

# Medizinische Biophysik I.

0

Einführung

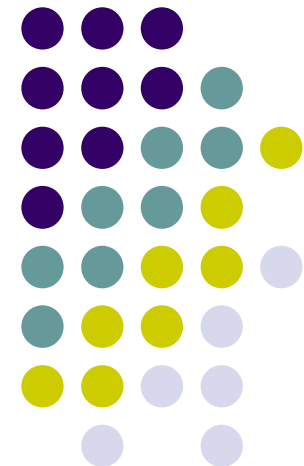
Prof. László Smeller

[smeller.laszlo@med.semmelweis-univ.hu](mailto:smeller.laszlo@med.semmelweis-univ.hu)

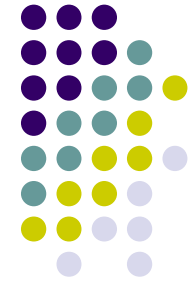
Dr. András Kaposi

Dr. Attila Bérces

Institut für Biophysik und Strahlenbiologie



# Physik in der Medizin



## Lebensprozesse

Diffusion, Strömungen, Hebelfunktion, Wärmestrahlung, elektrische Ströme .....

## Diagnostik

Röntgendiagnostik, Sonographie, Optische Tomographie, MRI, EKG, Endoskopie .....

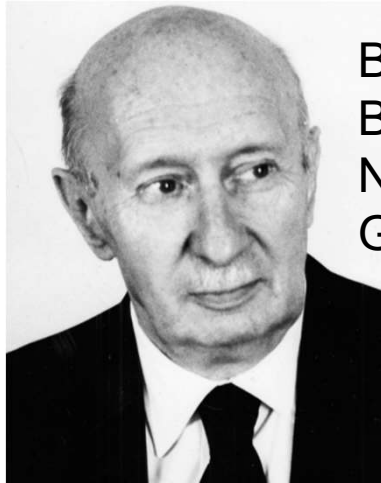
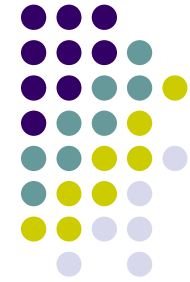
## Therapie

Gamma-Messer, Phototherapie, Laserchirurgie, Defibrillator, Nierensteinzertrümmerung .....

## Medizinische Forschung

Röntgendiffraktion, Optische Spektroskopie, Mikroskopie, Massenspektrometrie .....

# Physiker in der Medizin



Békésy György  
Biophysiker  
Nobelpreis 1961  
Gehörphysiologie



Peter Mansfield  
Physiker,  
Nobelpreis 2003  
MRI

Wilhelm C. Röntgen (1901)  
Röntgenstrahlung (Physik)  
Henri Becquerel, Marie Curie,  
Pierre Curie (1903)  
Radioaktivität (Physik)  
George De Hevesy (1943)  
Radioisotopmarkierung (Chemie)  
...



Erwin Neher  
Biophysiker  
Nobelpreis 1991  
Ionenkanäle



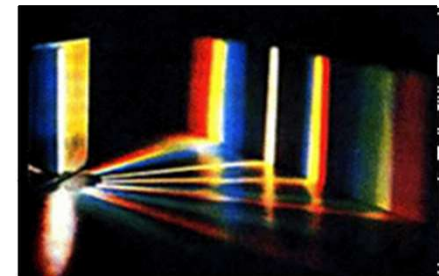
Godfrey Hounsfield  
Physiker –Ingenieur  
Nobelpreis 1979  
Computertomograph



Allan McLeod Cormack  
Physiker  
Nobelpreis 1979  
Computertomograph



„Sage es mir, und ich vergesse es;  
zeige es mir, und ich erinnere mich;  
lass es mich tun, und ich verstehe es.“  
(Konfuzius)



# Beschreibung des Kurses, Thematik und Regeln

s. die Webseite:  
<http://biofiz.semmelweis.hu>



## **Hilfsmittel:**

- Skript „Physikalische Grundkenntnisse“ (*herunterladbar von der Webseite des Instituts*)
- Wahlfach „Grundlagen der medizinischen Biophysik“
- Vorlesungsskripte (*herunterladbar von der Webseite des Instituts in der Regel schon einen Tag vor der aktuellen Vorlesung*)
- „Praktikum medizinische Biophysik“ 2017, Semmelweis Verlag, Budapest (*erhältlich in der Buchhandlung des Verlags, in NET, <https://www.semmelweiskiado.hu>*)
- Biophysik für Mediziner, 2008, Medicina Verlag, Budapest (*erhältlich in der Buchhandlung des Verlags in der Üllői Str. gegenüber der Metrostation „Klinikák“*)
- Aufgabensammlung zur medizinischen Biophysik (*herunterladbar von der Webseite des Instituts*)

# Medizinische Biophysik

## Struktur der Materie

1. Vorlesung  
09. 09. 2020

### I. Atome, Moleküle und ihre Wechselwirkungen

1. Allgemein über Wechselwirkungen
2. Entstehung von stabilen Strukturen - allgemeine Prinzipien
3. Aufbau des Atoms
  - a) Bauelemente und ihre Wechselwirkungen
  - b) Energiezustände und Übergänge
4. Energiezustände in Molekülen

### II. Aggregatzustände

1. Allgemeine Beschreibung
2. Einige grundlegenden Größen zur Beschreibung von Körpern
3. Kinetische Deutung der Temperatur
  - a) Gleichverteilungssatz (Äquipartitionstheorem)
  - b) Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)
  - c) Boltzmann-Verteilung



# I. Atome, Moleküle und ihre Wechselwirkungen

## 1. Allgemein über Wechselwirkungen

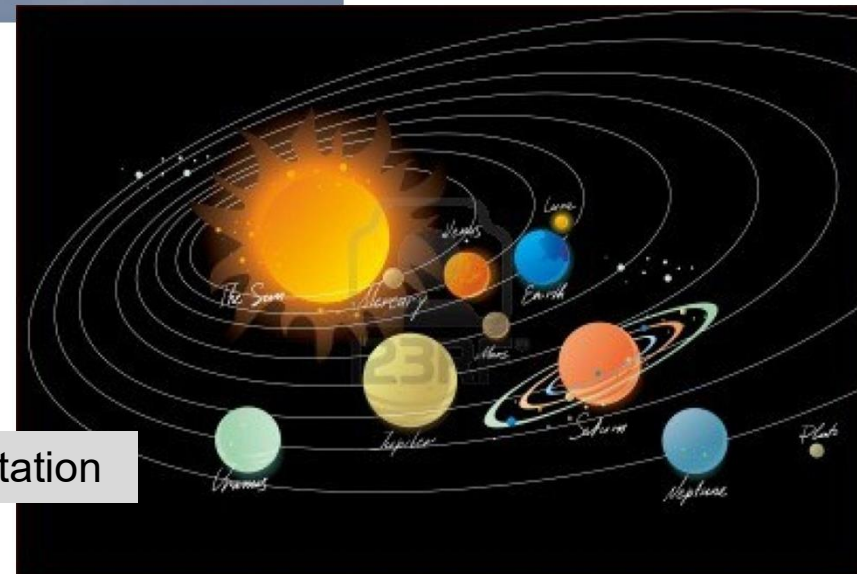
Beispiele:



„Kontakt“ (molekulare Wechselwirkungen im Hintergrund)

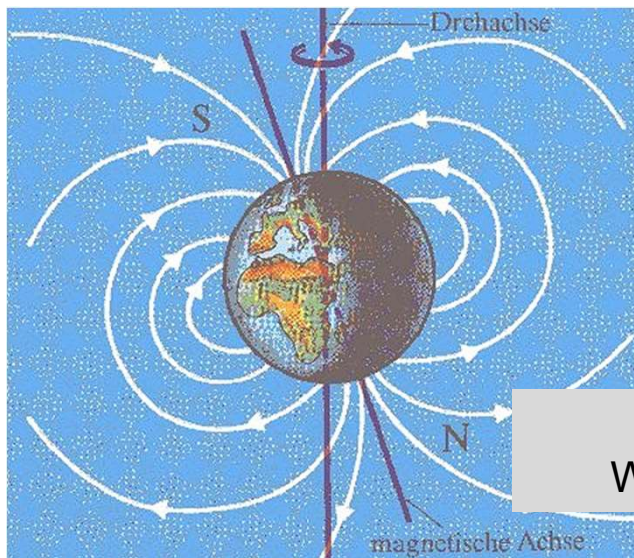
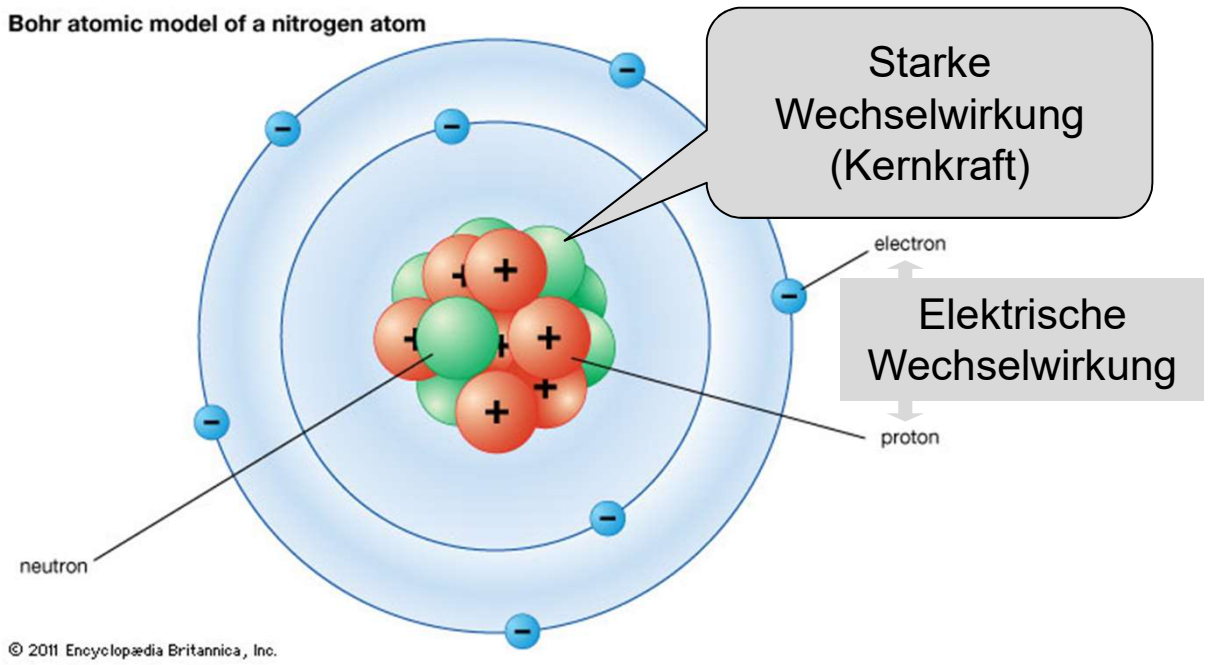


Gravitation





Bohr atomic model of a nitrogen atom



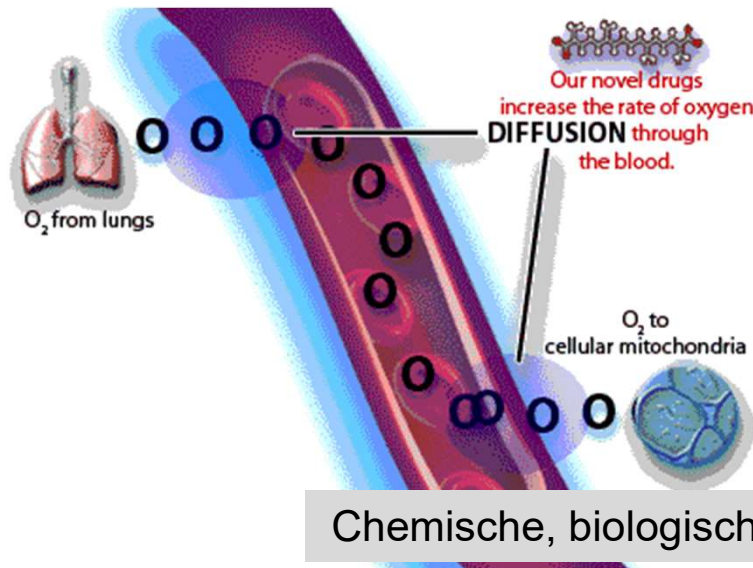
Magnetische Wechselwirkung







Thermische Wechselwirkung  
(Wärme)

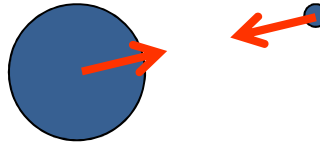


Chemische, biologische, ... Wechselwirkungen

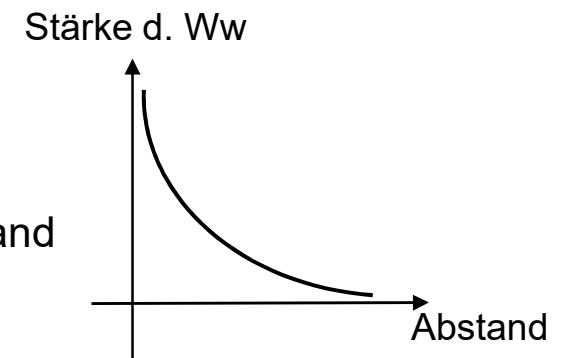


## Beschreibung der Wechselwirkungen:

- ☐ Symmetrie!



- ☐ Bei fernwirkenden Ww: Abklingen mit wachsendem Abstand



- ☐ Größen und Gesetze:

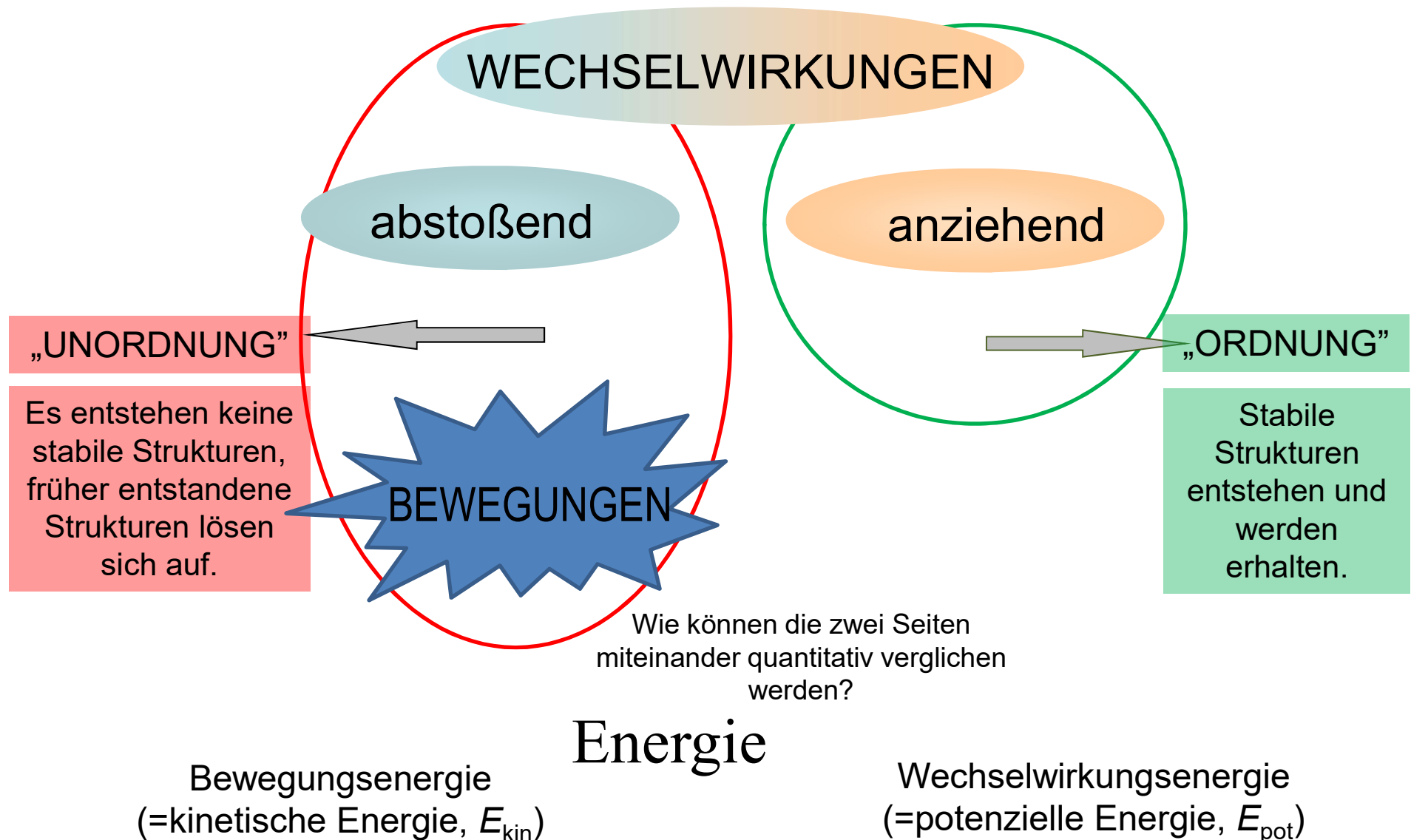
- **Kraft, die newtonschen Gesetze und Beispiele für Kraftgesetze**
- **Arbeit und Energie**
- **Energieerhaltung**
- **Leistung**
- **Druck**

Vorkenntnisse  
(s. Skript „Physikalische Grundkenntnisse“ Kapitel 4-6)

Kraft

Energie

## 2. Entstehung von stabilen Strukturen - allgemeine Prinzipien

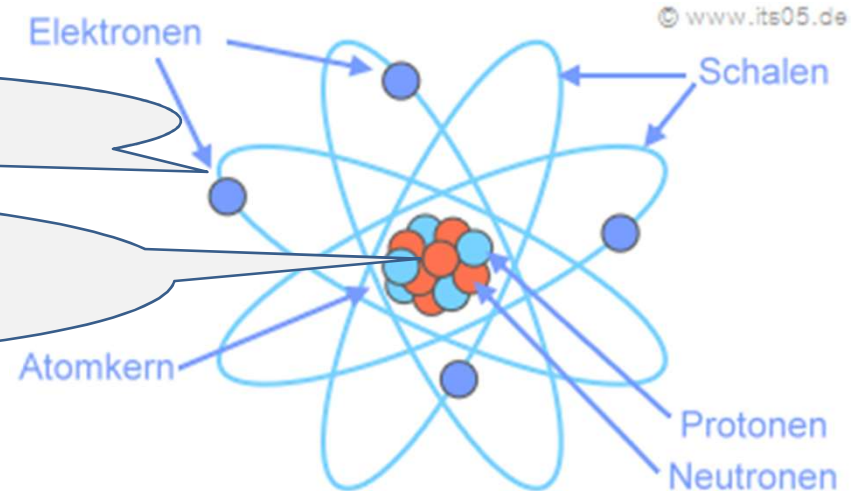


### 3. Aufbau des Atoms

#### a) Bauelemente und ihre Wechselwirkungen

Z Elektronen, ihre Gesamtladung ist  $-Z \cdot e$

elektr. Ladung des Kernes:  $Z \cdot e$ ,  
(Z ist die Ordnungszahl (Kernladungszahl))



Bewegungen

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2$$

positiv

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

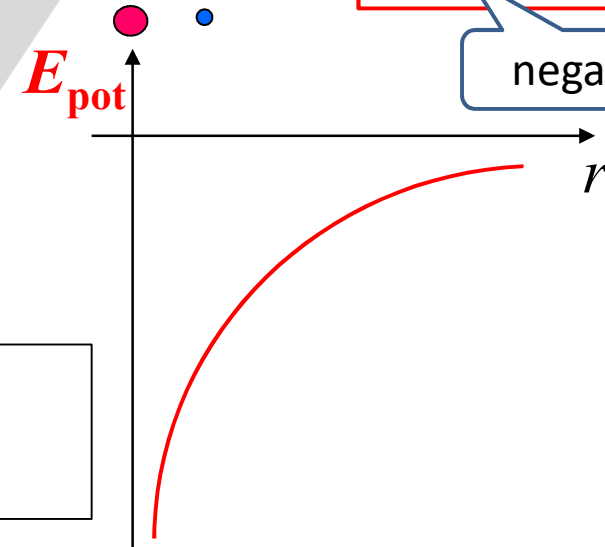
anziehende Wechselwirkung =  
elektrische Ww.

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

negativ

$$E_{\text{gesamt}} = E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}}$$

Ein Elektron kann aus der Bindung des Atoms entfernt werden, wenn Energie dem Elektron zugeführt wird und dadurch die Gesamtenergie positiv wird.





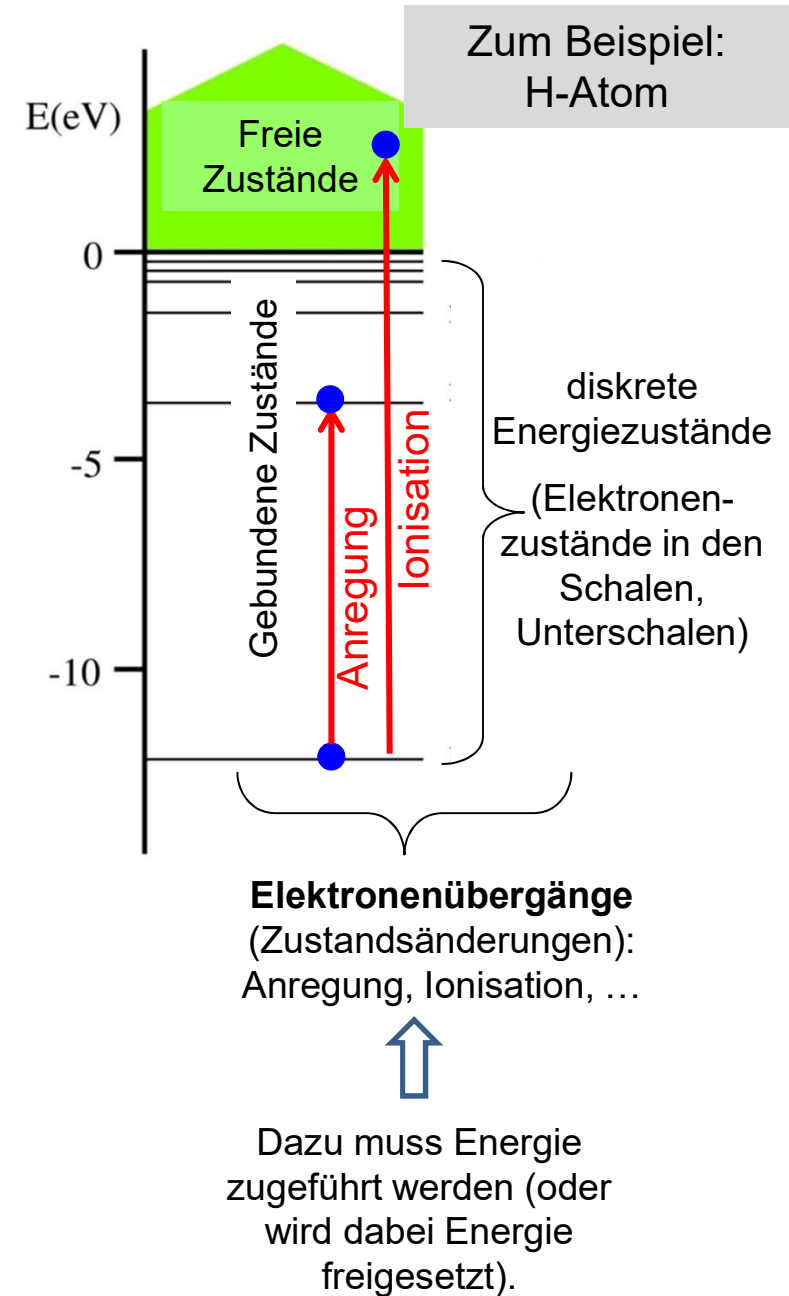
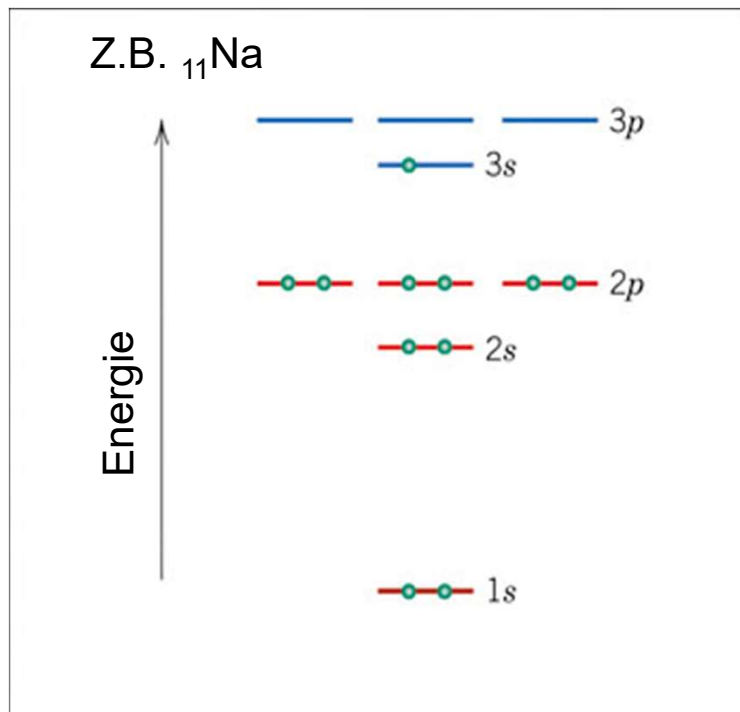
## b) Energiezustände und Übergänge

Eine spezielle Eigenschaft der Mikrowelt:

- **diskrete (quantisierte) gebundene Energiezustände**

Prinzipien bei der Besetzung der Energiezuständen (Schalen, Unterschalen):

- **Energieminimum**
- **Pauli-Prinzip**



Durch primäre und sekundäre Bindungen (Wechselwirkungen) →

- Moleküle
- Aggregatzustände (flüssige und feste Körper)

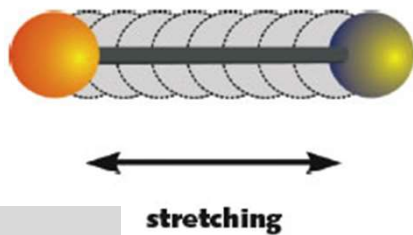
#### 4. Energiezustände in Molekülen

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

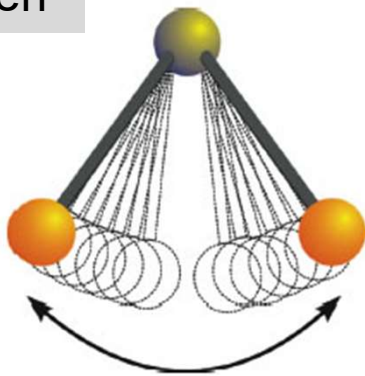
≈ 1 eV

≈ 0,1 eV

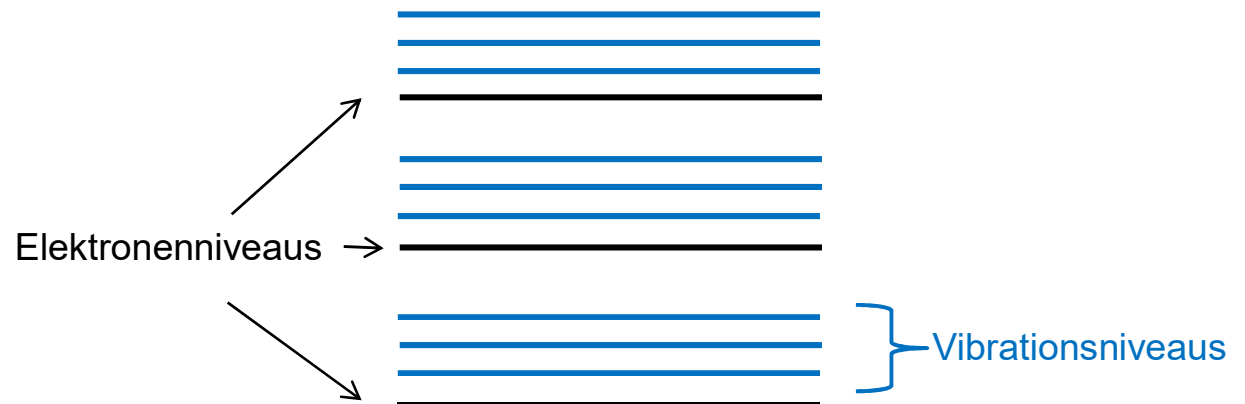
≈ 0,01 eV



Z. B.  
Vibrationen




- alle Energieformen sind quantisiert



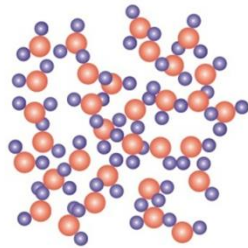
(Rotationsniveaus sind nicht gezeigt.)

# II. Aggregatzustände

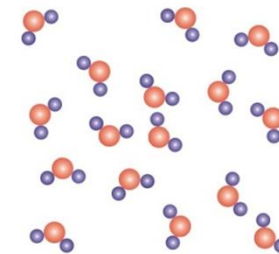
## 1. Allgemeine Beschreibung

	 $T$		
	Fest	Flüssig	Gasförmig
Eigenvolumen	+	+	-
Eigenform	+	-	-

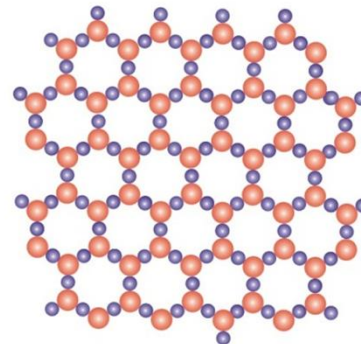
flüssiges  $\text{H}_2\text{O}$   
WASSER



gasförmiges  $\text{H}_2\text{O}$   
DAMPF



festes  $\text{H}_2\text{O}$   
EIS



## 2. Einige grundlegenden Größen zur Beschreibung eines Körpers

### *Mengengrößen*

- **Masse ( $m$ )**
- **Volumen ( $V$ )**
- **Stoffmenge ( $\nu$ )**
- **Teilchenanzahl ( $N$ )**

(Anzahl der Bauelemente (Atome oder Moleküle) im Körper)

$$\nu = \frac{N}{N_A} \quad \text{oder} \quad N = \nu \cdot N_A$$

Avogadro-Konstante ( $N_A$ ):  $N_A = 6,03 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$

### *Bezogene Größen*

#### *Stoffmengenbezogen (molare Größen)*

- **Molare Masse ( $M$ )**

$$M = \frac{m}{\nu} \quad \text{oder} \quad m = \nu \cdot M$$

#### *Volumenbezogen*

- **Dichte ( $\rho$ ):**  $\rho = \frac{m}{V} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$

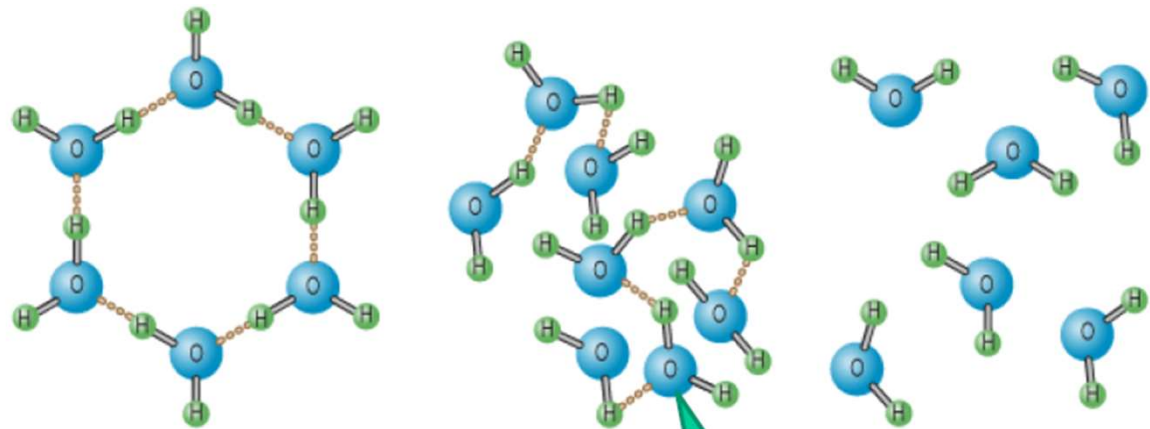
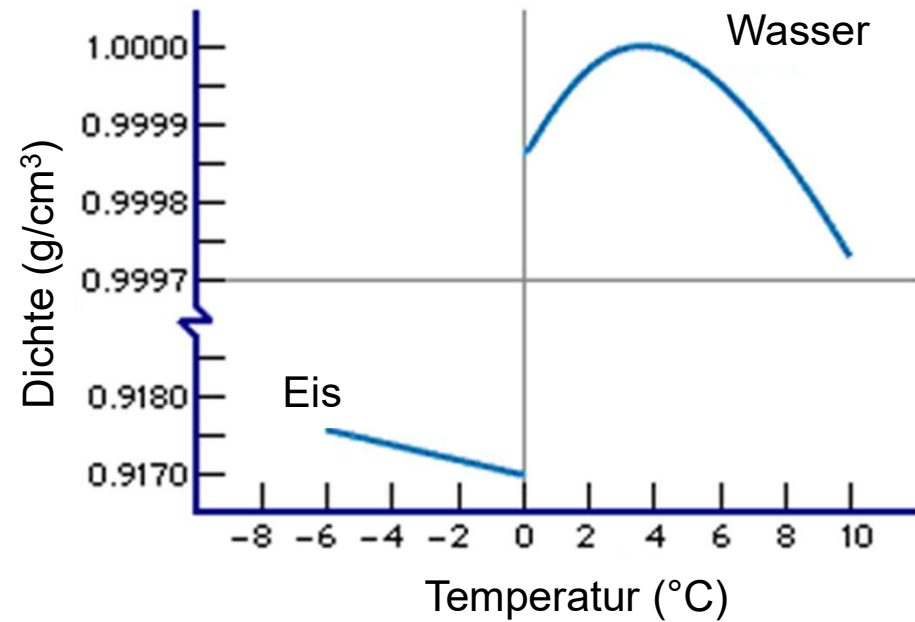


## Mehr über die Dichte:

Stoff	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
Wasser	1
Fettgewebe	$\approx 0,9$
Blut	$\approx 1,05$
Knochen	$\approx 1,8$
Körporgewebe (Mittelwert)	$\approx 1,04$

Temperaturabhängigkeit:

$$\rho(T)$$

Was entscheidet darüber, in welchem Aggregatzustand sich ein Stoff bei einer gegebenen Temperatur befindet?

Anziehende Wechselwirkungen

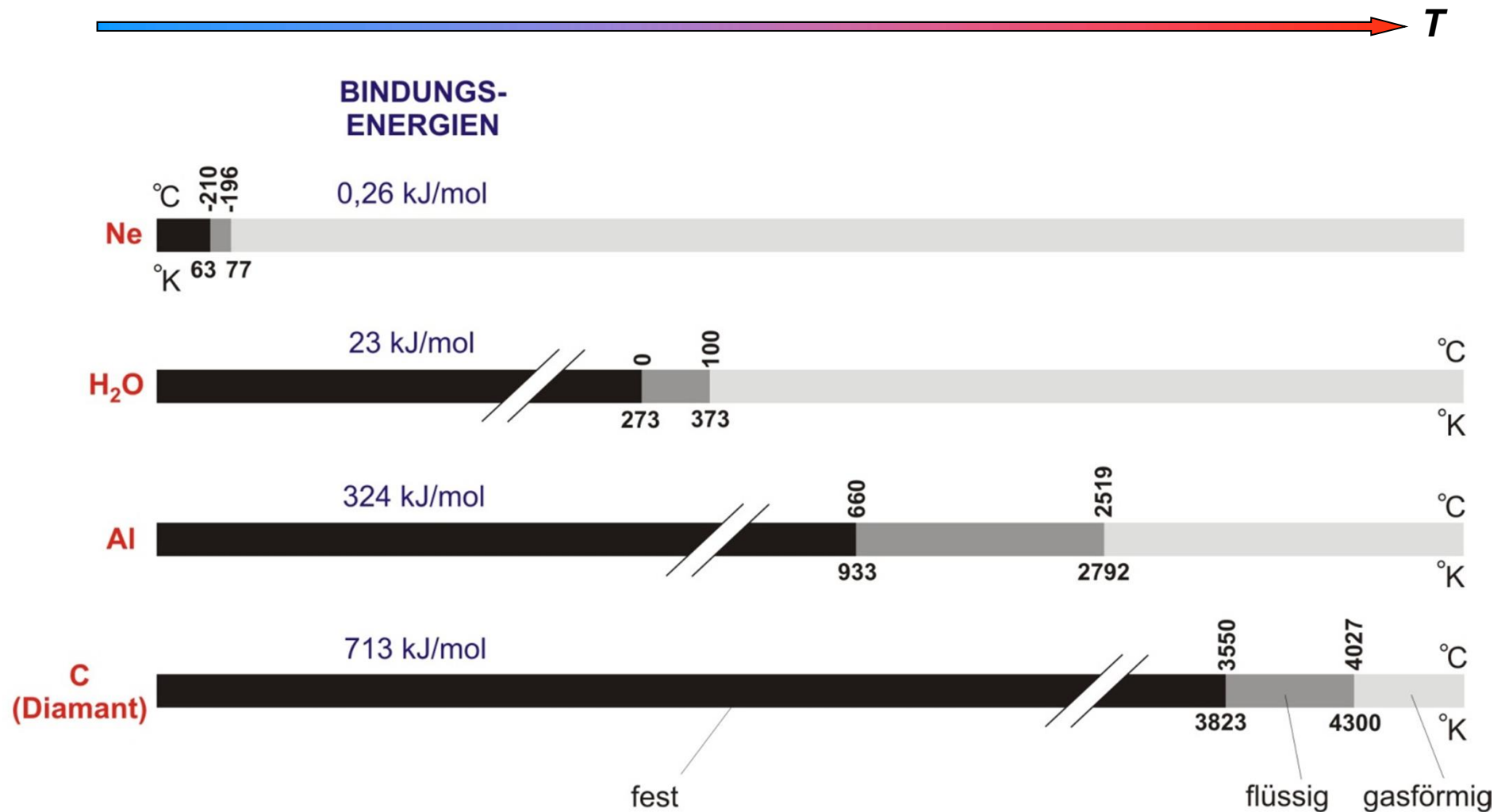


Bewegungen

Bindungsenergie



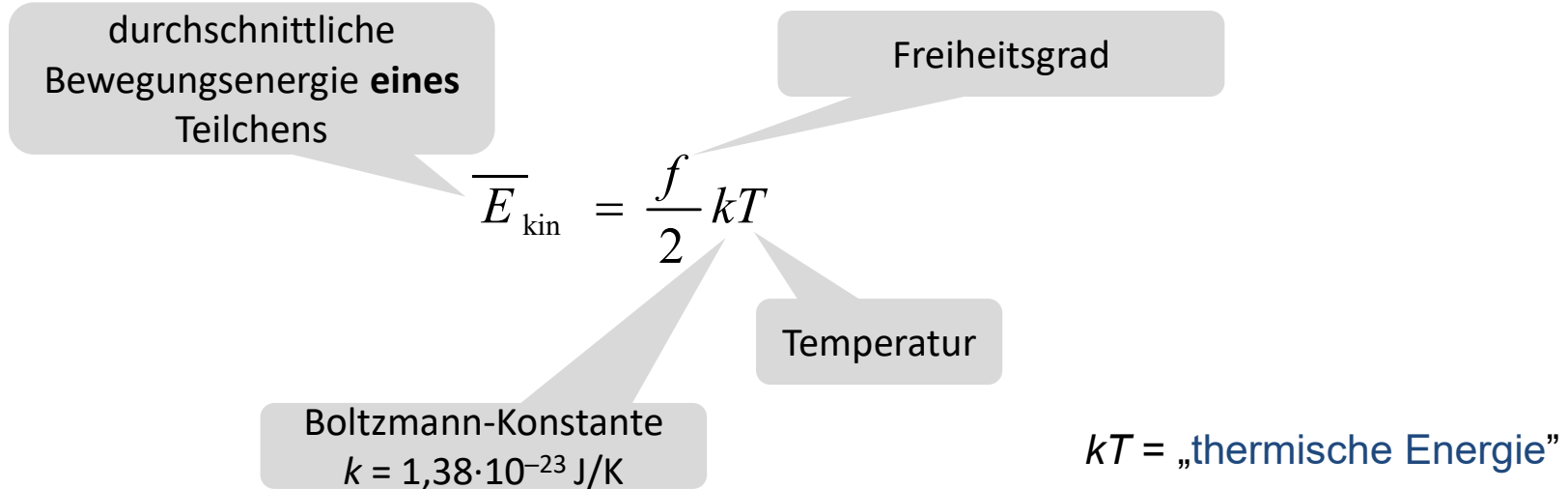
Bewegungsenergie



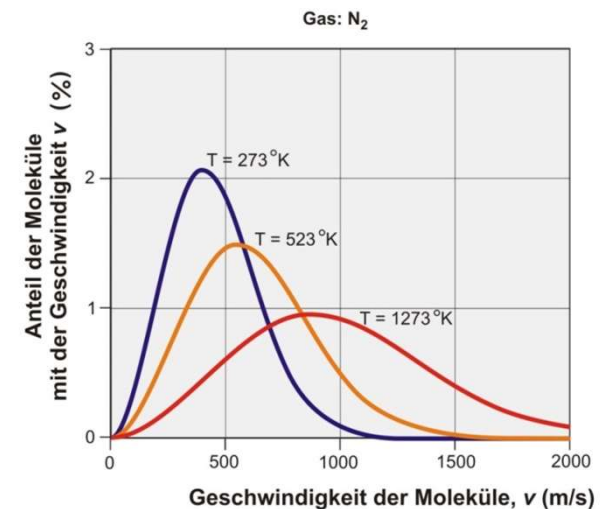
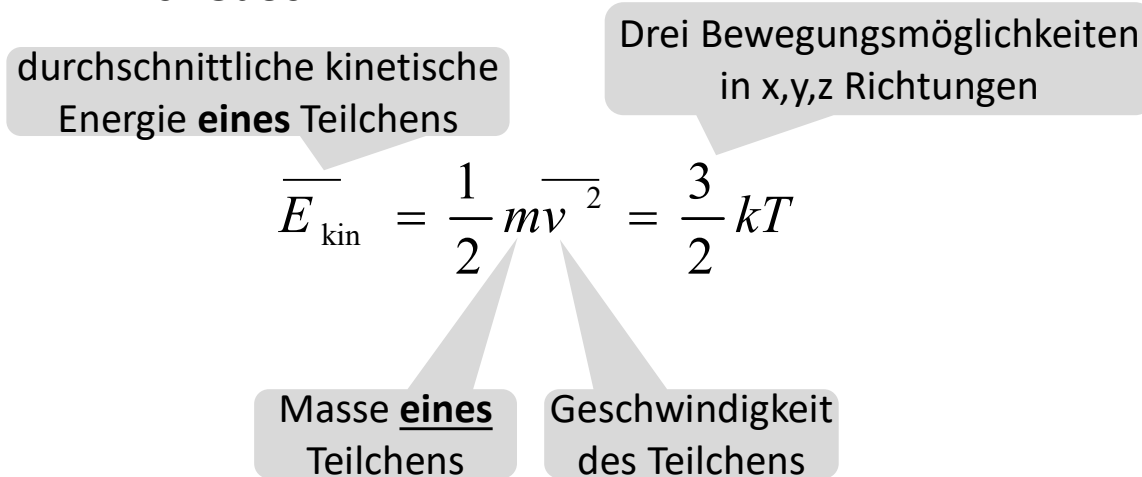
Die Temperaturskala ist verzerrt dargestellt!

### 3. Kinetische Deutung der Temperatur:

#### a) Gleichverteilungssatz (Äquipartitionstheorem)



#### z.B.: Bei Gasen

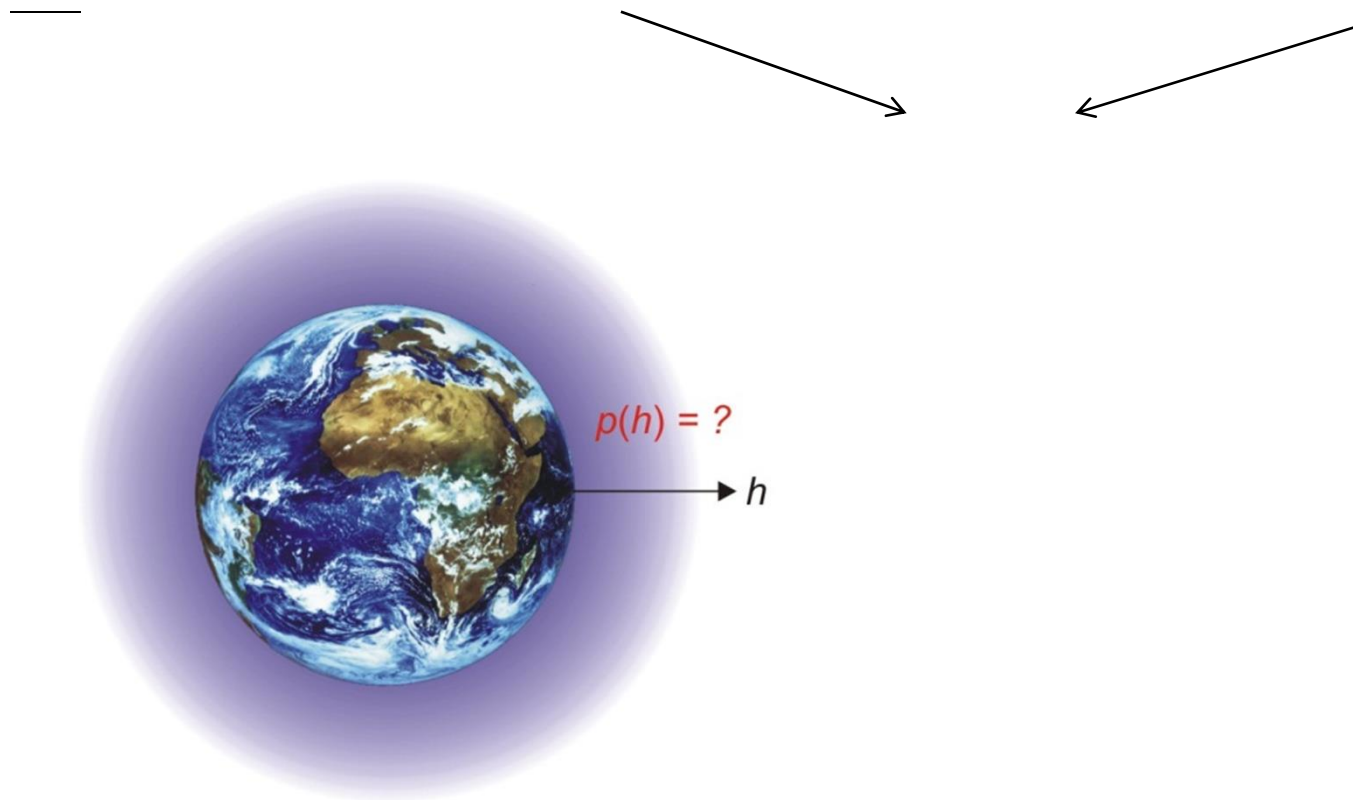


**b) Ein weiteres Beispiel für das Gleichgewicht zwischen die Anziehungskräfte und Bewegungen: Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)**

Gravitation  
(ohne Bewegungen, d. h.  $T = 0$ )



Bewegung  
(ohne Gravitation)

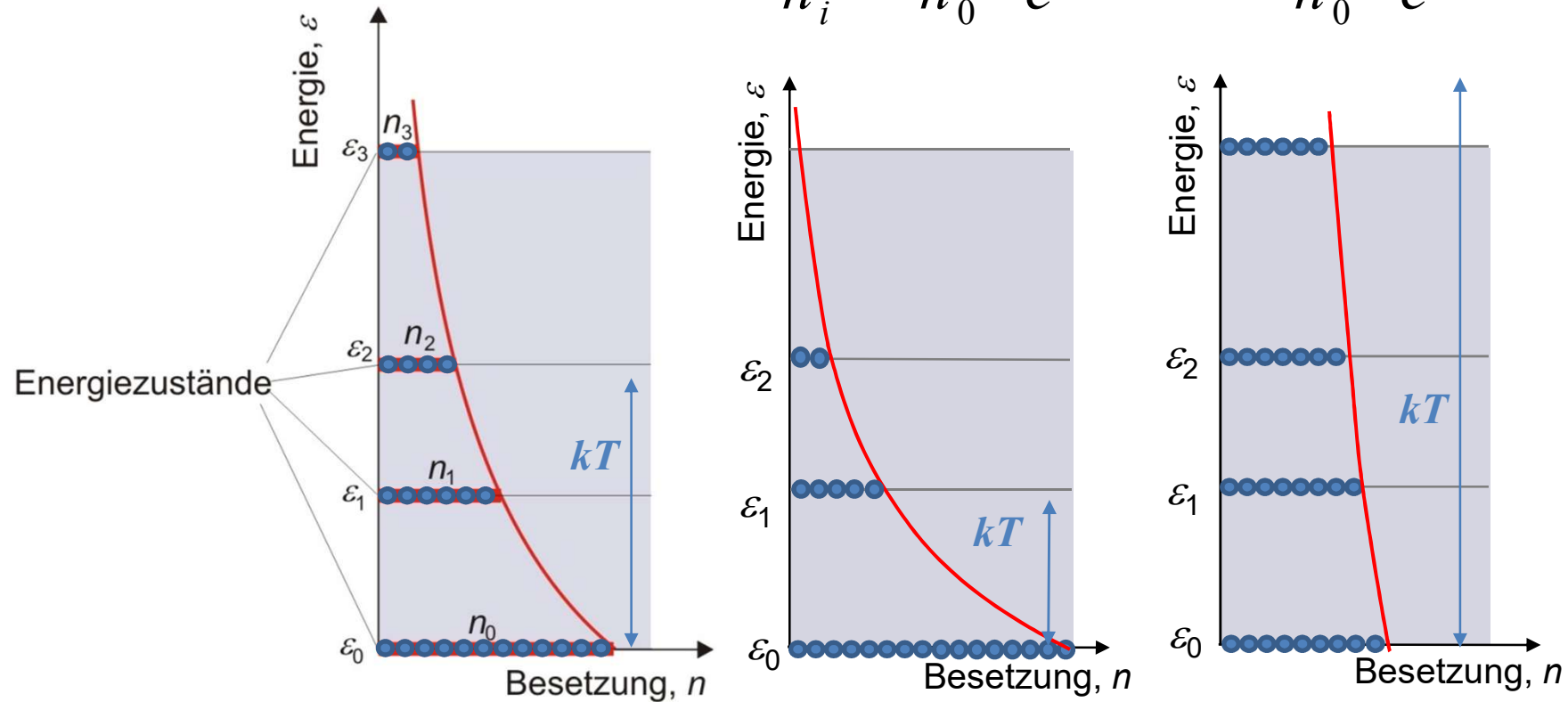




### c) Boltzmann-Verteilung

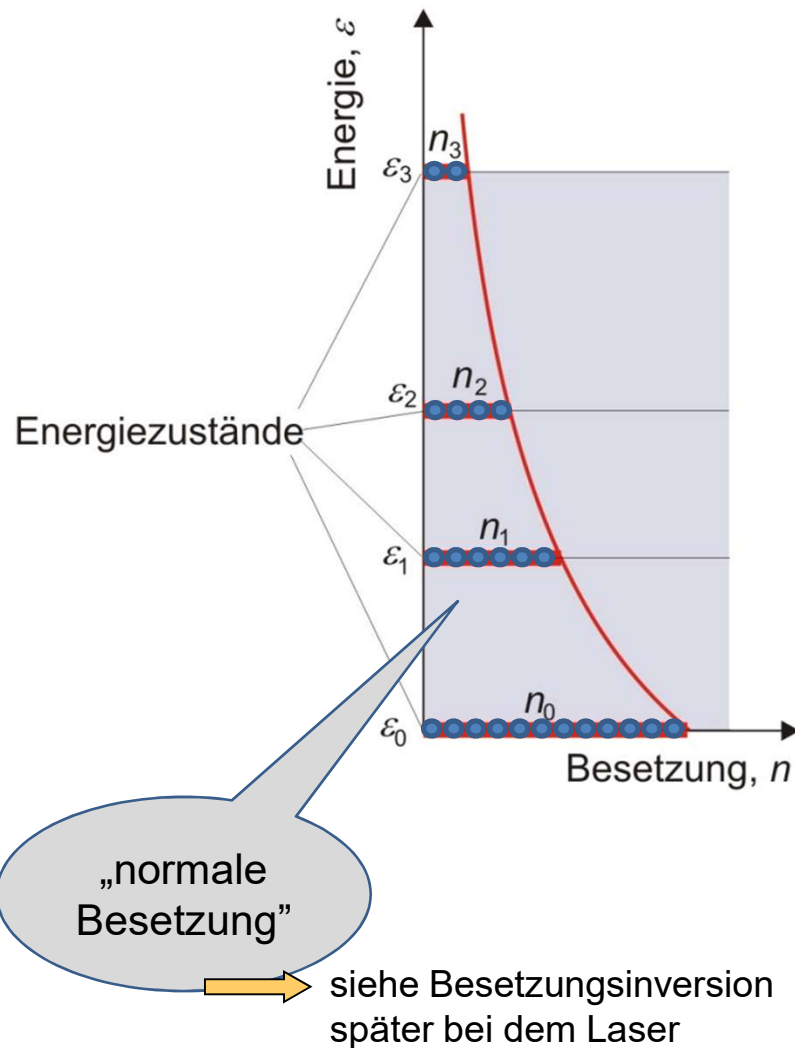
Die Verteilung der Teilchen auf die Energiezustände im thermischen Gleichgewicht ( $T = \text{konstant}$ ).

$$n_i = n_0 \cdot e^{-\frac{\varepsilon_i - \varepsilon_0}{kT}} = n_0 \cdot e^{-\frac{\Delta\varepsilon}{kT}}$$



### c) Boltzmann-Verteilung

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



$$n_i = n_0 \cdot e^{-\frac{\varepsilon_i - \varepsilon_0}{kT}} = n_0 \cdot e^{-\frac{\Delta\varepsilon}{kT}}$$

$$\left( \begin{array}{l} n_i = n_0 \cdot e^{-\frac{\Delta E}{RT}} \quad \Delta E = \Delta\varepsilon \cdot N_A \\ R = k \cdot N_A \end{array} \right)$$

#### 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
- ...

## Hausaufgaben:

- Aufgabensammlung :  
1. 22, 26, 31, 36, 40

