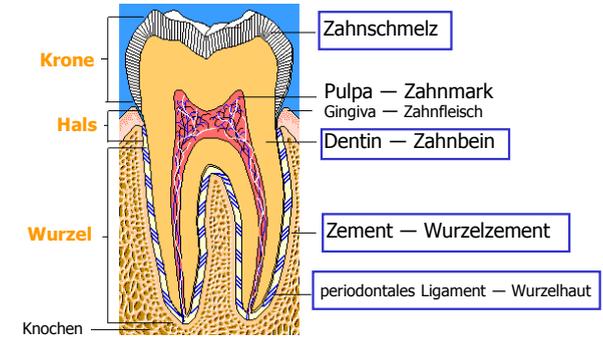


Mechanische Eigenschaften von Geweben

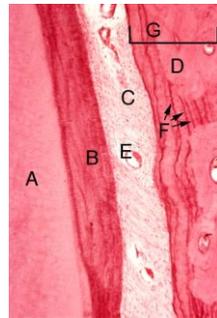
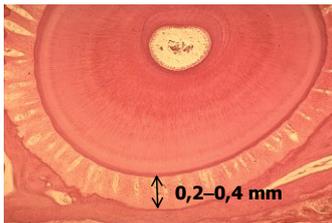


Zahngewebe und Gewebe um den Zahn



2

Periodontales Ligament (Wurzelhaut)



≈ Kollagen

Polymer

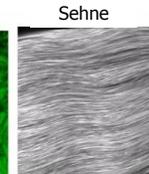
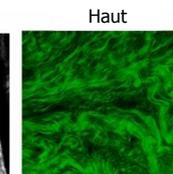
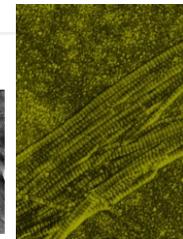
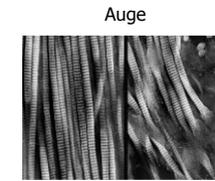
3

Kollagen

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

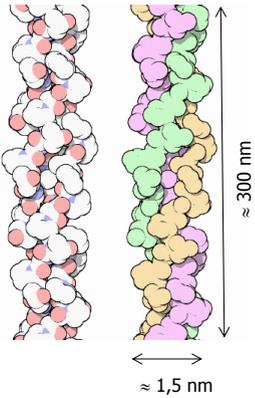
Wichtige Rolle in den Geweben/Organen:

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



4

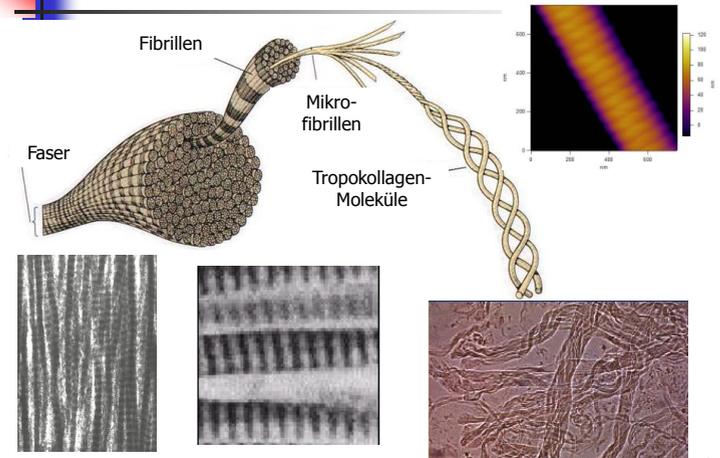
Das Kollagen-Molekül



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

5

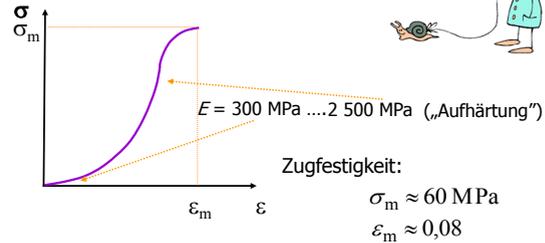
Anordnung der Kollagen-Moleküle



6

Spannungs-Dehnungs-Diagramm von Kollagen

Material	E (GPa)
Zahnschmelz	≈ 100
Dentin	≈ 15
Amalgam	50-60
Gold	79
Goldlegierungen	75-110
Pd-Ag-Legierungen	100-120
Keramiken	60-130
Porzellan	60-110
PMMA	2,4-3,8
Silikon	$\approx 0,0003$



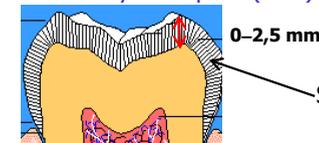
Mittelmäßig steif, relativ stark und zäh, aber weich!

➡ Sehnen, Bänder, Haut

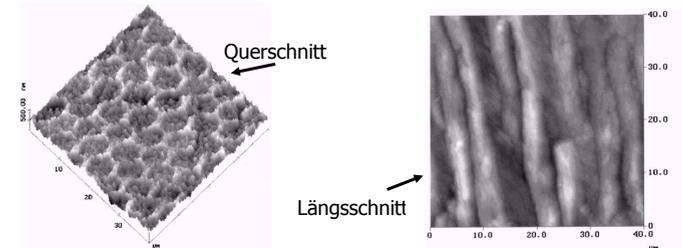
7

Zahnschmelz

$\approx 92\%$ Hydroxiapatit (HAP)



Schmelzprismen



8

Hydroxyapatit

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



Im Dentin, im Knochen:

20-60 nm



Im Zahnschmelz:

500-1000 nm

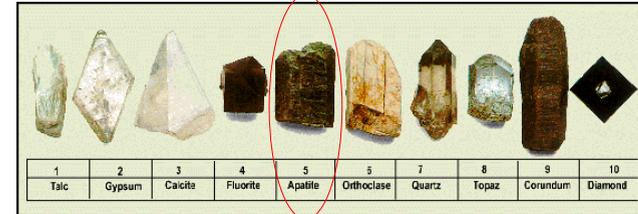


30 nm

9

Eigenschaften von Hydroxyapatit

Moh-Skala:



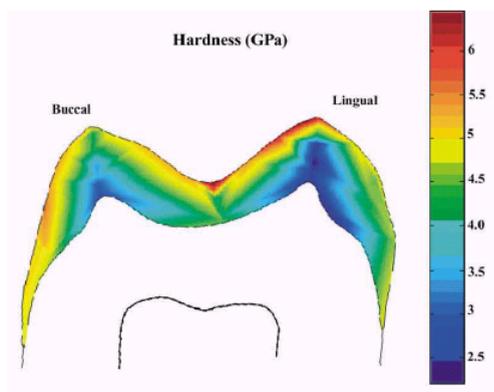
HAP: $HV \approx 6 \text{ GPa}$ $E \approx 140 \text{ GPa}$ $\sigma_m \approx 60 \text{ MPa}$ (Zug)
 $\approx 500 \text{ MPa}$ (Druck)

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



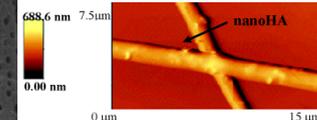
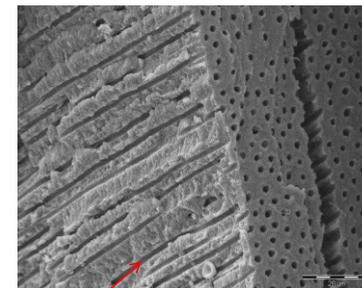
11

Dentin

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

Verbundwerkstoff

Kollagenfaser \rightarrow Matrix
 +
 Apatitkörner



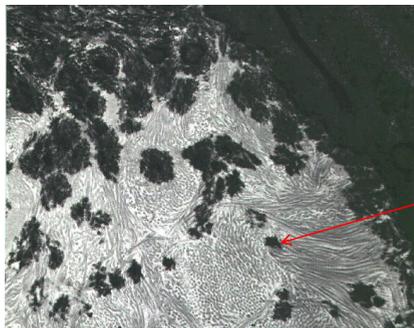
Hart und stark genug,
 gleichzeitig aber elastisch, zäh!

Dentinkanälchen

12

Zement

Verbundwerkstoff



≈ 50% organisch (Kollagen) + Wasser

≈ 50% HAP

HAP Kristallwachstum

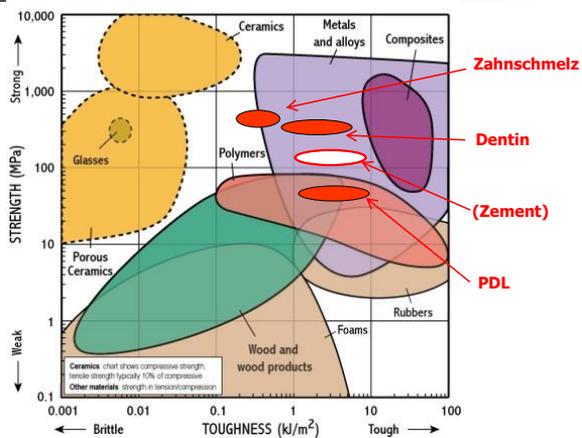
13

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

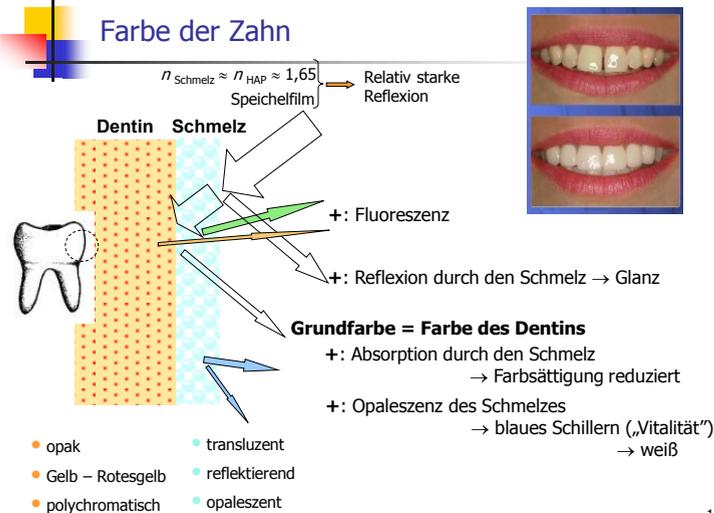
14

Anschaulich:



15

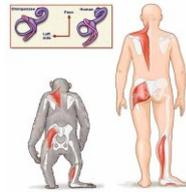
Farbe der Zahn



16



Biomechanik



Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde 12.

17

Bewegungsformen

Zusammengesetzte Bewegung

= Translation + Rotation



Kräfte!

Drehmomente von Kräften!

Translation

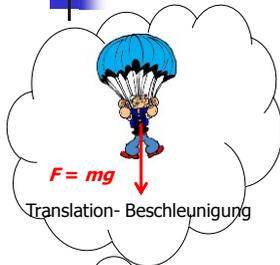
Rotation



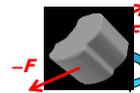
18

Kraft und Drehmoment

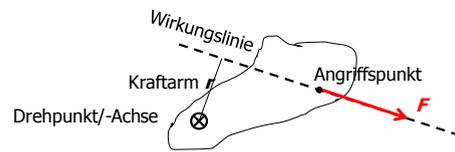
Rotation ist auch dann möglich, wenn die Summe der Kräfte gleich Null ist!



Translation- Beschleunigung



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



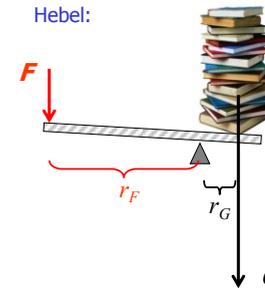
Drehmoment (M): $M = r \cdot F$ (Nm)

19

Statik – Gleichgewicht. Hebel

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

Hebel:



Im Gleichgewicht:

$$\sum M_i = 0$$

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

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

➡ Kraftvervielfachung

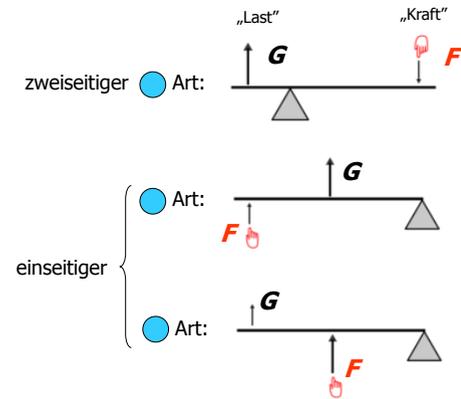
20

Beispiele



21

Hebelarten



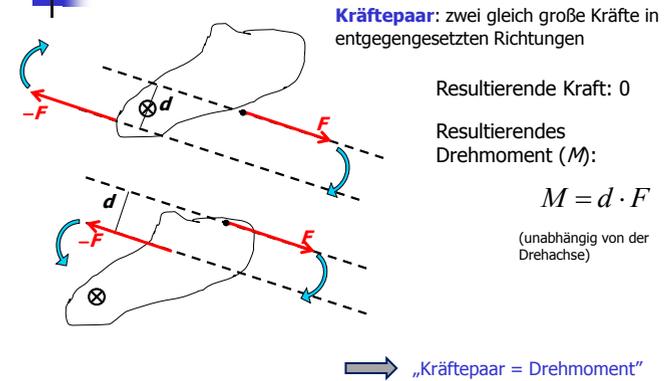
22

Hebel in der zahnärztlichen Praxis



23

Kräftepaar, Ersetzung eines Kraftsystems



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

24