

# BIOPHYSIK 2024 - 2025

## Wintersemester

**Technische Einleitung:  
Persönliche Information  
Skript/Hilfsmittel und Vorlesungs Informationen  
weiter Bemerkungen**

**SI Einheiten, Größenordnungen, Gr. Alphabet, Phys. Konstanten usw.**

**Vorlesung I & Vorlesung II  
(Struktur der Materie)**

### Persönliche Info:

Imre Ferenc Barna, Phd

physiker, wissenschaftlicher Mitarbeiter an der  
Wigner Forschungszentrum in Budapest

Geb: 1972 nov. 13 Studium: TU Budapest 1991-97

Phd: Justus-Liebig Universität, Giessen in 2002

Post doc Wissenschaftler:

2002- 2004 Max Planck Institute für Komplexe Systeme, Dresden

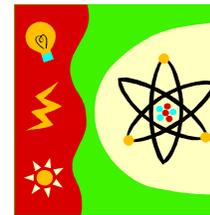
2004 -2005 später an der TU Wien

Alte Forschungsthemen: Theoretische Atomphysik, (genau Ionisation)

Neulich: mathematische Physik, Laser-Atom Wechselwirkungen ☺

Web page: <http://www.kfki.hu/~barnai/>

E-mail: [barna.imre@wigner.hun-ren.hu](mailto:barna.imre@wigner.hun-ren.hu) Tel: 392-2222/3504



# BIOPHYSIK

## Die Rolle der Biophysik in der Veterinärmedizin

- physikalische Grundlagen von Lebensprozessen
- physikalische Methoden in der Therapie und Diagnostik

**Skript:** <http://www.kfki.hu/~barnai/univet/>

Rontó, Tarján: Einführung in die Biophysik  
Sammelweis Verlag, Budapest 1998

**Hilfsmittel** Damjanovich, Fidy, Szöllösi: Medizinische Biophysik  
Medicina, Budapest 2007(?)

Inoffiziell: Wikipedia oder sogar youtube ☺,

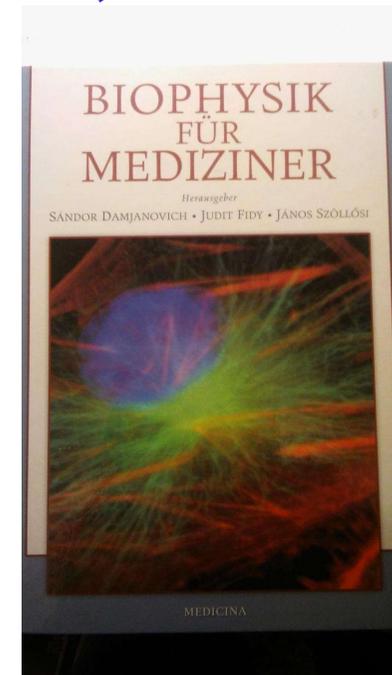
leider ohne meine Verantwortung ☹

### Hilfsmittel, Buch

Damjanovich, Fidy, Szöllösi:

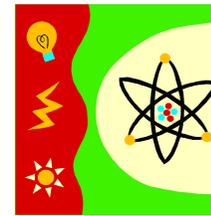
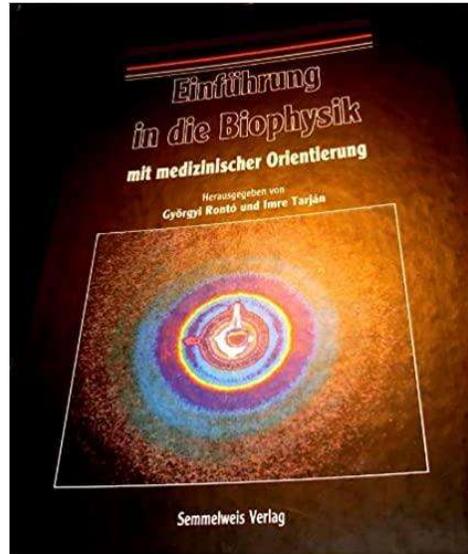
Medizinische Biophysik

Medicina, Budapest 2007



## Hilfsmittel, Buch

György Rontó und Imre Tarján  
Einführung in die Biophysik  
Semmelweis Verlag,  
Budapest 1998

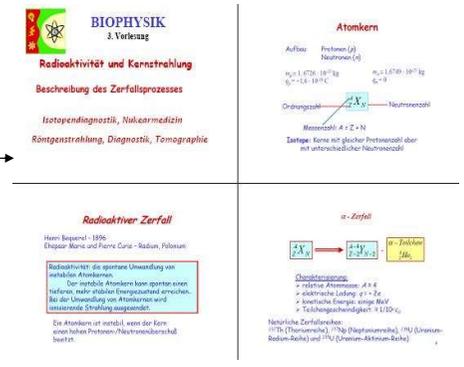
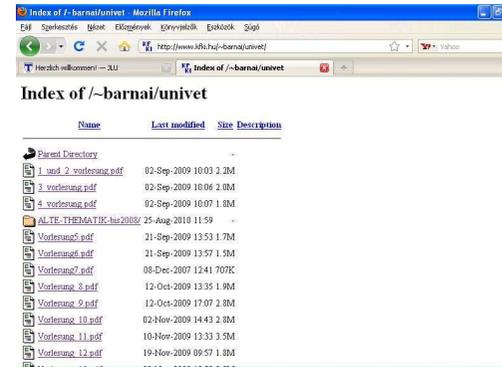


# BIOPHYSIK

## Hilfsmittel

Skript: <http://www.kfki.hu/~barnai/univet/>

- sind farbige .pdf files
- immer 4 Power Point Slides auf der Seite
- eine Vorlesung ist max 89 Folien lang



Skript: <http://www.kfki.hu/~barnai/univet/>



Biophysik Vorlesungen →

## Weitere Hilfsmittel...

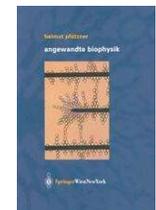
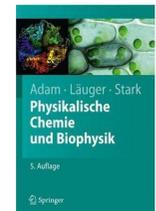
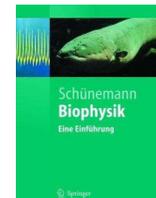
aus Library Genesis...

Ein paar deutschsprachige Bücher:  
Volker Schünemann  
Biophysik: Eine Einführung

Gerold Adam, Peter Läger, Günther Stark  
Physikalische Chemie Und Biophysik

Dr. Helmut Pfützner  
Angewandte Biophysik

Sie brauchen keine extra Bücher, nur  
das Vorlesungsmaterial für die Prüfung!!!





## GRIECHISCHES ALPHABET

Benennung	kleiner Buchstabe		großer Buchstabe		
Alpha	α		A		
Beta	β		B	Π	π
Gamma	γ		Γ	Rho	ρ
Delta	δ		Δ	Sigma	σ
Epsilon	ε		Ε	Tau	τ
Zeta	ζ		Ζ	Ypsilon	υ
Eta	η		Η	Phi	φ
Theta	θ		Θ	Chi	χ
Iota	ι		Ι	Psi	ψ
Kappa	κ		Κ	Omega	ω
Lambda	λ		Λ		
My	μ		Μ		
Ny	ν		Ν		
Xi	ξ		Ξ		
Omikron	ο		Ο		

Alfa, beta, gamma, delta, epsilon, lambda, omega wird gefragt ☺

## Abgeleitete SI-Einheiten mit Spezialbezeichnungen

Größen	Bezeichnung	SI-Einheit Symbol	mit anderen SI-Einheiten ausgedrückt
Ebener Winkel	Radian	rad	m·m <sup>-1</sup>
Raumwinkel	Steradian	sr	m <sup>2</sup> ·m <sup>-2</sup>
Frequenz	Hertz	Hz	s <sup>-1</sup>
Kraft	Newton	N	J·m <sup>-1</sup>
Druck	Pascal	Pa	N·m <sup>-2</sup>
Arbeit, Energie, Wärmemenge	Joule	J	N·m
Leistung	Watt	W	J·s <sup>-1</sup>
Elektrische Ladung	Coulomb	C	A·s
Elektrische Spannung (Potentialdifferenz)	Volt	V	W·A <sup>-1</sup>
Elektrische Kapazität	Farad	F	C·V <sup>-1</sup>
Elektrischer Widerstand	Ohm	Ω	V·A <sup>-1</sup>
Elektrischer Leitwert	Siemens	S	A·V <sup>-1</sup>
Magnetischer Fluxus	Weber	Wb	V·s
Magnetische Induktion	Tesla	T	Wb·m <sup>-2</sup>
Induktivität	Henry	H	Wb·A <sup>-1</sup>
Lichtstrom	Lumen	lm	cd·sr
Beleuchtungsstärke	Lux	lx	lm·m <sup>-2</sup>
Aktivität von radioaktiven Strahlungsquellen	Becquerel	Bq	s <sup>-1</sup>
Energiedosis	Gray	Gy	J·kg <sup>-1</sup>
Äquivalentdosis	Sievert	Sv	J·kg <sup>-1</sup>

## GRUNDEINHEITEN DES INTERNATIONALEN MASSYSTEMS (SYSTEME INTERNATIONALE D'UNITES; SYMBOL: SI)

Grundgrößen	Grundeinheiten	
	Bezeichnung	Symbol
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Elektrische Stromstärke	Amper	A
Thermodynamische Temperatur	Kelvin	K
Stoffmenge	Mol	mol
Lichtstärke	Candelle (candela)	cd

## SI-Vorsilben

Bezeichnung	Vorsilbe Symbol	der entsprechende Multiplikator
exa	E	10 <sup>18</sup>
peta	P	10 <sup>15</sup>
tera	T	10 <sup>12</sup>
giga	G	10 <sup>9</sup>
mega	M	10 <sup>6</sup>
kilo	k	10 <sup>3</sup>
hekto	h	10 <sup>2</sup>
deka	da	10
deci	d	10 <sup>-1</sup>
centi	c	10 <sup>-2</sup>
milli	m	10 <sup>-3</sup>
mikro	μ	10 <sup>-6</sup>
nano	n	10 <sup>-9</sup>
piko	p	10 <sup>-12</sup>
femto	f	10 <sup>-15</sup>
atto	a	10 <sup>-18</sup>

Beispiel 12 ng = 12·10<sup>-9</sup>gramm

Immer eine schöne Prüfungsfrage...

## Konstanten und Daten

Universelle Gaskonstante	$R = 8,31 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$
Loschmidtsche (Avogadro) Zahl	$L = 6\cdot 10^{23} / \text{mol}$
Boltzmann-Konstante	$k = 1,38\cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
Faraday-Konstante	$F = 96500 \text{ C}/(\text{mol}\cdot\text{Wertigkeit})$
Planck-Konstante	$h = 6,6\cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
Lichtgeschwindigkeit (im Vakuum)	$c = 3\cdot 10^8 \text{ m/s}$
Ladung des Elektrons	$e = 1,6\cdot 10^{-19} \text{ C}$
Ruhemasse des Elektrons	$m_e = 9,1\cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Ruhemasse des Protons	$m_p = 1,673\cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Ruhemasse des Neutrons	$m_n = 1,675\cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Koeffizient der Temperaturstrahlung	$\sigma = 5,7\cdot 10^{-8} \text{ J}/(\text{m}^2\cdot\text{K}^4\cdot\text{s})$
Reynoldssche Zahl	$Re = 1160$
Umrechnung zwischen den Logarithmen-systemen	$\ln A = 2,3 \lg A; \log_2 A = 3,3 \lg A$
Grundzahl des natürlichen Logarithmus	$e = 2,718\dots$

Größenordnungen  
müssen Sie wissen

Immer eine schöne Prüfungsfrage..

17

Relative Atommasse	Nitrogen:	14
	Oxygen:	16
Dichte	Aluminium (Al):	$2,7 \text{ g/cm}^3$
	Blei (Pb):	$11,3 \text{ g/cm}^3$
	menschliches Körpergewebe:	$1,04 \text{ g/cm}^3$
	Blut (durchschnittlich):	$1,05 \text{ g/cm}^3$
	Luft (bei $0^\circ\text{C}$ 100 kPa Druck):	$1,29 \text{ kg/m}^3$
	Knochen:	$(1,7-2,0)\cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
Fettgewebe:	$(0,92-0,94)\cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$	
Viskosität	Wasser (bei $27^\circ\text{C}$ ):	$0,85 \text{ mPa}\cdot\text{s}$
	Blut (bei $37^\circ\text{C}$ ):	$4,5 \text{ mPa}\cdot\text{s}$

Spezifische Wärmekapazität	Wasser:	$4,18 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
	Muskel:	$3,76 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
	Blut:	$3,9 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
	Knochen:	$1,3-1,7 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
	Fettgewebe:	$3 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
	Körpergewebe (durchschnittlich):	$3,5 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
Oxygen: $c_v$	$0,65 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	
$c_p$	$0,92 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	
Schmelzwärme	Eis:	$334,4 \text{ kJ/kg}$
Verdampfungswärme	Wasser (bei $100^\circ\text{C}$ 101 kPa Druck):	$2257 \text{ kJ/kg}$
	Glukose:	$-902,5 \text{ kJ/mol}$
Chemisches Standardpotential		
Brechzahl	Luft:	1
	Wasser:	1,333
	Zedernholzöl:	1,5
Massenschwächungs- koeffizient	$\mu_m$ ( $^{24}\text{Na}$ , Pb Abs.):	$5\cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$
	Hörschwelle	bei 1 kHz:

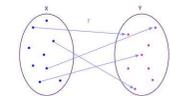
Immer eine schöne Prüfungsfrage.

Für normales  
Material immer  $< 2$   
Ausnahme Diamant

## Minimale Mathematik (Funktionen)

- In der Mathematik ist eine **Funktion** oder **Abbildung** eine Beziehung zwischen zwei Mengen, die jedem Element der einen Menge (Eingangsgröße, Funktionsargument, unabhängige Variable, x-Wert) ein Element der anderen Menge (Ausgangsgröße, Funktionswert, abhängige Variable, y-Wert) zuordnet

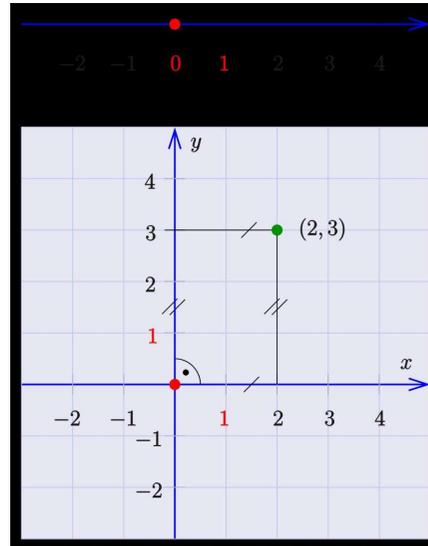
- Zuordnungsvorschrift: oder  $f(x) = x^2$



- Für Uns wichtige Funktionen:
- Potenzfunktion:  $f(x) = 1/x$ ,  $f(x) = c$ ,  $f(x) = a\cdot x + b$ ,  $f(x) = a x^2$ ,  $f(x) = a x^4$
- Wurzelfunktion:  $f(x) = \sqrt{x}$
- Exponentialfunktion:  $f(x) = e^x$  oder  $f(x) = e^{-x}$
- Logarithmusfunktion:  $f(x) = \ln(x)$ ,
- Trigonometrische Funktionen:  $f(x) = \sin(x)$ ,  $f(x) = \cos(x)$

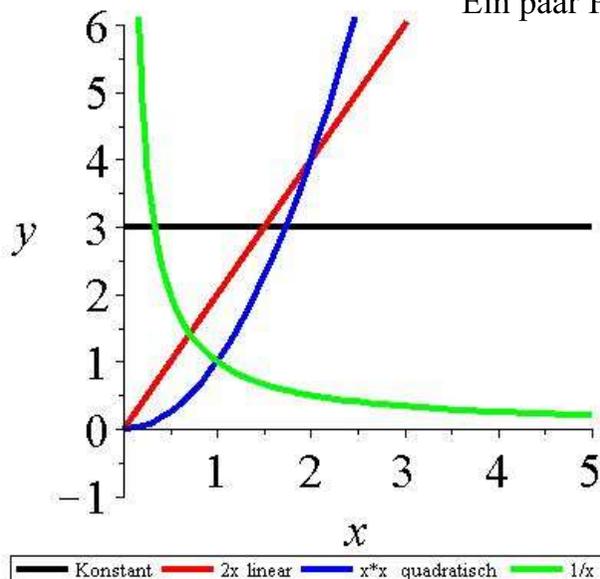
# Minimale Mathematik (Funktionen)

Die Funktionen sind normalerweise im kartesischen Koordinatensystem dargestellt

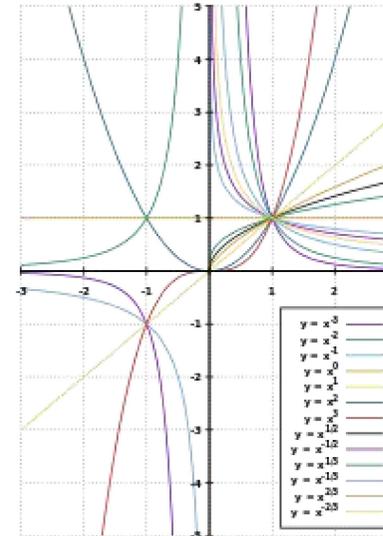


# Minimale Mathematik (Funktionen)

Ein paar Potenzfunktionen



# Ein paar weitere Potenzfunktionen



# Regeln für Potenzfunktionen:

Grundlegende Potenzregeln	
$a^0 = 1$	Potenz mit dem Exponent 0
$a^1 = a$	Potenz mit dem Exponent 1
$a^m \cdot a^n = a^{m+n}$	Multiplikation von Potenzen mit gleicher Basis: Potenzen mit gleicher Basis werden multipliziert, indem ihre Exponenten addiert werden.
$(a^n)^m = a^{n \cdot m}$	Potenzen von Potenzen: Potenzen werden potenziert, indem alle Exponenten miteinander multipliziert werden.
$a^n \cdot b^n = (ab)^n$	Multiplikation von Potenzen mit gleichem Exponent: Potenzen mit gleichem Exponent werden multipliziert, indem die Basen multipliziert werden.
$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$	Potenz mit negativem Exponenten
$\frac{a^n}{a^m} = a^{n-m}$	Division von Potenzen mit gleicher Basis
$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$	Potenz deren Exponent das Inverse einer natürlichen Zahl ist
$a^{\frac{b}{c}} = \sqrt[c]{a^b}$	Potenz deren Exponent ein Bruch ist. (Achtung: wenn n gerade ist, muss a größer als 0 sein!)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Potenzfunktion>

[www.formelsammlung-mathe.de/potenzen.html](http://www.formelsammlung-mathe.de/potenzen.html)

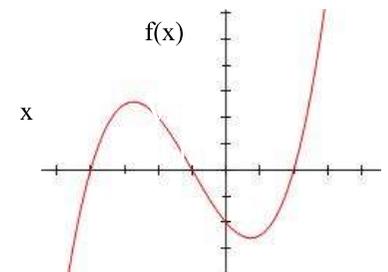
# Polinomen:

Ein Beispiel

## Polynom

Ein Polynom summiert die Vielfachen von Potenzen einer Variabler:

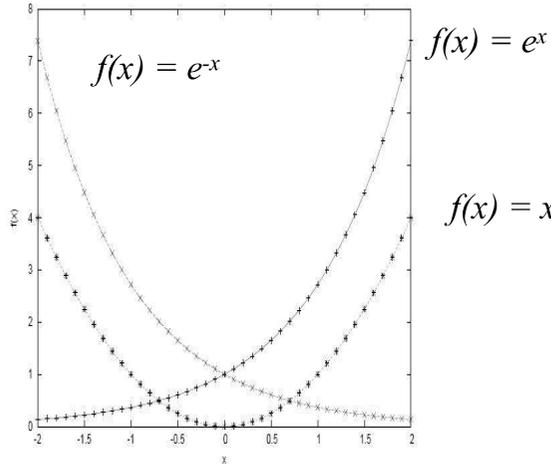
$$f(x) = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i x^i$$



$$f(x) = \frac{(x+4)(x+1)(x-2)}{4} = \frac{x^3 + 3x^2 - 6x - 8}{4}$$

# Exponentialfunktion

„Steiler als alle Potenzfunktionen für grösse Argumente“



Rechenregeln Exponentialfunktion:

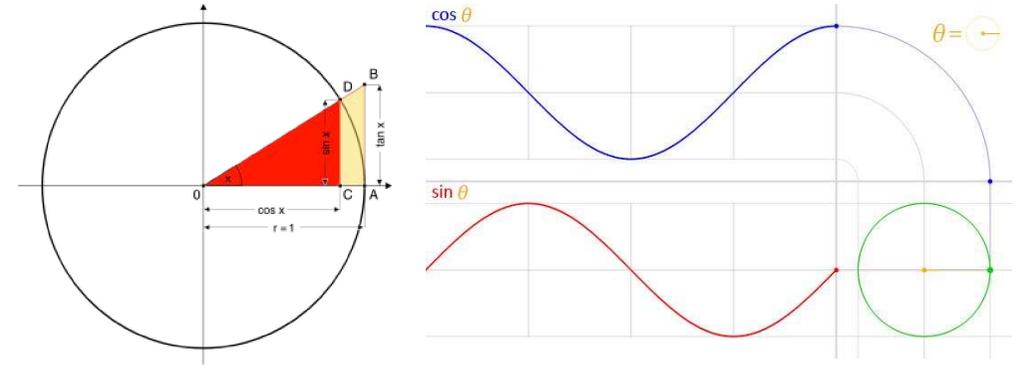
$$e^a \cdot e^b = e^{a+b}$$

$$(e^a)^b = e^{a \cdot b}$$

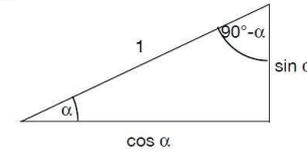
$$e^{-a} = \frac{1}{e^a} = \left(\frac{1}{e}\right)^a$$

# Trigonometrische Funktionen

## Cosinus und Sinus Funktionen



Merkdreieck



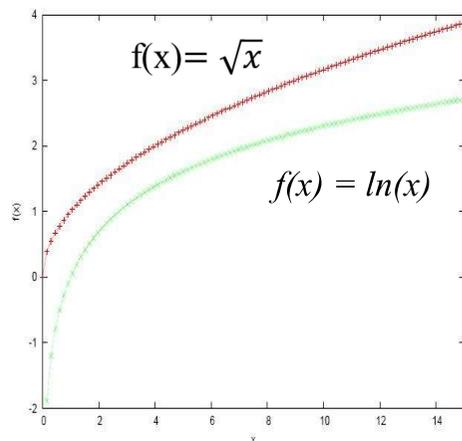
Periodisch auf 360° oder 2 Pi

[https://de.wikipedia.org/wiki/Trigonometrische\\_Funktion](https://de.wikipedia.org/wiki/Trigonometrische_Funktion)

# Logarithmusfunktion

## Inversfunktion von Exponentialfunktion

$$e^x = \exp(x) = a \Leftrightarrow x = \ln(a) = \log(a)$$



Rechenregeln Logarithmus:

$$\log(e^a) = e^{\log(a)} = a$$

$$\log(a \cdot b) = \log(a) + \log(b)$$

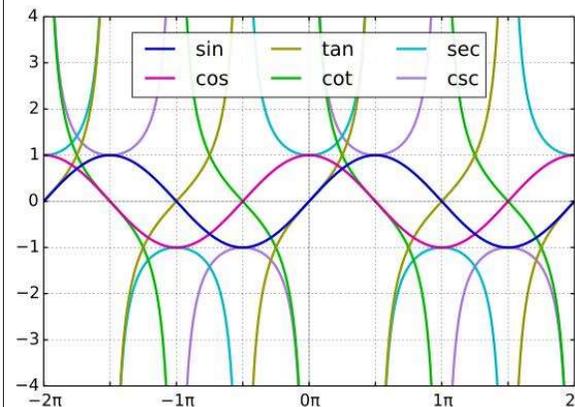
$$\log\left(\frac{a}{b}\right) = \log(a) - \log(b)$$

$$\log(a^b) = b \cdot \log(a)$$

$$a^b = e^{b \cdot \log(a)}$$

# Trigonometrische Funktionen

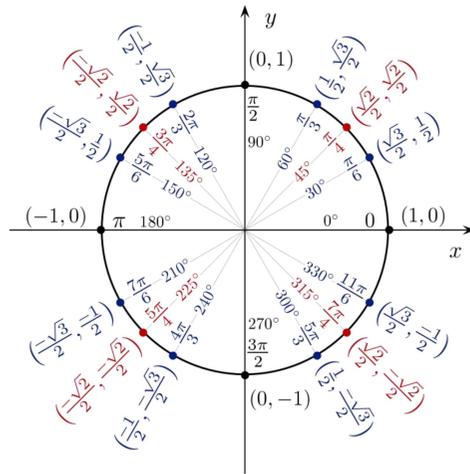
$$\tan(x) = \sin(x)/\cos(x), \quad \cot(x) = \cos(x)/\sin(x)$$



Weitere seltene Funktionen  
 $\secans(x) = 1/\sin(x)$   
 $\text{cosecant}(x) = 1/\cos(x)$

# Trigonometrische Funktionen

## Wichtige Funktionswerte



# Trigonometrische Funktionen

## Additionstheoreme:

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta \mp \sin \alpha \cdot \sin \beta$$

Formeln für doppelte Winkel (Additionstheoreme für  $\alpha = \beta$ )

$$\sin(2\alpha) = 2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad \cos(2\alpha) = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 2 \cdot \cos^2 \alpha - 1$$

# Ein wichtiges Mathematik Buch

## Bronstein - Semendjajew



Existiert auf dem web als .pdf...

## Einteilung der Physik

- Die **Physik** (griechisch *φυσική*, *physike* „die Natürliche“) ist die grundlegende Naturwissenschaft in dem Sinne, dass die Gesetze der Physik alle Systeme der Natur beschreiben.
- Entweder Experimental oder Theoretische Physik (neu Computer)
- Klassische oder Moderne Physik (alles nach dem Quantenmechanik)
- Klassische Disziplinen: **Mechanik** Bewegungen, Kräfte, Deformation, Wellen

**Elektrodynamik und Optik** Elektrizitaet, Magnetismus, Licht

**Thermodynamik und Statistische Physik** Gas- Flüssigkeiten, Diffusion, Transportphenomaeene

Moderne Disziplinen: Atom-Kernphysik, Teilchenphysik, Relativitaetstheorie

Biophysik ist keine unabhængige Disziplin sondern eine „Mischung“ von Klassische Disziplinen

## Warum lernen? Warum physik?

- „Mann muss lernen dass Leben besser verwöhnen zu können“



**Marcel Reich-Ranicki**  
**der Literaturredakteur**  
**1920 - 2013**

In 2002 im RTL beim  
Stefan Raab ☺

- Tiermediziner = Akademiker = Intelligent = muss(te) eine gewisse Allgemeinbildung über Naturphänomene haben

## Vorlesung I

### Struktur der Materie

### Festkörper

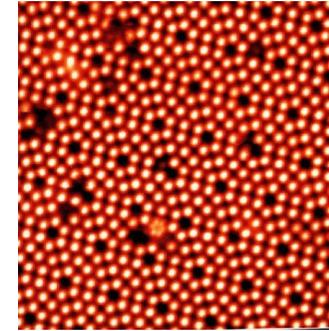
## Mikrowelt

### Wichtigere Stationen:

- Demokritos 4. Jh. v. Chr. (atomos: „unzerlegbar“)
- Daltonsches Gesetz 19. Jh. (multiple Proportionen der Massenverhältnisse)
- moderne Strukturuntersuchungsmethoden
- Mikroskopie, Spektrometrie, Diffraktionsmethoden, ...



*atomarer Aufbau  
der Materie*



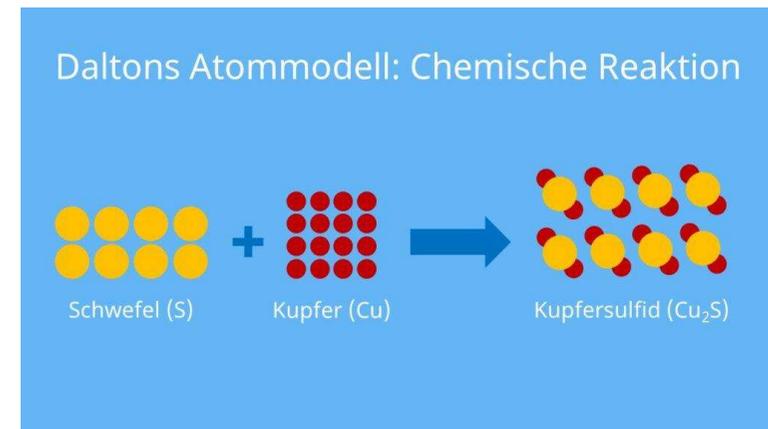
Scanning Tunneling  
Microscopy

STM Aufnahme von der  
Oberfläche eines Silizium  
Kristalls

## Mikrowelt

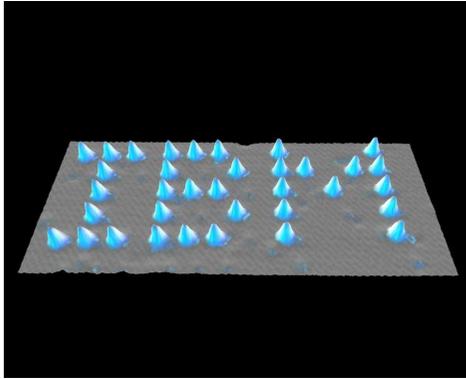
### Wichtigere Stationen:

Daltonsches Gesetz 19. Jh. (multiple Proportionen der Massenverhältnisse)



# Mikrowelt

## Manipulation von einzelnen Atomen



IBM  
 35 Xenon Atomen (auf Si)  
 In 1989 November 11  
 von Prof. Don Eigler

<https://phys.org/news/2009-09-ibm-celebrates-20th-anniversary-atoms.html>

# Das Atom

- Radius  $\approx 0,1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$
- Masse  $\approx 10^{-26} \text{ kg}$   $\longrightarrow$  relative Atommassen  
 Bezugsatom:  $^{12}\text{C}$   
 $m_u = 1/12 m_{^{12}\text{C}} = u = \text{Da}$

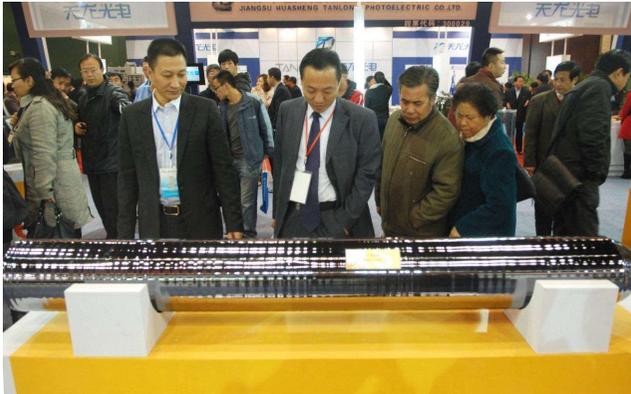
- Rutherford 1911
- Bohr 1913



Atomaufbau

# Mikrowelt

Aus Silizium lassen sich riesige Einkristalle züchten, ohne mängel, ohne Fremdatomen



Besucher einer Industriemesse in Jinzhou im Nordosten Chinas betrachten einen langen Silizium-Einkristall – aus diesem Zylinder werden Scheiben geschnitten (2023)

Foto: YANG QING/Xinhua via AFP



In 2011  
 Source: Courtesy MEMC

[www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap\\_5/illustr/i5\\_3\\_1.html](http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_5/illustr/i5_3_1.html)

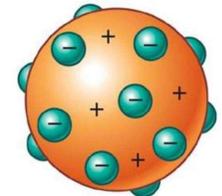
# Atommodells

- Im Jahr 1897 konnte Joseph John Thomson nachweisen, dass Kathodenstrahlen aus geladenen Teilchen, den Elektronen bestehen

Elektronen haben negative Ladung, aber wie ist die Verteilung im Atom?

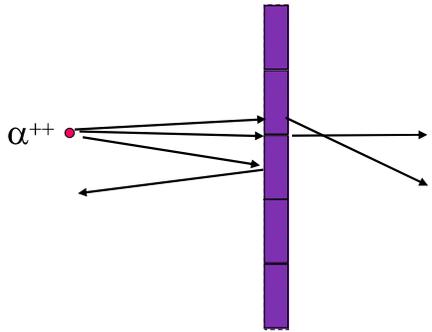
Aufgrund der angenommenen Anordnung der Elektronen in der Masse, vergleichbar mit Rosinen in einem Kuchen, wird es auch als „Plumpudding“- oder „Rosinenkuchenmodell“ bezeichnet (wegen Energie minimum)

Das erste Atommodell



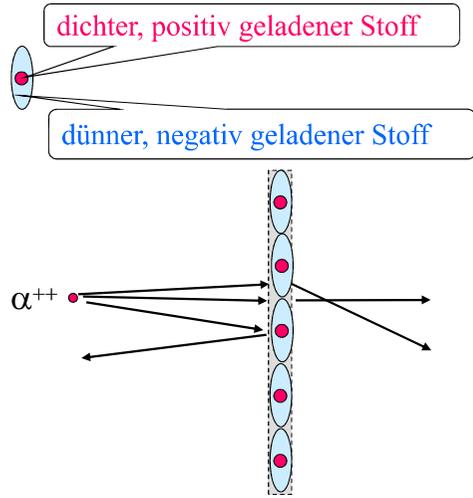
# Experimente

E. Rutherford  
(1911):



Erwartung

Beobachtung

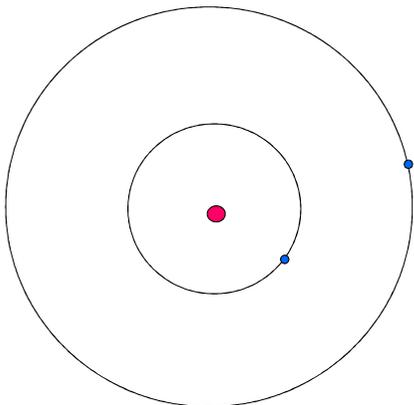


dichter, positiv geladener Stoff  
dünner, negativ geladener Stoff

Erklärung

Fazit: Rosinenkuchenmode ist falsch!!

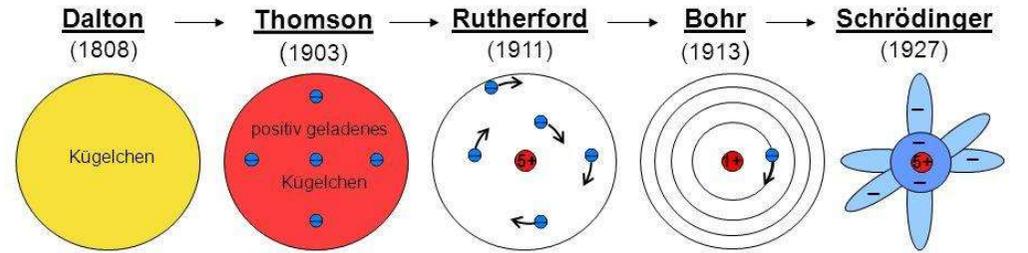
# Bohrsches Atommodell



- *positiver Atomkern*
  - Radius  $\approx 10^{-15}$  m
  - Masse  $\approx 10^{-26}$  kg  
 $\approx$  die ganze Masse des Atoms
- *negatives Elektron*
  - Radius  $\approx 10^{-17}$  m
  - Masse  $\approx 10^{-30}$  kg

# Zeitliche Entwicklung

## Atommodelle (Überblick)



<p><b>Dalton</b> (1808)</p> <p>Kügelchen</p> <p>Atome sind unteilbar und haben eine unveränderliche Größe und Masse. Atome verschiedener Elemente unterscheiden sich in ihrer Masse.</p>	<p><b>Thomson</b> (1903)</p> <p>positiv geladenes Kügelchen</p> <p>Atome bestehen aus einer überall gleich verteilten positiven Masse. In diese Masse sind negativ geladene Teilchen (= Elektronen) eingebettet.</p>	<p><b>Rutherford</b> (1911)</p> <p>Atome bestehen aus einem massereichen positiv geladenen Atomkern und der Elektronenhülle. Die Elektronen kreisen sehr schnell um den Atomkern.</p>	<p><b>Bohr</b> (1913)</p> <p>Das Elektron kreist sehr schnell um den Atomkern auf bestimmten, konzentrischen Bahnen. ... Schalenmodell der Atome.</p>	<p><b>Schrödinger</b> (1927)</p> <p>Es können nur Aufenthaltsbereiche für die Elektronen angegeben werden (= Elektronenwolken = Orbitale). Es existieren keine Bahnen.</p>
--	--	---	---	--

Eine Gliederung der Atome

Atome bestehen aus einem positiv geladenen

## Aufbau der Kerne

- Bausteine der Kerne (Nukleonen)
  - Protonen
    - $m = 938,27 \text{ MeV}/c^2$
  - Neutronen
    - $m = 939,57 \text{ MeV}/c^2$
- Nomenklatur
  - Element X
  - Massenzahl A
  - Kernladungszahl Z
  - Neutronenzahl N
- Isotop
  - gleiches Z
- Isobar
  - gleiches A
- Isoton
  - gleiches N
- Massendefekt

$$\Delta m = Nm_n + Zm_p - m_A = -\frac{B}{c^2}$$

- Bindungsenergie B



# Aufbau des Atomkerns

- rel. Atommassen liegen in der Nähe von ganzen Zahlen



Atomkern



- positives Proton (etwa gleiche Massen)
- neutrales Neutron

Z. B.  $^{12}\text{C}$  enthält 6 Protonen und 6 Neutronen



Isotope  
Radioaktivität, Kernstrahlungen  
45

# Elementarteilchen

Ergänzungsmaterial:

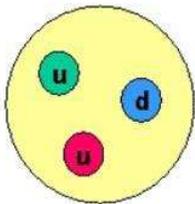
Drei Generationen der Materie (Fermionen)

	I	II	III	
Masse	2,3 MeV	1,275 GeV	173,07 GeV	0
Ladung	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
Spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
Name	u up	c charm	t top	$\gamma$ Photon
				125,09 GeV Higgs Boson
Quarks	4,8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	95 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4,18 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 g Gluon
	<2 eV 0 $\frac{1}{2}$ v <sub>e</sub> Elektron- Neutrino	<0,19 MeV 0 $\frac{1}{2}$ v <sub>μ</sub> Myon- Neutrino	<18,2 MeV 0 $\frac{1}{2}$ v <sub>τ</sub> Tau- Neutrino	91,2 GeV 0 1 Z <sup>0</sup> Z Boson
	0,511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e Elektron	105,7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ Myon	1,777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ Tau	80,4 GeV ±1 1 W <sup>±</sup> W Boson
				Eichbosonen

Ergänzungsmaterial:

# Bausteine der Atomkerne

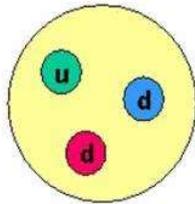
Proton



Quarks: up up down

$$\text{Ladung: } +\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = +1$$

Neutron



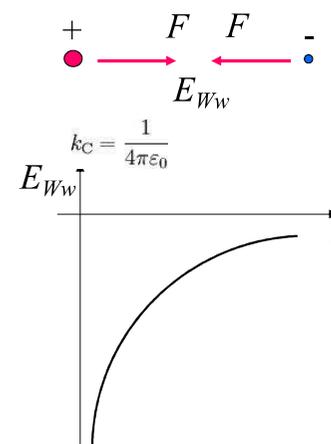
Quarks: up down down

$$\text{Ladung: } +\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$$

Teilchen, die aus drei Quarks aufgebaut sind heißen BARYONEN

# Was hält die Atome zusammen?

Coulombsche elektrische Wechselwirkung:

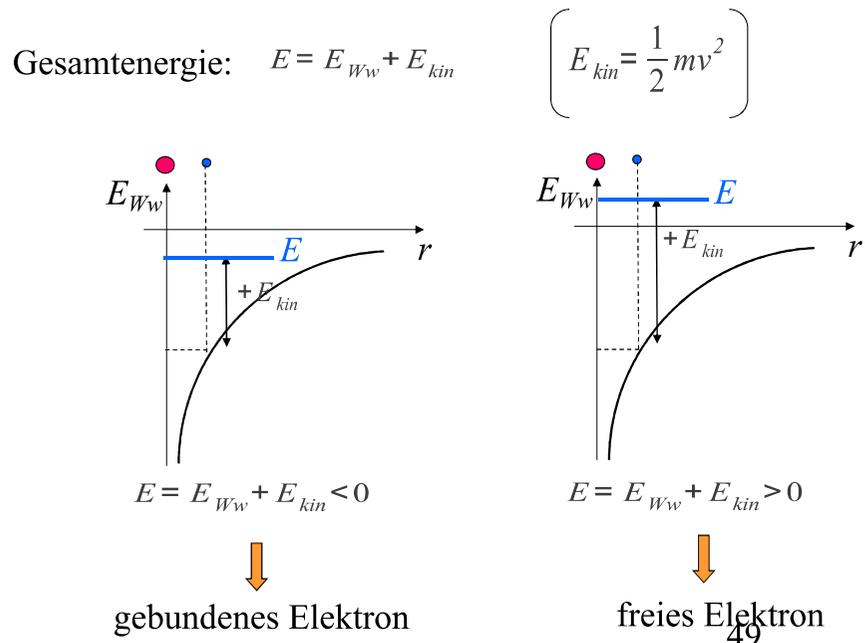


$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

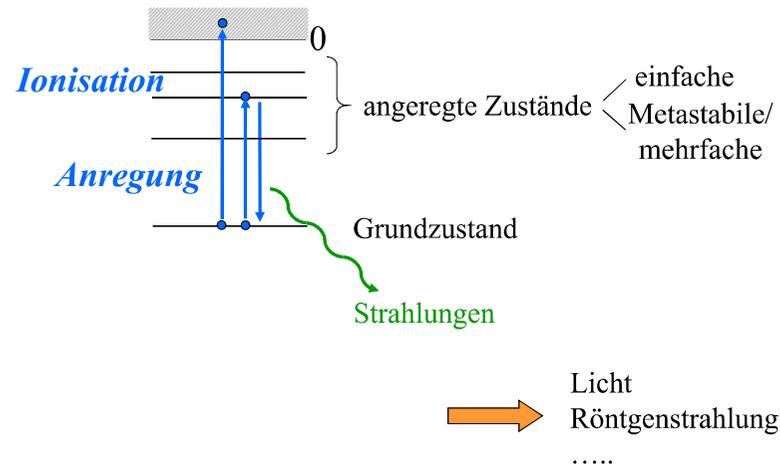
$$E_{WW} = -k \frac{q_1 q_2}{r}$$

$$k \approx 8,987551787 \cdot 10^9 \frac{\text{Vm}}{\text{As}}$$

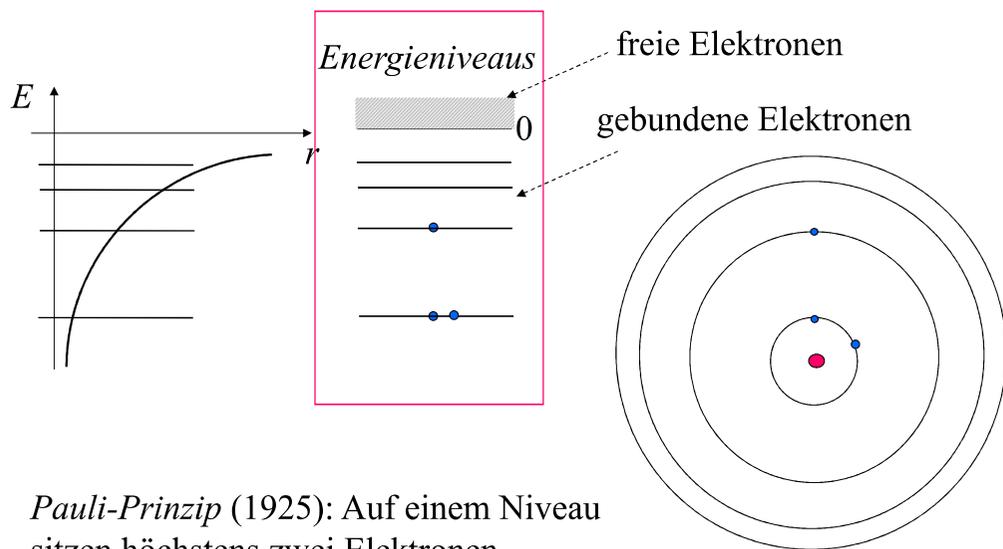
Bewegungen gegen den anziehenden Wechselwirkungen!



Ereignisse in dem Atom:



Mikrowelt: **diskrete Zustände!**

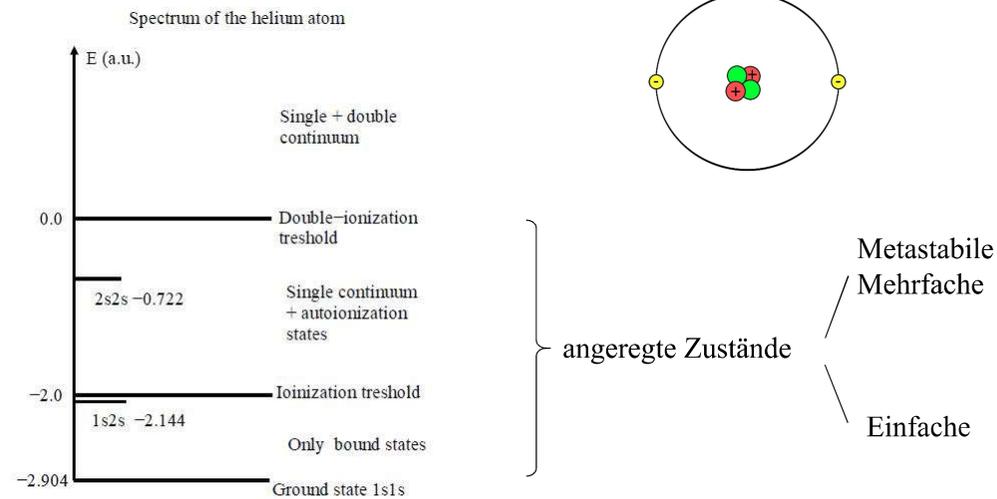


Pauli-Prinzip (1925): Auf einem Niveau sitzen höchstens zwei Elektronen.

Ein Beispiel He Atom

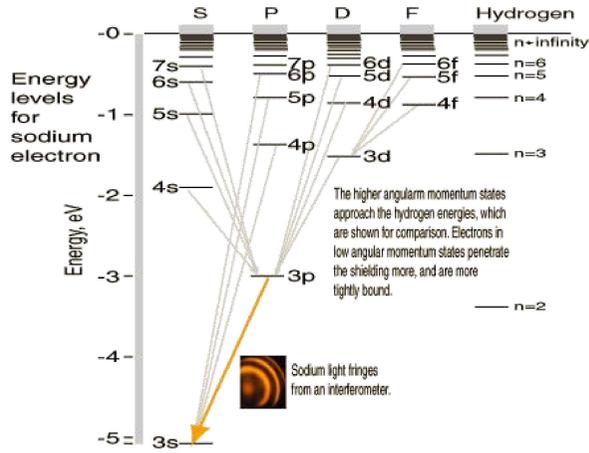
Ergänzungsmaterial:

Mein PhD ☺

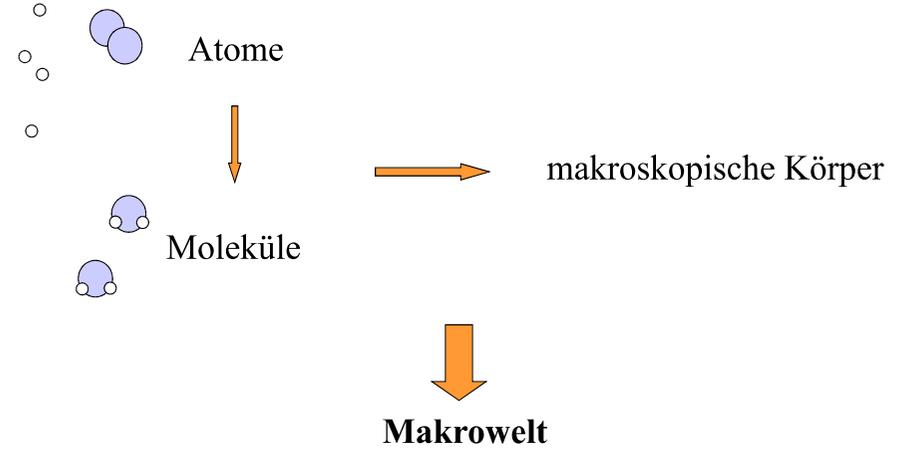


# Ein Beispiel Na Atom

Ergänzungsmaterial:



Die atomare Niveaus sind ganz komplex

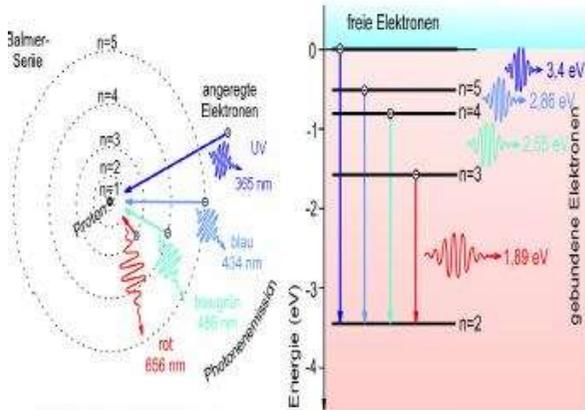


## Atome versus Moleküle

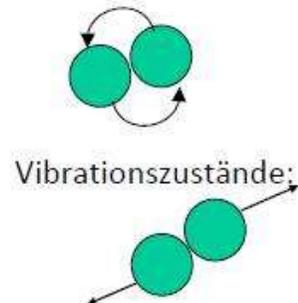
Atome haben Grundzustand, Angeregte Zustände und Ionisations Zustände

Molekülen haben zusätzlichen Rotationszustände und Vibrationszustände die die Atome nicht haben

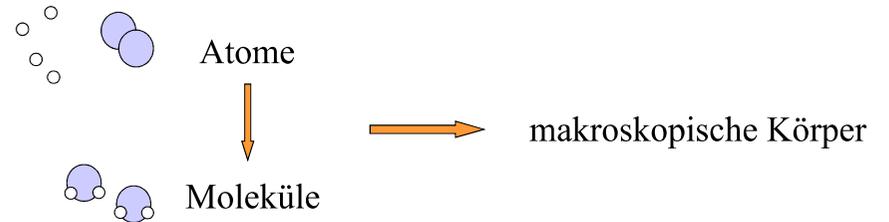
Immer eine schöne Prüfungsfrage...



Rotationszustände:



## Makrowelt



Wechselwirkung zw. Atomen, Molekülen: *intermolekulare Kräfte*,  $E_{Ww}$

Bewegung der Atomen, Molekülen:  $E_{kin}$  (proportional zur Temperatur)

$$E_{kin} > E_{Ww} \text{ oder } E_{kin} < E_{Ww}$$

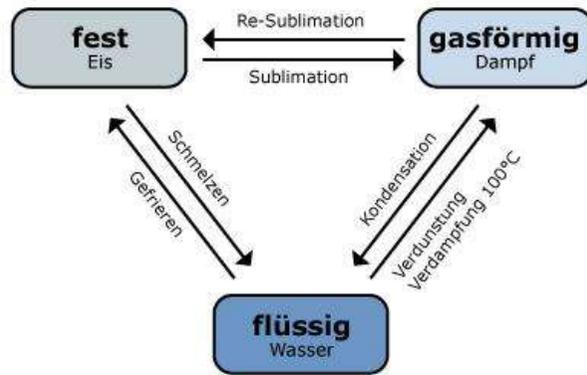
keine stabile Konfiguration

stabile Konfiguration - Bindung

## Aggregatzustände & Phasenübergänge

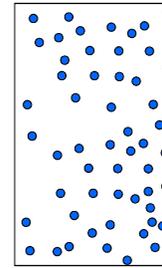
- gasförmig
- flüssig
- flüssigkristallin
- fest

↑  
Temperatur



57

## Gase



- keine Struktur, „Unordnung“
- freie Bewegung
- weder Form-, noch Volumenstabilität
- Isotropie (Homogenität)

*Ideales Gas:*

- punktförmige Teilchen (Atome, Moleküle)
- keine Wechselwirkung zw. Teilchen mit der Ausnahme der elastischen Stöße

59

## Aggregatzustände extra 😊

- Quark-Gluon Plasma bei extreme Druck und Temperatur  $T = 1.66 \cdot 10^{12}$  K.
- Plasma - ionisiertes Gas  $T \approx 10000$  K schwer zu definieren
- gasförmig
- flüssig
- flüssigkristallin
- Fest
- einige Materialien bilden Bose-Einstein Kondensat  $T = 1.7 \cdot 10^{-7}$  K

↑  
Temperatur

58

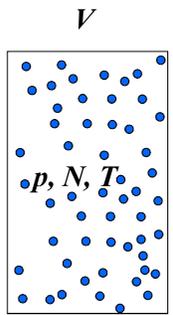
## Definitionen von Isotropie und Homogenität

**Isotropie** (*altgr.* ἴσος *isos* ‚gleich‘ und τρόπος *tropos* ‚Drehung‘, ‚Richtung‘) **ist die Unabhängigkeit einer Eigenschaft von der Richtung.**

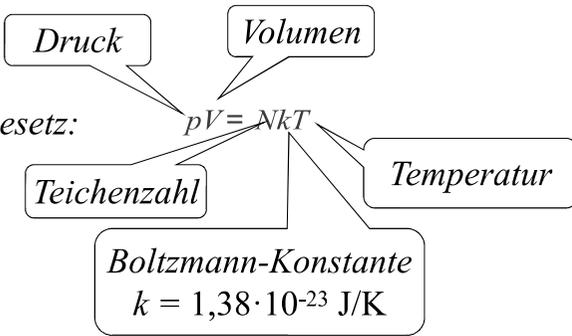
Bei der betrachteten Eigenschaft kann es sich um irgendeine Eigenschaft handeln (z. B. physikalische Eigenschaft, biologischer Parameter, gesellschaftliche oder soziale Kenngröße).

Die Richtungsunabhängigkeit solcher Eigenschaften ist gleichbedeutend mit ihrer homogenen räumlichen Struktur. Das Gegenteil der Isotropie ist die Anisotropie.

Bei **Homogenität** sind in gleichen Volumina gleich viele Anteile, bei Isotropie ist die Anzahl der Anteile in alle Richtungen gleich groß.



Ideales Gasgesetz:



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

$p = nkT$   
 Teilchendichte

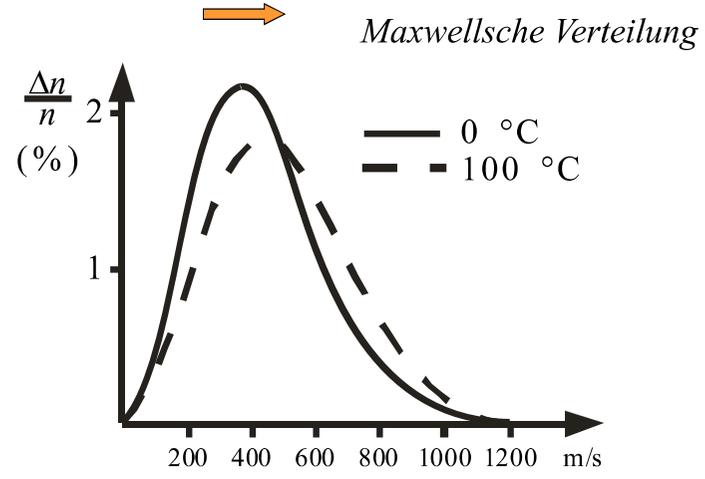
Kinetische Deutung des Druckes:

Stöße der Teilchen mit der Wand → Druck

→  $p \sim E_{\text{kin}}$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT \quad \text{kinetische Wärmetheorie}$$

Der Zusammenhang gilt für die mittlere kinetische Energie. Die kin. Energien und die Geschwindigkeiten der einzelnen Teilchen sind unterschiedlich.

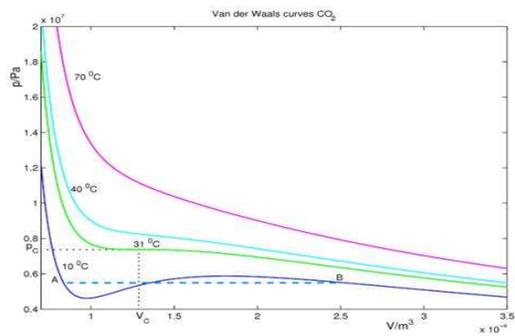


Bemerkung:  $kT$  — „thermische Energie“

## Nicht-Ideale Gase, Flüssigkeiten

- Verallgemeinerung des Ideales Gasgesetzes = Zustandsgleichung
- Ein funktionaler Zusammenhang zwischen Temperatur  $T$ , Druck  $p$ , Volumen  $V$  und Stoffmenge  $n$  stellt eine thermische Zustandsgleichung dar. Die meisten thermischen Zustandsgleichungen enthalten den Druck explizit:  $p = f(T, V, n)$
- Ein Beispiel Van-der-Waals

$$p(V) = \frac{nRT}{V - nb} - a \frac{n^2}{V^2}$$

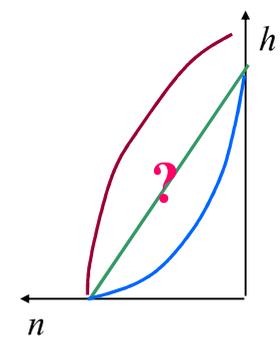
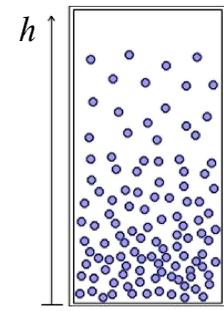


## Barometrische Höhenformel

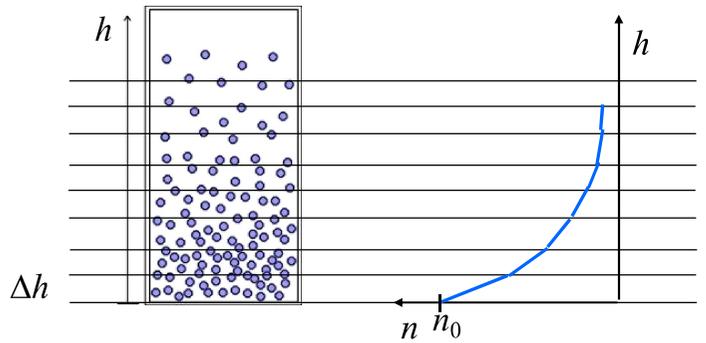
Gas im Gravitationsfeld: Bewegung ↔ Erdanziehung

Gleichgewichtsverteilung

$n(h)$  ? oder  $p(h)$  ?



$$\Delta n = -n \frac{mg \Delta h}{kT} \quad \Delta n \sim -n!$$



exponentielle Kurve

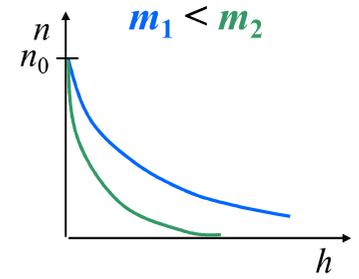
$$n = n_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}$$

barometrische Höhenformel

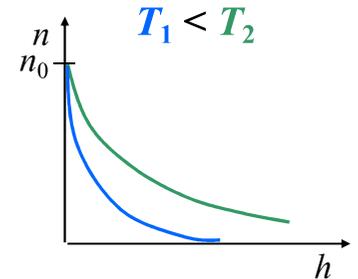
$$p = p_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}$$

(Boltzmann-Verteilung)

$$n = n_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}$$

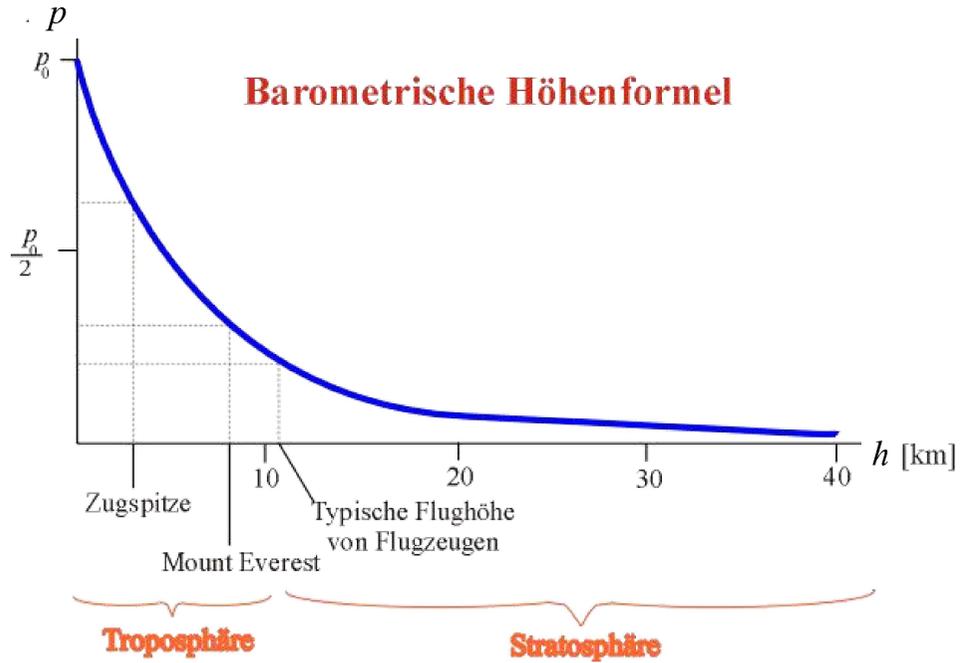


z.B. H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>



z.B. 0°C und 40°C

$$\left[ \varepsilon_{pot} = mgh \right]$$



### Barometrische Höhenformel

## Boltzmann-Verteilung

Teilchenmenge in einem Kraftfeld im thermischen Gleichgewicht ( $T = \text{konst}$ ):

$$\begin{matrix} n_2 & \text{---} & \varepsilon_2 \\ n_1 & \text{---} & \varepsilon_1 \end{matrix}$$

$$n_2 = n_1 e^{-\frac{\Delta \varepsilon}{kT}} = n_1 e^{-\frac{\Delta E}{RT}}$$

$$\left[ \begin{matrix} \Delta E = \Delta \varepsilon N_A \\ R = k N_A \end{matrix} \right]$$

universelle Gaskonstante  
 $R = 8,31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

molare Energiewerte

## Beispiele für die Boltzmann-Verteilung:

barometrische Höhenformel

Verteilung der Teilchen zw. flüssiger und gasförmiger

Phase → gesättigter Dampfdruck

Verteilung der Teilchen zw. fester und gasförmiger Phase

→ Konzentration der Gitterdefekte

Verteilung von Molekülen zw. Grundzustand und

aktiviertem Zustand → Geschwindigkeitskonstante von

chemischen Reaktionen

69

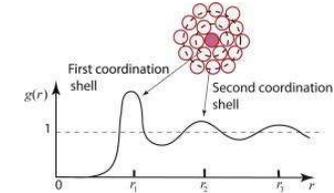
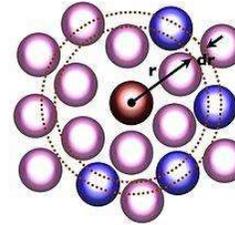
## Flüssigkeiten Struktur „Nahordnung“

Bei Flüssigkeiten existieren wohl definierbare 1<sup>ste</sup> und 2<sup>te</sup> Nachbarn

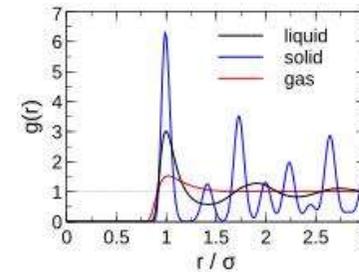
die sind messbar mit dem  $g(r)$  radialen Verteilungsfunktion oder

Paarkorrelationsfunktion

Koordinationszahl: Zahl die Nachbarn



Hauptunterschied beim Phasen:



Ein Beispiel Argon

$T = 50 \text{ K}$  fest

$T = 80 \text{ K}$  flüssig

$T = 300 \text{ K}$  gas

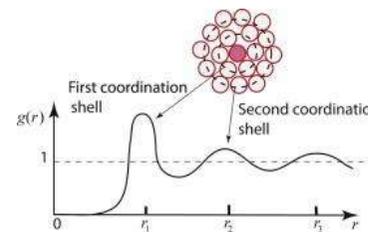
$\sigma = 3.88 \text{ \AA}$  (Molec. Diameter)

## Flüssigkeiten Struktur „Nahordnung“

Die Paarkorrelationsfunktion  $g(r)$  ist indirekt messbar mit Röntgen oder Neutronenstreuung dann makroskopische

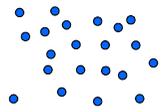
Eigenschaften, wie Dichte  $\rho$ , Kompressibilität  $\kappa$ , Druck  $p$

sind rechenbare Größen



abnehmende  $E_{kin}$

Abkühlen



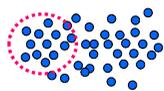
Gas

intermolekulare Kräfte:

– H-Brücken

$\Delta E \approx 3-50 \text{ kJ/mol}$

– Van der Waals Kräfte



Flüssigkeit

## Flüssigkeiten

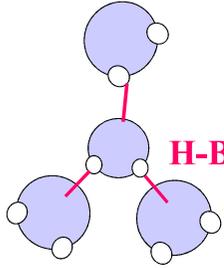
- höhere Dichte
- gewisse Struktur in kleineren Bereichen, „Nahordnung“
- begrenzte Bewegung — freie Schwingung und Rotation, aber begrenzte Translation
- Volumenstabilität (kleine Kompressibilität), keine Formstabilität
- Isotropie

70

# Wasser



elektrisches Dipol



H-Brücken

- hohe Wärmekapazität
- hohe Verdampfungswärme
- hoher Dampfdruck

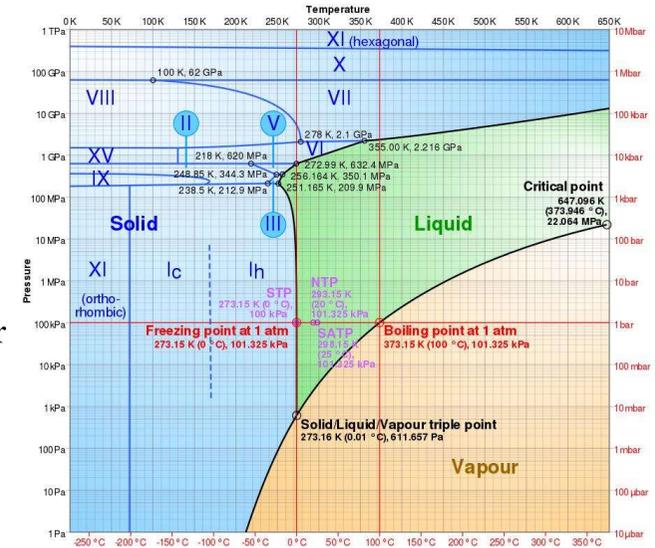
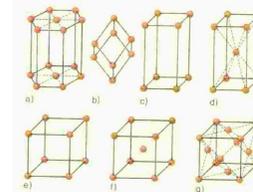
biologische Bedeutung

# Die Phasendiagramm vom Wasser

Ergänzungsmaterial:

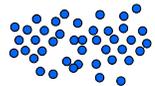
Temperatur – Druck  
Diagramm

Es ist ganz ganz komplex für wasser, sind viele art vom Eis, die Gitterstruktur ist immer anderes



# Vorlesung II Festkörper Flüssigkristalle

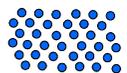
Abkühlen  
abnehmende  $E_{kin}$



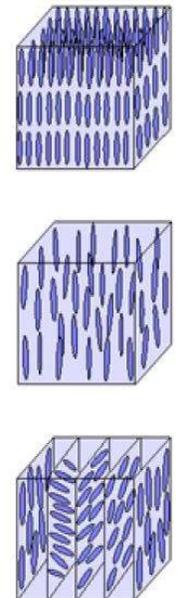
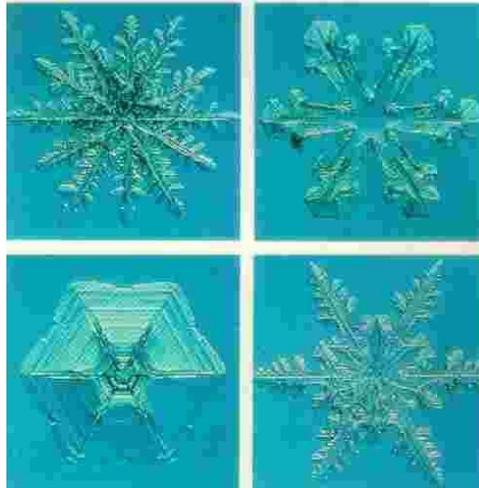
Flüssigkeit

- Ionenbindung
- metallische Bindung
- kovalente Bindung

$\Delta E \approx 80-600 \text{ kJ/mol}$

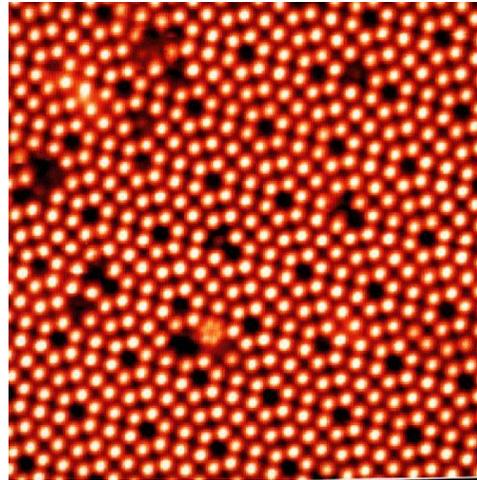


Festkörper



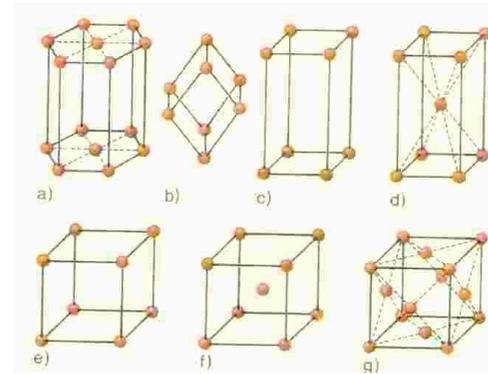
# Festkörper = Kristalle

- noch höhere Dichte
- periodische Struktur in großen Bereichen, „Fernordnung“
- stark begrenzte Bewegung — freie Schwingung und Rotation, aber fast keine Translation
- Volumen- und Formstabilität
- Anisotropie

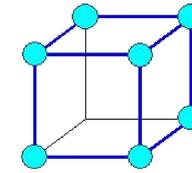


STM Aufnahme von der Oberfläche eines Silizium Kristalls

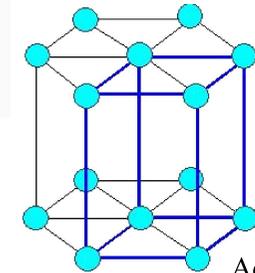
# Elementarzelle



Einige Beispiele:



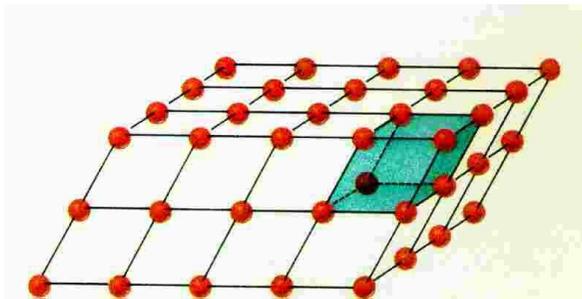
kubische Kristalle  
NaCl



hexagonale Kristalle  
Aquamarin, Rubin, Apatit

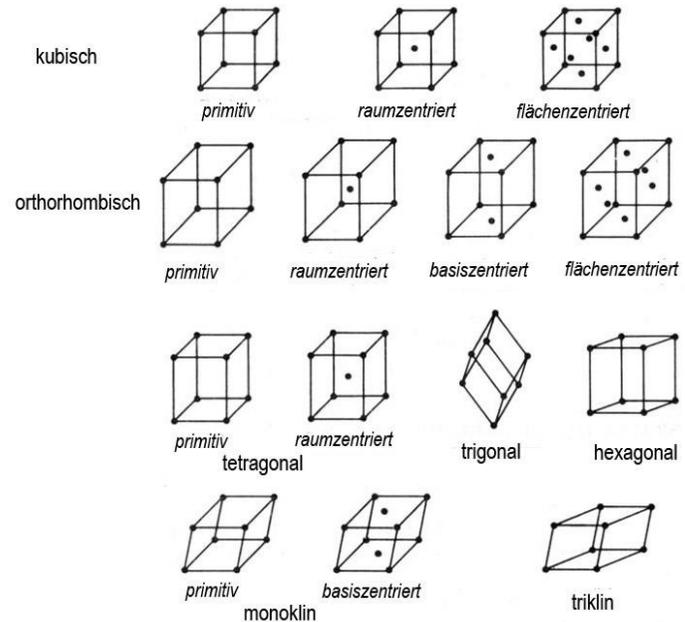
# Gitterstruktur

Periodische Struktur: Eine Elementarzelle wiederholt sich.



# Alle 14 Elementarzellen

Ergänzungsmaterial:

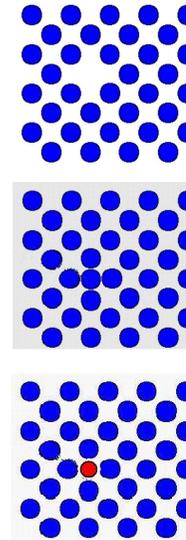




hexagonale Kristalle  
Aquamarin, Rubin, Apatit

## Gitterdefekte

Punktdefekte:



Leerstelle

Anzahl der  
Leerstellen

Zwischengitterstelle

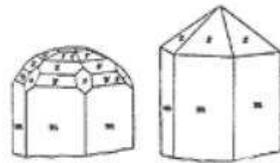
Fremdatom

Bindungsenergie

$$n_2 = n_1 \cdot e^{-\frac{\Delta \epsilon}{kT}}$$

Anzahl der  
Gitterpunkte

## Apatite



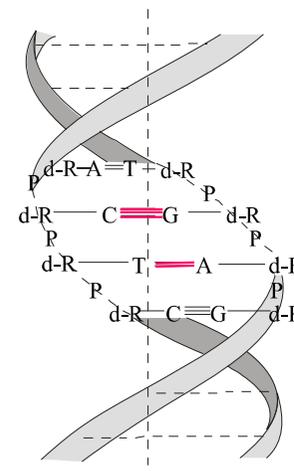
Rolle:  
anorganische Komponente des Knochengewebes  
(20-60 nm lange, 6 nm dicke Kriställchen)



Biomechanik

Analogie mit biologischen Makromolekülen (Proteine, DNA):

Leerstelle entspricht z.B. einer aufgespalteten H-Brücke.



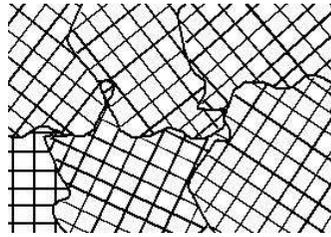
Anzahl der aufgespalteten H-Brücken

$$n_2 = n_1 \cdot e^{-\frac{\Delta \epsilon}{kT}}$$

Bindungsenergie

Anzahl der intakten H-Brücken

Liniendefekte und Oberflächendefekte:



### Bedeutung der Gitterdefekte:

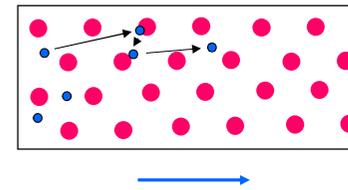
Die Gitterdefekte verändern die Eigenschaften der Kristalle.

z. B.	mechanische	optische	chemische
Kupferröhre		$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$
		$\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Cr})$ <b>(Rubin)</b>	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$
			85

## Elektronenstruktur d. Festkörper

elektrische Eigenschaften,  
wie elektrische Leitfähigkeit

elektr. Strom = Wanderung von el. Ladungsträgern (z.B. Elektronen)



„freie“ Elektronen — sind fähig  
für die Aufnahme und Abgabe von  
kleinen Energiemengen

87

## Andere feste Körper (nicht Festkörper!)

**Gläser** — hochviskose Schmelzen, oder gefrorene Flüssigkeiten.

**Amorphe Körper** bestehen aus mikrokristallinen Bruchstückstrukturen (z. B. Ruß, Tonerde).



86

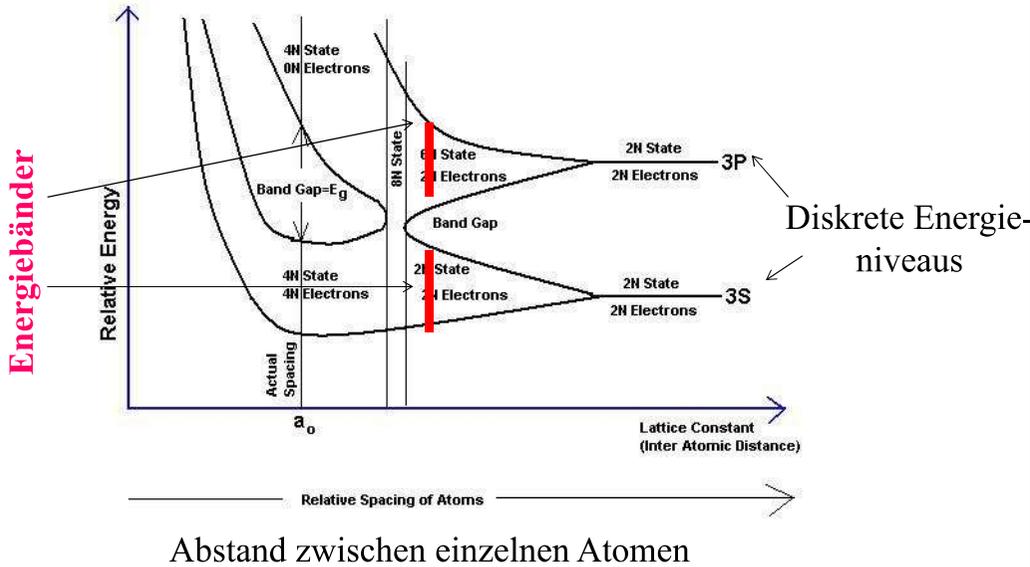
Elektronenzustände  
in einem Atom

Elektronenzustände  
in einem Festkörper

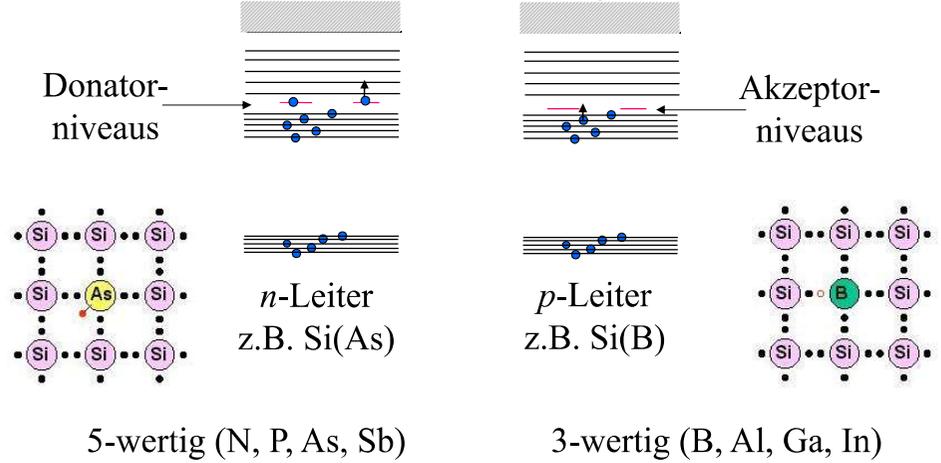


88

# Festkörper einzelne Atome

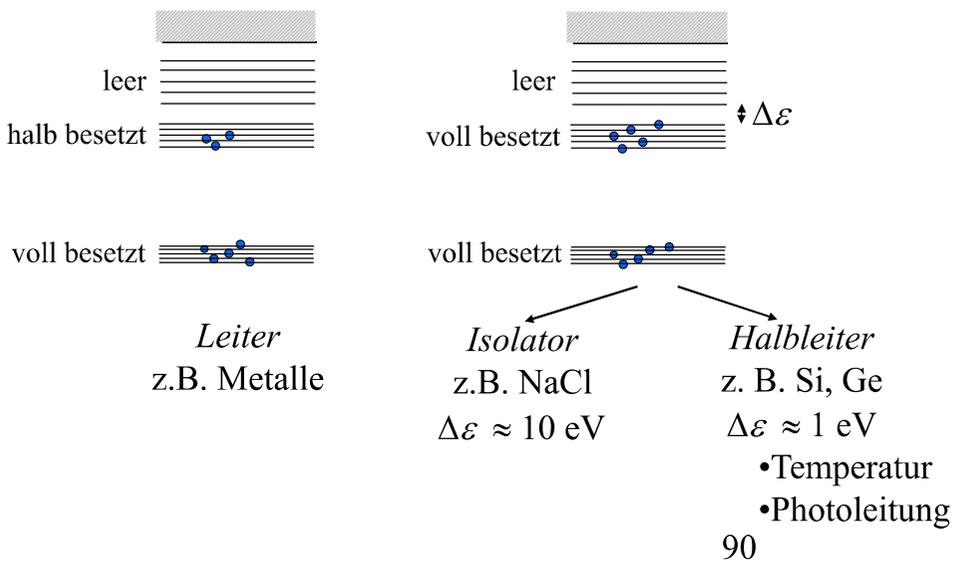


# Effekt von Fremdatomen (dotierte Halbleiter)

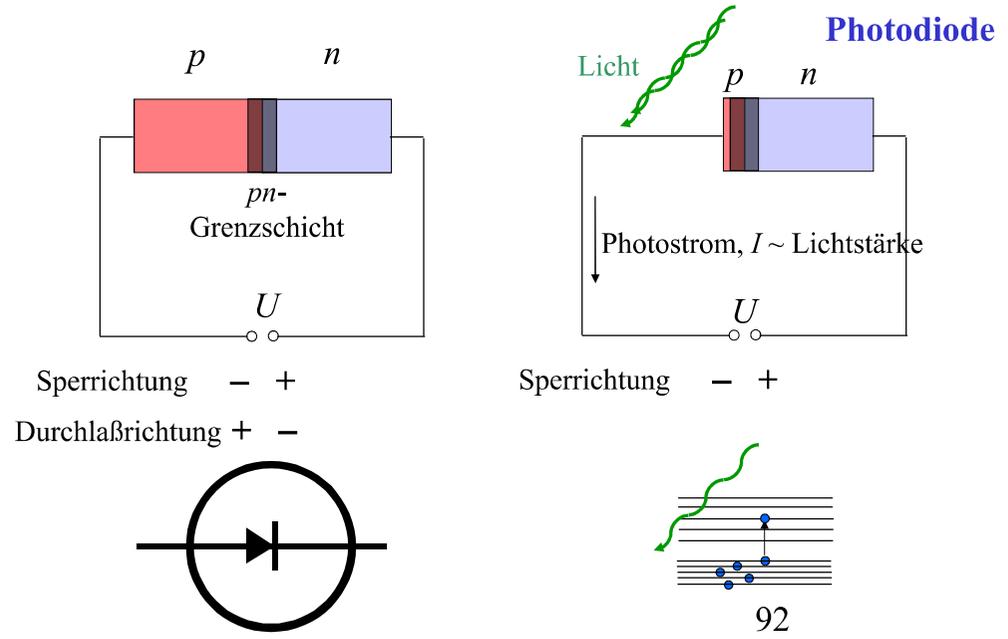


erhöhte Leitfähigkeit  
Halbleiterdiode/Photodiode  
91

# Besetzung der Energiebänder

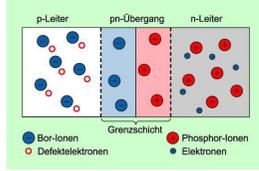


# Halbleiterdiode

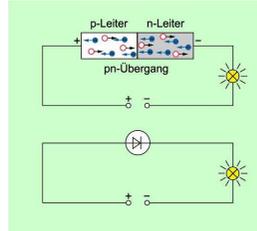


# Wie funktioniert die Halbleiterdiode?

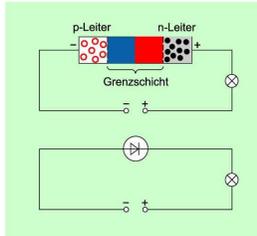
Aufbau einer Siliciumdiode



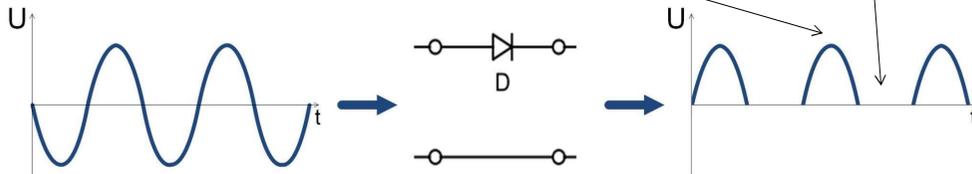
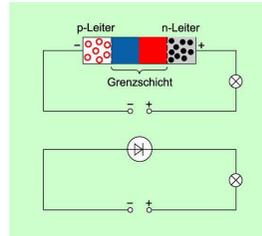
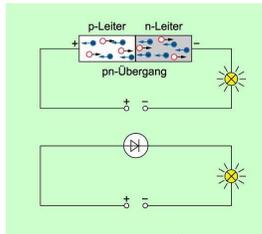
Diode in Durchlassrichtung: Der pn-Übergang wird von Ladungsträgern überflutet



Diode in Sperrichtung: Der an Ladungsträgern verarmte pn-Übergang verhindert den Stromfluss.



# Wie funktioniert die Halbleiterdiode?



Aggregatzustände:

- gasförmig
- flüssig
- flüssigkristallin
- fest

1888 Reinitzer:

Cholesterinbenzoat zw. 146°C und 179 °C  
 - fließt wie Flüssigkeiten  
 - bricht Licht wie Kristalle



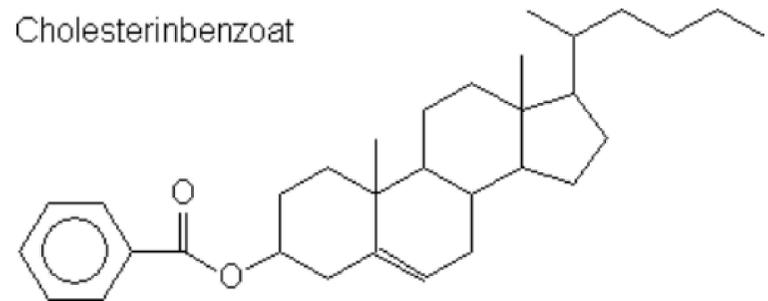
Mesophase *Flüssigkristall*

Crystal	Liquid crystals (Mesophase)		Liquid
3D lattice Anisotropic Solid	1 or 2D lattice Anisotropic Fluid	No lattice Anisotropic Fluid	No lattice Isotropic Fluid

# Strukturmerkmale von Flüssigkristallen

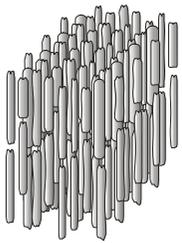
Stäbchen-, faden-, oder scheibenförmige Moleküle, wie z.B.:

Cholesterinbenzoat

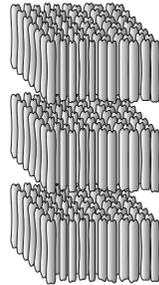


# Klassifizierung der Mesophasen

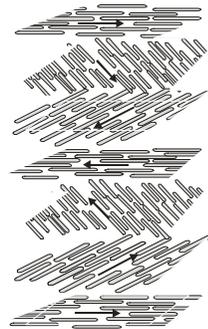
thermotrope Flüssigkristalle



nematisch



smektisch



cholesterisch

# Eigenschaften der Mesophasen

- teilweise geordnete Strukturen
- schwache Bindungen
- viele Defekte
- Bewegungen in bestimmten Richtungen rel. frei
- Volumenstabilität, aber keine Formstabilität
- Anisotropie

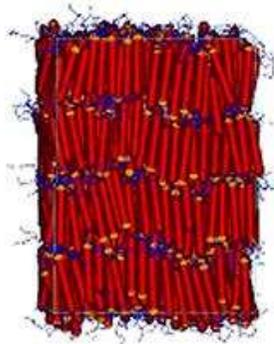
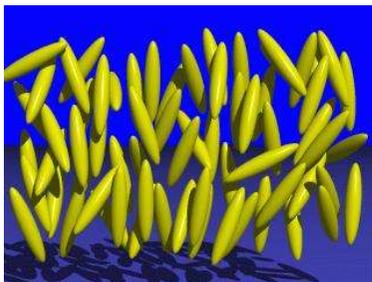
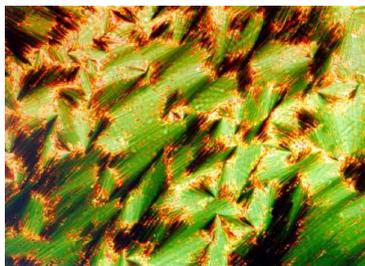


hohe Empfindlichkeit gegen äußeren Einflüssen

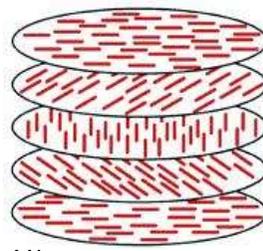
nematisch



smektisch



cholesterisch



# Medizinische Anwendungen von thermotropen Flüssigkristallen

- Kontaktthermographie oder Plattenthermographie  
⇒ thermooptisches Phänomen
- flüssigkristalline Anzeigegeräte (LCD — liquid crystal display)  
⇒ elektrooptisches Phänomen

schwache äußere Einwirkung  
(Temperaturänderung, el. Spannung,...)



Strukturänderung



Änderung d. optischen Eigenschaften

# Plattenthermographie

## Thermooptisches Phänomen

Temperaturänderung → Strukturänderung → Änderung d. Farbe

Technische Einzelheiten:

- dünne Folie mit cholesterischen Flüssigkristallen
- in 10-30 Sekunden nach Auflegen
- 0,1°C Auflösung
- billig, mehrmals verwendbar, für kleinere Gebiete

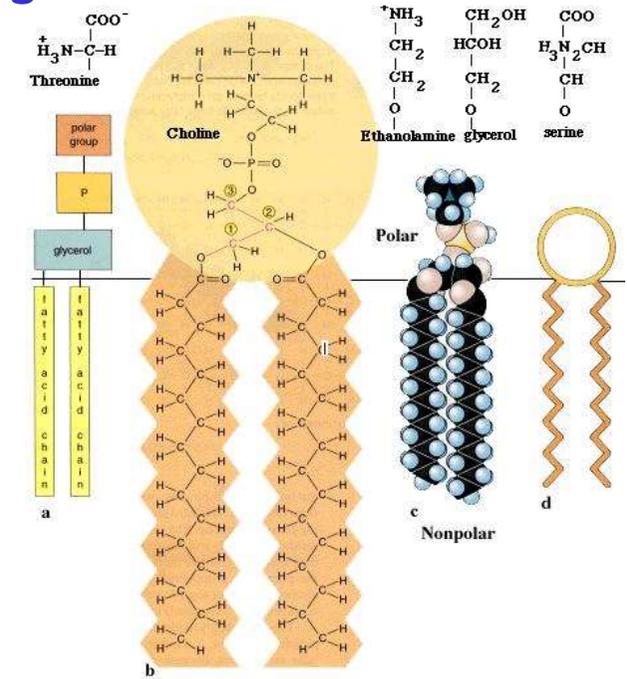
vgl. mit IR-Diagnostik ⇒  
101

# Lyotrope Flüssigkristalle

z.B. Phospholipid Moleküle

und andere amphiphile Moleküle, Proteine, Nukleinsäure, ...

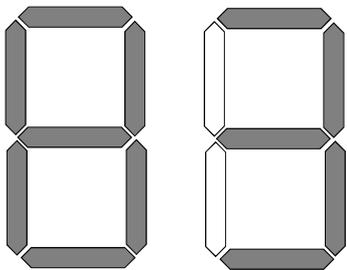
+  
Wasser



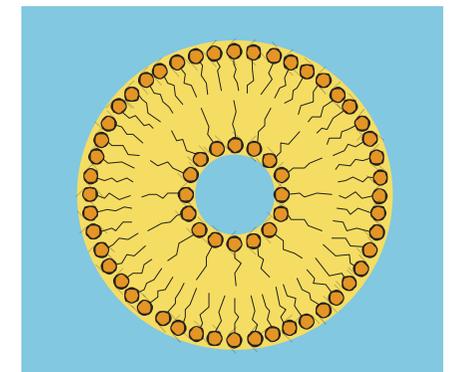
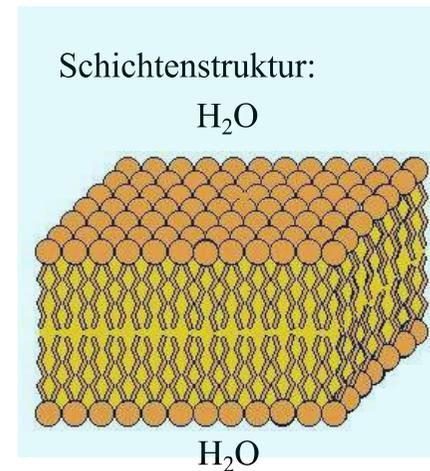
# LCD

## Elektrooptisches Phänomen

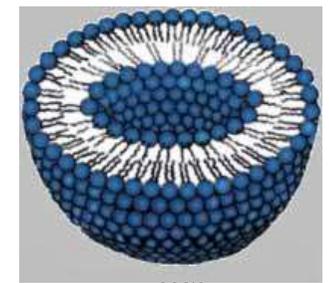
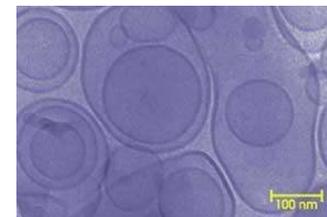
el. Spannung → Strukturänderung → Änderung d. opt. Eigenschaften



Aufbau und Funktion s. später ⇒



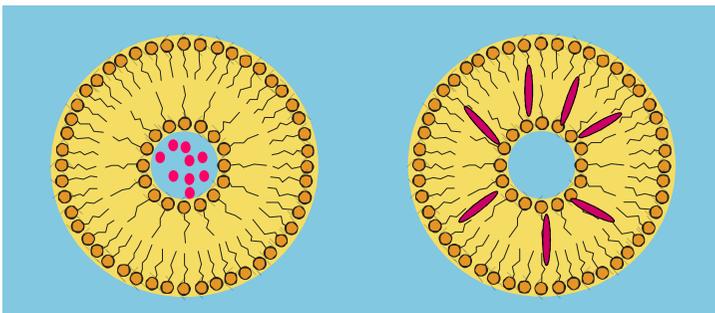
Liposom



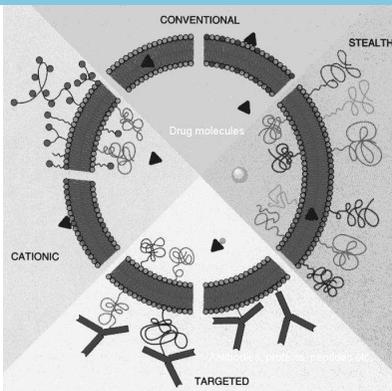
104

## Anwendung von Liposomen

Wirkstoff-träger:

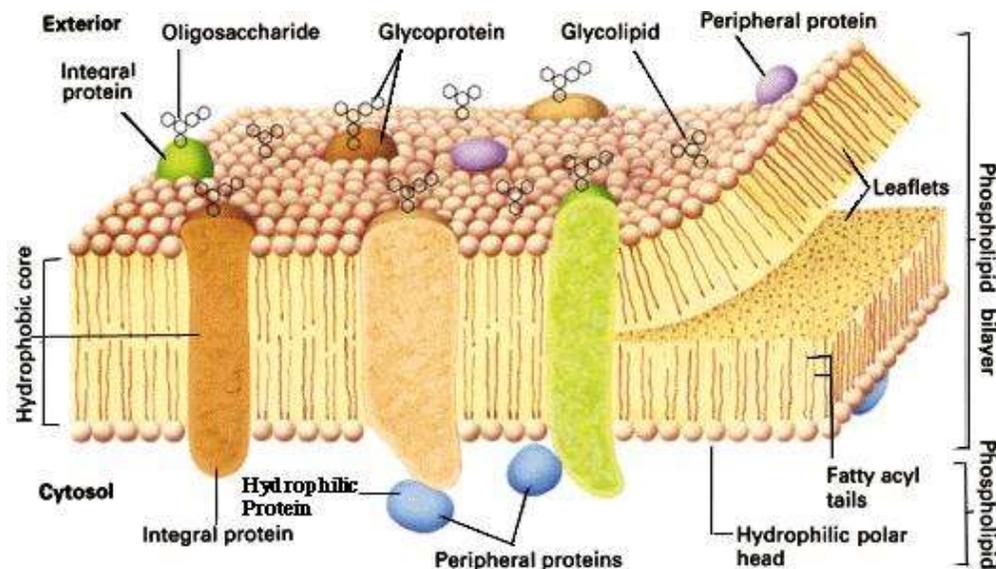


Modell der Zellmembrane



105

## Zellmembrane ~ Doppelschicht von Lyotrope Flüssigkristallen



### Gründe für den Einsatz von Flüssigkristallen in der Pharmazie

### Mögliche Vorteile

Verbesserte Verarbeitungsmöglichkeiten von bestimmten Arzneistoffen



Vereinfachen oder Ermöglichen bestimmter Anwendungen

Verzögerung der Wirkstofffreisetzung



Verringerte Anwendungshäufigkeit von Arzneimitteln

Gerichteter Arzneistofftransport im Organismus



Verbesserte Verträglichkeit und höhere Effizienz des Wirkstoffs

## Zusammenfassung:

- eine Allgemeine Einleitung
- Struktur von Gasen
- Struktur von Festkörpern
- Struktur von Flüssigkeiten/Flüssigkristallen

106

x

*Vielen Dank für ihre*



*Aufmerksamkeit!*

*Fragen, Bemerkungen, Kommentare?...*