

Physikalische Grundlagen  
der zahnärztlichen Materialkunde

– 1 –

Struktur der Materie  
Atomare Wechselwirkungen.  
Multiatomare Systeme: Gase

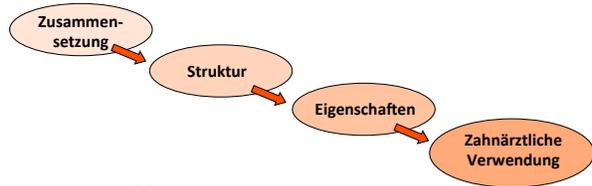
erarbeitet von: Gergely AGÓCS, Ferenc TÖLGYESI  
10. September 2020.

Kapitel des  
Lehrbuches:  
1, 2, 3

Warum?



Was?



Z.B.:



alle: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> !

Wie?

Woche	Thema
	<b>Struktur der Materie</b>
1	Atome, Wechselwirkungen, Bindungen. Multiatomare Systeme: Gase, Boltzmann-Verteilung
2	Multiatomare Systeme: Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle
3	Kohäsion, Adhäsion, Grenzflächeneigenschaften. Phase, Phasendiagramm, Phasenumwandlungen
4	Strukturuntersuchungsmethoden (Mikroskopie, Diffraktion, Spektroskopie)
5	Materialfamilien: Metalle, Keramiken
6	Materialfamilien: Polymere und Komposite
7	<b>Materialeigenschaften</b>
	Mechanische Eigenschaften 1: Elastisches Verhalten
8	Mechanische Eigenschaften 2: Plastische Verformung, Bruch, Härte
9	Mechanische Eigenschaften 3: Rheologische Eigenschaften, Viskoelastizität
10	Thermische und optische Eigenschaften
11	Elektrische Eigenschaften. Vergleichende Zusammenfassung der Eigenschaften
12	<b>Biomechanik</b>
	Struktur und mechanische Eigenschaften von biologischen Geweben
13	Biomechanische Grundlagen der Implantologie
14	Biomechanische Grundlagen der Kieferorthopädie

## Wie?



The most exciting phrase to hear in science, the one that heralds new discoveries, is not 'Eureka!' (I found it!), but 'That's funny...'

(Isaac Asimov)

"Sage es mir, und ich vergesse es; zeige es mir, und ich erinnere mich; lass es mich tun, und ich verstehe es.,"

(Konfuzius)



FAFA\_DE

1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase

5

## Nützliche Infos

Lehrbeauftragter: Gergely Agócs ([agocs.gergely@med.semmelweis-univ.hu](mailto:agocs.gergely@med.semmelweis-univ.hu))

Webseite (Informationen, Vorlesungen): [biofiz.semmelweis.hu](http://biofiz.semmelweis.hu)

Lehrbuch: F. Tólgyesi, I. Derka, K. Módos: Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde, elektronisches Lehrbuch (erreichbar auf der Webseite des Instituts)

Weitere Literatur:

- W.D. Callister: Materials Science and Engineering, An Introduction (7th ed.), Wiley&Sons, 2007
- K.J. Anusavice: Phillips' Science of Dental Materials (11th ed.), Saunders, 2003
- Damjanovich, Fidy, Szöllösi: Medizinische Biophysik, Medicina 2008

E-learning Materialien: [itc.semmelweis.hu/moodle](http://itc.semmelweis.hu/moodle) (braucht SeKa-Konto)

Konsultationen: nach Bedarf

Prüfung: Kolloquium: Vorlesungen (Skripte) + Lehrbuch (Theorie + Rechenaufgaben)

FAFA\_DE

1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase

6

## Alltägliche Wechselwirkungen („mit Kontakt“)



FAFA\_DE

1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase

7

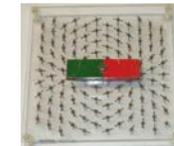
## Alltägliche Wechselwirkungen („ohne Kontakt“)



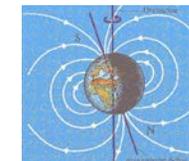
Gravitation



Elektrische Wechselwirkung



Magnetische Wechselwirkung

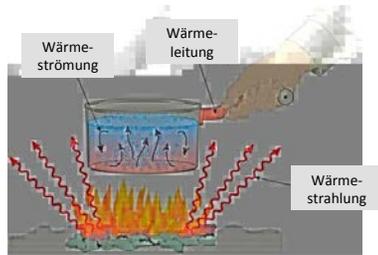


FAFA\_DE

1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase

8

## Alltägliche Wechselwirkungen (thermisch)



## Die vier fundamentalen Wechselwirkungen

<p>Anziehung zwischen Massen</p> <p>Gravitation</p>	<p>Starke WW</p> <p>hält Atomkerne zusammen</p>
<p>wirkt zwischen elektrischen Ladungen</p> <p>Elektromagnetische WW</p>	<p>Schwache WW</p> <p>verantwortlich für Teilchenumwandlungen</p>
<p>Makroskopisch erfahrene Wechselwirkungen</p>	<p>Wechselwirkungen im Atomkern</p>

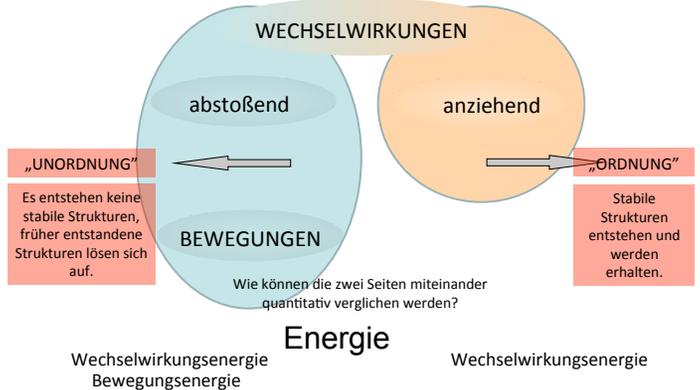
## Beschreibung der Wechselwirkungen

☐ Symmetrie!

☐ Bei fernwirkenden Ww: Abklingen mit wachsendem Abstand ( $1/r^2$ -Gesetz)

- ☐ Größen und Gesetze:
- **Kraft, die newtonschen Gesetze und Beispiele für Kraftgesetze**
  - **Arbeit und Energie**
  - **Energieerhaltung**
  - **Leistung**
  - **Druck**
- Vorkenntnisse (s. Skript „Physikalische Grundkenntnisse“ Kapitel 4-6)

## Allgemeine Prinzipien des Aufbaus von Körpern

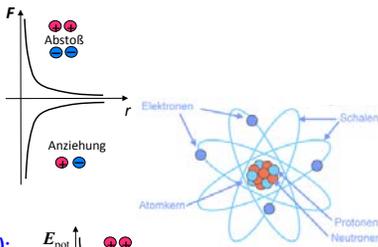


## Elektrische Wechselwirkung: Kraft und Energie

Coulomb-Gesetz:

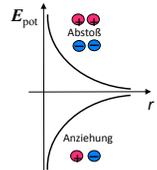
Vorkenntnisse  
(s. Skript „Physikalische  
Grundkenntnisse“ Kapitel 10)

$$F_{el} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$



elektrische potenzielle Energie ( $E_{pot}$ ):

$$E_{pot} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r}$$



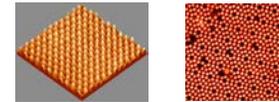
FAFA\_DE

1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase

13

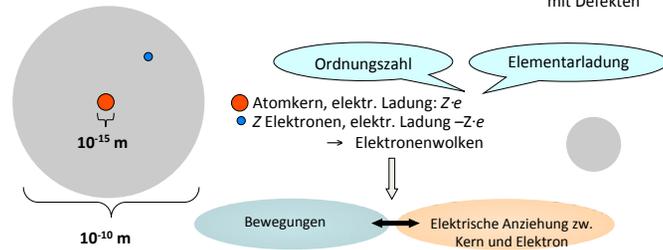
## Atomarer Aufbau der Materie

- Demokritos: 5.Jht v.Chr.
- Daltonsches Gesetz: 1803
- Einstein: 1905
- Perrin: 1908
- Moderne Mikroskope:



Graphit

Si Kristall mit Defekten

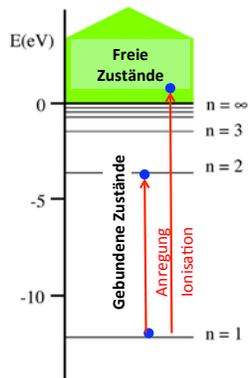


FAFA\_DE

1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase

14

## Aufbau des Atoms



- Energieminimum
- Diskrete Energiezustände
- Pauli-Prinzip

Elektronenübergänge  $\rightleftharpoons$  Absorption und Entstehung von Strahlungen

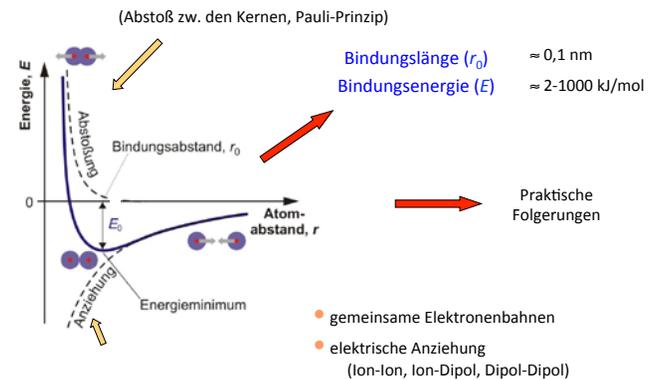
Eine „neue“ Maßeinheit: Elektronenvolt (eV);  
es gilt:  
 $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \rightarrow 96,5 \text{ kJ/mol}$

FAFA\_DE

1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase

15

## Wechselwirkungen zwischen Teilchen



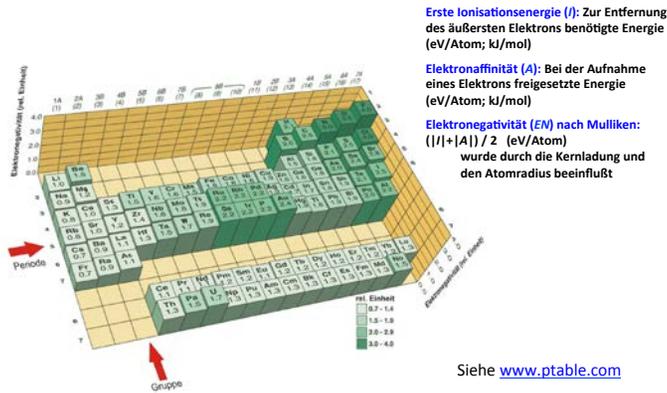
- gemeinsame Elektronenbahnen
- elektrische Anziehung (Ion-Ion, Ion-Dipol, Dipol-Dipol)

FAFA\_DE

1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase

16

## Elektronegativität

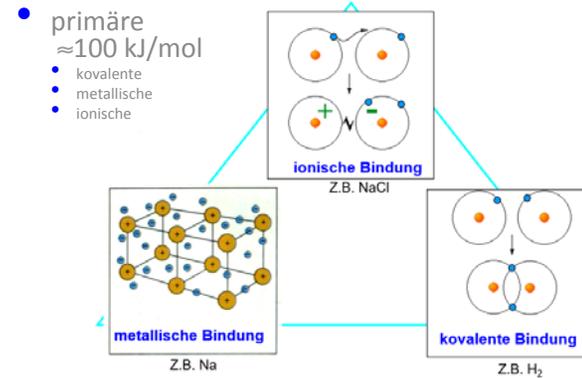


FAFA\_DE

1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase

17

## Primäre Bindungstypen



FAFA\_DE

1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase

18

## Primäre Bindungstypen

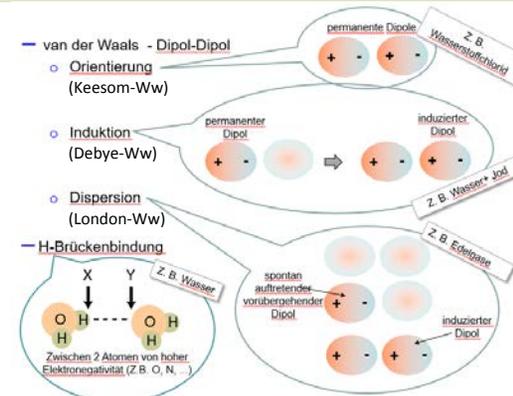


FAFA\_DE

1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase

19

## Sekundäre Bindungstypen



FAFA\_DE

1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase

20

**Das Thema ist in dem Lehrbuch nicht zu finden!**

## Energiezustände in Molekülen

$$E_{\text{Molekül}} = E_{\text{Elektron}} + E_{\text{Vibration}} + E_{\text{Rotation}}$$

≈ 1 eV   
 ≈ 0,1 eV   
 ≈ 0,01 eV

Elektron 

Vibration 

Rotation 

Translation (nicht quantiert) 

diese Energieformen sind quantiert!

E

Elektronenniveaus

Vibrationsniveaus

(Rotationsniveaus sind nicht gezeigt.)

FAFA\_DE    1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase    21

## Aggregatzustände

flüssiges H<sub>2</sub>O  
WASSER

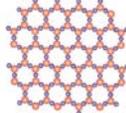




gasförmiges H<sub>2</sub>O  
DAMPF



festes H<sub>2</sub>O  
EIS

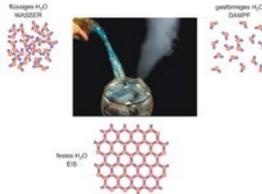


FAFA\_DE    1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase    22

## Aggregatzustände



	Fest	Flüssig	Gasförmig
Eigenvolumen	+	+	-
Eigenform	+	-	-
Ordnung	Fernordnung	Nahordnung	keine Ordnung
Teilchenabstand	klein	klein	groß
Isotrop	-	+	+



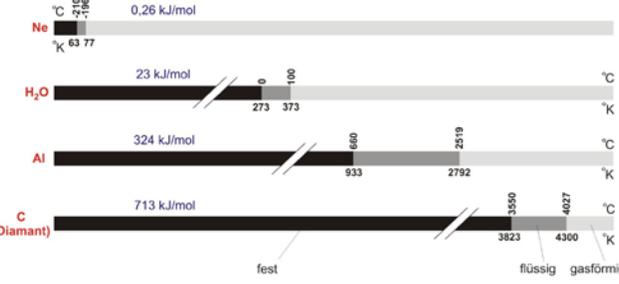
FAFA\_DE    1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase    23

## Aggregatzustände



Anziehende Ww    ↔    Abstoßende Ww + Bewegungen

**BINDUNGS-ENERGIEN**



Die Temperaturskala ist verzerrt dargestellt!

FAFA\_DE    1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase    24

## Gase



**Makroskopische Beschreibung:**

- Kein Eigenvolumen und keine Eigenform
- Isotrop
- Messbare Größen:

Druck  $p$ , Volumen  $V$ , Stoffmenge  $\nu$ , Temperatur  $T$

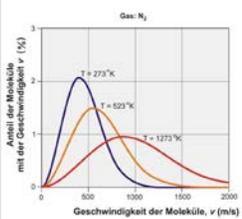
$pV = \nu RT$   
(für ideale Gase)

**Mikroskopische Beschreibung:**

- Ungeordnet
- Starke und fast freie Bewegung

$$\frac{1}{2} m \bar{v}^2 = \frac{3}{2} kT$$

Maxwell-Boltzmann-Verteilung



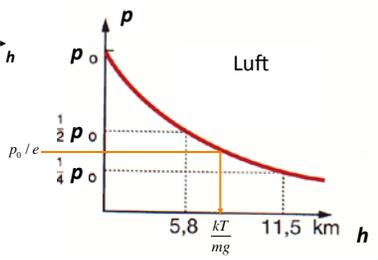
FAFA\_DE
1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase
25

## Gas im Gravitationsfeld: barometrische Höhenformel



Im thermischen Gleichgewicht:

$$p = p_0 \cdot e^{-\frac{mgh}{kT}}$$



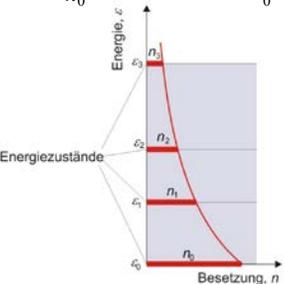
FAFA\_DE
1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase
26

## Boltzmann-Verteilung im Allgemeinen

Die Verteilung der Teilchen auf die Energiezustände im thermischen Gleichgewicht ( $T = \text{konstant}$ ):

$$\left. \begin{array}{l} n_i \text{ --- } \epsilon_i \\ n_0 \text{ --- } \epsilon_0 \end{array} \right\} \Delta \epsilon$$

$$n_i = n_0 \cdot e^{-\frac{\epsilon_i - \epsilon_0}{kT}}$$



$$n_i = n_0 \cdot e^{-\frac{\Delta \epsilon}{kT}} = n_0 \cdot e^{-\frac{\Delta E}{RT}}$$

$$\Delta E = \Delta \epsilon \cdot N_A$$

$$R = k \cdot N_A$$

FAFA\_DE
1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase
27

## Boltzmann-Verteilung: andere Anwendungen

**Anwendungen der Boltzmann-Verteilung:**

- Barometrische Höhenformel
- Thermische Elektronenemission von Metallen
- Konzentrationselemente, Nernst-Gleichung
- Chemische Reaktionen (Geschwindigkeits- und Gleichgewichtskonstante)
- Konzentration von thermischen Punktdefekten (in Kristallen und Makromolekülen)
- Elektrische Leitfähigkeit von Halbleitern
- ...

**Aufgaben:**  
1. Abschnitt:  
1, 3, 9, 10, 13, 17, 19

Nächste Vorlesung: Kapitel  
4 und 5

FAFA\_DE
1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase
28