

Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialwissenschaft

– 10 –

Thermische und optische Eigenschaften.

erarbeitet von: Gergely AGÓCS, Ferenc TÖLGYESI
12. November 2020.

Kapitel des
Lehrbuches:
19, 20

FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

1

„Erwärmbarkeit“

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

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

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 |

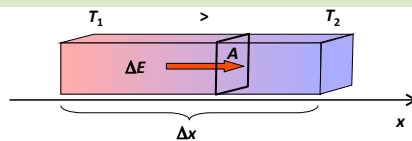


FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

2

Wärmeleitung



Energiestromstärke (I_E): $I_E = \frac{\Delta E}{\Delta t}$ (J/s)

Fourier-Gesetz:

Energiestromstärke

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

Temperaturgradient

λ : Wärmeleitfähigkeit (Wärmeleitzahl)
J/(s·m²·K/m) = W/(m·K)

FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

3

Wärmeleitung: Mechanismus

Mechanismus der Wärmeleitung:

- durch Bewegungen und Stöße zwischen Atomen (in jedem Material möglich)
- durch die Wanderung der delokalisierten Elektronen (nur in Metallen möglich)

Die Wärmeleitfähigkeit hängt von:

- dem Aggregatzustand (fest > flüssig > gasförmig)
- der Dichte
- der Temperatur (nur geringfügig) ab

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 |



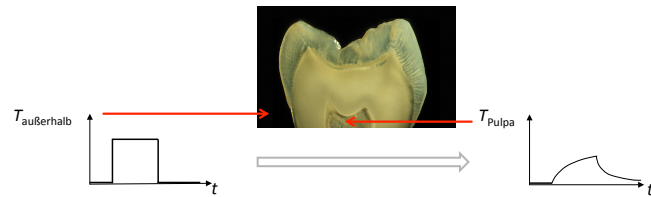
Kann nur bei stationären
Prozessen einfach verwendet
werden (s. die Wärmeabgabe des
menschlichen Körpers)!

FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

4

Wärmeleitung bei nichtstationären Verhältnissen



Ursache der Verzögerung (Dämpfung) des Temperatursprunges:

Die dazwischenliegenden Gewebe (Zahnschmelz, Dentin) benötigen Energie zur Erwärmung (d. h. sie absorbieren Energie), so wird weniger Energie in der Übergangsphase auf die Pulpa übertragen.

Die Energieabsorptionsfähigkeit eines Materials ist durch die Wärmekapazität der Volumeneinheit des Gewebes gegeben.

FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

5

Temperaturleitung

Temperaturleitfähigkeit
(auch: Temperaturleitzahl, Wärmediffusivität)
 $D \text{ (m}^2/\text{s):}$

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

spez. Wärmekapazität Dichte

Wenn die dazwischenliegenden Gewebe schon erwärmt worden sind, wird ein thermisches Gleichgewicht erreicht und der Prozess läuft weiterhin schon stationär ab.

Einige Temperaturleitzahlen:

| Stoff | D ($10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) |
|--------------|---|
| Zahnschmelz | 0,5 |
| Dentin | 0,2 |
| Wasser | 0,14 |
| Amalgam | 9,6 |
| Gold | 118 |
| Porzellan | 0,4 |
| Glas | 0,3-0,7 |
| Akrylat | 0,1 |
| PMMA | 0,12 |
| Zinkphosphat | 0,3 |

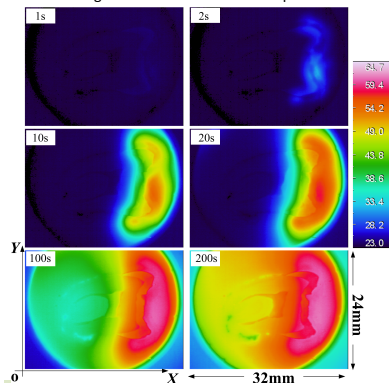
FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

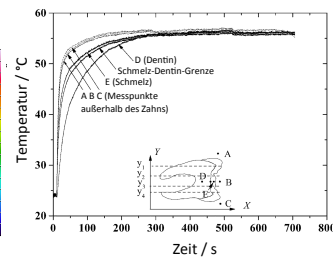
6

Temperaturleitung im Zahn

mit einer Infrakamera aufgenommene Temperaturverteilungen in unterschiedlichen Zeitpunkten



zeitliche Änderungen der Temperatur in unterschiedlichen Plätzen um und im Zahn



Quelle:
Lin Niu, Shao-jie Dong, Ting-Ting Kong, Rong Wang, Rui Zou, Qi-Da Liu (2016):
Heat Transfer Behavior across the Dentino-Enamel Junction in the Human
Tooth. In: PLOS ONE

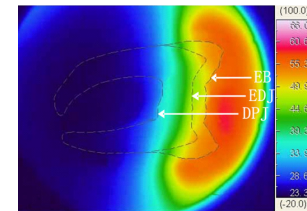
FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

7

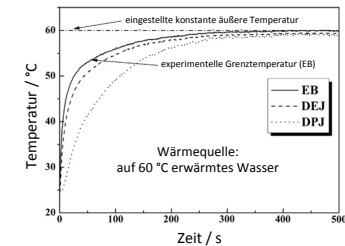
Temperaturleitung im Zahn

Infrakamerabild der Temperaturverteilung



EB: enamel border = (äußere) Schmelzgrenze
EDJ = DEJ: enamel-dentin junction = Schmelz-Dentin-Grenze
DPJ: dentin-pulp junction = Dentin-Pulpa-Grenze

zeitliche Änderungen der Temperatur in unterschiedlichen Plätzen im Zahn

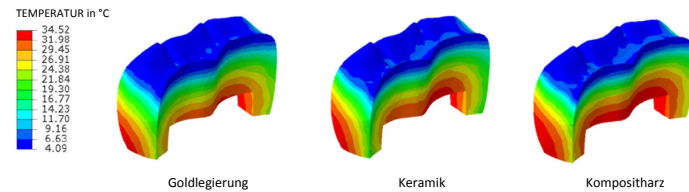


FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

8

Temperaturleitung in Zahnfüllungsmaterialien



klinische Signifikanz:

Zahnfüllungen aus Gold und Amalgam können einen starken Thermoschock verursachen wegen ihrer hohen Temperaturleitfähigkeit, weil sie große Wärmeleitzahl und kleine spezifische Wärmekapazität haben.

FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

9

Wärmeausdehnung

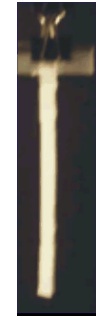
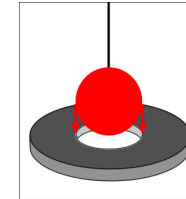
$$\text{Länge: } \frac{\Delta l}{l} = \alpha \Delta T$$

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

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

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

$$\beta \approx 3\alpha$$

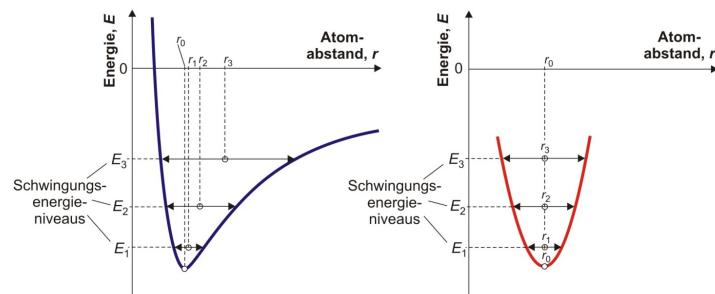


FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

10

Hintergrund der Wärmeausdehnung

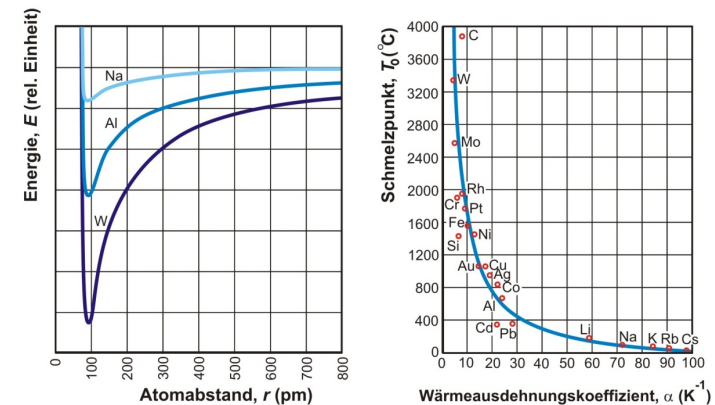


FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

11

Wärmeausdehnung



FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

12

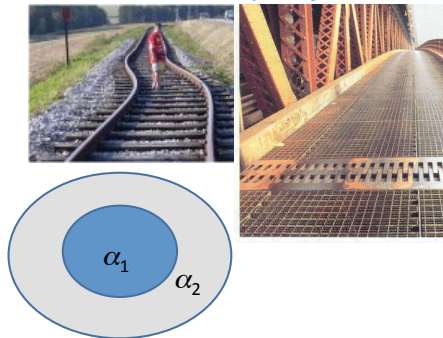
Unterschiedliche Wärmeausdehnungen

Einige Längenausdehnungskoeffizienten:

| Stoff | α (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 Wärmeausdehnungen

innere Spannungen!

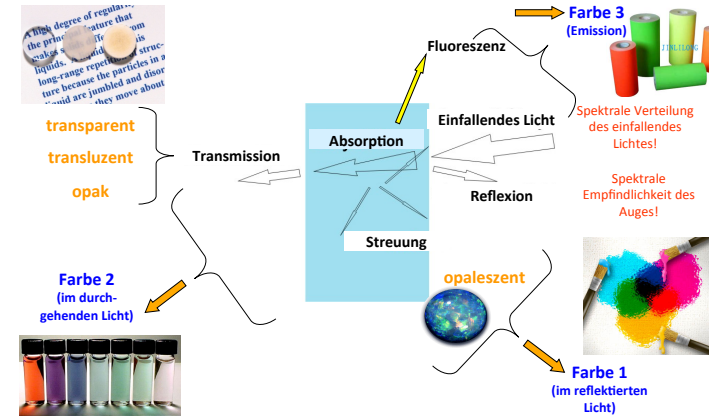


FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

13

Optische Eigenschaften

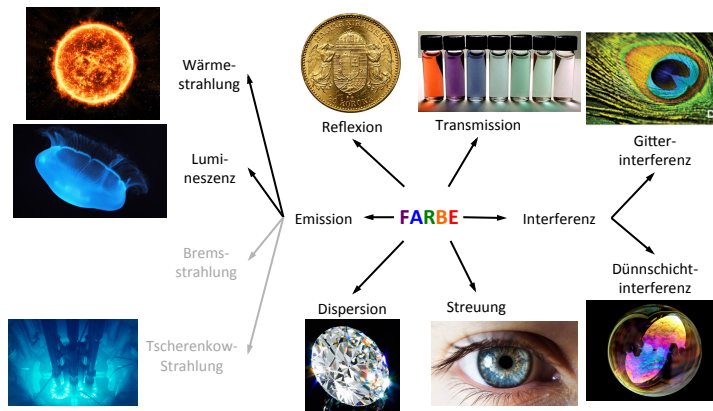


FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

14

Die 6 Ursachen der Farbe

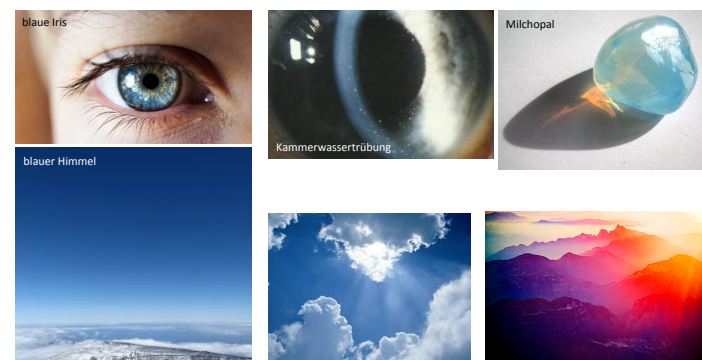


FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

15

Farbe: Rayleigh-Streuung (Tyndall-Effekt, Opaleszenz)



FAFA_DE

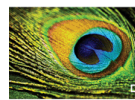
10 | Thermische und optische Eigenschaften

16

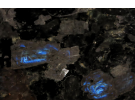
Farbe: Interferenz (strukturelle Färbung, Irideszenz)



Stundenblume

Taubenfedern
(z.B.: Blaha Lujza tér)*Entimus imperialis*

Pflauenfeder

*Morpho rhetenor**Closterocerus coffeellae*Perlmutter (*Haliotis glabra*)Labradorit (Gestein)
(z.B.: Neptastadion Metrohaltestelle)

Siamesischer Kampffisch

FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

17

Farbe: Dispersion



das „Feuer“ eines Diamantes



Mondregenbogen



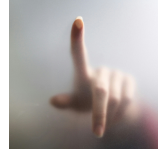
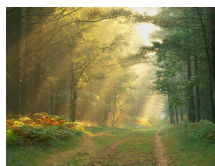
Regenbogen

FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

18

Färbung

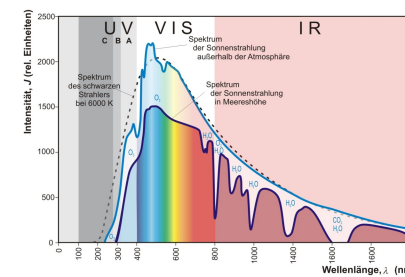
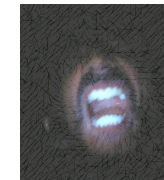
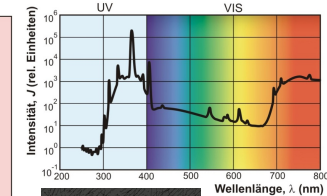


FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

19

Spektrale Zusammensetzung des einfallenden Lichtes (Emissionsspektrum)

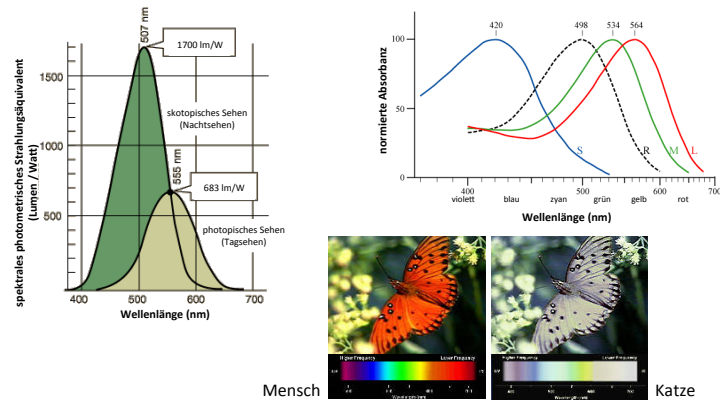
Natürliche Beleuchtung:
SonnenspektrumKünstliche Beleuchtung:
Spektrum einer DiscolampeFluoreszenz
der Zähne in
UV-Licht

FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

20

Empfindlichkeit des Auges: Absorptionsspektrum

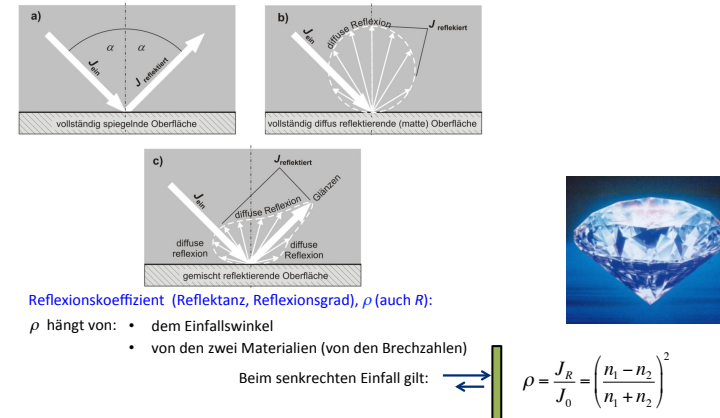


FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

21

Reflexion

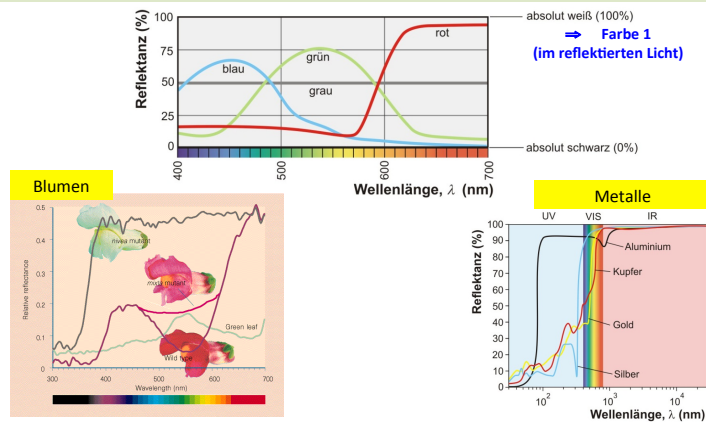


FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

22

Reflexionsspektrum

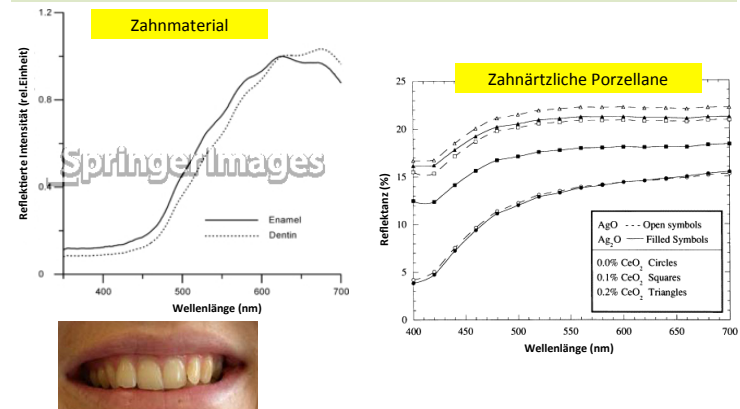


FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

23

Reflexionsspektrum



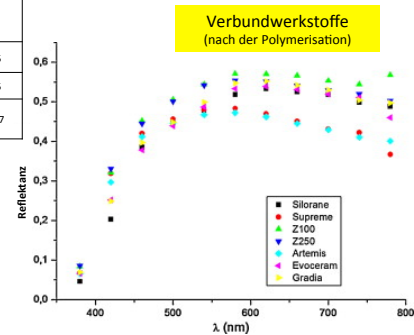
FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

24

Reflexionsspektrum

| Dental resin composite | Organic matrix | Filler particle type | Filler particle size (µm) |
|------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------|
| Filtek Silorane | Silorane | Quartz filler, yttrium fluoride | 0.1-2 |
| Filtek Supreme XT | Bis-GMA, UDMA, TEGDMA and Bis-EMA | Zirconium-Silica agglomerate, highly dispersed silica | 0.6-1.4 |
| Filtek Z250 | Bis-GMA, UDMA and Bis-EMA | Zirconium, Silica | 0.01-3.5 |
| Z100 | Bis-GMA and TEGDMA | Zirconium, Silica | 0.01-3.5 |
| Gradia Direct | UDMA, dimethacrylate co-monomers | Silica and pre-polymerized fillers | 0.007-1.7 |



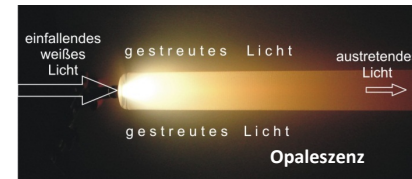
FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

25

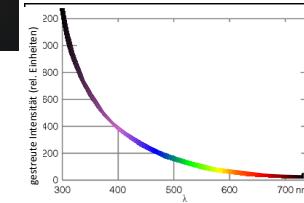
Streuung und Opaleszenz

Rayleigh-Streuung

Größe der Streuteilchen $\ll \lambda$ 

$$\sigma \sim \frac{d^6}{\lambda^4}$$

Streuungsspektrum:

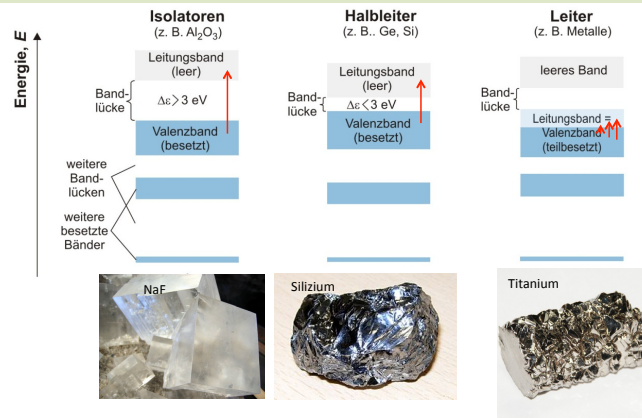


FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

26

Absorption



FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

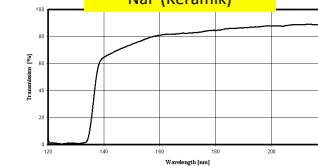
27

Absorptionsspektrum

NaF

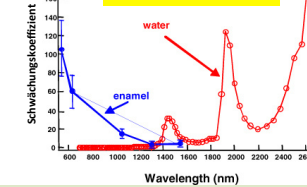


NaF (Keramik)



Schwächung = Streuung + Absorption:

Zahnmaterial



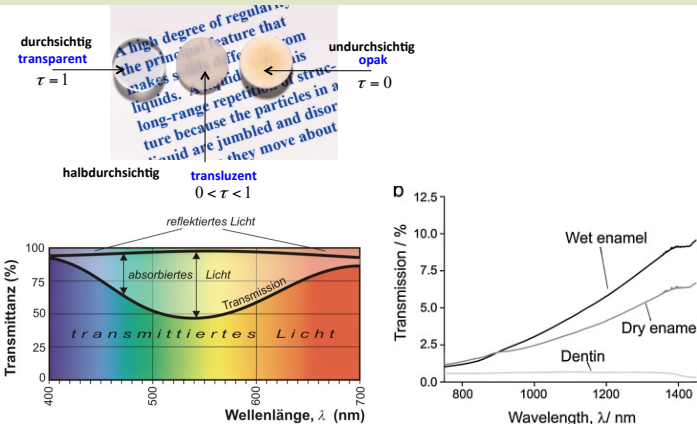
FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

28

28

Transmittanz

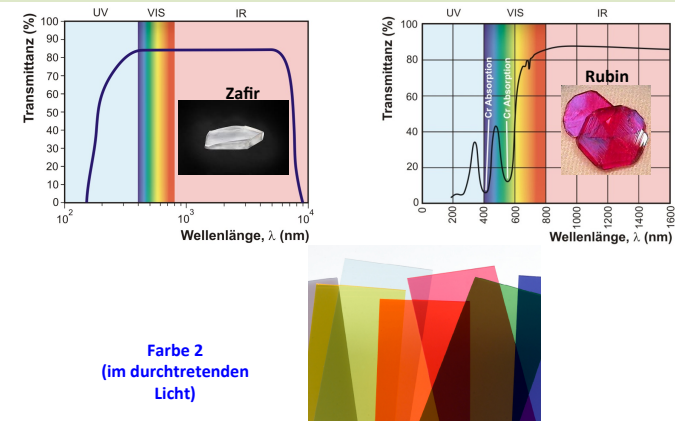


FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

29

Transmissionsspektrum



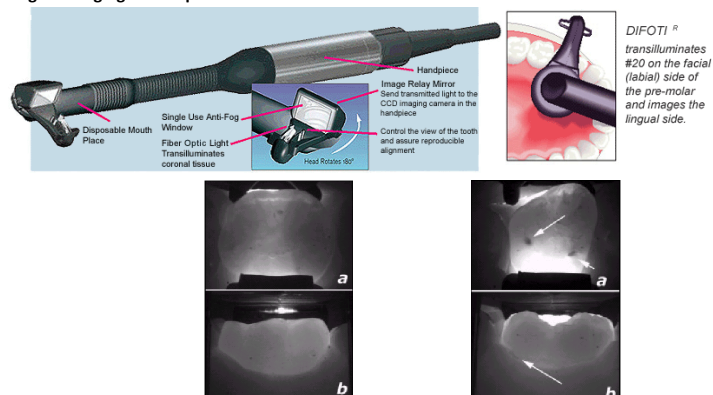
FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

30

DIFOTI®

Digital Imaging Fiber-Optic Trans-Illumination

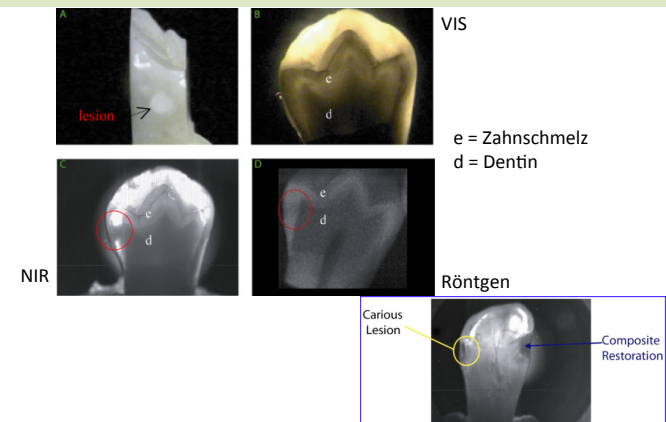


FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

31

Durchleuchtung im nahen Infrarot



FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

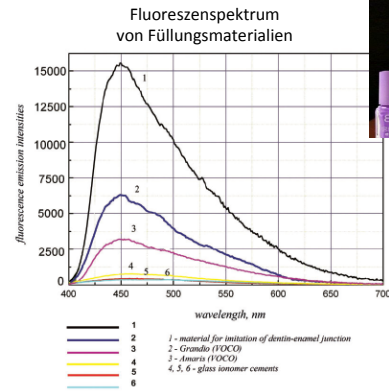
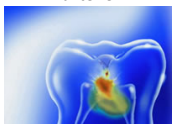
32

Fluoreszenz

Fluoreszenz des
Zahnschmelzes



Fluoreszenz von
Bakterien



FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

33

Fluoreszenz

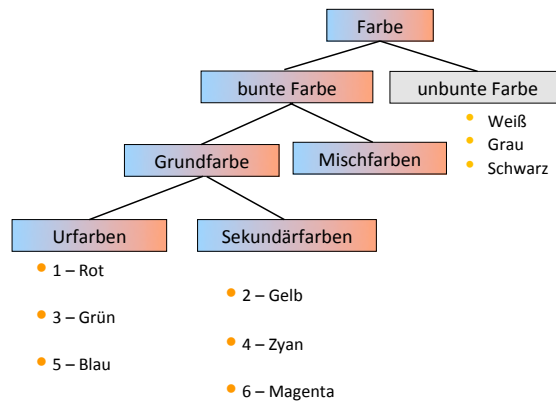


FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

34

Farbe



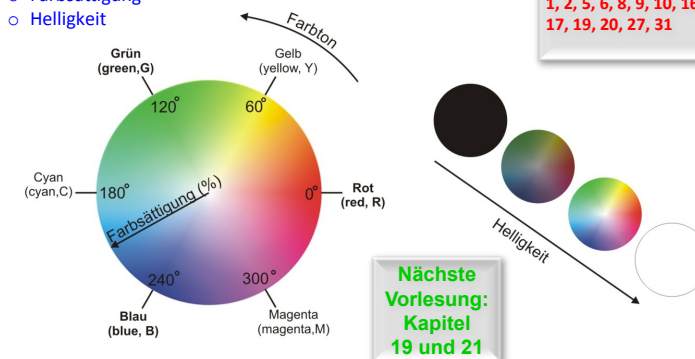
FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

35

„Farbraum“: 3 Koordinaten

- Farbton
- Farbsättigung
- Helligkeit



FAFA_DE

10 | Thermische und optische Eigenschaften

36