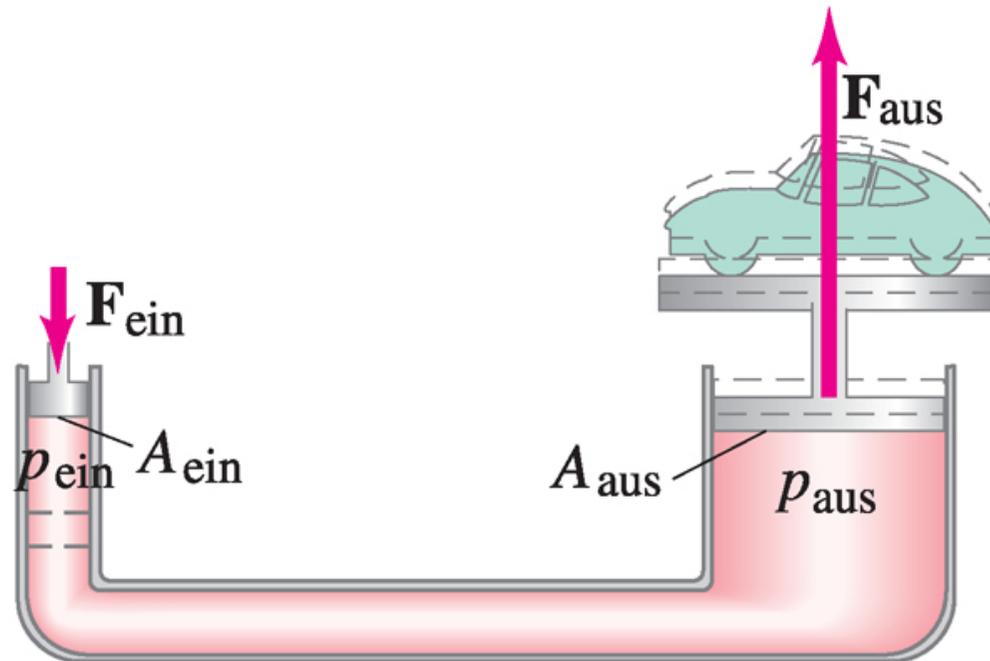


Bild: Giancoli

## 1.2 HYDROSTATISCHER SCHWEREDRUCK

## 1.2 KOMMUNIZIERENDE RÖHREN

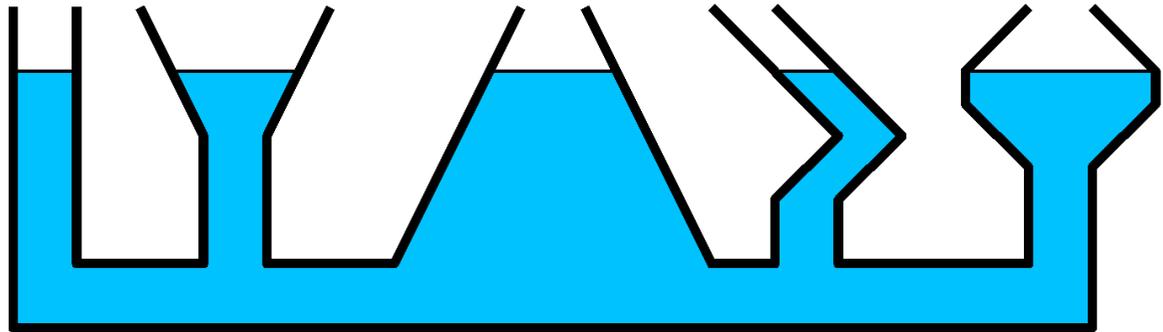


Bild: Wikipedia

## 1.2 AUFTRIEB

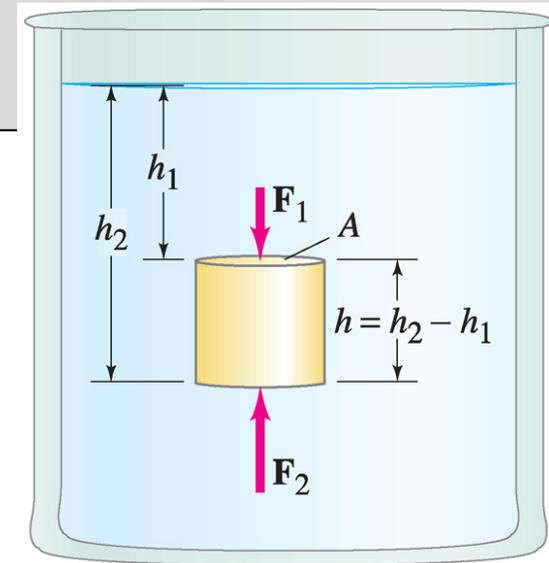


Bild: Giancoli

# 1.2 ARCHIMEDES UND KONSORTEN

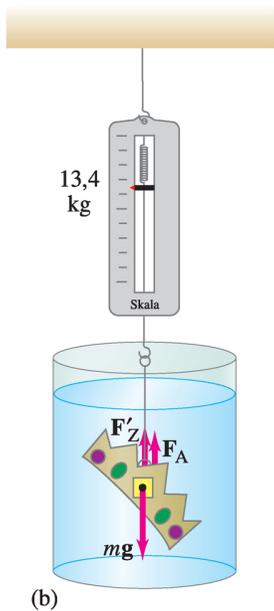
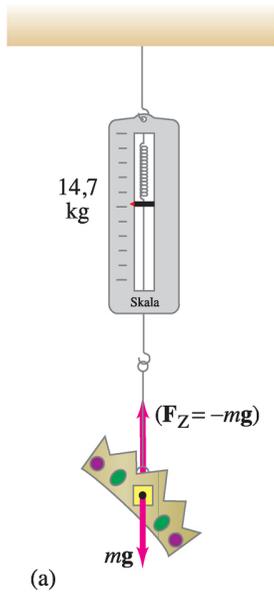


Bild: Giancoli

## 1.2 STRÖMENDE FLÜSSIGKEITEN I

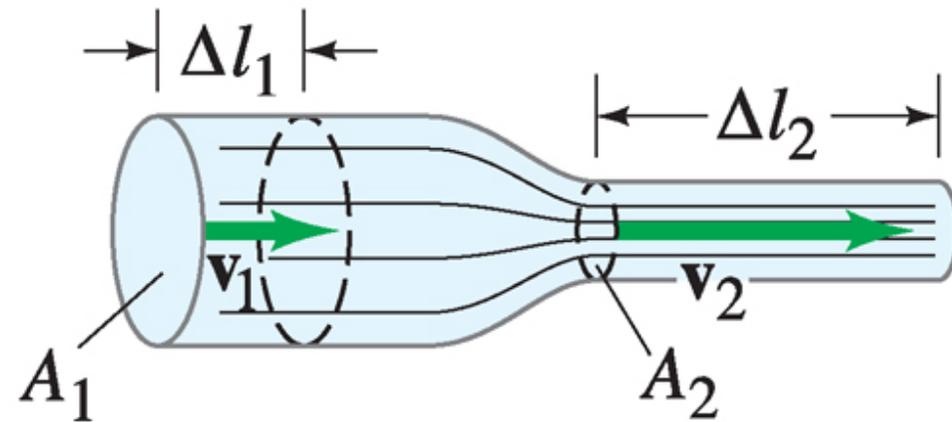


Bild: Giancoli

## 1.2 STRÖMENDE FLÜSSIGKEITEN IIa

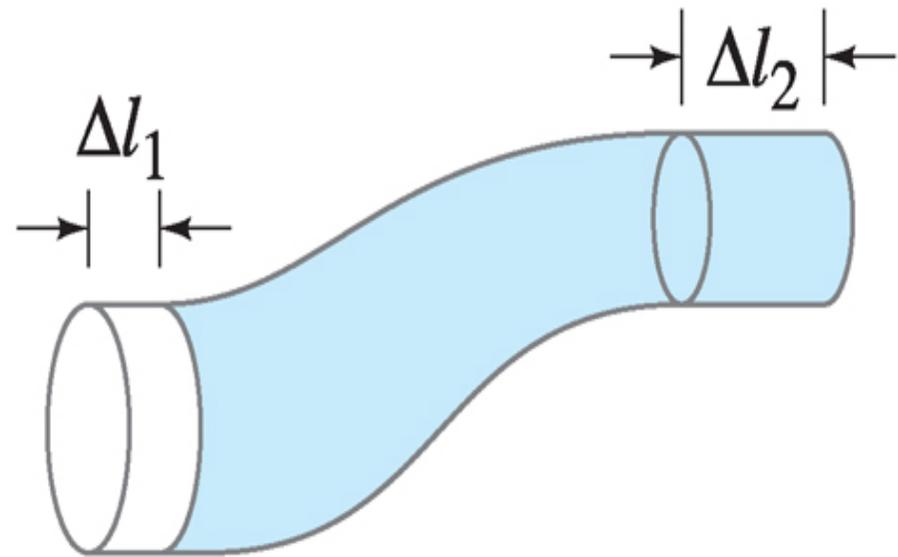
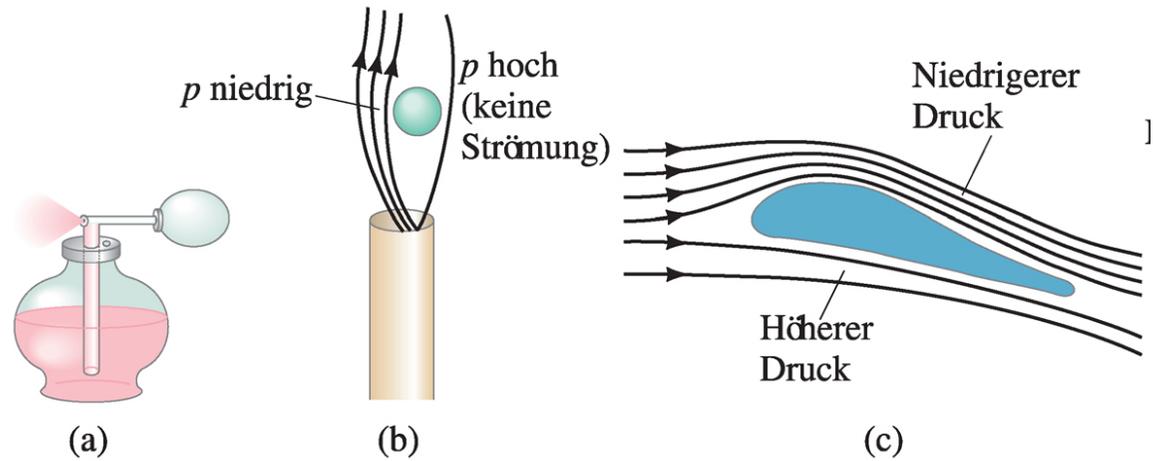
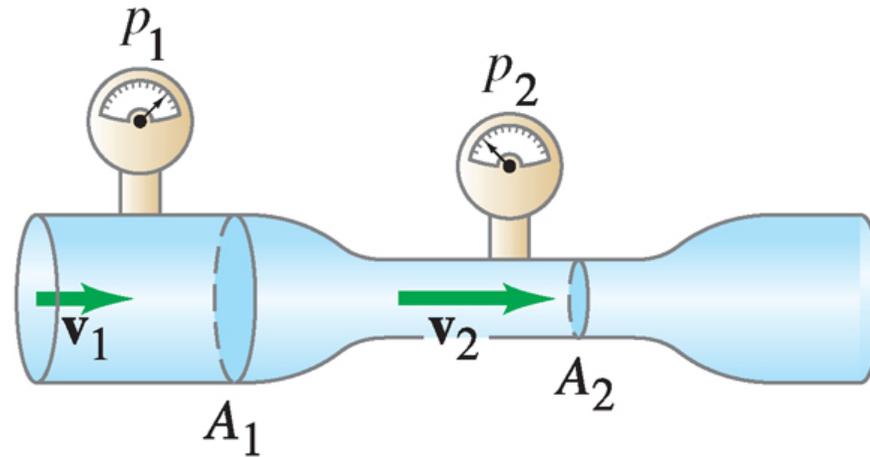


Bild: Giancoli

## 1.2 STRÖMENDE FLÜSSIGKEITEN IIb

Bild: Giancoli

# 1.2 ANMERKUNGEN UND VERSUCHE



Bilder: Giancoli

## 1.2 STRÖMUNGEN UND REIBUNG I

Hintergrund von Bernoulli: Newtonsche Bewegungsgleichung eines Volumenelements  $\Delta V$

Laminare Strömung: große Reibungskräfte; Stromlinien liegen nebeneinander

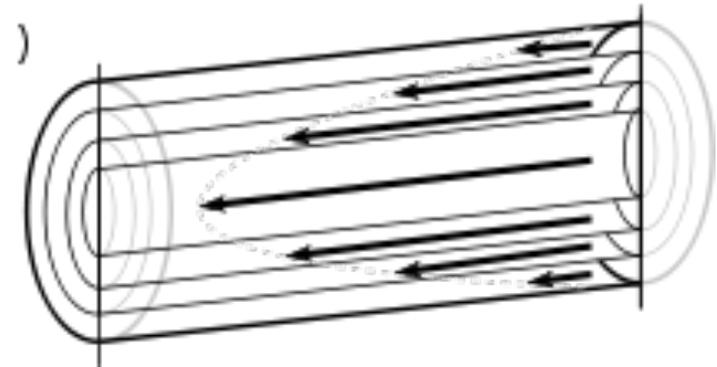
Turbulente Strömung entsteht durch Reibung zwischen Fluid und Wand / Hinderniss

→ Ausbildung von Wirbeln.

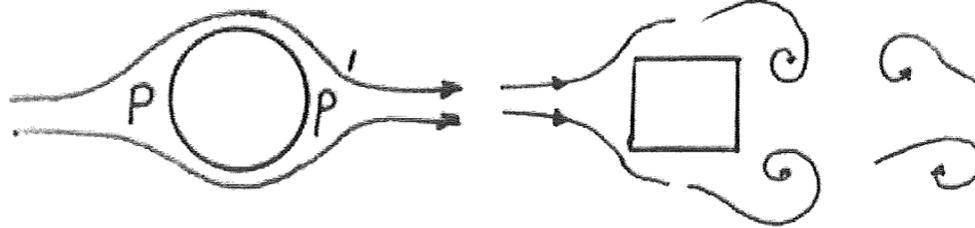
Charakteristisch: Reynolds-Zahl:

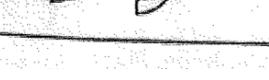
Beispiele: Mensch / Mikrobe in Wasser ( $\rho(\text{H}_2\text{O})=1 \text{ gcm}^{-3}$ ;  $\eta(\text{H}_2\text{O},20^\circ\text{C})=0.001 \text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$ )

## 1.2 STRÖMUNGEN UND REIBUNG II



# 1.2 STRÖMUNGEN UND REIBUNG III



Profil	$c_w$ -Wert
 Stromlinienprofil	0,06
 Tragfläche mit gewölbter Unterseite	0,1
 Tragfläche mit geradflacher Unterseite	0,2
 hohle Halbkugel	0,3-0,4
 Kugel	0,4
 Halbkugel	0,8
 Schelbe	1,2
 hohle Halbkugel	1,4

Bilder: Prof. Merkt, Demtröder

# 1.3 GASE

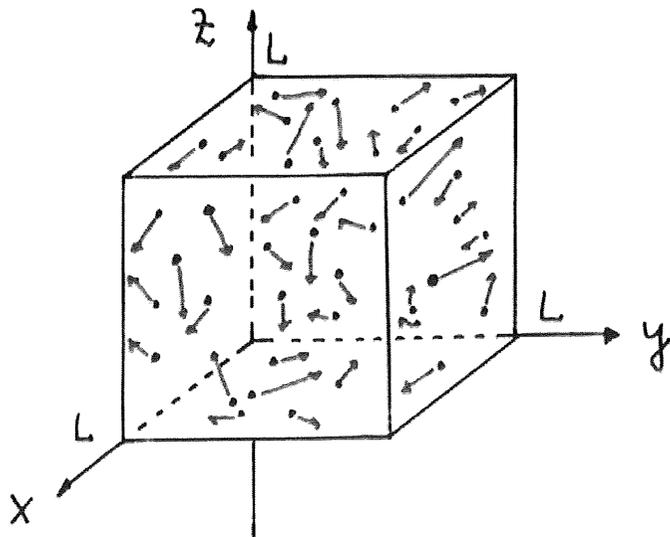
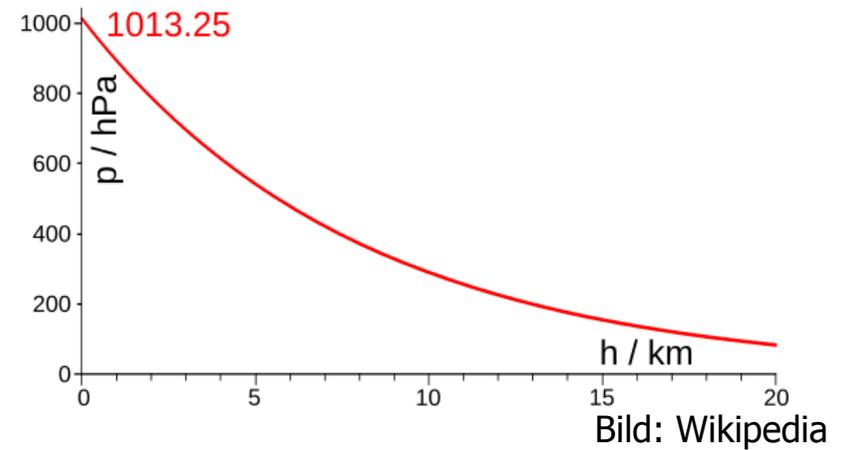


Bild: Prof. Merkt

## 1.3 GESETZE VON BOYLE-MARIOTTE / GAY-LUSSAC

## 1.3 LUFTDRUCK

# 1.3 BAROMETRISCHE HÖHENFORMEL



# 2 WÄRMELEHRE

# 2.1 TEMPERATUR

## 2.2 THERMISCHE AUSDEHNUNG I

## 2.2 THERMISCHE AUSDEHNUNG II

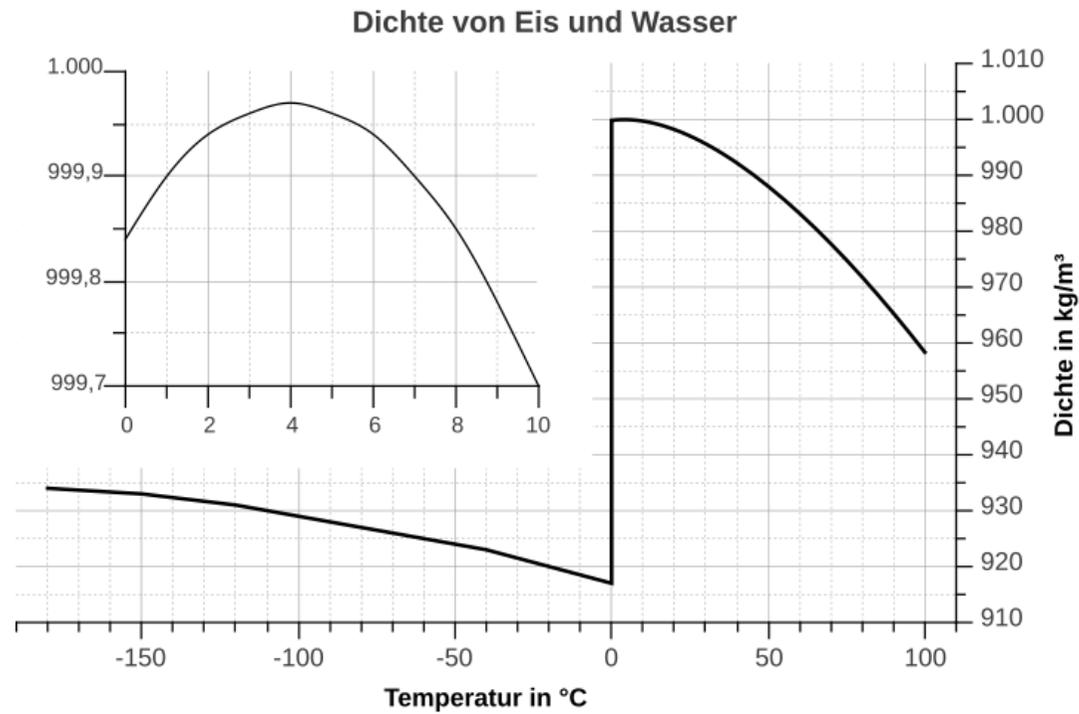


Bild: Wikipedia

## 2.2 THERMISCHE AUSDEHNUNG III

Bild: Wikipedia

# EINSCHUB: HOMOSPHERE UND HETEROSPHERE

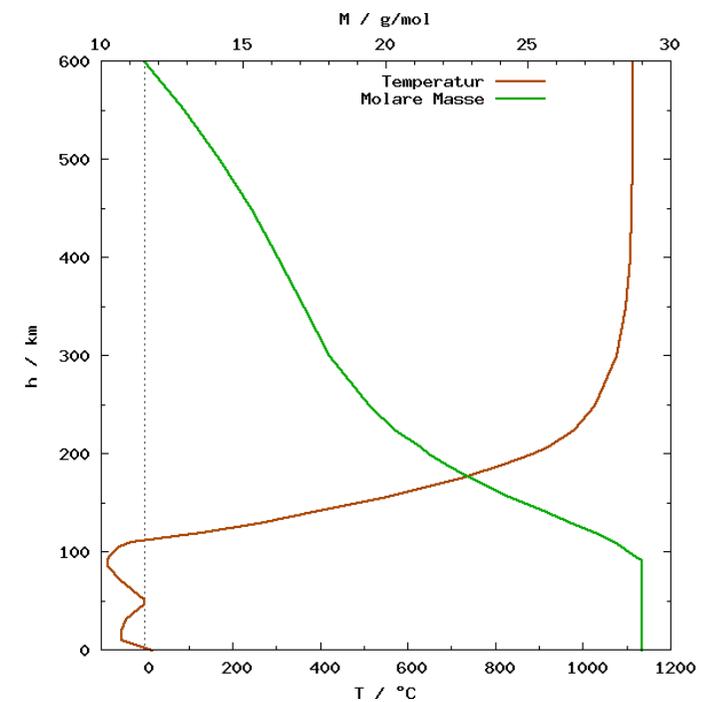
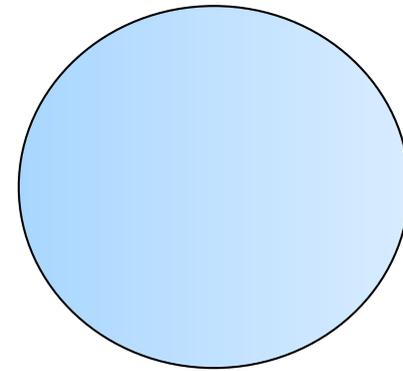


Bild: Wikipedia

## 2.3 IDEALES GAS

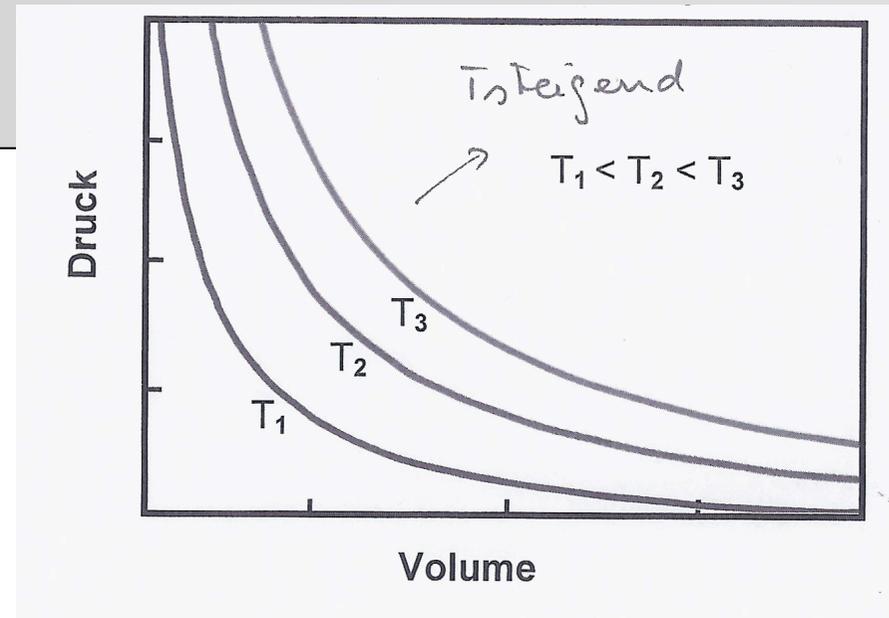


Bild: Prof. Oepen

## 2.3 MOL, MOLVOLUMEN

Ein Mol = Menge eines Stoffes (Anzahl Teilchen!), deren Masse in Gramm gleich der Atommasse / Molekülmasse des Stoffes in atomaren Masseneinheiten  $u$  ist ( $1u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ).

## 2.3 IDEALE GASKONSTANTE

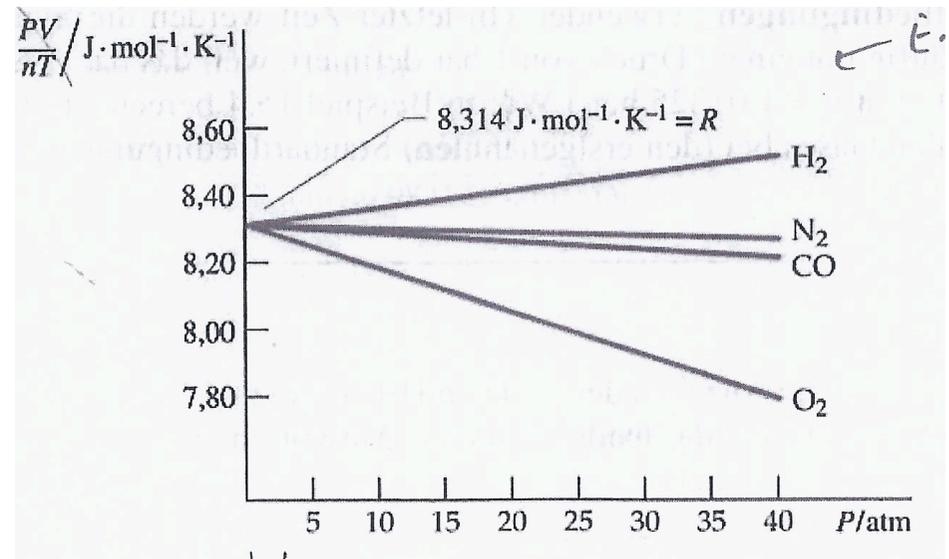


Bild: Tipler

## 2.4 KINETISCHE GASTHEORIE

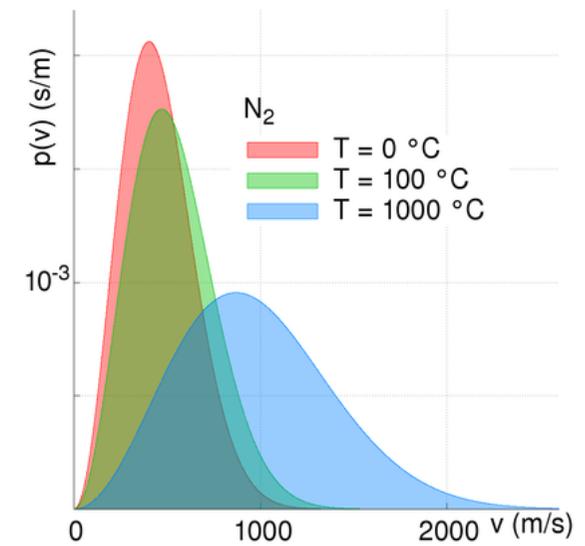
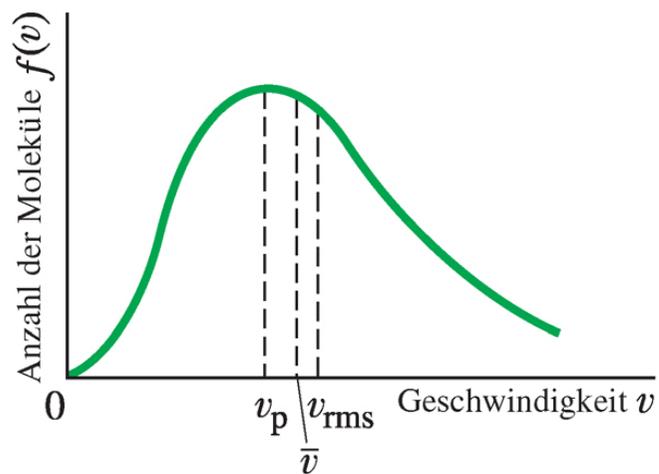
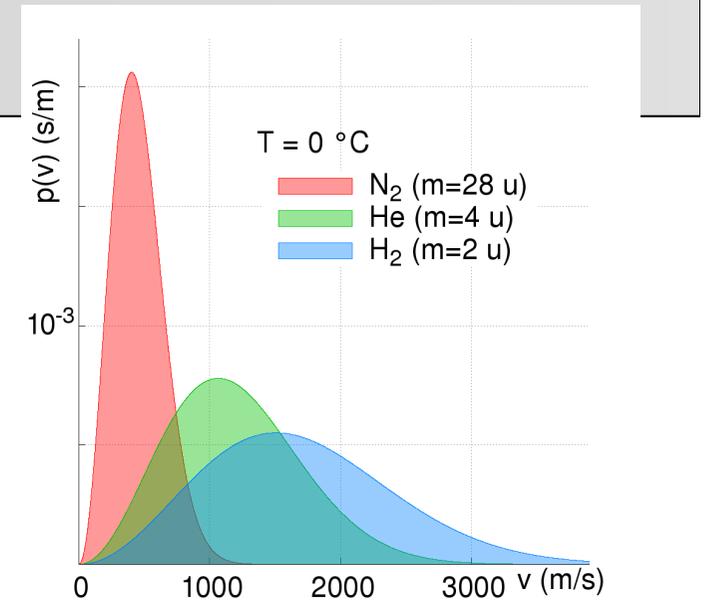
## 2.4 KINETISCHE GASTHEORIE

## 2.4 VERTEILUNGEN ...

## 2.4 MAXWELL'SCHE VERTEILUNG 1

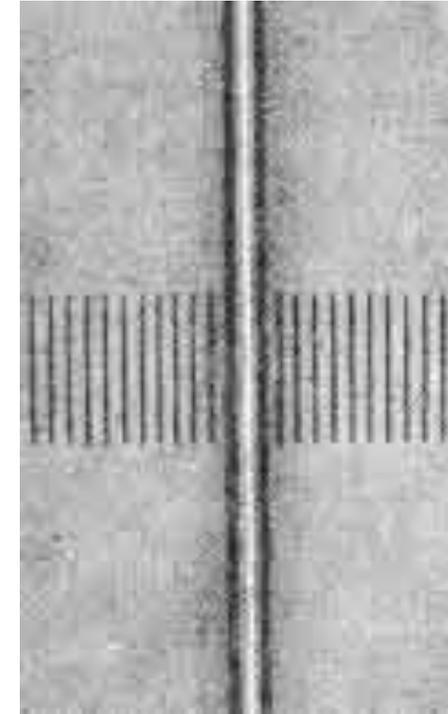
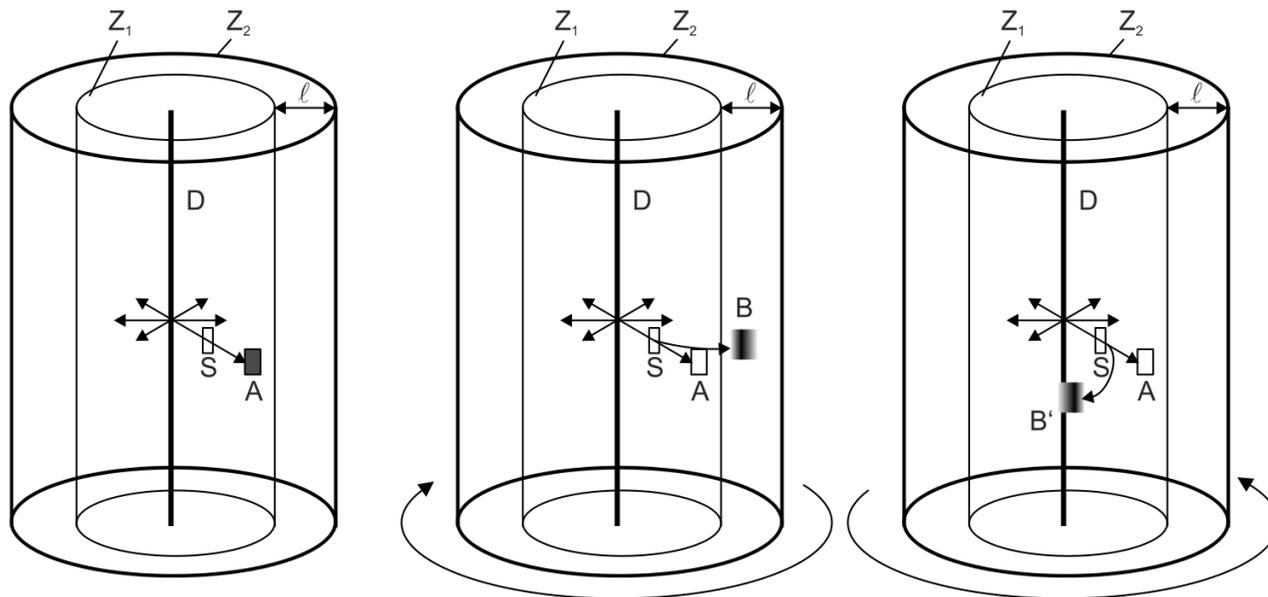
## 2.4 MAXWELL'SCHE VERTEILUNG 2

## 2.4 MAXWELL'SCHE VERTEILUNG 3



Bilder: Giancoli, Wikipedia

## 2.4 MAXWELL'SCHE VERTEILUNG 4



Bilder: <http://www.m-heinitz.de>, <http://www.leifiphysik.de>

## 2.5 AUF ZUM 1. HAUPTSATZ...

## 2.5 ENERGIEFORMEN: W,U,Q

## 2.5 ERSTER HAUPTSATZ DER WÄRMELEHRE

## 2.6 SPEZIFISCHE WÄRME(Kapazität)

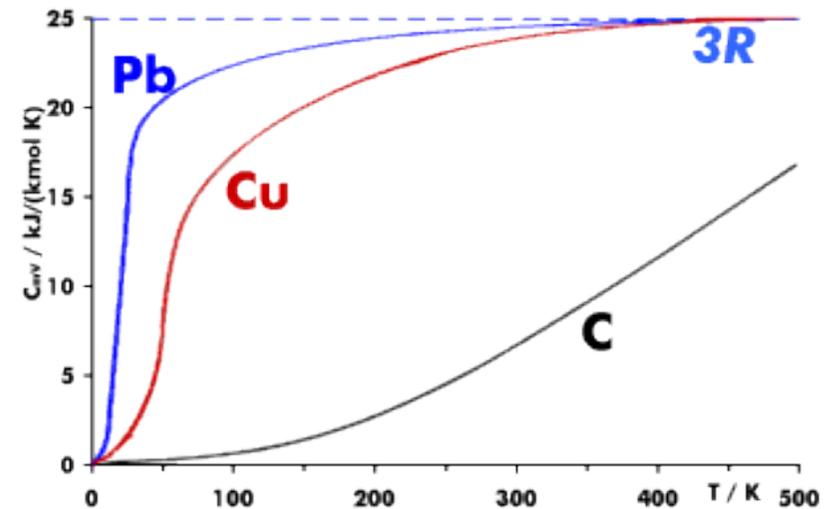


Bild: [physik.uni-wuerzburg.de](http://physik.uni-wuerzburg.de)

## 2.6 SPEZIFISCHE WÄRME(Kapazität)

## 2.6 SPEZIFISCHE WÄRME(Kapazität)

## 2.6 ISENTROPEN- / ADIABATENKOEFFIZIENT $\kappa$

## 2.6 ZUSTANDSÄNDERUNGEN

## 2.6 ISOTHERME ZUSTANDSÄNDERUNGEN

## 2.6 ADIABATISCHE ZUSTANDSÄNDERUNGEN

## 2.6 BESTIMMUNG VON $\kappa$ : CLEMENT-DESORMES

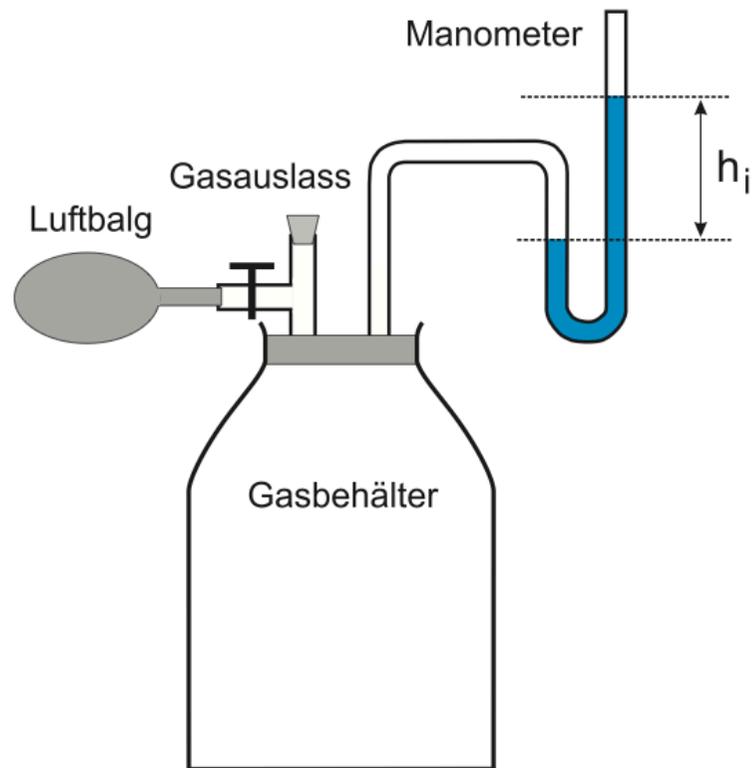


Bild: Uni Heidelberg

## 2.6 BESTIMMUNG VON $\kappa$ : RÜCHARDT

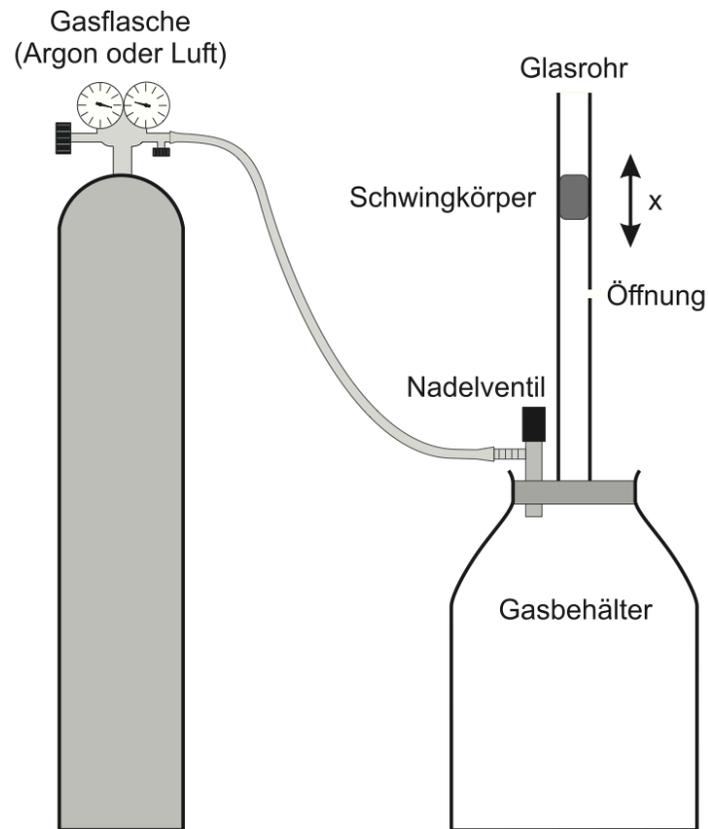


Bild: Uni Heidelberg

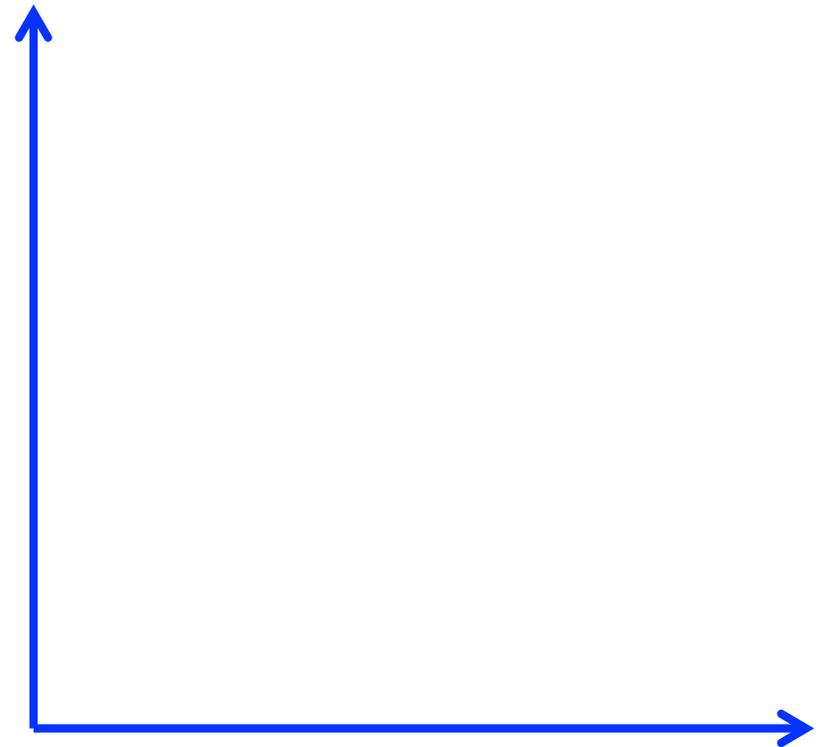
## 2.6 ZUSAMMENFASSUNG: ZUSTANDSÄNDERUNGEN

## 2.7 KREISPROZESSE

Kreisprozess: Folge von Zustandsänderungen eines Fluids, die periodisch abläuft, wobei immer wieder der Ausgangszustand erreicht wird.

(Oft Maschinen, die Wärme in mech. Energie umwandeln, und v.v.)

Reversibler Prozess: eine TD Zustandsänderung von Körpern, die jederzeit wieder umgekehrt ablaufen könnte, ohne dass die Körper oder deren Umgebung dabei bleibende Veränderungen erfahren.



## 2.7 CARNOT-PROZESS

## 2.7 CARNOT-PROZESS 2

## 2.7 CARNOT-PROZESS 3

## 2.7 WIRKUNGSGRAD

## 2.7 STIRLING-MOTOR (1)

## 2.7 STIRLING-MOTOR (2)

## 2.7 OTTO-MOTOR

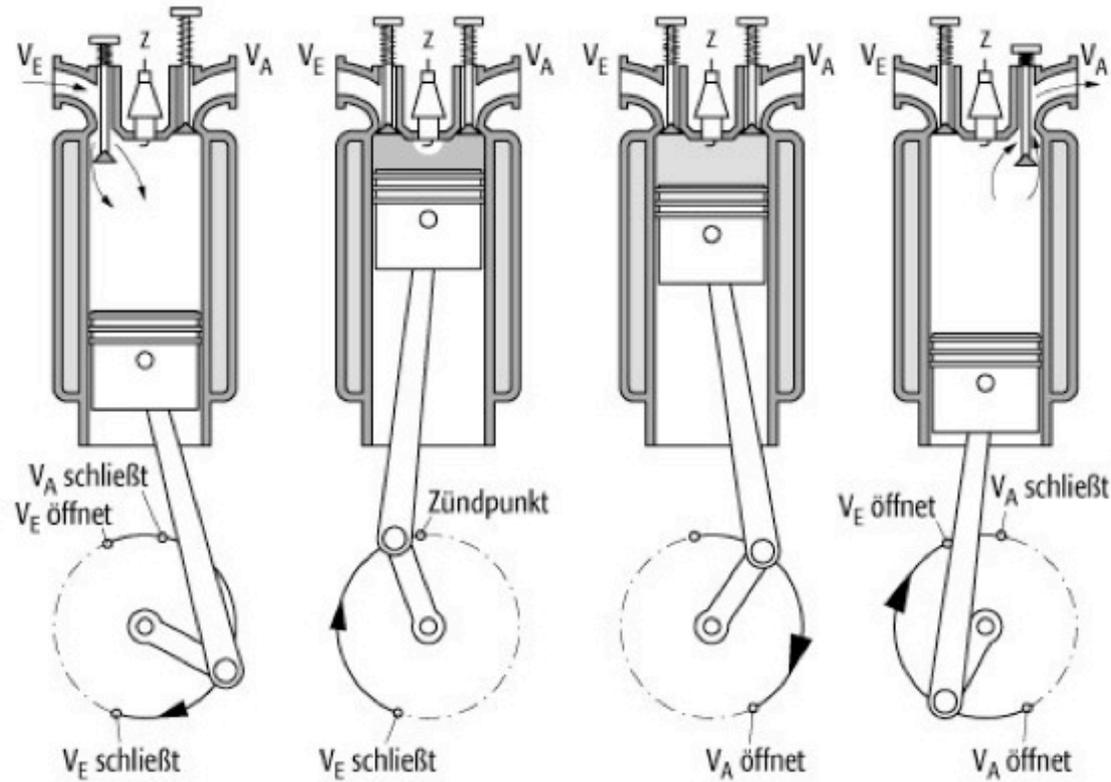
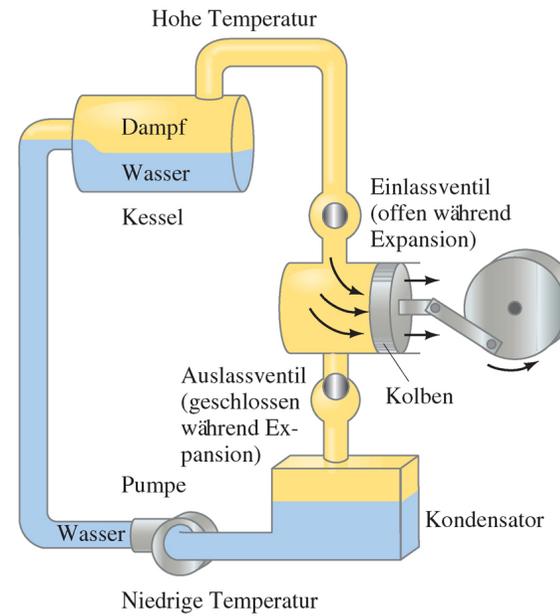
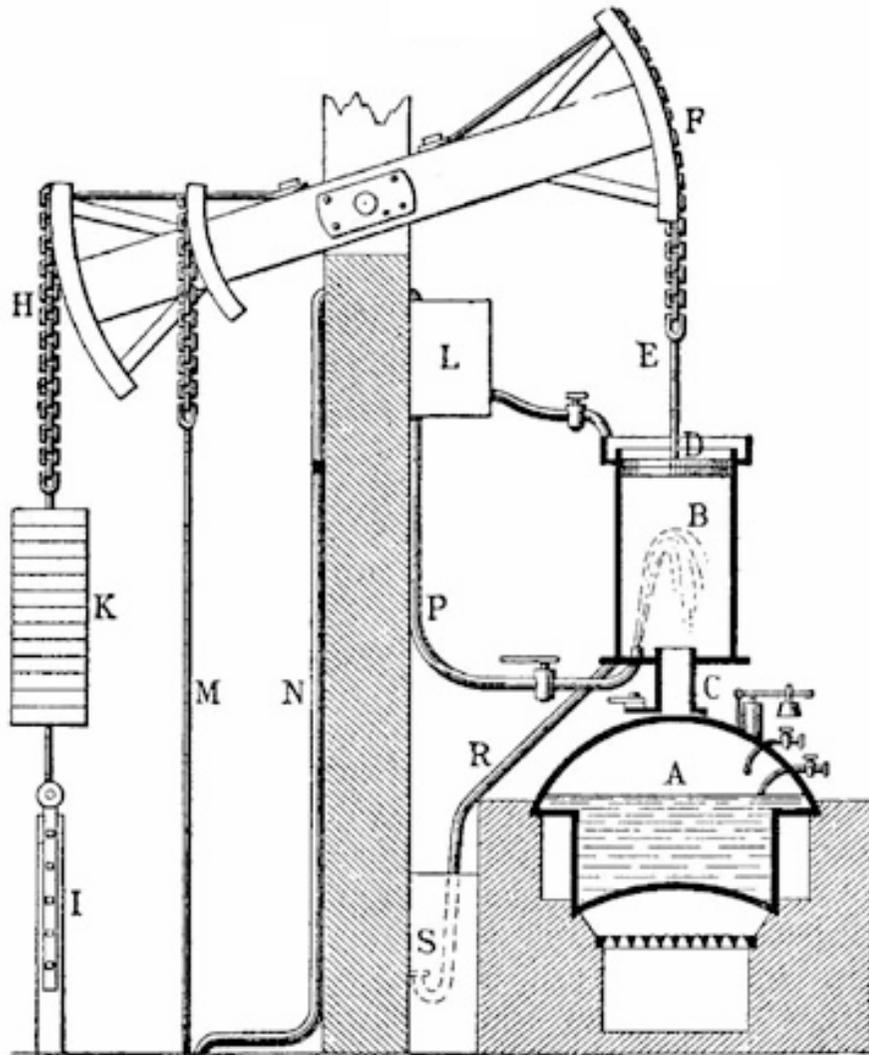
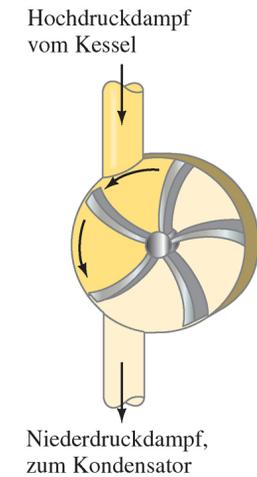


Bild: Spektrum.de

# 2.7 DAMPFMASCHINE (UND TURBINE)



(a) Reziproker Typ



(b) Turbine (Kessel und Kondensator nicht gezeigt)

Bilder: Wikipedia, Giancoli

## 2.7 ABSCHLUSS: WÄRMEKRAFTMASCHINEN

## 2.7 WÄRMEPUMPE UND KÄLTEMASCHINE

## 2.7 WÄRMEPUMPE UND KÄLTEMASCHINE (2)

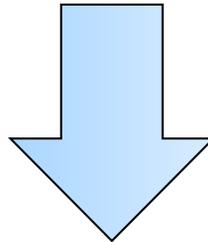
## 2.7 WÄRMEPUMPE UND KÄLTEMASCHINE (3)

## 2.8 ENTROPIE UND 2. HAUPTSATZ

“Wärme fließt von allein nur von einem wärmeren zu einem kälteren Körper, nie umgekehrt.”

“Es gibt keine periodisch arbeitende Maschine, die nichts anderes bewirkt als Erzeugung mechanischer Arbeit und Abkühlung eines Wärmereservoirs.”

“Unmöglichkeit eines Perpetuum Mobiles 2. Art!”



“Es gibt keine periodisch arbeitende Wärmekraftmaschine, die zwischen Reservoirs mit Temperaturen  $T_1$  und  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ) arbeitet und einen Wirkungsgrad größer als  $\eta = 1 - T_1/T_2$  (Carnot-Maschine) hat.”

## 2.8 BEWEIS

## 2.8 REDUZIERTE WÄRME

2.8

$$\oint \frac{\delta Q_{\text{rev}}}{T} = 0$$

???????

2.8

$$\oint \frac{\delta Q_{\text{rev}}}{T} = 0$$

???????

## 2.8 ZUSTANDSGRÖSSE ENTROPIE S

## 2.8 ENTROPIE UND IRREVERSIBLE PROZESSE

### 2. Hauptsatz nach Clausius:

In einem abgeschlossenen System nimmt die Entropie bei einem irreversiblen Prozess stets zu. Von selbst verlaufen nur Prozesse, bei denen die Entropie wächst!

## 2.8 BEISPIEL 1 ZUR ENTROPIE

## 2.8 BEISPIEL 2 ZUR ENTROPIE

## 2.8 BEISPIEL 3 ZUR ENTROPIE (ZU CLAUSIUS)

## 2.8 STATISTISCHE DEFINITION DER ENTROPIE

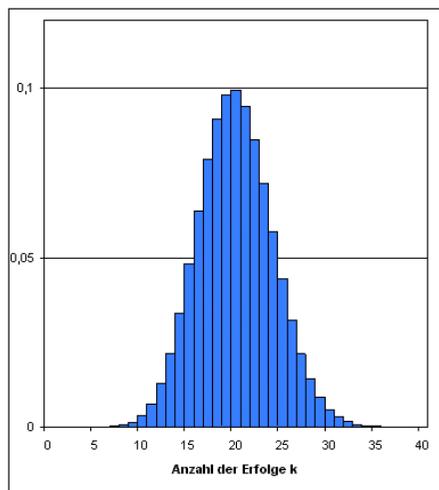


Bild: <http://www.nb-braun.de>

## 2.8 ZAHLENBEISPIELE

## 2.8 ZUSAMMENHANG STATISTIK - TD

## 2.9 REALE GASE

## 2.9 KOVOLUMEN UND BINNENDRUCK 1

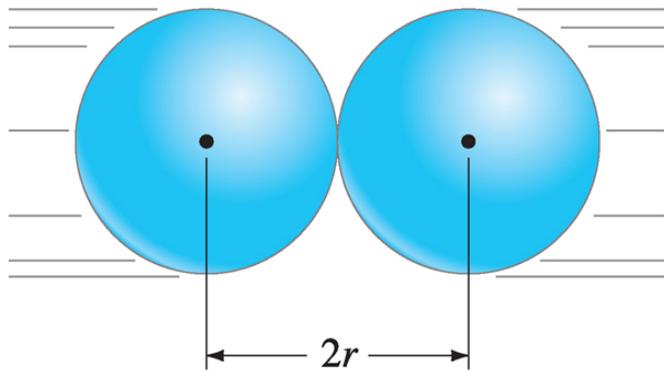


Bild: Giancoli

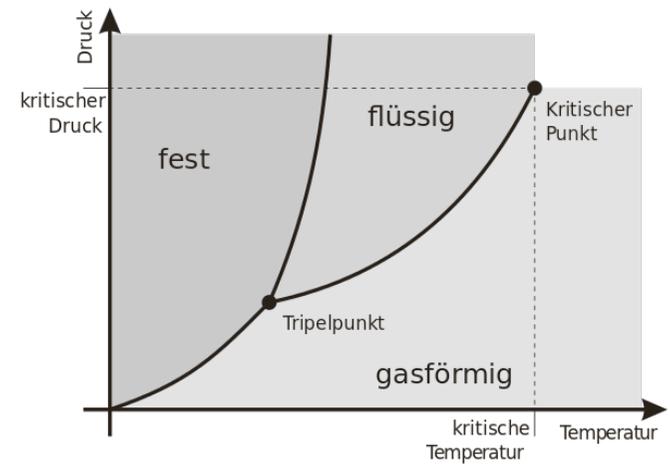
## 2.9 KOVOLUMEN UND BINNENDRUCK 2

## 2.9 PHASEN UND PHASENDIAGRAMME

Bild: Giancoli

# 2.9 PHASENDIAGRAMME

Stoff ohne Anomalie



Stoff mit Anomalie (z.B. Wasser)

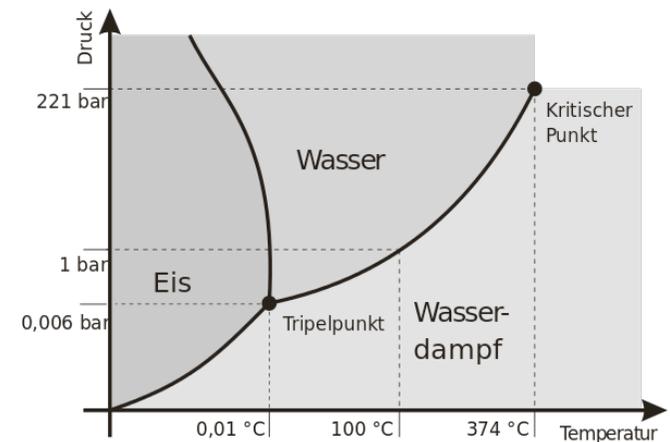
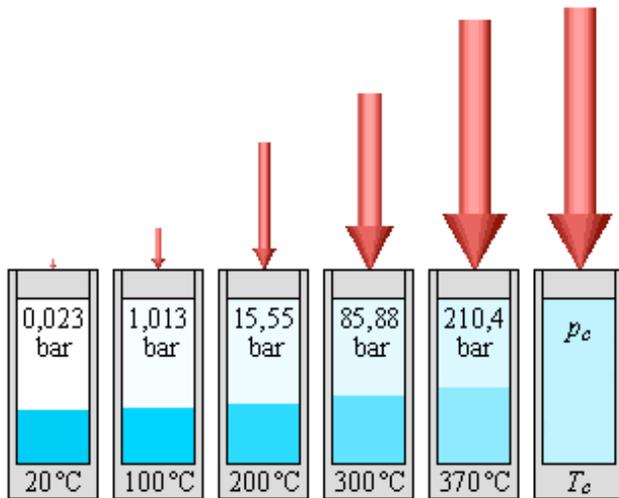
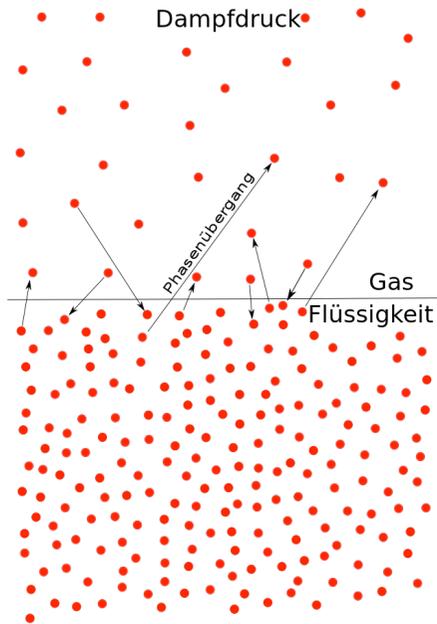


Bild: Wikipedia

# 2.9 DAMPFDRUCK



Bilder: Wikipedia

## 2.9 PHASENDIAGRAMME

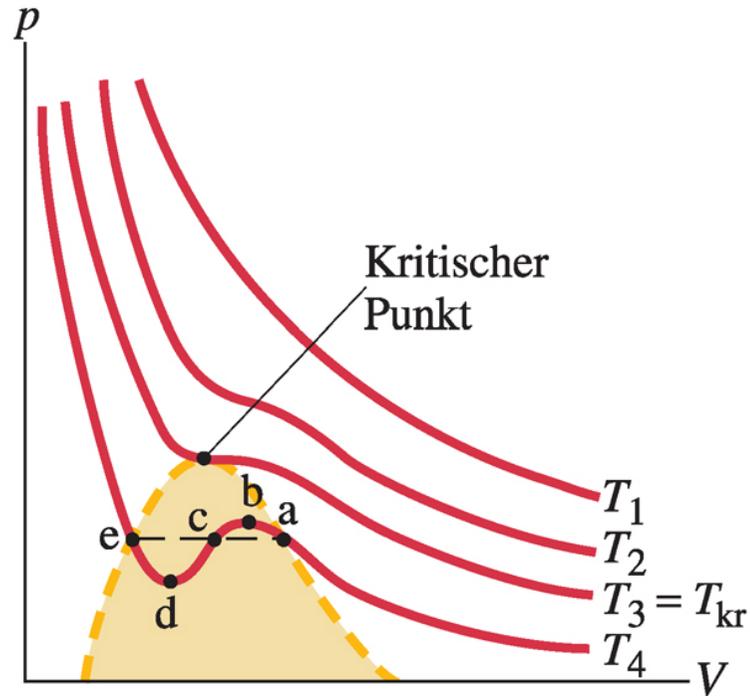


Bild: Giancoli

## 2.9 PHASENDIAGRAMME

## 2.9 PHASENDIAGRAMME

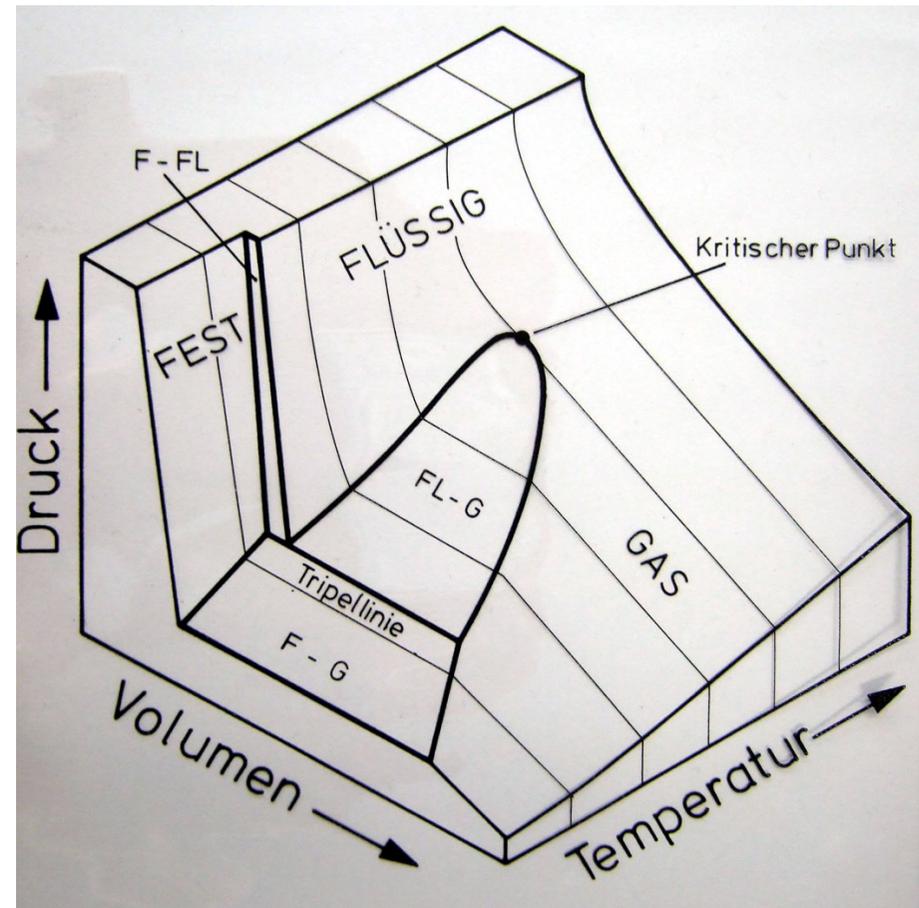


Bild: LMU München

## 2.9 VERSUCHE

## 2.9 LUFTFEUCHTIGKEIT

# 2.10 NACHTRÄGE 1 – BROWNSCHE MOLEKULARBEWEGUNG

# 2.10 NACHTRÄGE 2 – DIFFUSION UND TRANSPORTPROZESSE

# NICHT BEHANDELT

- Grenzflächen
- Oberflächenspannung und Kapillarität