

# 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



1

## Physik in der Medizin



### Lebensprozesse

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

### Diagnostik

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

### Therapie

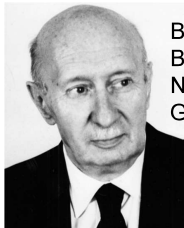
Gamma-Messer, Phototherapie, Laserchirurgie, Defibrillator, Nierensteinzertrümmerung .....

### Medizinische Forschung

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

2

## Physiker in der Medizin



Békésy György  
Biophysiker  
Nobelpreis 1961  
Gehörphysiologie



Peter Mansfield  
Physiker,  
Nobelpreis 2003  
MRI



Erwin Neher  
Biophysiker  
Nobelpreis 1991  
Ionenkanäle

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



Godfrey Hounsfield  
Physiker –Ingenieur  
Nobelpreis 1979  
Computertomograph

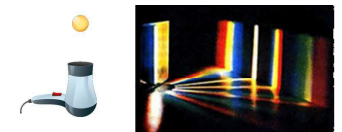


Allan McLeod Cormack  
Physiker  
Nobelpreis 1979  
Computertomograph

3



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



4

## 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)

5

## 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

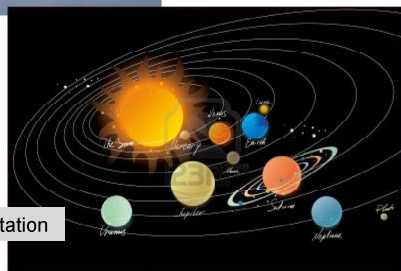
#### Beispiele:



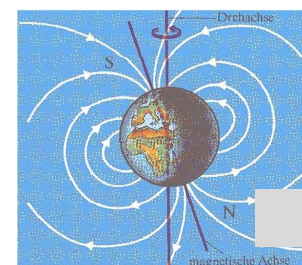
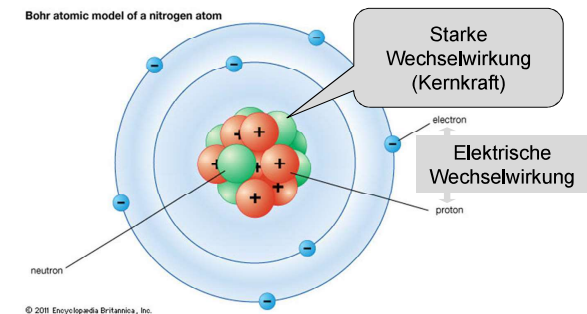
„Kontakt“ (molekulare Wechselwirkungen im Hintergrund)



Gravitation



7



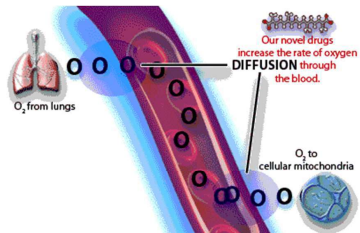
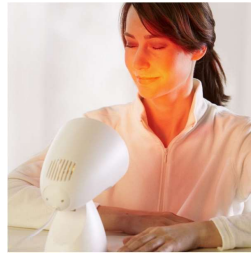
Magnetische Wechselwirkung



8



Thermische Wechselwirkung (Wärme)



Chemische, biologische, ... Wechselwirkungen

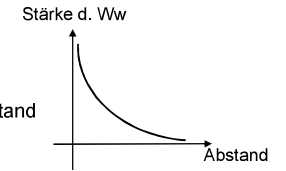


## Beschreibung der Wechselwirkungen:

□ Symmetrie!



□ Bei fernwirkenden Ww: Abklingen mit wachsendem Abstand



□ Größen und Gesetze:

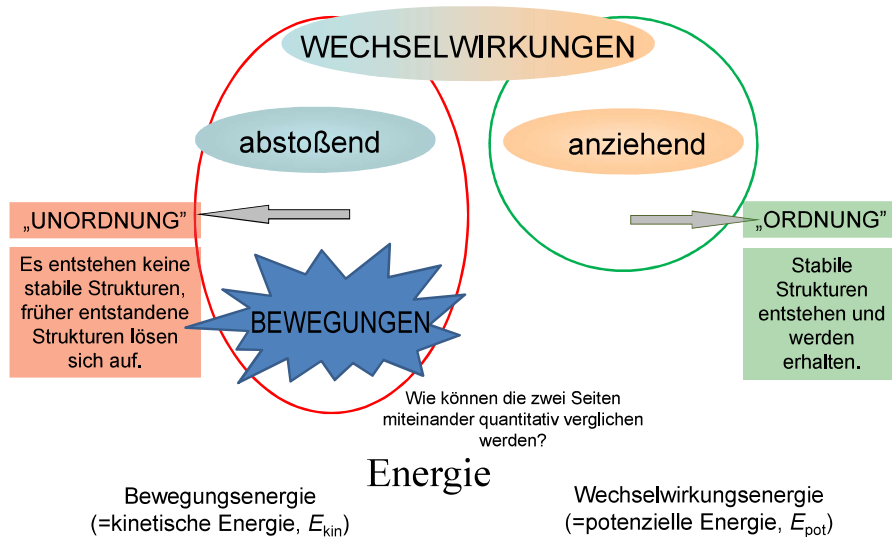
- Kraft, die newtonschen Gesetze und Beispiele für Kraftgesetze
- Arbeit und Energie
- Energieerhaltung
- Leistung
- Druck

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

Kraft

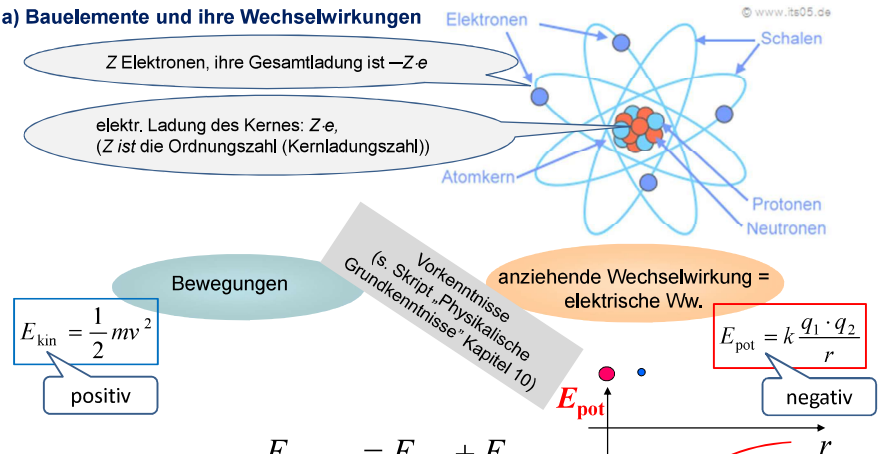
Energie

## 2. Entstehung von stabilen Strukturen - allgemeine Prinzipien



## 3. Aufbau des Atoms

### a) Bauelemente und ihre Wechselwirkungen



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

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

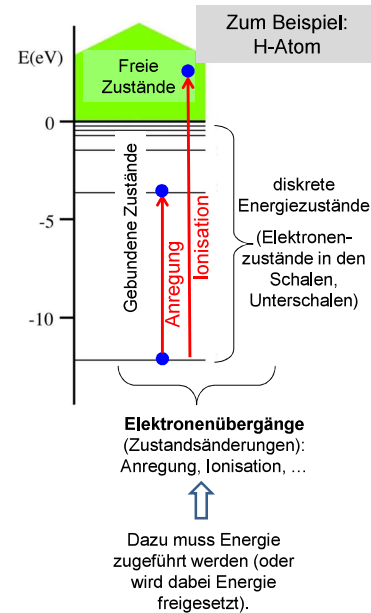
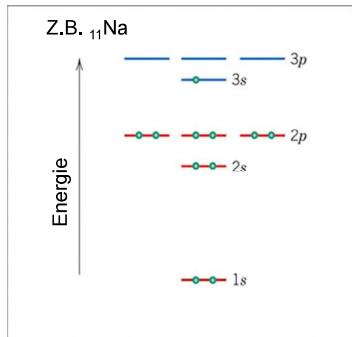
## b) Energiezustände und Übergänge

Eine spezielle Eigenschaft der Mikrowelt:

- **diskrete (quantisierte) gebundene Energiezustände**

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

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



13

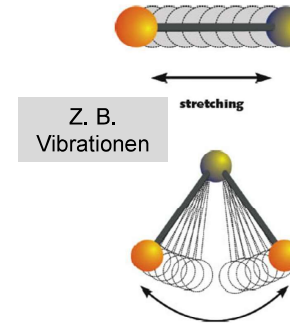
Durch primäre und sekundäre Bindungen (Wechselwirkungen) →

- Moleküle
- Aggregatzustände (flüssige und feste Körper)

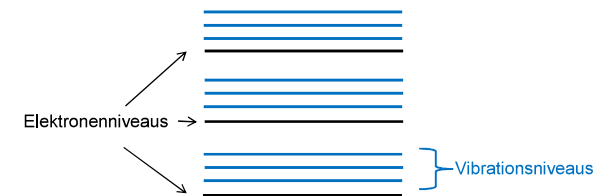
## 4. Energiezustände in Molekülen

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

$$\begin{matrix} \approx 1 \text{ eV} & \approx 0,1 \text{ eV} & \approx 0,01 \text{ eV} \end{matrix}$$



- alle Energieformen sind quantisiert



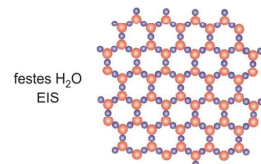
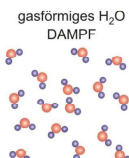
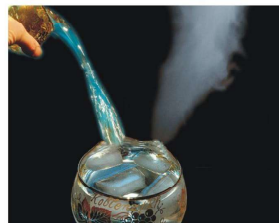
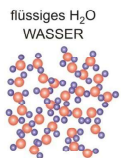
(Rotationsniveaus sind nicht gezeigt.)

14

## II. Aggregatzustände

### 1. Allgemeine Beschreibung

	Fest	Flüssig	Gasförmig
Eigenvolumen	+	+	-
Eigenform	+	-	-



15

### 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)

$$\text{▪ Molare Masse } (M) \quad M = \frac{m}{\nu} \quad \text{oder} \quad m = \nu \cdot M$$

Volumenbezogen

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

16

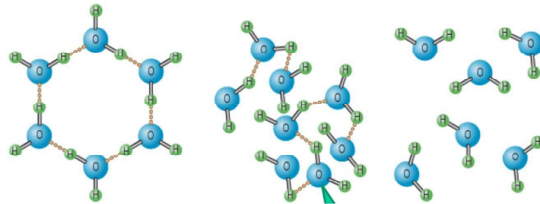
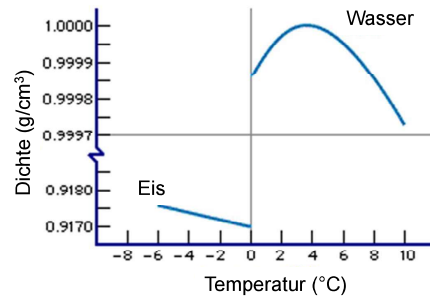


## Mehr über die Dichte:

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

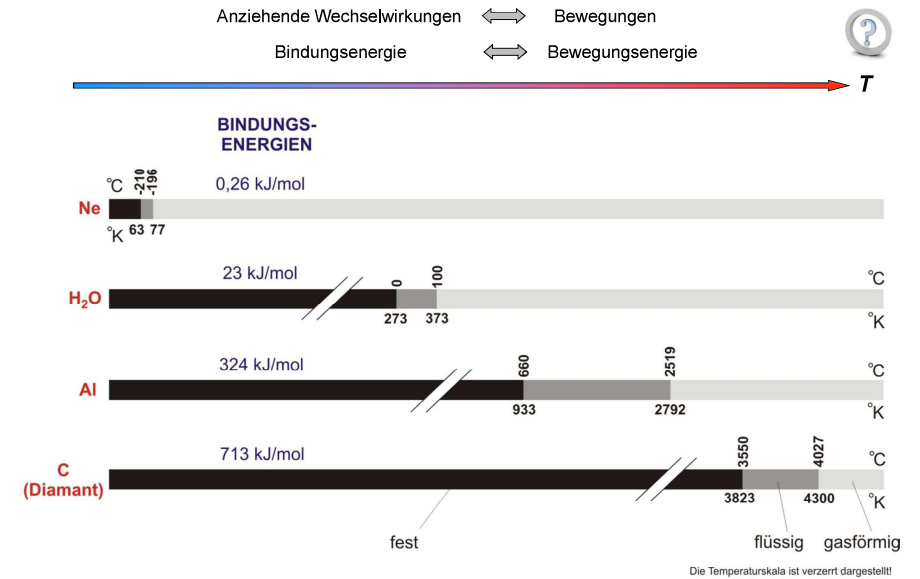
Temperaturabhängigkeit:

$\rho(T)$  ?



17

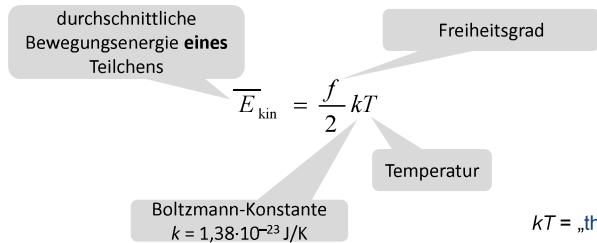
Was entscheidet darüber, in welchem Aggregatzustand sich ein Stoff bei einer gegebenen Temperatur befindet?



18

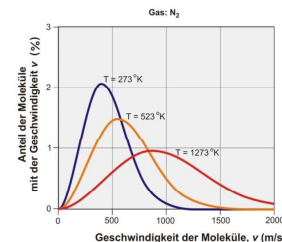
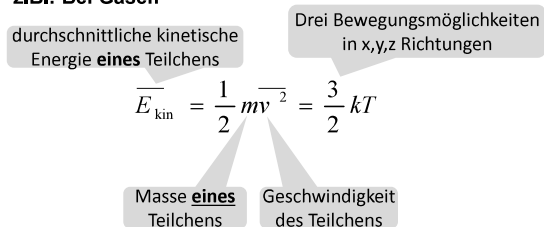
## 3. Kinetische Deutung der Temperatur:

### a) Gleichverteilungssatz (Äquipartitionstheorem)



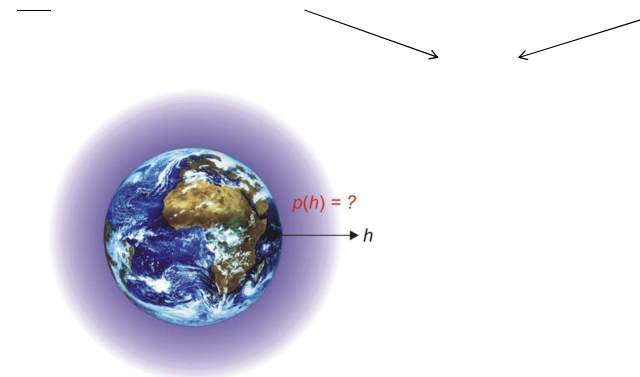
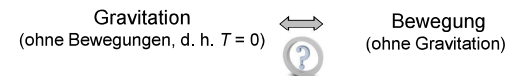
$kT$  = „thermische Energie“

### z.B.: Bei Gasen



19

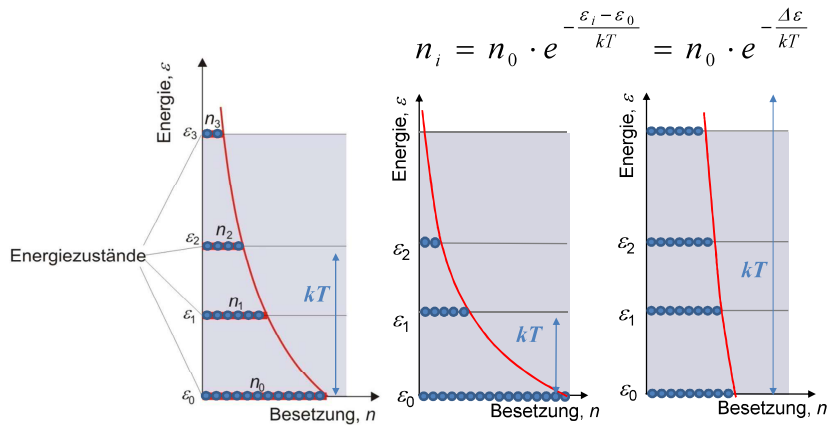
### b) Ein weiteres Beispiel für das Gleichgewicht zwischen die Anziehungskräfte und Bewegungen: Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)



20

### c) Boltzmann-Verteilung

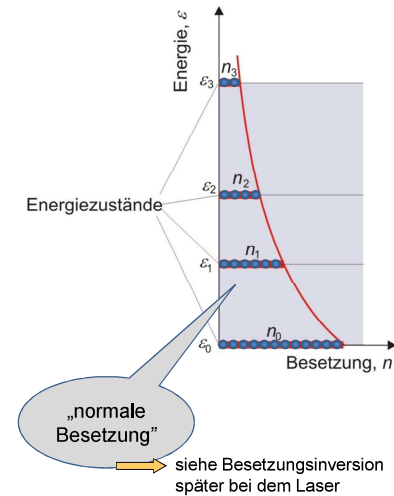
Die Verteilung der Teilchen auf die Energiezustände im thermischen Gleichgewicht ( $T = \text{konstant}$ ).



21

### c) Boltzmann-Verteilung

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



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

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

#### 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
- ...

22

### Hausaufgaben:

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



23