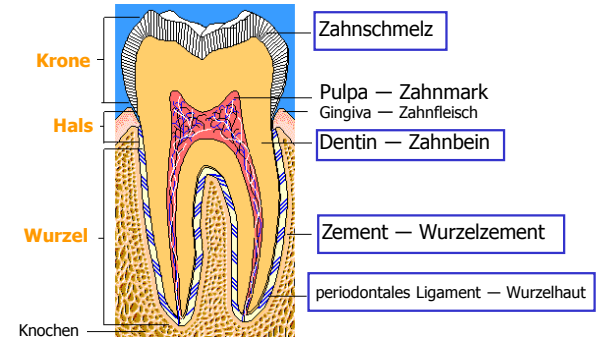


## Mechanische Eigenschaften von Geweben

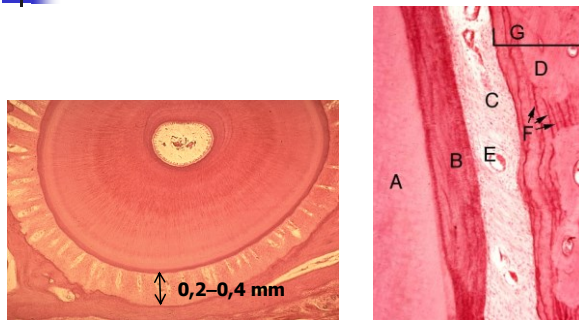


## Zahngewebe und Gewebe um den Zahn



2

## Periodontales Ligament (Wurzelhaut)



≈ Kollagen

Polymer

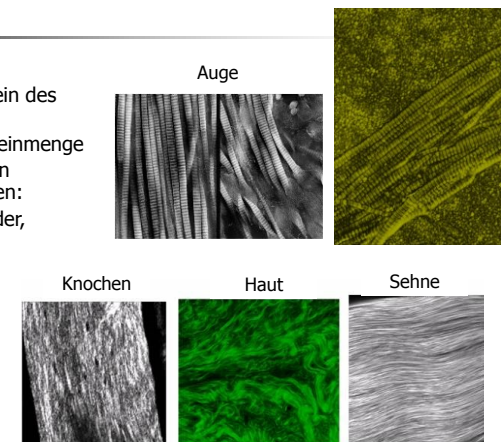
3

## Kollagen

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

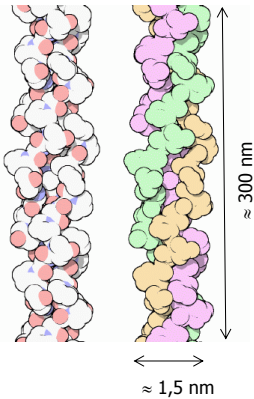
Wichtige Rolle in den Geweben/Organen:

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



4

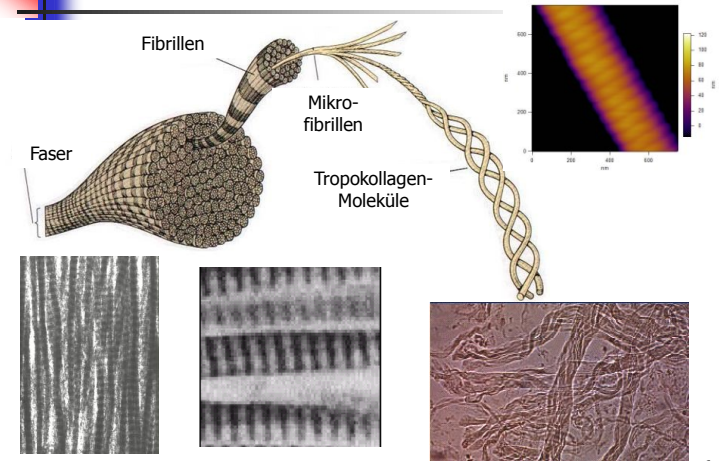
## Das Kollagen-Molekül



- $\approx 1400$  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	$\approx 10$	$\approx 400$
Dentin	$\approx 110$	$\approx 300$
Keramiken	5-400	20-5000
Porzellan	$\approx 25$	$\approx 300$
Polyethylen (große Dichte)	$\approx 30$	
Amalgam	30-55	200-450
PMMA (Polymethylmethacrylat)	$\approx 50$	$\approx 80$
Glas	$\approx 50-70$	$\approx 700$
Gold	108	
Aluminiumoxid	$\approx 170$	$\approx 2100$
Zirkoniumdioxid	$\approx 250$	$\approx 2500$
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	$\approx 1700$	

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

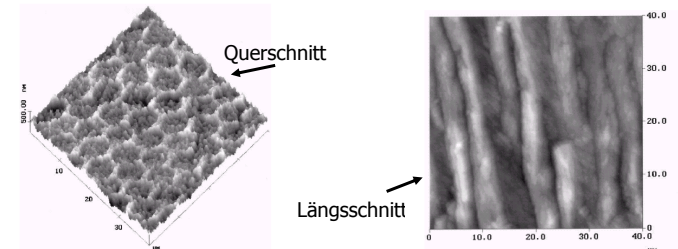
## Zahnschmelz

$\approx 92\%$  Hydroxiapatit (HAP)

Keramik

0-2,5 mm

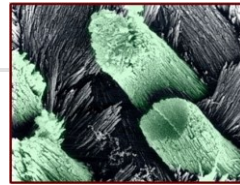
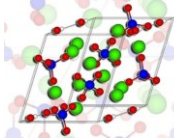
Schmelzprismen



8

## Hydroxyapatit

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



Im Dentin, im Knochen:

20-60 nm  
6 nm

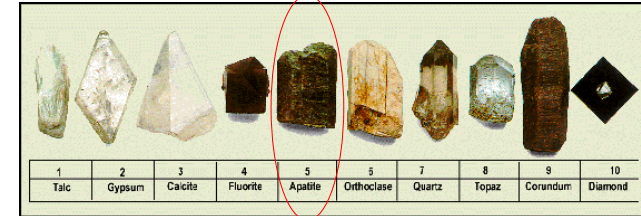
Im Zahnschmelz:

500-1000 nm  
30 nm

9

## Eigenschaften von Hydroxyapatit

**Moh-Skala:**



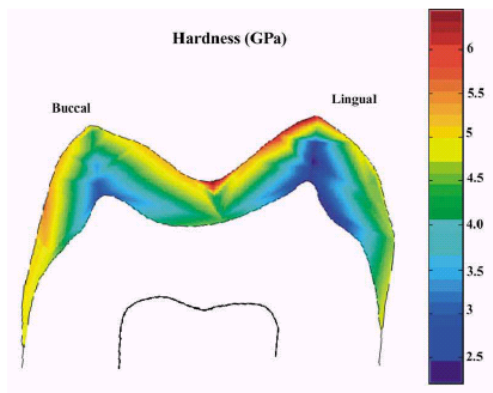
**HAP:**  $HV \approx 6 \text{ GPa}$   $E \approx 140 \text{ GPa}$   $\sigma_m \approx 60 \text{ MPa}$  (Zug)  
 $\approx 500 \text{ MPa}$  (Druck)

**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



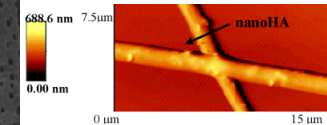
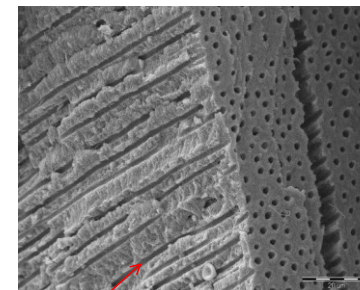
11

## Dentin

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

Verbundwerkstoff

Kollagenfaser  $\rightarrow$  Matrix  
 $+$   
 Apatitkörner

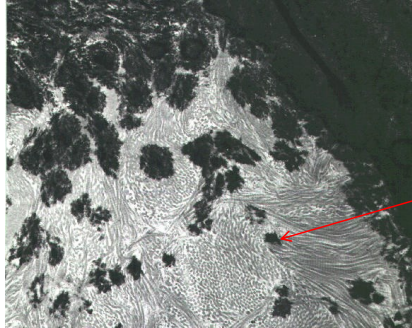


Hart und stark genug,  
gleichzeitig aber elastisch, zäh!

Dentinkanälchen

12

## Zement



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

HAP  
Kristallwachstum

Verbund-  
werkstoff

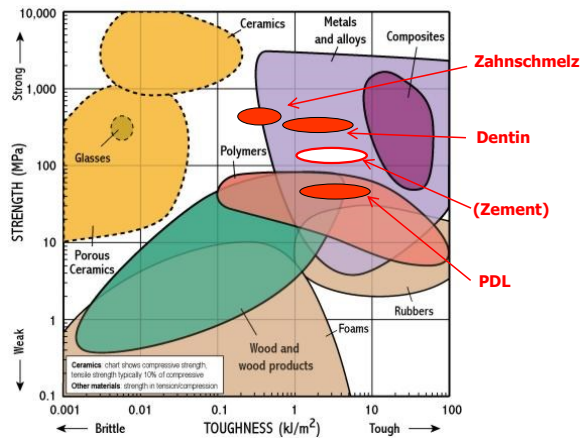
13

## Zusammenfassung

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

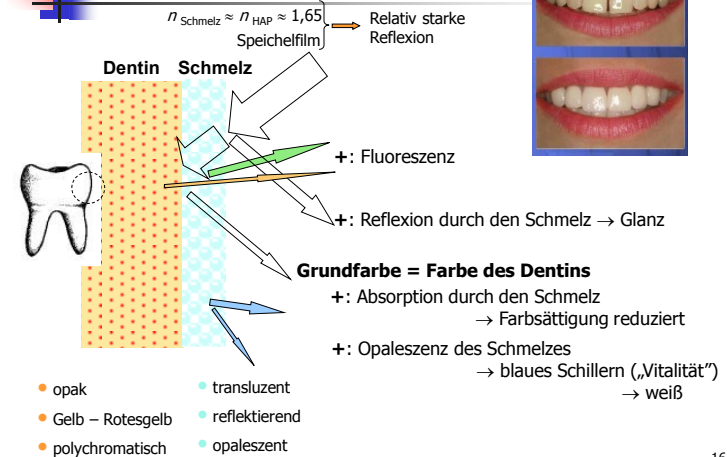
14

## Anschaulich:

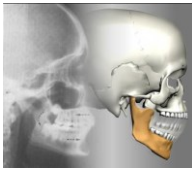


15

## Farbe der Zahn



16



## Biomechanik



Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde 12.

17

## Bewegungsformen

Zusammengesetzte Bewegung

= Translation + Rotation



Kräfte!

Drehmomente von Kräften!

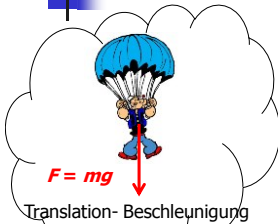
Translation

Rotation

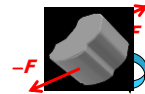


18

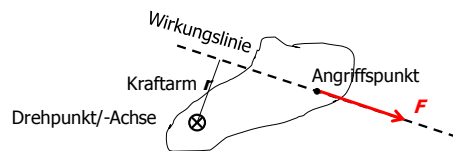
## Kraft und Drehmoment



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



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



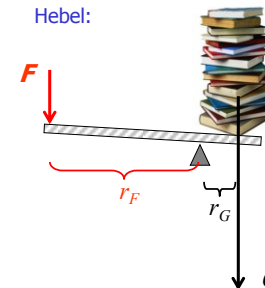
Drehmoment ( $M$ ):  $M = r \cdot F$  (Nm)

19

## Statik – Gleichgewicht. Hebel

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

Hebel:



Im Gleichgewicht:

$$\sum M_i = 0$$

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

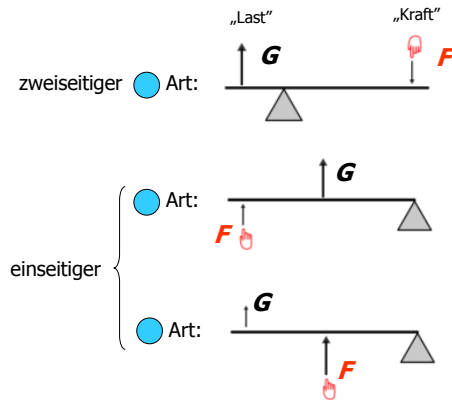
Hebelgesetz:  $\frac{F}{G} = \frac{r_G}{r_F}$

Kraftvervielfachung

20



## Hebelarten



21

## Beispiele



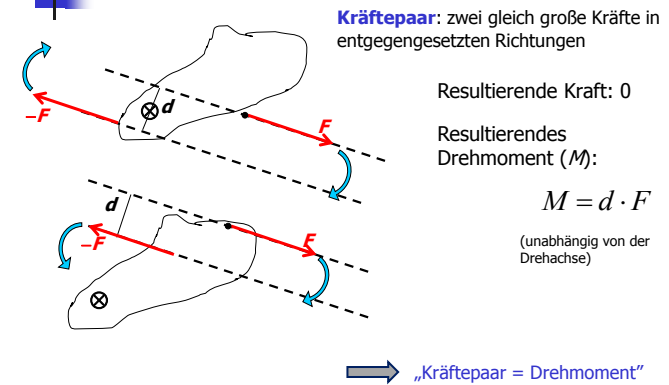
22

## Hebel in der zahnärztlichen Praxis



23

## Kräftepaar, Ersetzung eines Kraftsystems



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

24