

Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

10.

Thermische, elektrische, chemische und optische Eigenschaften

1

Thermische Eigenschaften

- Temperatur

- Erwärmung/Abkühlung

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

molare Wärmekapazität (c_v): $c_v = \frac{C}{v}$

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



- Schmelzpunkt/Schmelzwärme

- Siedepunkt/Verdampfungswärme ~ Bindungsenergie!



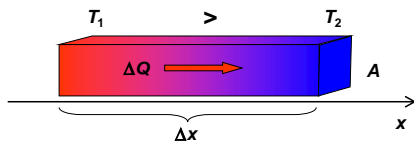
Einige spezifische Wärmekapazitätswerte:

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

2

- Wärmeleitung

- durch Gitterschwingungen
- durch freie Elektronen



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

Fourier-Gesetz

λ — Wärmeleitfähigkeit
(Wärmeleitzahl)
 $J/(s \cdot m^2 \cdot K/m) = W/(m \cdot K)$

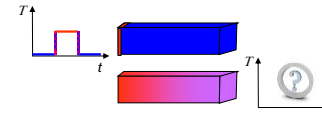
λ ist ein guter Parameter für stationäre Bedingungen!

Einige Wärmeleitzahlen:

Stoff	λ (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

Bei nicht-stationären Bedingungen:



$$D = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$$

D — Temperaturleitfähigkeit
(Temperaturleitzahl,
Wärmediffusivität)
(m²/s)

Einige Temperaturleitzahlen:

Stoff	λ (W/(mK))	D ($10^{-6} m^2/s$)
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

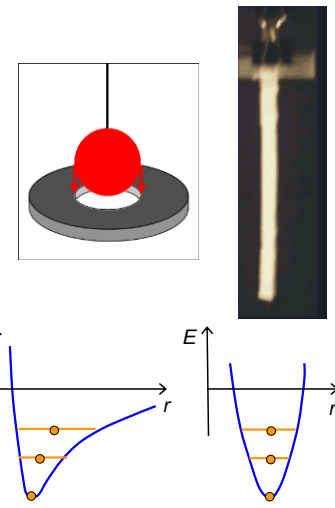
Länge: $\frac{\Delta l}{l} = \alpha \Delta T$

α — linearer Wärmeausdehnungskoeffizient
(Längenausdehnungskoeffizient) (1/K)

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

β — räumlicher Wärmeausdehnungskoeffizient
(Volumenausdehnungskoeffizient) (1/K)

$\beta \approx 3\alpha$



5

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!



6

Sonstige Eigenschaften

• elektrisch

Elektrische Ladungsträger: Elektronen, Ionen.

Spezifischer Widerstand (ρ):

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

Elektrische Leitfähigkeit (σ):

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

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

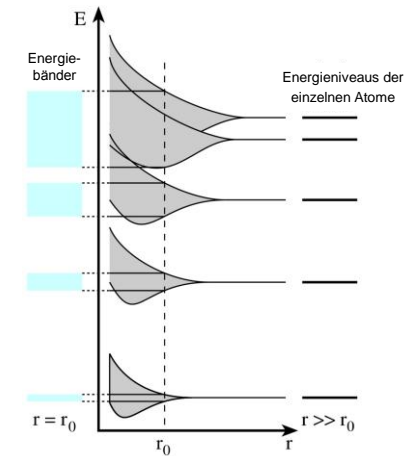
Stoff	$\sigma (S/m)$	
Silber	$6,8 \cdot 10^7$	Leiter
Gold	$4,3 \cdot 10^7$	
Platin	$0,94 \cdot 10^7$	
Germanium	2,2	Halbleiter
Silizium	$4 \cdot 10^{-4}$	
Zirkon	$\approx 10^{-10}$	Isolator
Porzellan	$\approx 10^{-11}$	
Glas	$\approx 10^{-13}$	
PMMA	$\approx 10^{-12}$	
PE	$\approx 10^{-16}$	

7

Elektronenstruktur - Energiebänder

Auffüllen der Bänder nach:

- Energieminimum
- Zahl der Elektronen
- Pauli-Prinzip



8



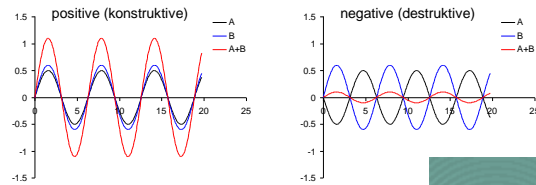
11

10

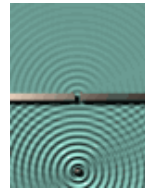
12

• elektromagnetische Welle

Interferenz



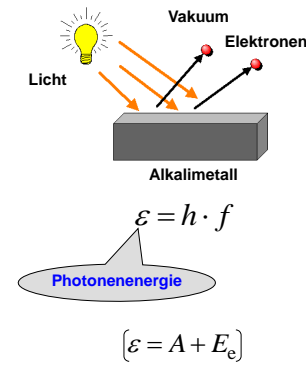
Beugung (Diffraction)



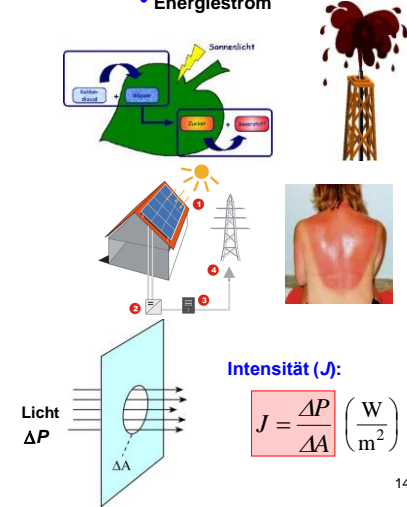
13

• Teilchenstrahlung

Lichtelektrischer Effekt



• Energiestrom



14



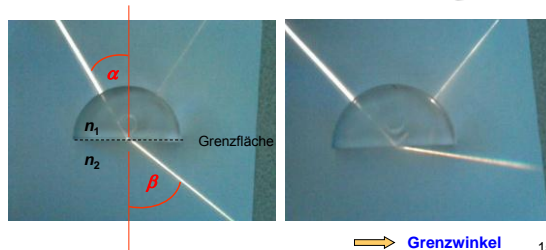
• geradlinige Ausbreitung (geometrische Optik)

Reflexion $\alpha = \beta$



Brechung

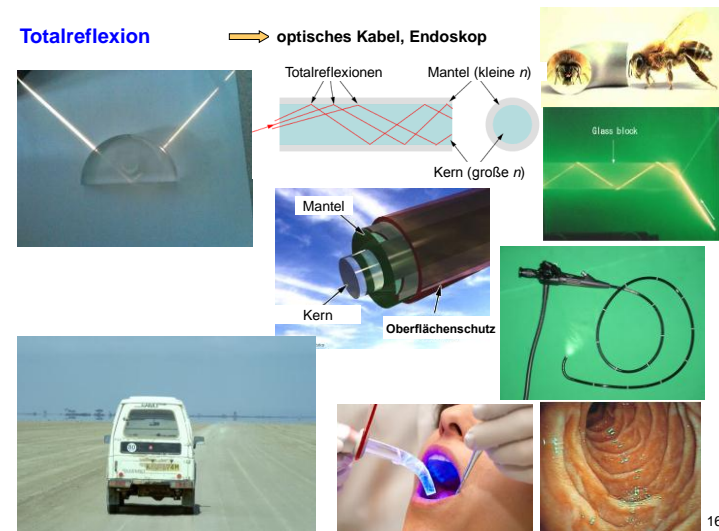
Snellius-
Descartes-Gesetz: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$ (relative Brechzahl)



→ Grenzwinkel

15

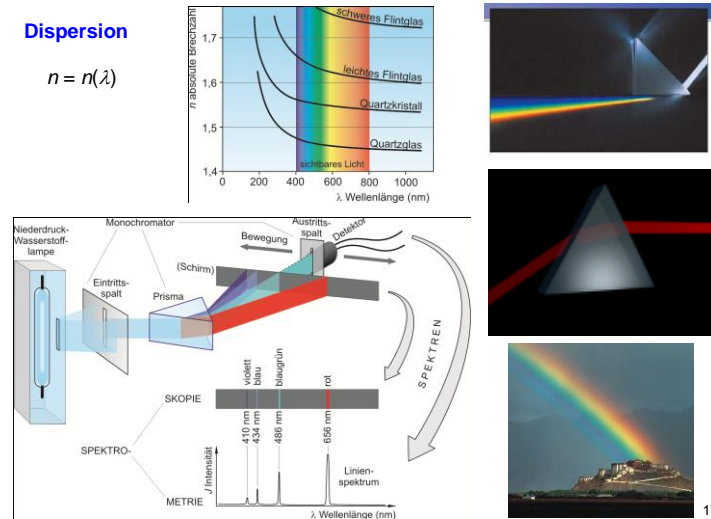
Totalreflexion



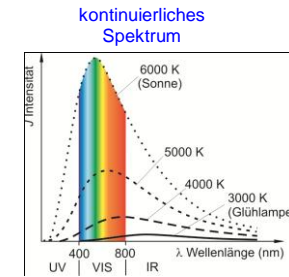
16

Dispersion

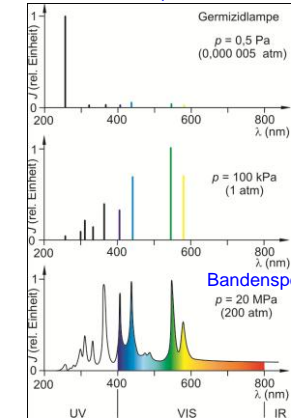
$$n = n(\lambda)$$



Emissionsspektren



Linienpektrum



Bandenspektrum

Hausaufgaben

- Wieviel Energie ist zur Erwärmung eines PMMA-Würfels der Kantenlänge 10 cm von 4°C auf 70°C notwendig? (Die spezifische Wärmekapazität von PMMA beträgt 1460 J/(kg·K).) (116 kJ)
- Die Temperatur einer Glasscheibe (120 cm×80 cm) beträgt 25°C auf der einen Seite, bzw. -12°C auf der anderen Seite. Die Glasscheibe ist 5 mm dick, die Wärmeleitzahl von Glas beträgt 1,1 W/(m·K). Wie viel Wärme lässt die Glasscheibe in einer Minute durch? (469 kJ)
- Berechnen Sie die Längenänderung einer Draht der Länge 20 cm bei einer Erwärmung von Raumtemperatur (20°C) auf 37°C? (Die Draht ist aus Goldlegierung hergestellt, deren linearer Wärmeausdehnungskoeffizient $15 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ beträgt.) (51 μm)
- Ein Amalgamfüllung passt gerade dem Loch in Dentin bei 35°C. Nach einem heißen Getränk steigt die Temperatur der Füllung und seiner Umgebung auf 65°C. Volumenausdehnungskoeffizienten sind: Amalgam $75 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$, Dentin $25 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$. Der Young-Modul von Amalgam beträgt 50 GPa, seine Poisson-Zahl beträgt 0,31.
 - Setzen wir voraus, dass das Loch sich bei Erwärmung nicht ändert. Welche Spannung tritt an der Grenzfläche Amalgam/Dentin auf? (98,5 MPa)
 - Das Loch ändert sich auch wegen der Wärmeausdehnung. Welche Spannung tritt diesmal auf? (65,6 MPa)
- Der spezifische Widerstand von Gold beträgt $2,2 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$. Berechnen Sie
 - die Leitfähigkeit von Gold ($4,55 \cdot 10^7 \text{ S/m}$)
 - den Leitwert eines Goldfadens der Länge 10 cm und des Querschnitts 0,2 mm² (90,9 S)
 - den Widerstand des vorigen Fadens (0,011 Ω)