



Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

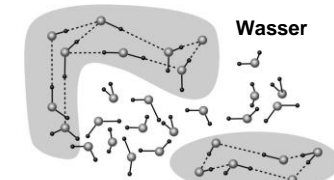
2.

Struktur der Materie

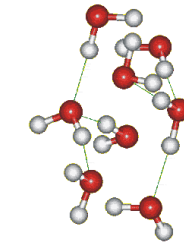
Multiatomare Systeme : Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

1

Flüssigkeiten



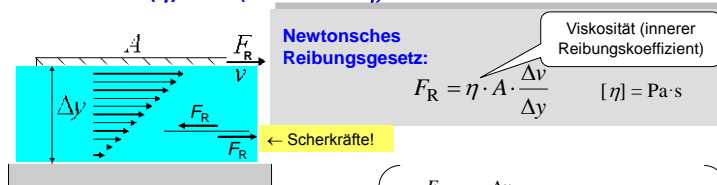
- Eigenvolumen
- Keine Eigenform/flüssig – keine innere Scherkräfte
- Nahordnung
10-100 nm große geordnete dynamische Bereiche
- Viele Strukturdefekte
- mittelstarke Bewegungen
- Isotrop



2

Viskosität (η)

(Fluidität $\sim 1/\eta$)



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

Geschwindigkeitsgradient

$$\sigma_{\text{Scher}} = \eta \cdot g_{\text{Geschwindigkeit}}$$



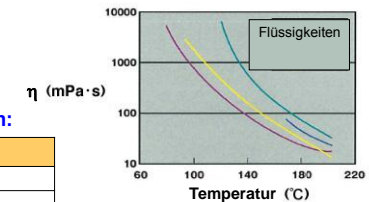
$$\eta \sim \frac{F}{v}$$

3

- η hängt ab:
- vom Stoff
 - von der Temperatur

Viskosität von einigen Stoffen:

Stoff	η (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)

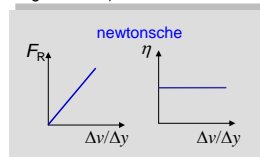


4

η hängt ab: • von den Scherkräften (vom Geschwindigkeitsgradienten)?

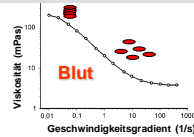
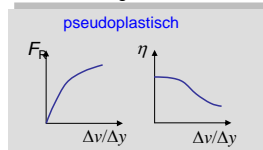
Normale (newtonsche) Flüssigkeit:

Die Viskosität hängt vom Geschwindigkeitsgradienten nicht ab.

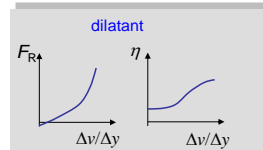


Anomale (nicht-newtonsche) Flüssigkeit:

Die Viskosität hängt vom Geschwindigkeitsgradienten ab.



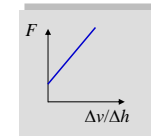
Z.B.: Polykarboxylatcement



Z.B.: einige Komposite

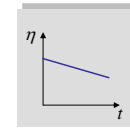
5

Bingham-Flüssigkeit:



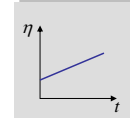
η hängt ab: • von der Zeit??

Thixotrope Flüssigkeiten:



Z.B.: einige Abdruckmaterialien

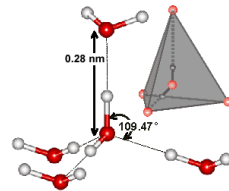
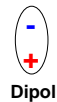
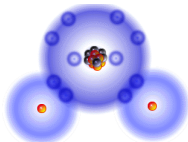
Rheopexe Flüssigkeiten:



Bitte nicht verwechseln mit pseudoplastischen und dilatanten Flüssigkeiten!

6

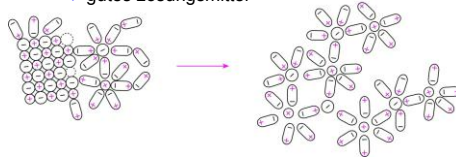
Wasser



➤ hohe spezifische Wärmekapazität, Schmelzwärme und Verdampfungswärme

➤ hohe Oberflächenspannung

➤ gutes Lösungsmittel



7

Feste Körper

(Kristall = Festkörper)

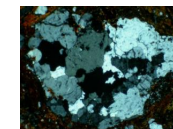
Kristalline Stoffe

Amorphe Stoffe

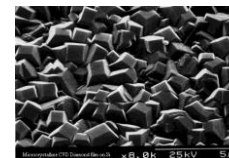
Einkristalle



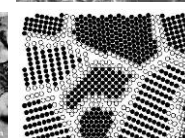
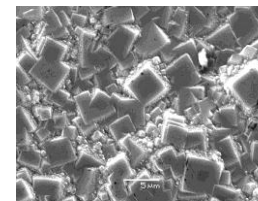
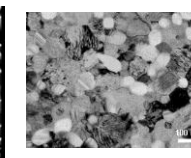
Polykristalle



Mikrokristalline Stoffe



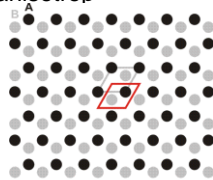
Nanokristalline Stoffe



8

Festkörper (Kristalle)

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



Kristallgitter
(Raumgitter)

Elementarzelle



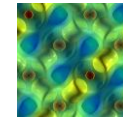
9

Kristalltypen

- Atomkristall



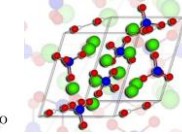
Si



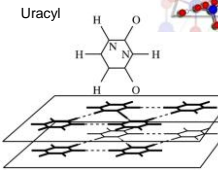
- Ionenkristall



Apatit



- Metallkristall



Uracyl



- Molekülkristall

10

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	-



Diamant



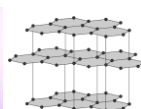
Salz



Gold



Eis

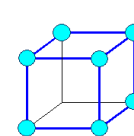


Graphit

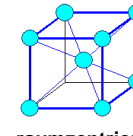
11

Raumgitter (Kristallklassen)

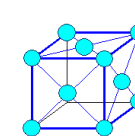
kubisch



einfach

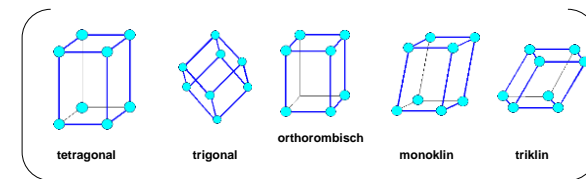
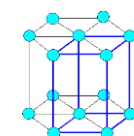


raumzentriert



flächenzentriert

hexagonal



12



13

Polymorphie

Z.B.:

SiO_2

Tridymit

Cristobalit

Quartz

Kohlenstoff (C)

Fulleren

Zinn (Sn)

Diamant

Nanoröhre

Graphit

Polymorphie von Elementen =

Allotropie

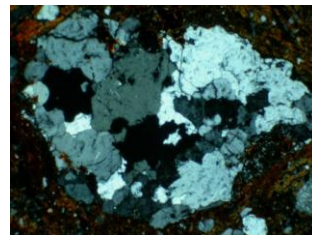
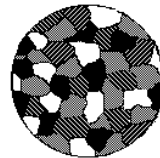
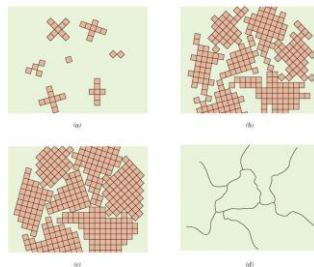
14

Polykristalle

- Mikrokristalle
- Nanokristalle

Körner

Polykristalliner Quarz

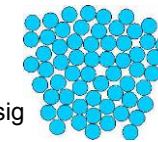


- Korngrenzen – Defekte!
- in der Regel isotrop

15

Amorphe (feste) Körper

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

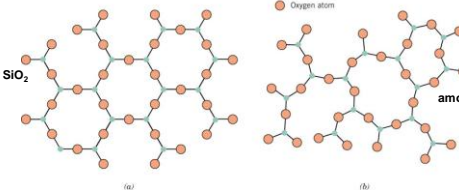


Z.B. Glas, Harz, Wachs, Bitumen,
....



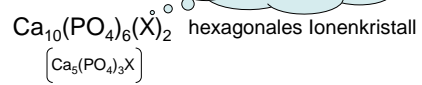
kristalliner SiO_2

amorpher SiO_2

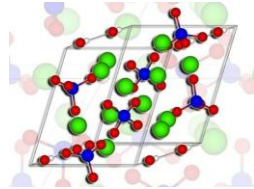
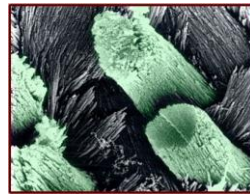


16

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

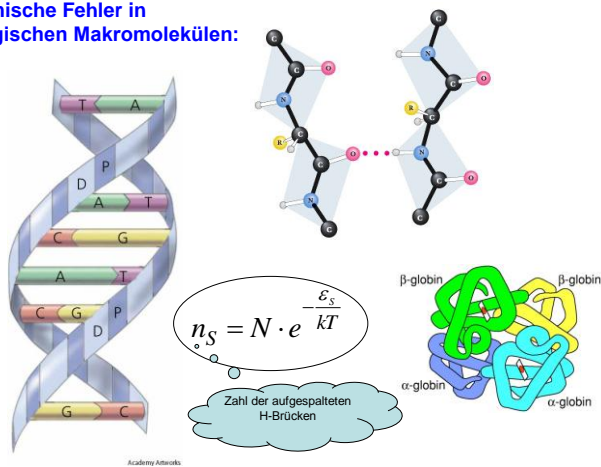
s. Legierungen !!

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

Zahl der Schottky-Defekte

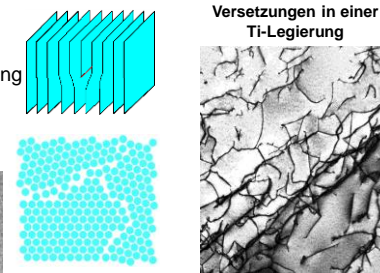
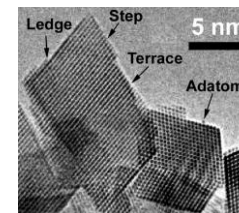
18

Thermische Fehler in biologischen Makromolekülen:



19

- Versetzungen
 - Stufenversetzung
 - Schraubenversetzung
- Korngrenzen



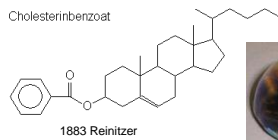
Gitterdefekte => Eigenschaften!!



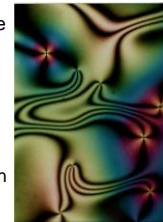
20

Flüssigkristalle

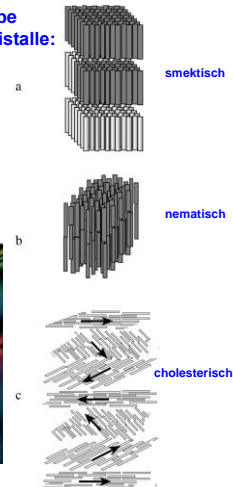
Cholesterinbenzoat



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



Termotrope Flüssigkristalle:

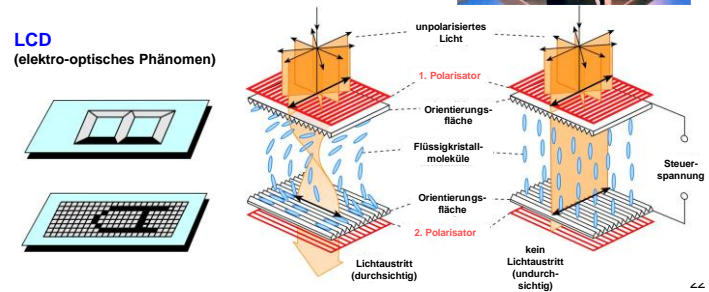


21

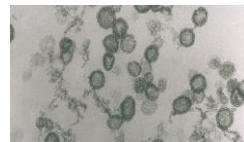
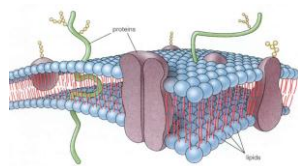
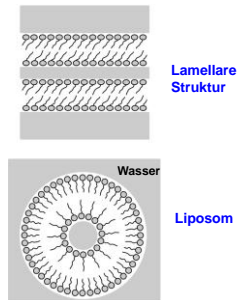
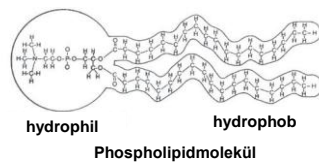
Kontaktthermographie/Plattenthermographie (thermo-optisches Phänomen)



LCD (elektro-optisches Phänomen)



Lyotrope Flüssigkristalle:



23

Hausaufgaben

1.32. Die Aktivierungsenergie der Vakanzbildung in Kupfer beträgt 0,9 eV. a) Was ist der prozentuelle Anteil der Vakanz bei einer Temperatur von 1000°C? b) Wie viele Vakanz gibt es bei dieser Temperatur in einer Kupferkugel des Durchmessers 2 cm?

1.34. Wie groß ist die Aktivierungsenergie der Vakanzbildung (in eV-Einheit) in Silber, wenn die Zahl der Vakanz pro m³ bei einer Temperatur von 800°C den Wert 3,6 · 10²³ beträgt. (Die Dichte des Silbers bei dieser Temperatur beträgt 9,5 g/cm³.)

1.35. Auf welche Temperatur ist Platin von Raumtemperatur (22°C) zu erwärmen, damit der Anteil der Vakanz auf das Zehnfache wächst? (Die Aktivierungsenergie der Vakanzbildung in Platin beträgt 126 kJ/mol.)

Lösungen:
1.32. – a) 0,0275%; b) 9,78 · 10¹⁹
1.34. – 1,1 eV
1.35. – 35,8°C

24