

Physikalische Grundlagen
der zahnärztlichen Materialkunde

– 2 –

Struktur der Materie.
Aggregatzustände: Flüssigkeiten,
feste Körper, Flüssigkristalle

erarbeitet von: Gergely AGÓCS, Ferenc TÖLGYESI
17. September 2020.

Kapitel des
Lehrbuches:
4, 5

FAFA_DE

2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

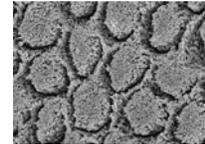
1

Schwerpunkte

- ❖ Viskosität
- ❖ Wasser und Speichel
- ❖ Kristalle – Apatit
- ❖ Kristalldefekte und ihre Bedeutung (siehe auch: Damjanovich-Fidy-Szöllösi: Biophysik für Mediziner, I/3.3.5.)
- ❖ Amorphe Stoffe – Gläser



eine niederviskose (l) und eine hochviskose (r) Flüssigkeit



Hydroxylapatit-Kristalle in Zahnschmelz-Stäbchen. Maßstab: — = 2 µm

FAFA_DE

2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

2

Flüssigkeiten und feste Körper

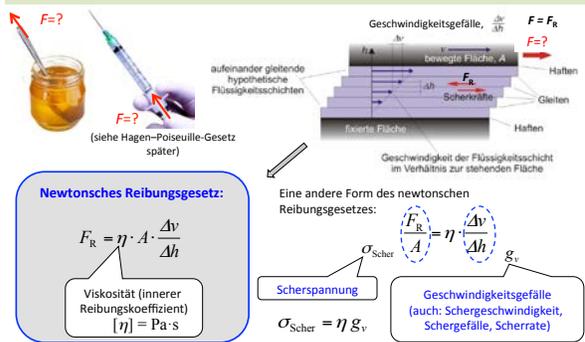


FAFA_DE

2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

3

Viskosität (η) und Fluidität (Fließbarkeit, $1/\eta$)



FAFA_DE

2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

4

Viskosimetrie

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

η ~ Steigung der F_R vs. $\Delta v/\Delta h$ Kurve

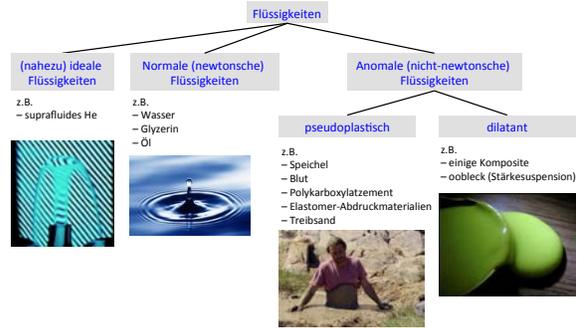
Rotationsviskosimeter

FAFA_DE

2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

5

Aufteilung von Flüssigkeiten nach ihrer Viskosität



FAFA_DE

2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

6

Ideale Flüssigkeiten

- ideale Flüssigkeit:
- keine innere reibung (Viskosität = 0)
 - inkompressibilität
 - keine Wärmeleitfähigkeit
 - keine Oberflächenspannung
 - Beispiel: suprafluides Helium ($T < 2,17$ K)



Onnes-Effekt



Springbrunnen-Effekt

FAFA_DE

2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

7

Newtonsche Flüssigkeiten I.

Newton'sches Reibungsgesetz: $F_R = \eta \cdot A \cdot \frac{\Delta v}{\Delta h}$

η ~ Steigung der Gerade (bleibt konstant)

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)

FAFA_DE

2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

8

Newtonsche Flüssigkeiten II.

η hängt ab:

- vom Stoff
- von der Temperatur

Viskosität, η (mPas)

Temperatur, T (°C)

Honig

Motoröl

Temperaturbereiche für Motoröle mit unterschiedlichen Viskositäten

(Die Viskosität der Gase nimmt mit wachsender Temperatur zu. Warum?)

FAFA_DE 2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle 9

Nicht-newtonsche Flüssigkeiten

η hängt ab:

- von den Scherkräften (oder vom Geschwindigkeitsgefälle, das manchmal auch Geschwindigkeitsgradient genannt wird)

Kraft, F_s

Viskosität, η

Geschwindigkeitsgefälle, $\frac{\Delta v}{\Delta h}$

Geschwindigkeitsgefälle, $\frac{\Delta v}{\Delta h}$

Bingham-Flüssigkeiten:

Zahnpasta

Ketchup

FAFA_DE 2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle 10

Zeitabhängige Viskosität

η hängt ab:

- von der Zeit der mechanischen Einwirkung (wenn lang genug in Ruhe gelassen, wird die ursprüngliche Viskosität wiederhergestellt)

Thixotrope Flüssigkeiten:

η

$t_{\text{Einwirkung}}$

Sauerrahm

einige Abdruckmaterialien

Rheopex Flüssigkeiten:

η

$t_{\text{Einwirkung}}$

Synovialflüssigkeit

Bitte nicht verwechseln mit pseudoplastischen und dilatanten Flüssigkeiten!

FAFA_DE 2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle 11

Wasser I.

- flüssig in einem breiten Temperaturbereich
- relativ kleine Dichte (1 g/cm³)
- newtonsche Flüssigkeit, relativ kleine Viskosität

Dichte (g/cm³)

Temperatur (°C)

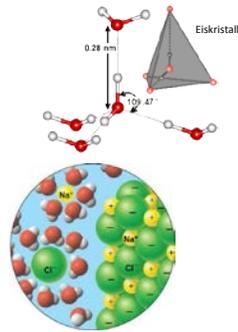
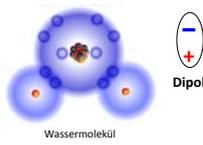
Wasser

Eis

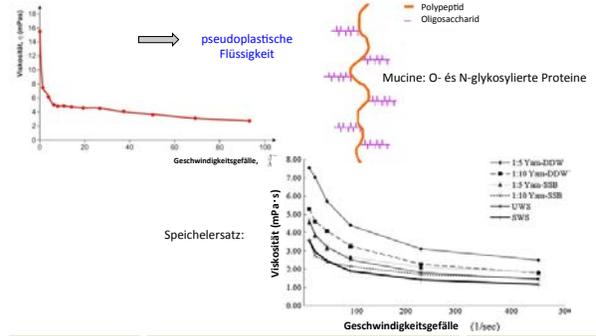
FAFA_DE 2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle 12

Wasser II.

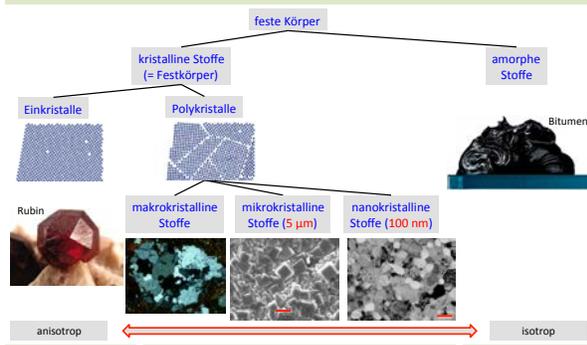
- hohe spezifische Wärmekapazität, Schmelzwärme und Verdampfungswärme
- hohe Oberflächenspannung
- gutes Lösungsmittel



Speichel



Feste Körper und Festkörper



Natürliche Einkristalle



Polymorphie

Polymorphie: gleicher Aggregatzustand, unterschiedliche Strukturformen

SiO₂

Tridymit

Cristobalit

Quartz

FAFA_DE

2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

17

Allotropie

Allotropie: Polymorphie von Elementen

Kohlenstoff (C)

Graphit

Diamant

Fulleren

Nanoröhre

Zinn (Sn) und Zinnpest

grauschwarzes
α-Zinn
(kubisch)

silberweißes
β-Zinn
(oktaedrisch)

13,2 °C

FAFA_DE

2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

18

Apatit

OH: Hydroxiapatit
F: Fluorapatit

$Ca_{10}(PO_4)_6(X)_2$
 $[Ca_5(PO_4)_3X]$

- Warum können die Hydroxidionen im Apatitkristall durch Fluoridionen ersetzt werden?
- Was ist die zahnärztliche Bedeutung?

hexagonaler Ionenkristall

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

FAFA_DE

2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

19

Gitterdefekte I.

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

Frenkel-Defekt (Frenkel-Paar)

FAFA_DE

2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

20

Gitterdefekte II.

Entstehung und Bewegung von Punktdefekten:

Thermische Fehler in biologischen Makromolekülen:

$$n_S = N \cdot e^{-\frac{\epsilon_S}{kT}}$$

Zahl der aufgespaltenen H-Brücken

FAFA_DE | 2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle | 21

Gitterdefekte III.

- **Versetzungen**
 - Stufenversetzung
 - Schraubenversetzung
- **Korn Grenzen**

FAFA_DE | 2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle | 22

Gitterdefekte IV.

Gitterdefekte \Rightarrow Eigenschaften!! Al_2O_3

z. B. optische Eigenschaften

+ Cr^{3+} \rightarrow Rubin \rightarrow siehe Rubinlaser

+ V^{2+}

+ Fe^{2+}

+ $Ti^{4+} + Fe^{2+}$

z. B. mechanische Eigenschaften

z. B. chemische Eigenschaften

$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ Hydroxiapatit \rightleftharpoons $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$ Fluorapatit

→ kleinere Löslichkeit in Säuren

– Was ist die chemische Erklärung?

z. B. elektrische Eigenschaften \rightarrow siehe reine und dotierte Halbleiter

Nal \rightarrow siehe Scintillationskristall in der Nuklearmedizin Praktikum Nukleare Grundmessung

(unter Röntgenbestrahlung)

FAFA_DE | 2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle | 23

Gitterdefekte V.

z. B. mechanische Eigenschaften

z. B. chemische Eigenschaften

$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ Hydroxiapatit \rightleftharpoons $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$ Fluorapatit

→ kleinere Löslichkeit in Säuren

– Was ist die chemische Erklärung?

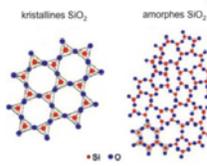
z. B. elektrische Eigenschaften \rightarrow siehe reine und dotierte Halbleiter

FAFA_DE | 2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle | 24

Amorphe Körper

Amorphe (feste) Körper

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



FAFA_DE

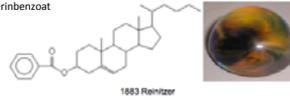
2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

25

Flüssigkristalle I.

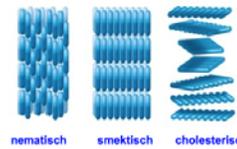
Das Thema ist in dem FAFA-Lehrbuch nicht zu finden, statt dessen siehe: Damjanovich-Fidy-Szöllösi: Biophysik für Mediziner, I/3.4.2.)

Cholesterinbenzoat



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

Strukturen der termotropen Flüssigkristalle:



FAFA_DE

2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

26

Flüssigkristalle II.

Kontaktthermographie/Plattenthermographie (thermo-optisches Phänomen)



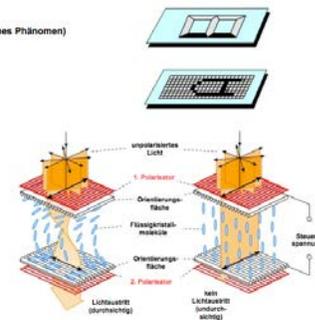
FAFA_DE

2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

27

Flüssigkristalle III.

LCD (elektro-optisches Phänomen)



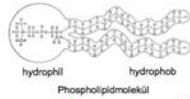
FAFA_DE

2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

28

Flüssigkristalle IV.

Lyotrope Flüssigkristalle:



Lamellare Struktur



Liposom



Nächste Vorlesung:
Kapitel 6 und 7

FAFA_DE

2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

29

Boltzmann-Verteilung: andere Anwendungen

Anwendungen der Boltzmann-Verteilung:

- Barometrische Höhenformel
- Thermische Elektronenemission von Metallen
- Konzentrationselemente, Nernst-Gleichung
- Chemische Reaktionen (Geschwindigkeits- und Gleichgewichtskonstante)
- Konzentration von thermischen Punktdefekten (in Kristallen und Makromolekülen)
- Elektrische Leitfähigkeit von Halbleitern
- ...

Aufgaben:

1. Abschnitt:
22, 23, 32, 34, 35

FAFA_DE

1 | Atomare Wechselwirkungen; Gase

30