



## Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

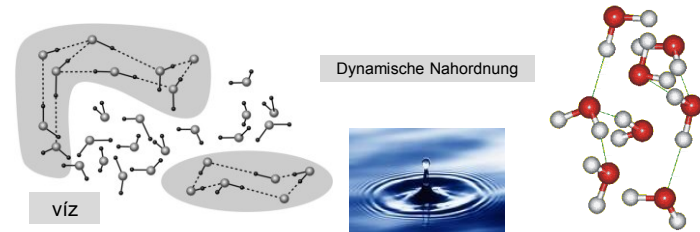
### 2.

#### Struktur der Materie

Multiatomare Systeme : Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

1

## Flüssigkeiten



## Viskosität ( $\eta$ ) (Fluidität $\sim 1/\eta$ )

### Newtonsches Reibungsgesetz:

$$F_R = \eta \cdot A \cdot \frac{\Delta v}{\Delta h}$$

Viskosität (innerer Reibungskoeffizient)

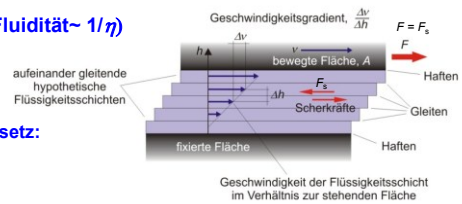
$$[\eta] = \text{Pa} \cdot \text{s}$$

$$\frac{F_R}{A} = \eta \cdot \frac{\Delta v}{\Delta h}$$

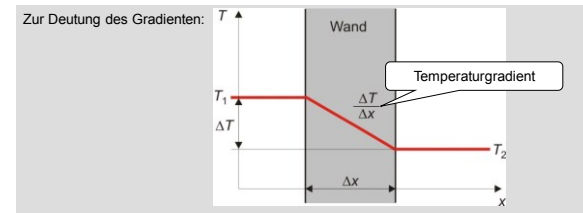
Scherspannung

Geschwindigkeitsgradient

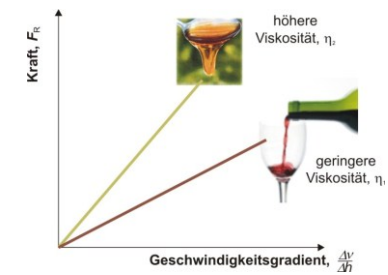
$$\sigma_{\text{Scher}} = \eta g_v$$



3

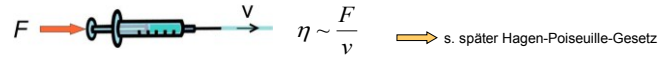


### Newtonsches Reibungsgesetz:

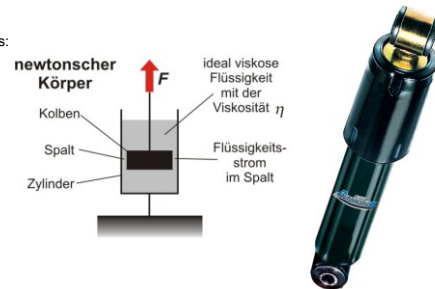


4

Andere Viskositätsmessung:



Modell des viskosen Körpers:

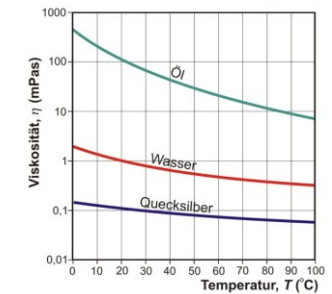


5

$\eta$  hängt ab: • vom Stoff  
• von der Temperatur

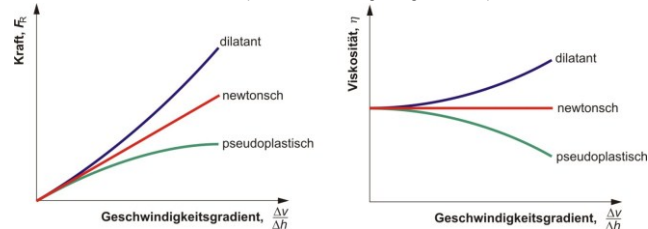
Viskosität von einigen Stoffen:

Stoff	$\eta$ (mPas)
Luft	0,019 (20° C)
Wasser	1 (20° C)
Künstlicher Speichel (USA Patent)	2–10
Glycerin	1500 (20° C)
Methyl-Methakrylat-Monomer	0,5 (25° C)
Ethylenglykol-Dimethakrylat-Monomer	3,4 (25° C)
Zinkphosphat	95 000 (25° C)
Zinkoxid-Eugenol	100 000 (37° C)
Silikon	60 000-1 200 000 (37° C)



6

$\eta$  hängt ab: • von den Scherkräften (vom Geschwindigkeitsgradienten)?



Flüssigkeiten

Normale (newtonsche) Flüssigkeiten

pl. vız, olaj



Anomale (nicht-newtonsche) Flüssigkeiten

pseudoplastisch

z.B. Speichel, Blut, Polykarboxylatzement, Elastomer-Abdruckmaterialien

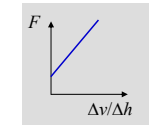
dilatant

z.B. einige Komposite



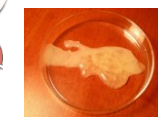
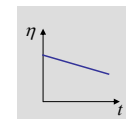
7

Bingham-Flüssigkeit:



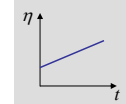
$\eta$  hängt ab: • von der Zeit??

Thixotrope Flüssigkeiten:



Z.B.: einige Abdruckmaterialien

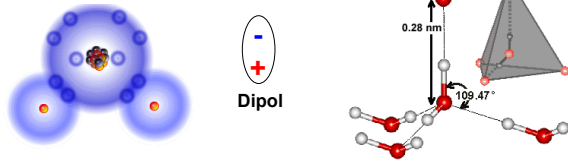
Rheopexe Flüssigkeiten:



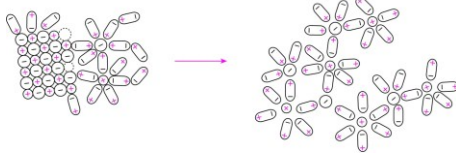
Bitte nicht verwechseln mit pseudoplastischen und dilatanten Flüssigkeiten!

8

## Wasser

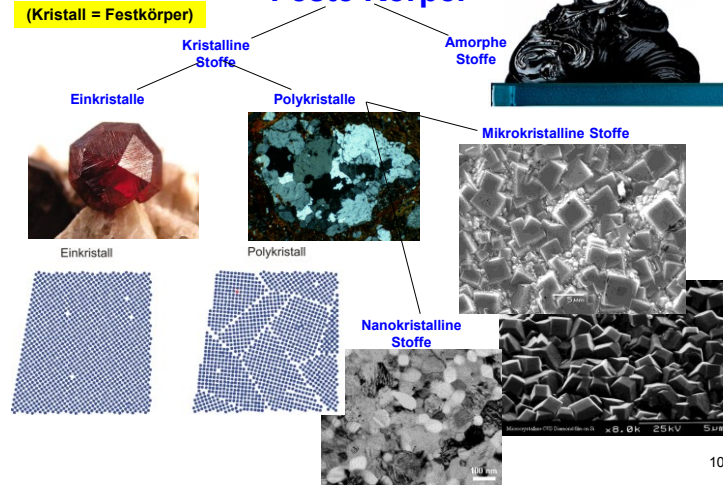


- hohe spezifische Wärmekapazität, Schmelzwärme und Verdampfungswärme
- hohe Oberflächenspannung
- gutes Lösungsmittel



9

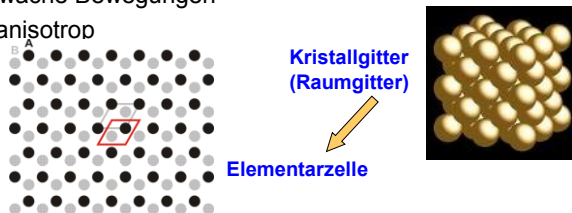
## Feste Körper



10

## Festkörper (Kristalle)

- Eigenvolumen/Eigenform
- Fernordnung  
geordnete Struktur in makroskopischen Bereichen
- Periodizität, Elementarzelle, Kristallgitter
- Wenig Defekte
- Schwache Bewegungen
- Oft anisotrop



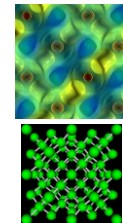
11

## Kristalltypen

- Atomkristall



Si

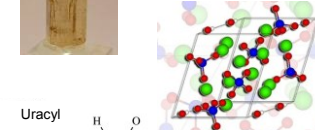


- Ionenkristall

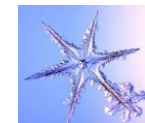
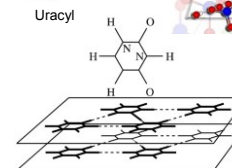


Apatit

- Metallkristall

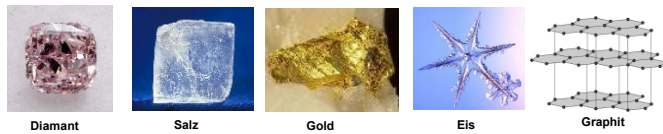


- Molekülkristall



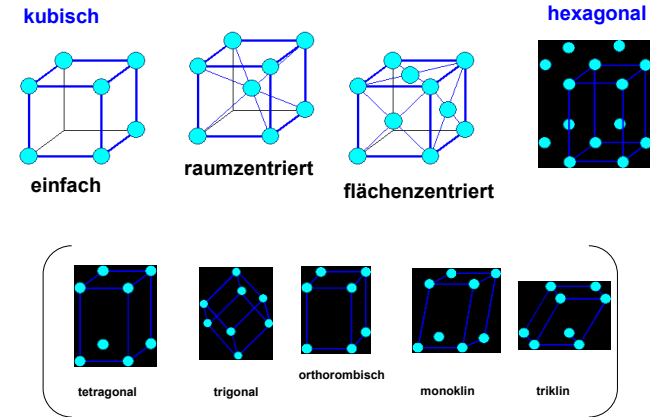
12

Bindung	Grund-einheit	Bindungs-energie kJ/mol	mechanische Eigenschaften ?	Schmelzpunkt ? Härte?	Elektr. Leitung?
kovalent	Atom	100-1000	steif	hoch	-
ionisch	+/- Ionen	500-1500	steif	hoch	-
metallisch	+ Ion; Elektron	70-900	plastisch	hoch	+
H-Brücke	Molekül	≈20	steif	niedrig	-
v.d.Waals	Molekül/ Atom (bei Edelgasen)	≈2	weich	sehr niedrig	-



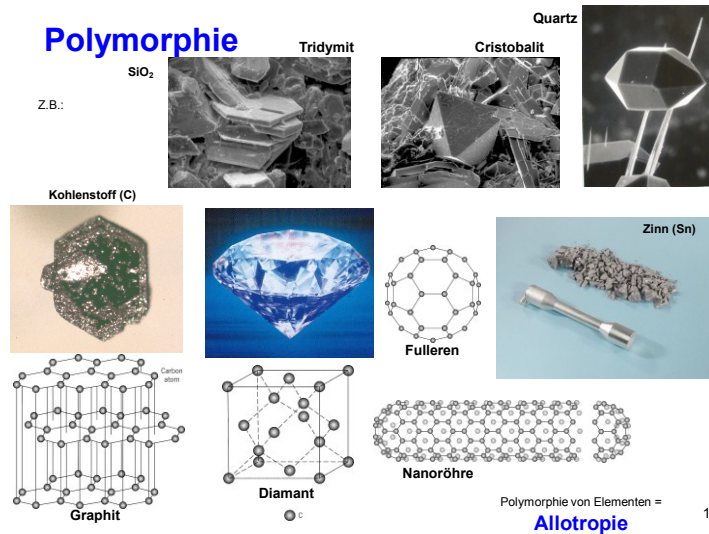
13

## Raumgitter (Kristallklassen)



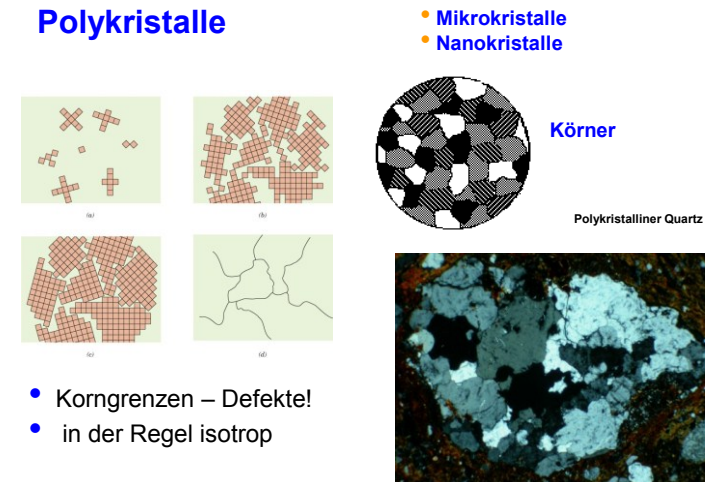
14

## Polymorphie



15

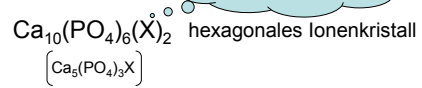
## Polykristalle



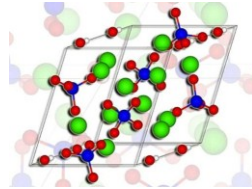
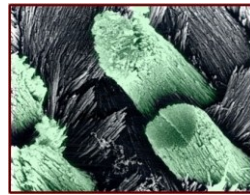
16



## Apatit



OH: Hydroxiapatit  
 F: Fluorapatit



Dentin, Knochen: 20-60 nm x 6 nm große Kristalle  
 Zahnschmelz: 500-1000 nm x 30 nm große Kristalle

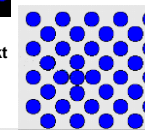
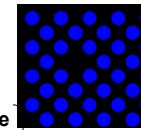
17

## Gitterdefekte

### Punktdefekte

#### thermisch

- Vakanz/Leerstelle (Schottky-Defekt)
- Interstitielles Atom (Zwischengitteratom)



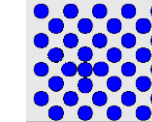
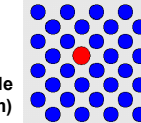
Frenkel-Defekt

$$n_s = N \cdot e^{-\frac{\epsilon_s}{kT}}$$

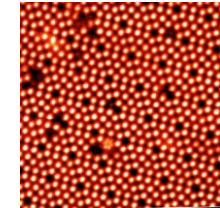
Zahl der Schottky-Defekte

#### Fremdatom

- An einer Gitterstelle (Substitutionsatom)
- An einer Zwischengitterstelle (interstitielles Atom)



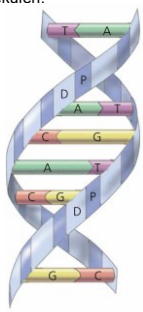
s. Legierungen !!



18

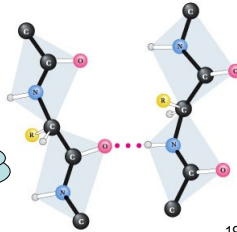
Entstehung und Bewegung von Punktdefekten:

Thermische Fehler in biologische Makromolekülen:



$$n_s = N \cdot e^{-\frac{\epsilon_s}{kT}}$$

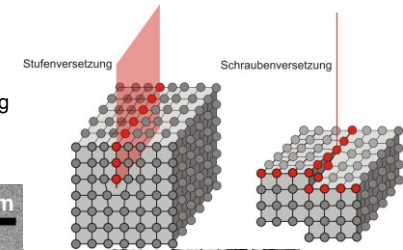
Zahl der aufgespalteten H-Brücken



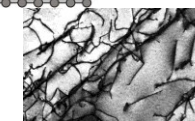
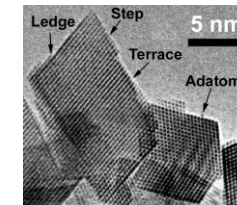
19

### Versetzungen

- Stufenversetzung
- Schraubenversetzung



### Korngrenzen



Versetzungen in einer Ti-Legierung

$\text{Al}_2\text{O}_3$

$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr}^{+++}$

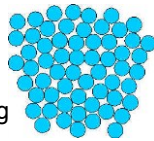
Gitterdefekte  $\Rightarrow$  Eigenschaften!!



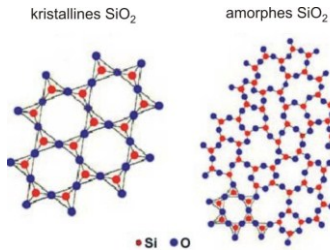
20

## Amorphe (feste) Körper

- Eigenvolumen
- Mechanisch hart
- Keine Eigenform/flüssig  
sehr hohe Viskosität;  
„gefrorene Flüssigkeit“
- Nahordnung
- Viele Defekte
- Isotrop



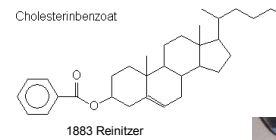
Z.B. Glas, Harz, Wachs, Bitumen,  
....



21

## Flüssigkristalle

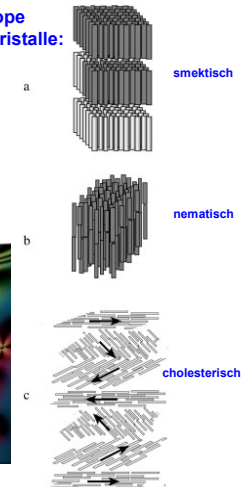
Cholesterinbenzoat



- Anisodimensionale Moleküle
- Mesophase
- Flüssig
- Teilweise geordnete Strukturen
- Optisch anisotrop
- Gegen äußere Einwirkungen empfindliche Struktur

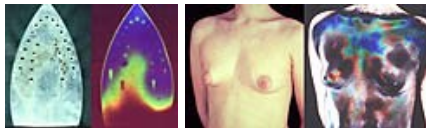


Termotrope  
Flüssigkristalle:

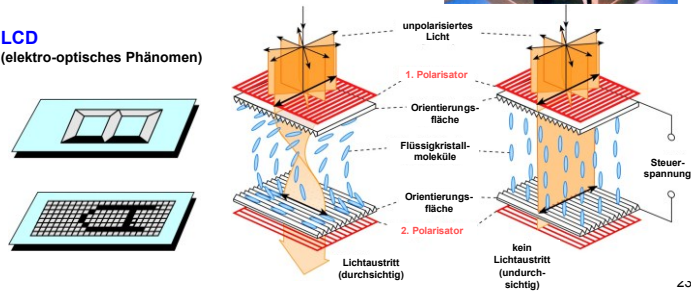


22

## Kontaktthermographie/Plattenthermographie (thermo-optisches Phänomen)

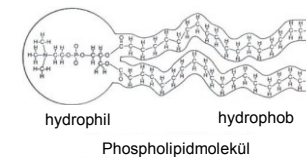


## LCD (elektro-optisches Phänomen)

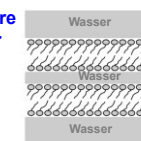


23

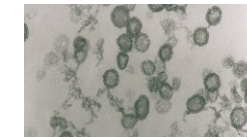
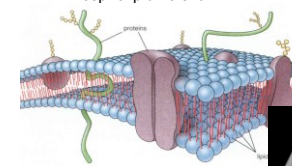
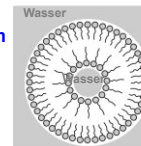
## Lyotrope Flüssigkristalle:



Lamellare  
Struktur



Liposom



24