

## Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

9.

Thermische und elektrische Eigenschaften

Schwerpunkte:

- ❖ Bändermodell der Festkörper
- ❖ Halbleiter und ihre Anwendungen

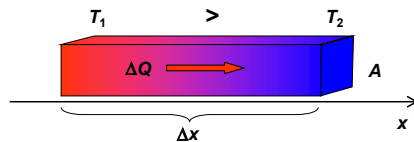
Kapitel des Lehrbuches:  
19

Hausaufgaben:  
5. Kapitel:  
1, 2, 5, 6, 8, 9,  
10, 32, 35

1

### Wärmeleitung

- durch Gitterschwingungen
- durch freie Elektronen



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Fourier-Gesetz

$\lambda$  — Wärmeleitfähigkeit  
(Wärmeleitzahl)  
 $\text{J}/(\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{m}) = \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

$\lambda$  ist ein guter Parameter für stationäre Bedingungen!

Einige Wärmeleitzahlen:

Stoff	$\lambda$ (W/(m·K))
Zahnschmelz	0,9
Dentin	0,6
Wasser	0,44
Amalgam	23
Gold	300
Porzellan	1
Glas	0,6-1,4
Akrylat	0,2
PMMA	0,2-0,3
Zinkphosphat	1,2

3

## Thermische Eigenschaften

### Temperatur

### Erwärmung/Abkühlung

$$\text{Wärmekapazität (C): } C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

$$\text{molare Wärmekapazität (c}_v\text{): } c_v = \frac{C}{\nu}$$

$$\text{spezifische Wärmekapazität (c): } c = \frac{C}{m}$$



### Schmelzpunkt/Schmelzwärme

### Siedepunkt/Verdampfungswärme

~ Bindungsenergie!

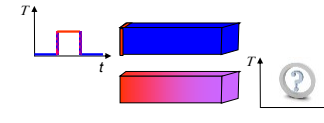


Einige spezifische Wärmekapazitätswerte:

Stoff	c (J/(kg·K))
Zahnschmelz	750
Dentin	1260
Wasser	4190
Amalgam	210
Gold	126
Porzellan	1100
Glas	800
PMMA	1460
Zinkphosphat	500

2

Bei nicht-stationären Bedingungen:



Einige Temperaturleitzahlen:

Stoff	$\lambda$ (W/(mK))	D (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)
Zahnschmelz	0,9	0,5
Dentin	0,6	0,2
Wasser	0,44	0,14
Amalgam	23	9,6
Gold	300	118
Porzellan	1	0,4
Glas	0,6-1,4	0,3-0,7
Akrylat	0,2	0,1
PMMA	0,2-0,3	0,12
Zinkphosphat	1,2	0,3

4



• **Wärmeausdehnung**

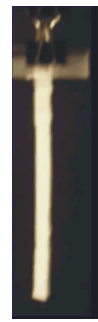
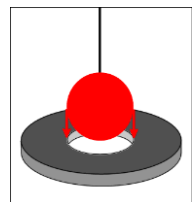
Länge:  $\frac{\Delta l}{l} = \alpha \Delta T$

$\alpha$  — linearer Wärmeausdehnungskoeffizient  
(Längenausdehnungskoeffizient) (1/K)

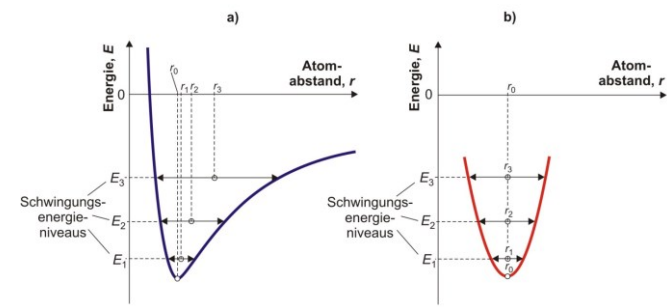
Volumen:  $\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T$

$\beta$  — räumlicher Wärmeausdehnungskoeffizient  
(Volumenausdehnungskoeffizient) (1/K)

$\beta \approx 3\alpha$

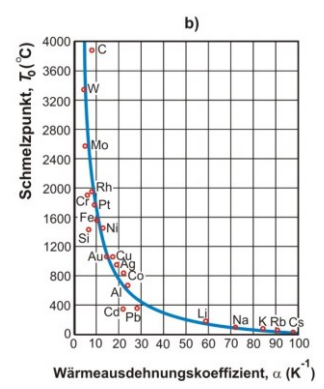
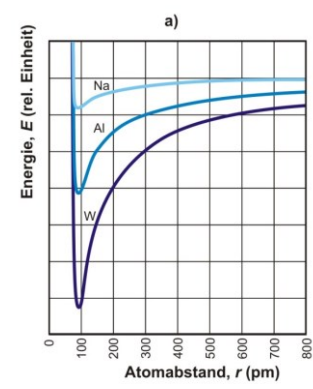


**Hintergrund der Wärmeausdehnung:**



5

6



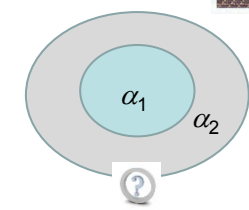
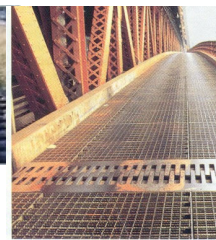
7

**Einige Längenausdehnungskoeffizienten:**

Stoff	$\alpha (10^{-6} 1/K)$
Zahnschmelz	11,4
Dentin	8,3
Gold	14,2
Goldlegierungen	11-16
Amalgam	≈ 25
Porzellan	4-16
Akrylat	90
Glas	8
PMMA	90-160
Silikon	100-200
Gips	15-20
Wachs	300-500

**Unterschiedliche Wärmeausdehnung**

innere Spannungen!



8

## Sonstige Eigenschaften

### • elektrisch

Elektrische Ladungsträger: Elektronen, Ionen.

Spezifischer Widerstand ( $\rho$ ):

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l} \quad (\Omega \text{m})$$

Elektrische Leitfähigkeit ( $\sigma$ ):

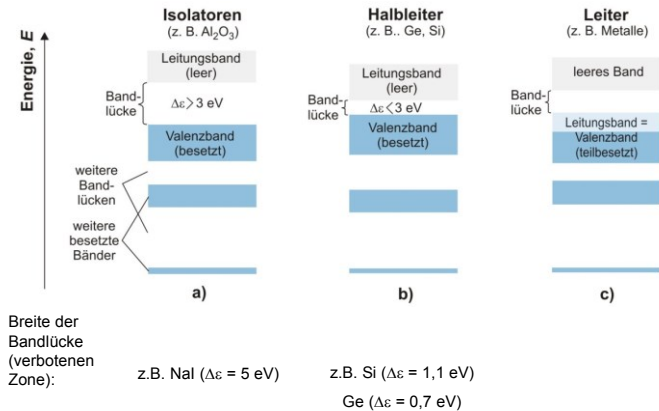
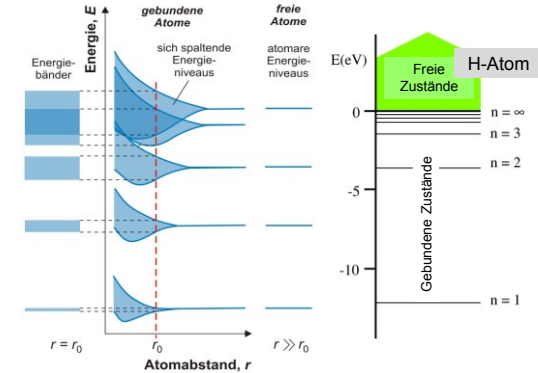
$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad ((\Omega \text{m})^{-1} = \text{S/m})$$

$\left[ G = \frac{1}{R} \text{ nennt man elektrischen Leitwert.} \right]$

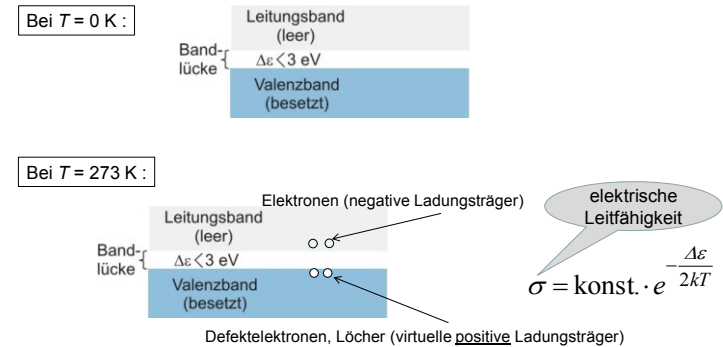
Stoff	$\sigma (\text{S/m})$	
Silber	$6,8 \cdot 10^7$	Leiter
Gold	$4,3 \cdot 10^7$	
Platin	$0,94 \cdot 10^7$	
Germanium	2,2	Halbleiter
Silizium	$4 \cdot 10^{-4}$	
Zirkon	$\approx 10^{-10}$	Isolator
Porzellan	$\approx 10^{-11}$	
Glas	$\approx 10^{-13}$	
PMMA	$\approx 10^{-12}$	
PE	$\approx 10^{-16}$	

## Elektronenstruktur - Energiebänder

- **Leitungsband**  
Das unterste Energieband, das nicht vollbesetzt ist.
- **Valenzband:**  
Das oberste Energieband, das noch Elektronen enthält.



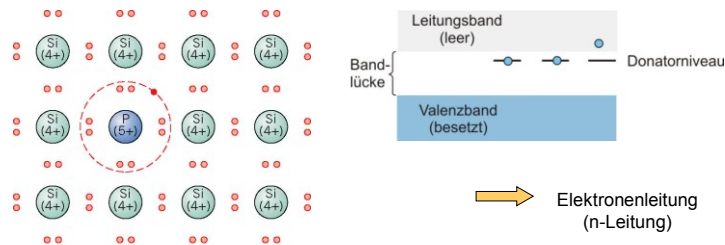
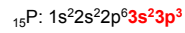
### Eigenhalbleiter (intrinsic Halbleiter)



## Dotierte Halbleiter

### n-Halbleiter

z. B. + P

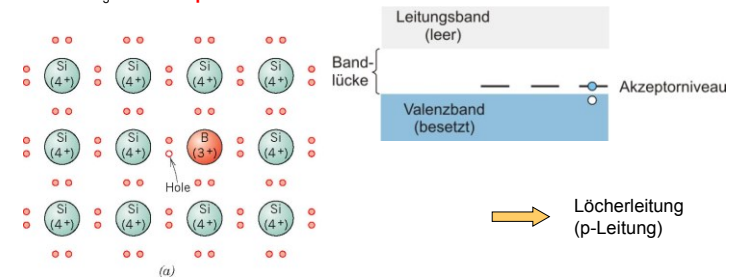
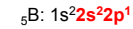


13

## Dotierte Halbleiter

### p-Halbleiter

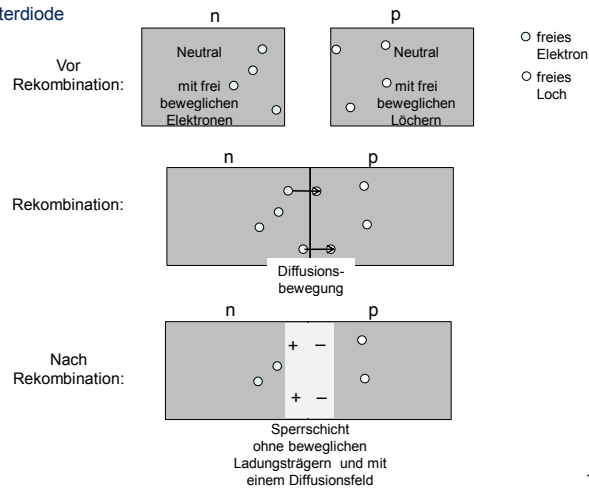
z. B. + B



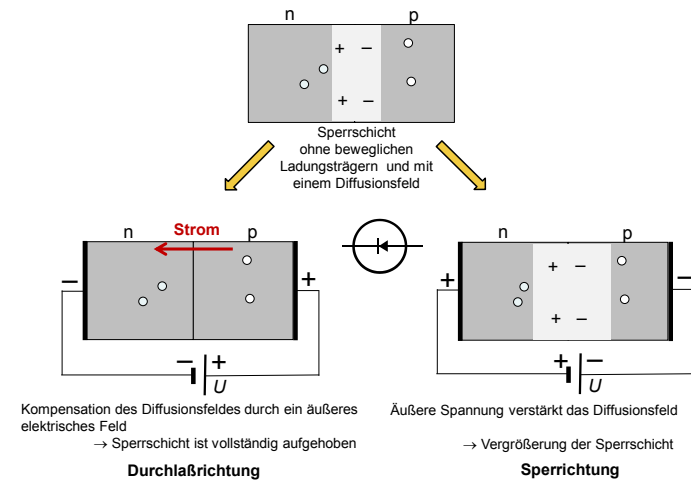
14

## Anwendungen der dotierten Halbleiter

### Halbleiterdiode

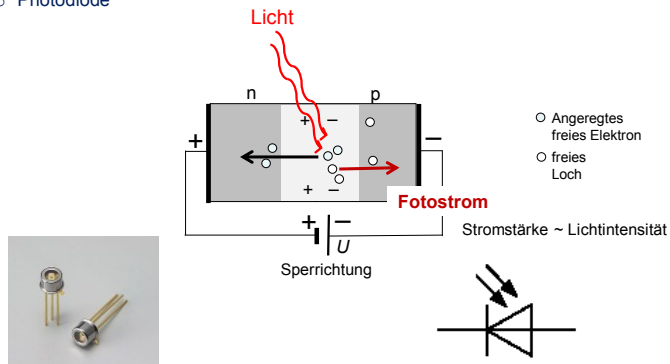


15



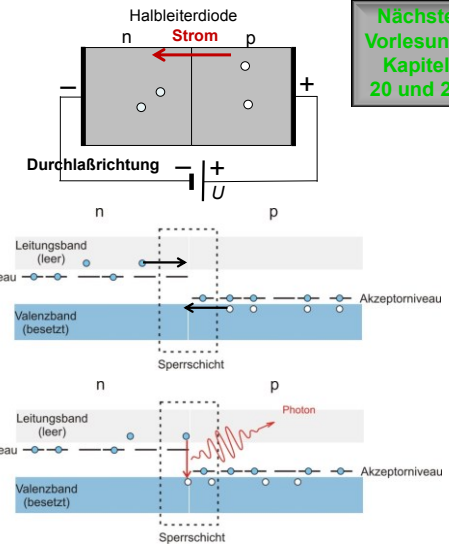
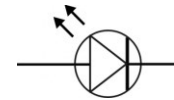
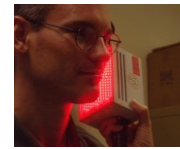
16

○ Photodiode



(Es gibt auch lichtemittierende Dioden → siehe Leuchtdioden, LED) 17

Leuchtdiode  
(light emitting diode — LED)



Nächste  
Vorlesung:  
Kapitel  
20 und 21

18