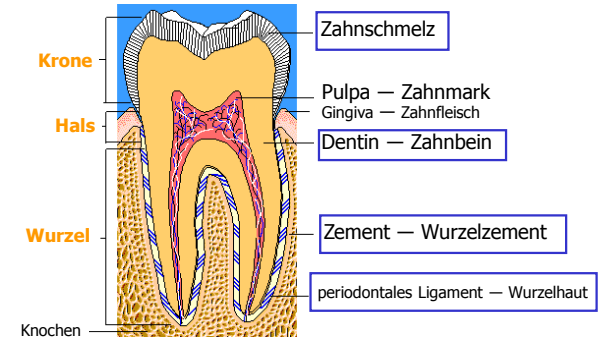


Mechanische Eigenschaften von Geweben

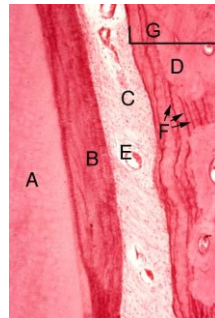
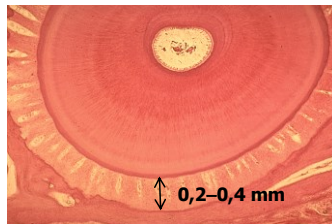


Zahngewebe und Gewebe um den Zahn



2

Periodontales Ligament (Wurzelhaut)



≈ Kollagen

Polymer

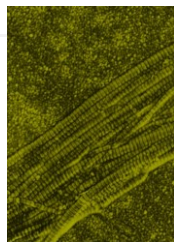
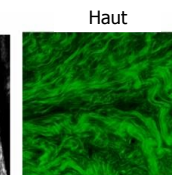
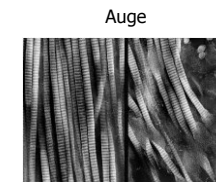
3

Kollagen

- Strukturprotein
- Wichtigstes Protein des Bindegewebes
- Etwa 1/4 der Proteinmenge

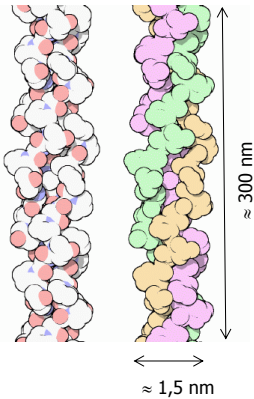
Wichtige Rolle in den Geweben/Organen:

- Sehnen, Bänder,
- Haut,
- Knorpel,
- Knochen,
- Zahn,
- Aderhaut
- Glaskörper,
- Cornea,
- ...



4

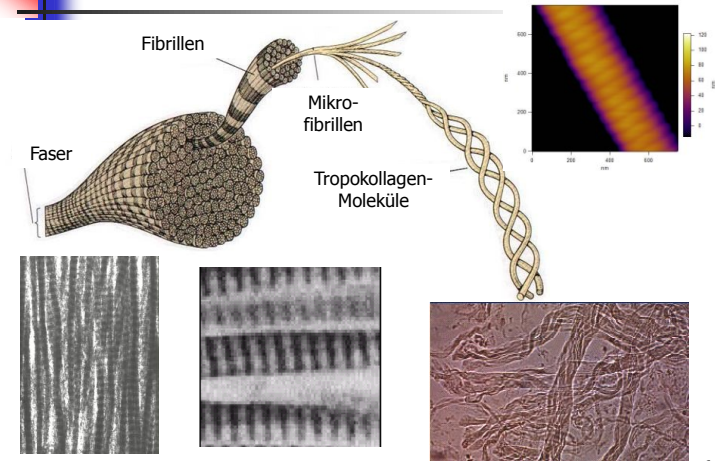
Das Kollagen-Molekül



- ≈ 1400 Aminosäuren/Kette
- Glycin (kb. 1/3), Prolin (kb. 1/10), Hydroxiprolin, ...
- 3 Ketten \rightarrow Tripelhelix

5

Anordnung der Kollagen-Moleküle



6

Spannungs-Dehnungs-Diagramm von Kollagen

Material	$\sigma_{max, Zug}$ (MPa)	$\sigma_{max, Druck}$ (MPa)
Zahnschmelz	≈ 10	≈ 400
Dentin	≈ 110	≈ 300
Keramiken	5-400	20-5000
Porzellan	≈ 25	≈ 300
Polyethylen (große Dichte)	≈ 30	
Amalgam	30-55	200-450
PMMA (Polymethylmethacrylat)	≈ 50	≈ 80
Glas	$\approx 50-70$	≈ 700
Gold	108	
Aluminiumoxid	≈ 170	≈ 2100
Zirkoniumdioxid	≈ 250	≈ 2500
Goldlegierungen	300-900	
Pd-Ag Legierungen	400-700	
Ni-Cr Legierungen	400-900	
Co-Cr Legierungen	600-800	
Ti Legierungen	900-1100	
kohlenstofffaserverstärktes (61%) Epoxid	≈ 1700	

$E = 300 \text{ MPa} \dots 2500 \text{ MPa}$ („Aufhärtung“)

Zugfestigkeit:

$$\sigma_m \approx 60 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_m \approx 0,08$$

Mittelmäßig steif, relativ stark und zäh, aber weich!

➡ Sehnen, Bänder, Haut

7

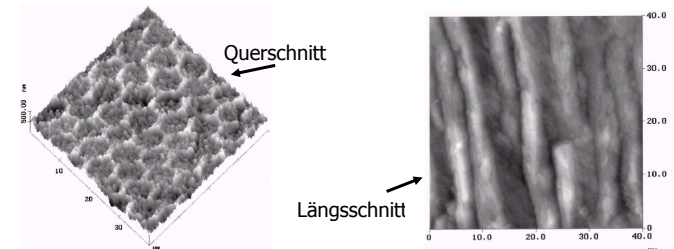
Zahnschmelz

$\approx 92\%$ Hydroxiapatit (HAP)

Keramik

0-2,5 mm

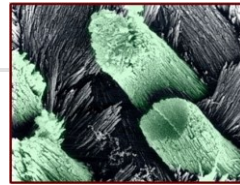
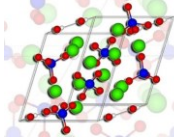
Schmelzprismen



8

Hydroxyapatit

$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ hexagonales Ionenkristall



Im Dentin, im Knochen:

20-60 nm
6 nm

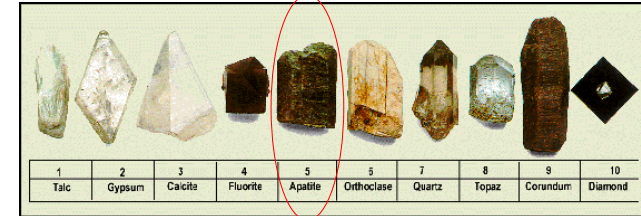
Im Zahnschmelz:

500-1000 nm
30 nm

9

Eigenschaften von Hydroxyapatit

Moh-Skala:



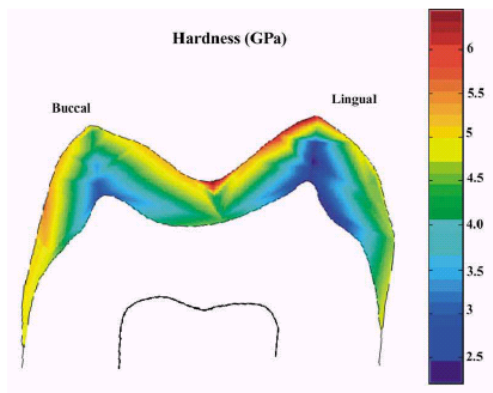
HAP: $HV \approx 6 \text{ GPa}$ $E \approx 140 \text{ GPa}$ $\sigma_m \approx 60 \text{ MPa}$ (Zug)
 $\approx 500 \text{ MPa}$ (Druck)

Zahnschmelz: $HV \approx 3-6 \text{ GPa}$ $E \approx 90-100 \text{ GPa}$ $\sigma_m \approx 50 \text{ MPa}$ (Zug)
 $\approx 400 \text{ MPa}$ (Druck)

Sehr steif, hart, stark, aber brüchig!

10

Härteverteilung innerhalb des Zahnschmelz



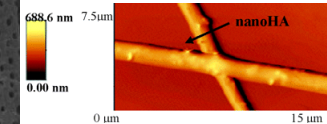
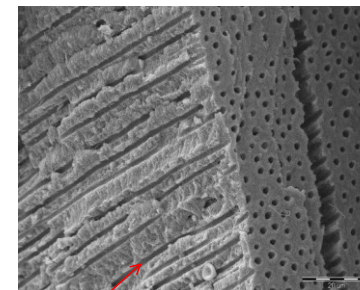
11

Dentin

$\approx 35\%$ organisch (Kollagen)+Wasser
 $\approx 65\%$ HAP

Verbundwerkstoff

Kollagenfaser \rightarrow Matrix
+
Apatitkörner

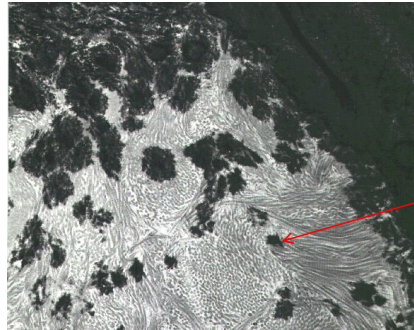


Hart und stark genug,
gleichzeitig aber elastisch, zäh!

Dentinkanälchen

12

Zement



≈ 50% organisch (Kollagen)
+Wasser
≈ 50% HAP

HAP
Kristallwachstum

Verbund-
werkstoff

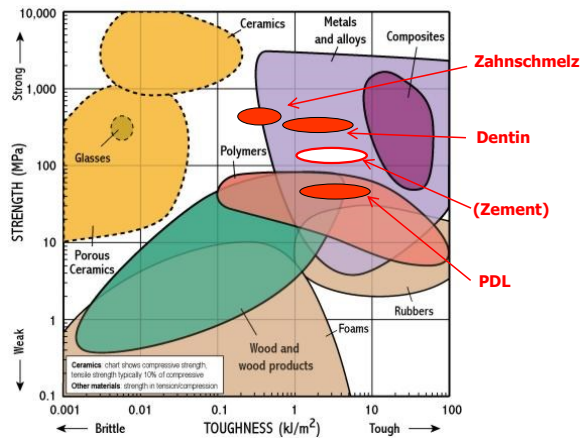
13

Zusammenfassung

	PDL (≈ Kollagen)	Dentin (≈ 1/3 Kollagen, 2/3 HAP)	Zahnschmelz (≈ HAP)
Steifigkeit (E) (GPa)	0,3–2,5	10–20	90–100
Festigkeit (σ_m) (MPa)	60	110 (Zug) 300 (Druck)	50 (Zug) 400 (Druck)
Zähigkeit (kJ/m ²)	1–10	0,5–5	0,1–1
Härte HV (GPa)		0,5–1	3–6

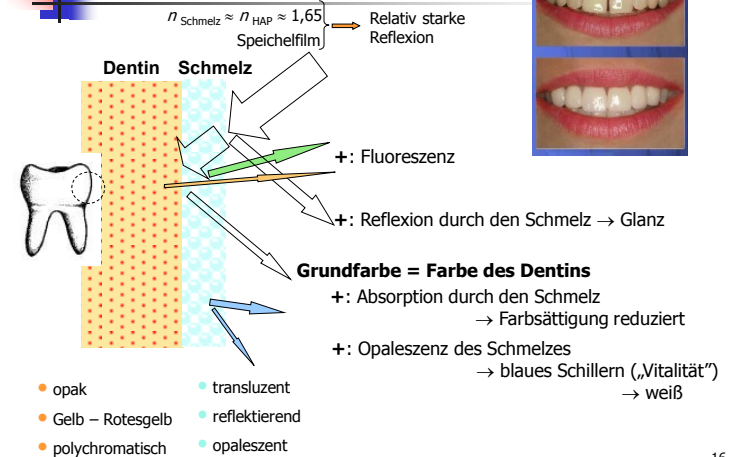
14

Anschaulich:

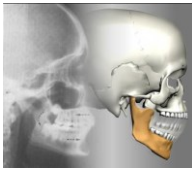


15

Farbe der Zahn



16



Biomechanik



Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde 13.

17

Bewegungsformen

Zusammengesetzte Bewegung

= Translation + Rotation



Kräfte!

Drehmomente von Kräften!

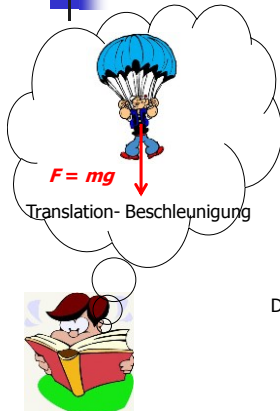
Translation

Rotation

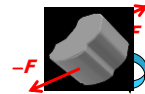


18

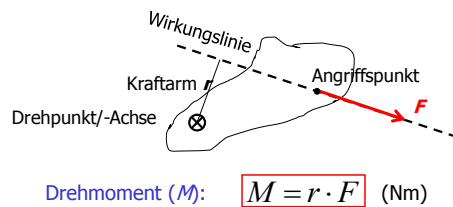
Kraft und Drehmoment



Rotation ist auch dann möglich, wenn die Summe der Kräfte gleich Null ist!



$$\sum \vec{F}_i = 0$$



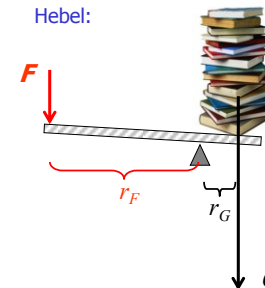
Drehmoment (M): $M = r \cdot F$ (Nm)

19

Statik – Gleichgewicht. Hebel

$$\text{Gleichgewicht} \Leftrightarrow \sum \vec{F}_i = 0 \quad \text{und} \quad \sum M_i = 0$$

Hebel:



Im Gleichgewicht:

$$\sum M_i = 0$$

$$r_G \cdot G = M_G = M_F = r_F \cdot F$$

$$\text{Hebelgesetz: } \frac{F}{G} = \frac{r_G}{r_F}$$

Kraftvervielfachung

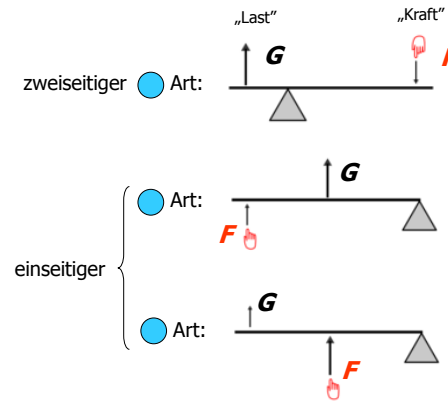
20

Beispiele



21

Hebelarten



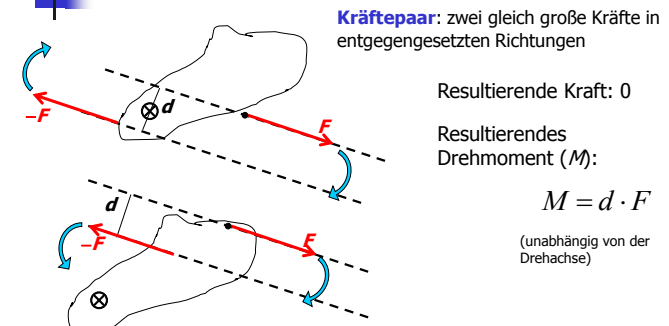
22

Beispiele



23

Kräftepaar, Ersetzung eines Kraftsystems



➔ „Kräftepaar = Drehmoment“

Jedes Kraftsystem kann mit einer Kraft und einer Kräftepaar ersetzt werden.

24