

# Medizinische Biophysik I.

0

Dr. Ferenc Tölgyesi  
[tolgyesi.ferenc@med.semmelweis-univ.hu](mailto:tolgyesi.ferenc@med.semmelweis-univ.hu)  
 Institut für Biophysik und Strahlenbiologie



1

## Physik in der Medizin



### Diagnostik

Röntgendiagnostik Sonographie Optische Tomographie MRI EKG Endosko

### Therapie

Gamma-Messer Phototherapie Laserchirurgie Defibrillator Nierensteinzertrüm

### Medizinische Forschung

Röntgendiffraktion Optische Spektroskopie Mikroskopie Massenspektrometrie

### Lebensprozesse

Diffusion Strömungen Hebelfunktion Wärmestrahlung elektrische Ströme ...

2

## Thematik der Vorlesungen

Unterrichts- woche	Datum	Thema	Vortragender
1	09.09.	<b>Einführung.</b> <b>Struktur der Materie.</b> Atomare, molekulare Wechselwirkungen. Aggregatzustände: Gase	Tölgyesi Ferenc
2	16.09.	Aggregatzustände: Flüssigkeiten, Festkörper, Flüssigkristalle	Tölgyesi Ferenc
3	23.09.	Thermische, elektrische und mechanische Eigenschaften von Stoffen	Tölgyesi Ferenc
4	30.09.	<b>Licht in der Medizin.</b> Medizinische Optik	Tölgyesi Ferenc
5	07.10.	Lichtenstehung, Emissionsspektrometrie	Tölgyesi Ferenc
6	14.10.	Temperaturstrahlung, IR-Diagnostik. Lumineszenz und ihre Anwendungen	Tölgyesi Ferenc
7	21.10.	Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie. Reflexion und Streuung	Tölgyesi Ferenc
8	28.10.	Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie. Absorptionsspektrometrie	Tölgyesi Ferenc
9	04.11.	Biologische Wirkungen des Lichtes. Laser	Tölgyesi Ferenc
10	11.11.	Das Auge und das Sehen	Tölgyesi Ferenc
11	18.11.	<b>Strahlungen (Überblick)</b> <b>Strukturuntersuchungsmethoden in der Medizin</b>	Smeller László
12	25.11.	<b>Nuklearmedizin</b> Atomkern, Radioaktivität	Bérces Attila
13	02.12.	Wechselwirkungen der Kernstrahlungen mit der Materie. Detektoren	Bérces Attila
14	09.12.	Anwendung von Radioisotopen - nuklearmedizinische Verfahren	Bérces Attila

3

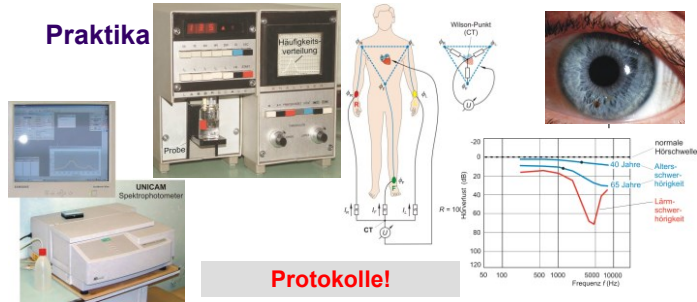
Abweichung für Zahnmediziner in den ersten drei Wochen:

Unterrichts- woche	Datum	Thema	Vortragender
1	09.09.	<b>Einführung.</b> <b>Biostatistik</b> Deskriptive Statistik	Tölgyesi Ferenc Kaposi András
2	16.09.	Deskriptive Statistik	Kaposi András
3	23.09.	Deskriptive Statistik	Kaposi András
4	30.09.	<b>Licht in der Medizin.</b> Medizinische Optik	Tölgyesi Ferenc

im Békésy Hörsaal

4

## Praktika



**Protokolle!**

### Hilfsmittel:

- Praktikum medizinische Biophysik, 2015, Semmelweis Verlag, Budapest
- Biophysik für Mediziner, 2008, Medicina Verlag, Budapest
- Physikalische Grundkenntnisse, herunterladbar von der Webseite des Instituts
- Aufgabensammlung zur medizinischen Biophysik, herunterladbar von der Webseite des Instituts

5

## Studienregel

- Voraussetzungen der Anerkennung des Semesters
- Prüfungen
- Anerkennung von Scheinen aus früheren Studien
- ...

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

6

## Medizinische Biophysik

### Struktur der Materie

#### I. Atome, Moleküle und ihre Wechselwirkungen

1. Allgemein über Wechselwirkungen
  - a) Beispiele:
  - b) Beschreibung der Wechselwirkungen:
2. Elektrische Wechselwirkung
  - a) Coulomb-Gesetz:
  - b) elektrische potenzielle Energie ( $E_{pot}$ )
3. Aufbau des Atoms
  - a) Bauelemente und ihre Wechselwirkungen
  - b) Energiezustände
  - c) Elektronegativität
4. Atomare, molekulare Wechselwirkungen
  - a) Energiekurve
  - b) Primäre Bindungen
  - c) Sekundäre Bindungen
5. Energiezustände in Molekülen

#### II. Aggregatzustände

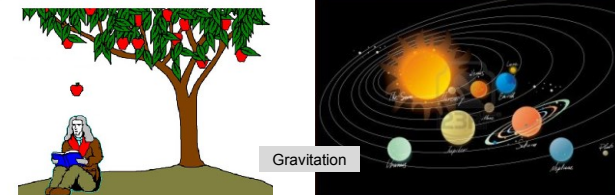
1. Allgemeine Beschreibung
2. Einige grundlegenden Größen zur Beschreibung von Körpern:

7

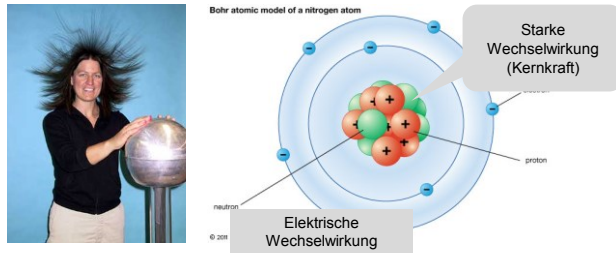
## I. Atome, Moleküle und ihre Wechselwirkungen

### 1. Allgemein über Wechselwirkungen

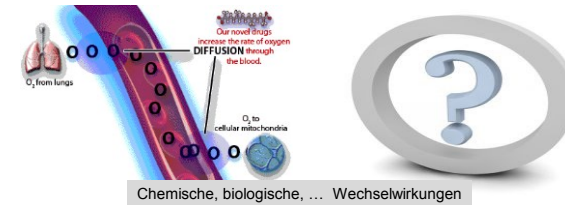
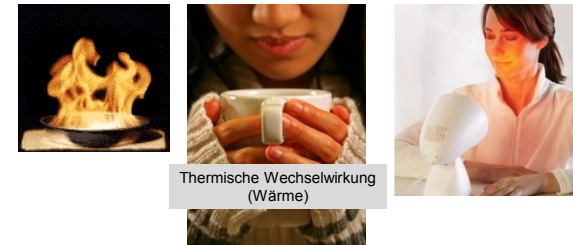
#### a) Beispiele:



8



9



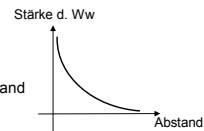
10

## b) Beschreibung der Wechselwirkungen:

- Symmetrie!



- Bei fernwirkenden Ww: Abklingen mit wachsendem Abstand



- Größen und Gesetze:

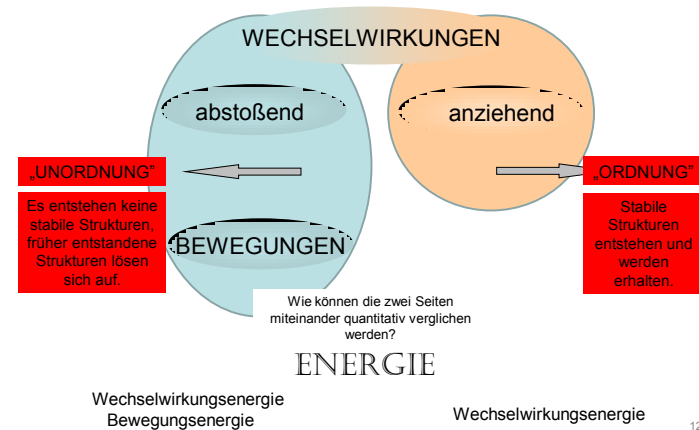
- **Kraft, die newtonschen Gesetze und Beispiele für Kraftgesetze**
- **Arbeit und Energie**
- **Energieerhaltung**
- **Leistung**
- **Druck**

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

KRAFT ENERGIE

11

## Entstehung von stabilen Strukturen - allgemeine Prinzipien

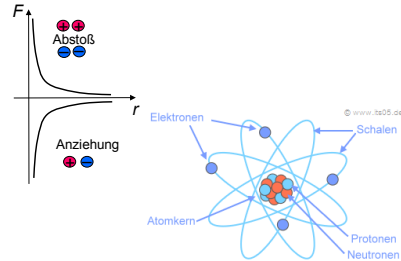


12

## 2. Elektrische Wechselwirkung

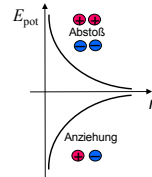
a) Coulomb-Gesetz:  $F_{el} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$

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



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

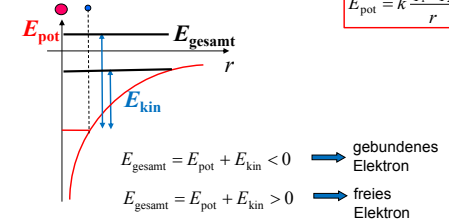
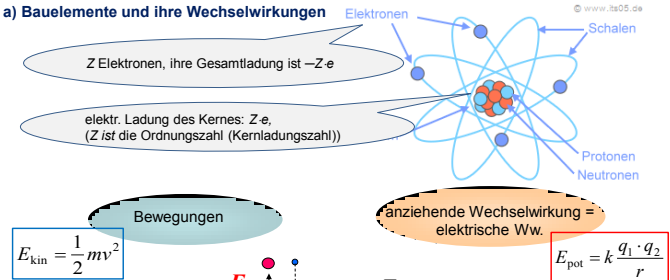
$$E_{pot} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r}$$



13

## 3. Aufbau des Atoms

a) Bauelemente und ihre Wechselwirkungen

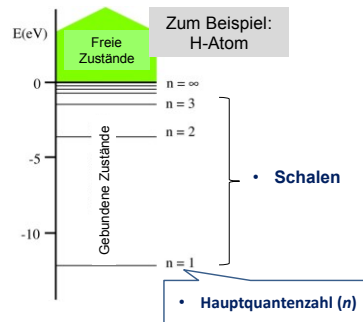


14

## b) Energiezustände

Spezielle Eigenschaft der  
Mikrowelt:

— diskrete Energiezustände



15

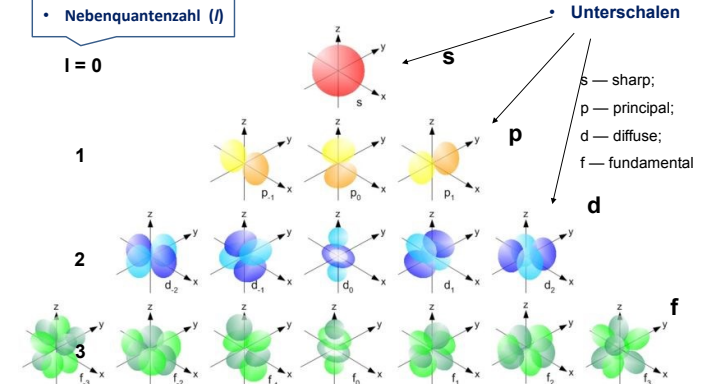
• Nebenquantenzahl ( $l$ )

$l = 0$

1

2

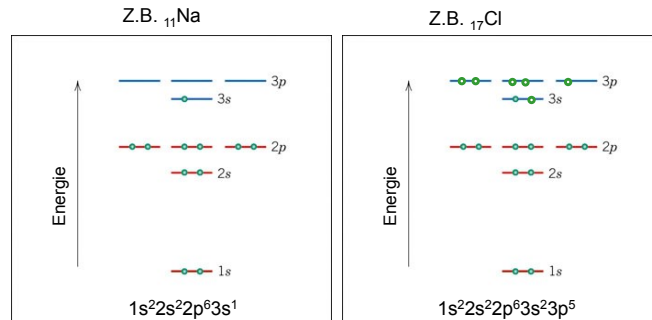
3



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

- Energieminimum
- Pauli-Prinzip

16



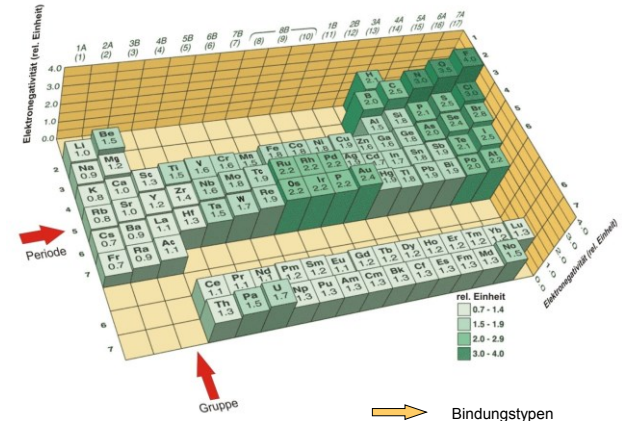
• **Ionisationsenergie ( $I$ ):**  
Zur Entfernung des äußersten Elektrons benötigte Energie (eV/Atom; kJ/mol)

• **Elektronenaffinität ( $A$ ):**  
Bei der Aufnahme eines Elektrons freigesetzte Energie (eV/Atom; kJ/mol)

c) **Elektronegativität** =  $|I| + |A|$

17

Elektronegativität - Pauling-Skala:

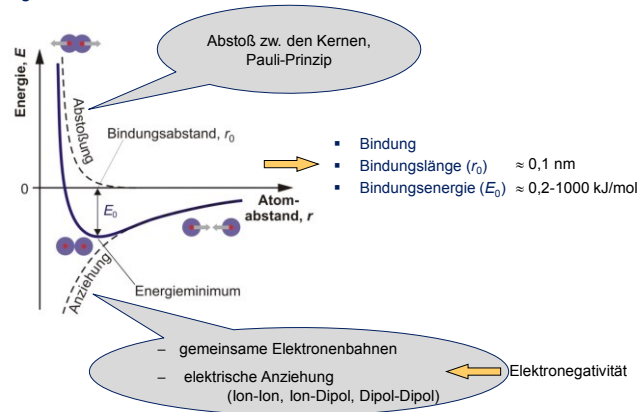


→ Bindungstypen

18

#### 4. Atomare, molekulare Wechselwirkungen

##### a) Energiekurve

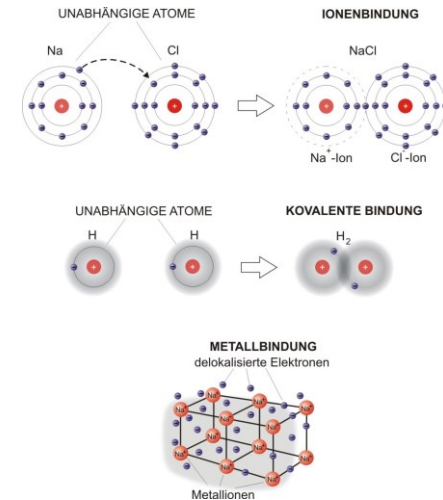


19

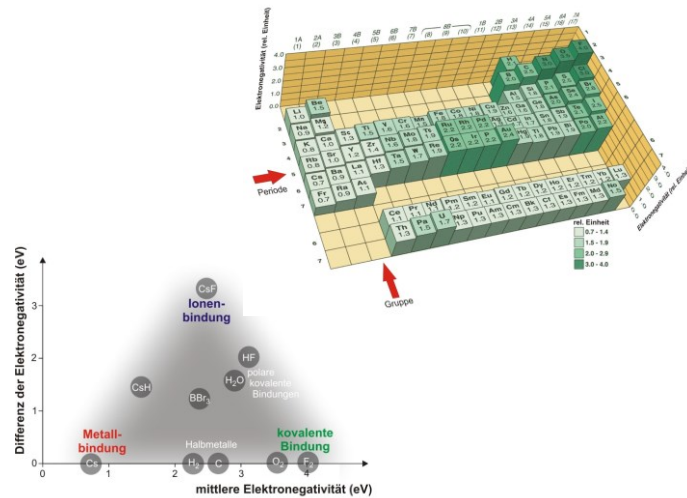
##### b) Primäre Bindungen

- Ionenbindung
- Kovalente Bindung
- Metallbindung

$\approx 100\text{-}1000 \text{ kJ/mol}$



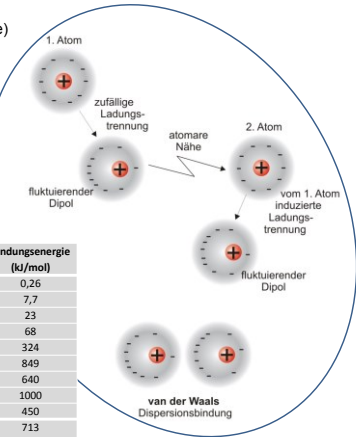
20



21

### c) Sekundäre Bindungen $\approx 0,2-50 \text{ kJ/mol}$

- van der Waals (Dipol-Dipol)
  - Orientierung (2 permanente Dipole)
- Induktion (1 permanenter und 1 induzierter Dipol)
- Dispersion
- H-Brückenbindung



Bindungsstärke	Bindungstyp	Material	Bindungsenergie (kJ/mol)
schwach (sekundär)	van der Waals	Neon (Ne)	0,26
		Argon (Ar)	7,7
	H-Bindung	Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ )	23
stark (primär)	Metallbindung	Quecksilber (Hg)	68
		Aluminium (Al)	324
		Wolfram (W)	849
	Ionenbindung	NaCl	640
		MgO	1000
	kovalente Bindung	Silizium (Si)	450
		Kohlenstoff (C, Diamant)	713

22

Primäre und sekundäre Bindungen



- Moleküle
- Aggregatzustände (flüssige und feste Körper)

### 5. Energiezustände in Molekülen

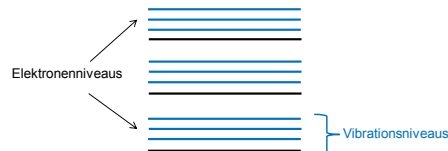
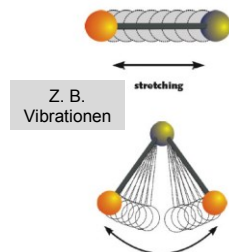
$$E_{\text{Molekül}} = E_{\text{Elektron}} + E_{\text{Vibration}} + E_{\text{Rotation}}$$

$$\approx 1 \text{ eV}$$

$$\approx 0,1 \text{ eV}$$

$$\approx 0,01 \text{ eV}$$

- alle Energieformen sind quantisiert



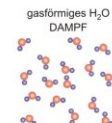
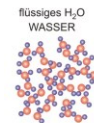
(Rotationsniveaus sind nicht gezeigt.)

23

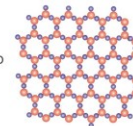
## II. Aggregatzustände

### 1. Allgemeine Beschreibung

	Fest	Flüssig	Gasförmig
Eigenvolumen	+	+	-
Eigenform	+	-	-



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



24

## 2. Einige grundlegenden Größen zur Beschreibung von Körpern:

- **Zahl der Bauelemente (Atome oder Moleküle) im Körper ( $N$ )**
  - **Stoffmenge ( $\nu$ ) in Mol:** 1 mol enthält  $6,03 \cdot 10^{23}$  Bauelemente
- $$\nu = \frac{N}{N_A}$$
- Avogadro-Konstante ( $N_A$ ):  $N_A = 6,03 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$
- **Masse ( $m$ )**
  - **Molare Masse ( $M$ ):** die Masse von einem Mol
- $$m = \nu \cdot M$$
- **Volumen ( $V$ )**

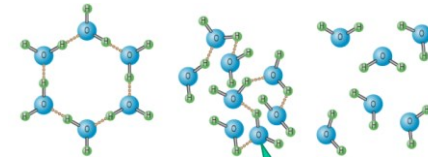
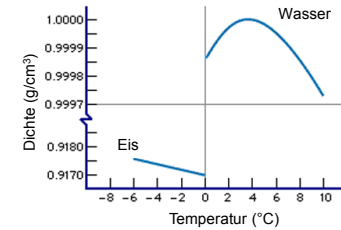
25

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

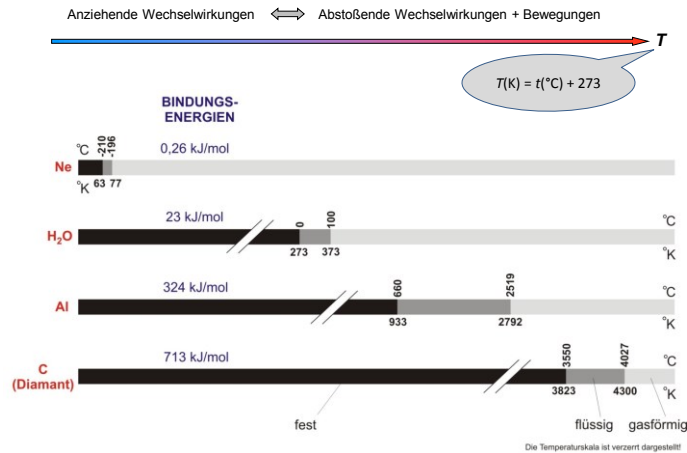
Stoff	$\rho \text{ (g/cm}^3\text{)}$
Wasser	1
Fettgewebe	$\approx 0,9$
Blut	$\approx 1,05$
Knochen	$\approx 1,8$
Körpergewebe (Mittelwert)	$\approx 1,04$

Temperaturabhängigkeit:

$\rho(T)$  ?



26



27

## 2. Gasförmiger Aggregatzustand

### a) Makroskopische Beschreibung:

- Kein Eigenvolumen und keine Eigenform
- Isotrop
- Messbare Größen:  $p, V, \nu, T$

Druck Volumen Stoffmenge Temperatur

allgemeine Gaskonstante  $R = 8,31 \text{ J/(molK)}$

$$pV = \nu RT \text{ (für ideale Gase)}$$

### b) Mikroskopische Beschreibung:

- Ungeordnet
- Starke und fast freie Bewegungen



### c) Kinetische Deutung der Temperatur ?

durchschnittliche kinetische Energie eines Teilchens

$$\overline{E_{\text{kin}}} = \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} kT$$

Boltzmann-Konstante  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

Masse eines Teilchens Geschwindigkeit des Teilchens

Temperatur

$kT = \text{„thermische Energie“}$

28

Eine andere Form:

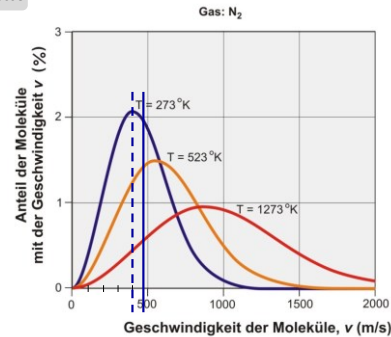
durchschnittliche kinetische Energie **von einem Mol**

Allgemeine Gaskonstante  
 $R = 8,34 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

$$\overline{E}_{\text{kin, mol}} = \frac{1}{2} \overline{M} \overline{v}^2 = \frac{3}{2} RT \quad RT = \text{„molare thermische Energie“}$$

Molare Masse

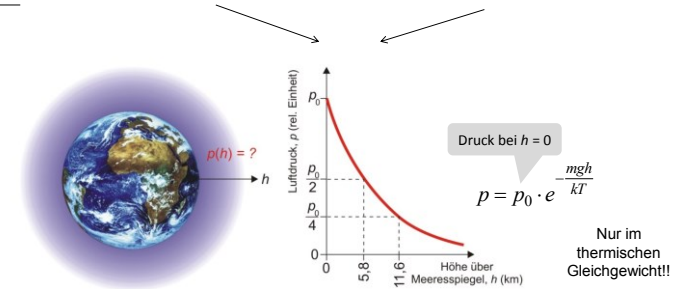
#### d) Maxwell-Boltzmann-Verteilung



29

#### e) Barometrische Höhenformel (Gas im Gravitationsfeld)

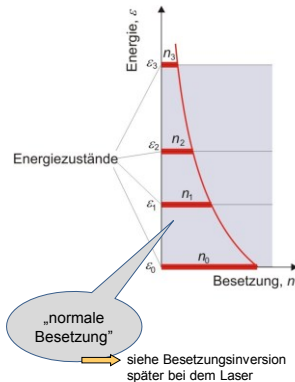
Gravitation (ohne Bewegungen, d. h.  $T = 0$ ) ↔ Bewegung (ohne Gravitation)



30

#### f) Boltzmann-Verteilung

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



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

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

##### 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
- ...

(Gilt aber nicht z. B. bei der Besetzung der Elektronenschalen in einem Atom!)

31

#### Hausaufgaben:

- Aufgabensammlung :  
1.1, 3, 4, 5, 8, 9, 17, 20, 21, 22, 26, 27, 31, 34, 36, 38, 40



32