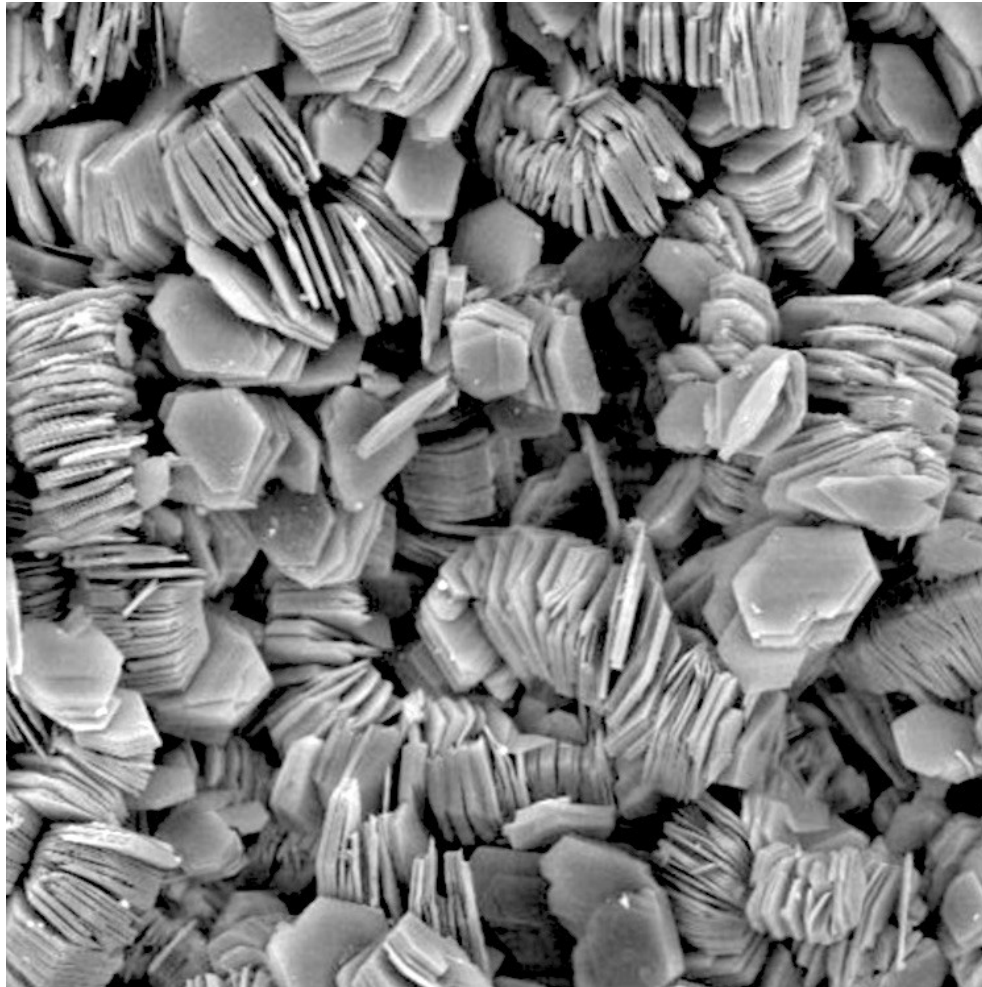




Tonminerale

1. Was sind Tonminerale?
2. Struktur und Einteilung
3. Bildung und mineralische Evolution
4. Eigenschaften
5. Technische Nutzung
6. Kulturelle Bedeutung

Tonminerale

1. Was sind Tonminerale?
2. Struktur und Einteilung
3. Bildung und mineralische Evolution
4. Eigenschaften
5. Technische Nutzung
6. Kulturelle Bedeutung

1. Was sind Tonminerale?

Definitionen:

a) Sedimentologie:

Minerale, die überwiegend feinstkörnig ($< 2 \mu\text{m}$) vorkommen.

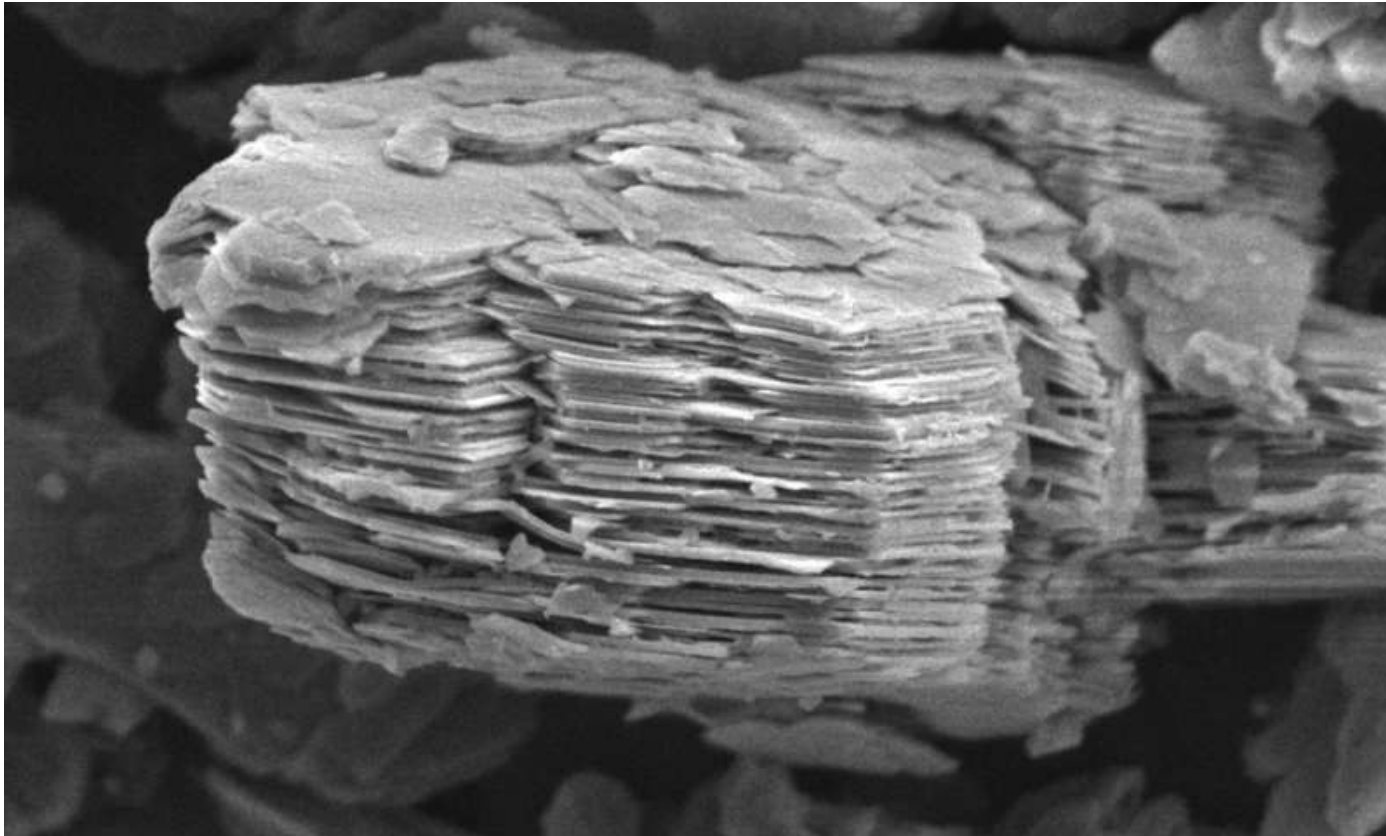
b) Mineralogie:

feinkörnige Schichtsilikate

Beide Definitionen sind nicht deckungsgleich. Manche überwiegend feinstkörnig vorkommende Minerale, etwa Ferrihydrit ($\text{Fe}^{3+}_{10}\text{O}_{14}(\text{OH})_2$) oder Gibbsit ($\text{Al}(\text{OH})_3$), sind keine Silikate. Andererseits gibt es Schichtsilikate, wie etwa Kaolinit, die oft größer als zwei Mikrometer sind.

1. Was sind Tonminerale?

→ Schichtsilikate



1. Was sind Tonminerale?

→ Schichtsilikate

Tetraederschicht $[T_2O_5]$ und Oktaederschicht

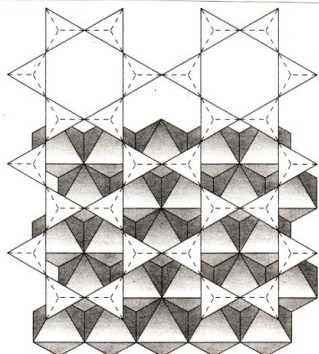
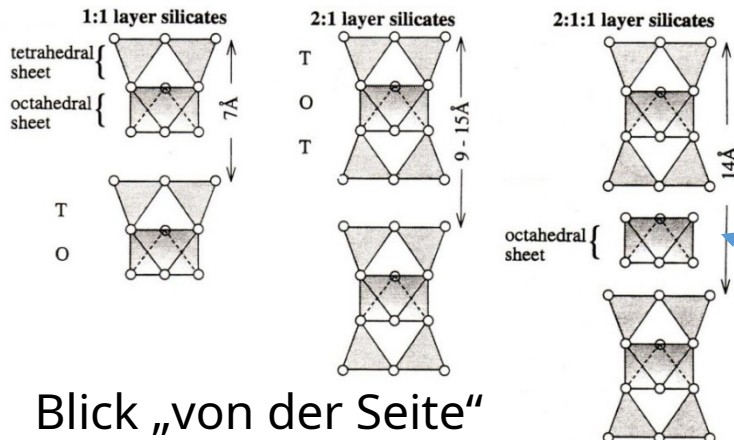


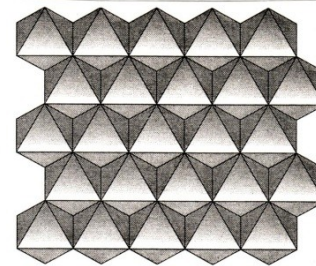
Figure 6.35. The way in which a sheet of downward-pointing tetrahedra links to an octahedral sheet below.

Blick senkrecht
Zur Schicht



Blick „von der Seite“

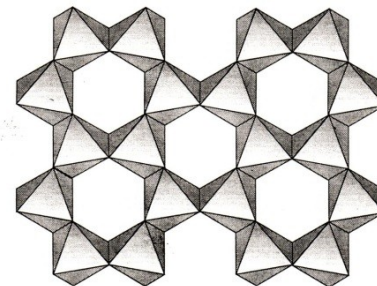
Trioktaedrische Schicht



$[M^{2+}O_6]$ -Oktaeder

(a)

Dioktaedrische Schicht



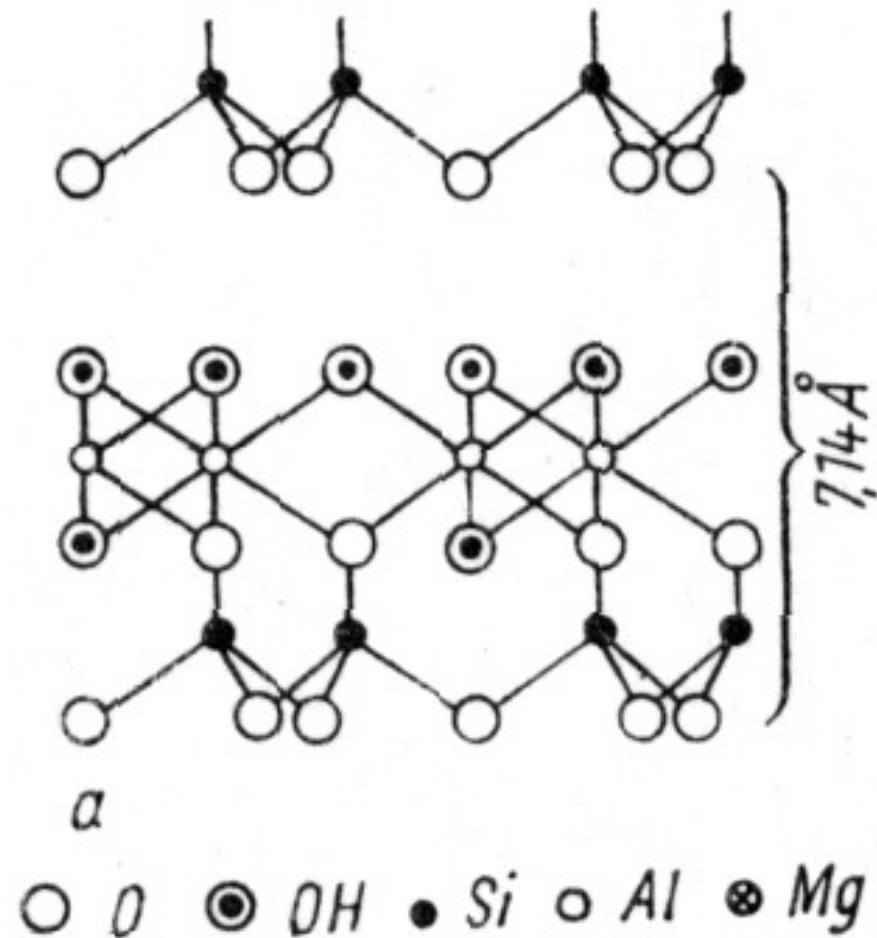
$[A^{3+}O_6]$ -Oktaeder

(b)

Figure 6.34. (a) Part of an infinite sheet of edge-sharing octahedra. When all the octahedra are occupied the sheet is termed *trioktaedral*. (b) In a *dioktaedral* sheet one third of the octahedra are unfilled, and these vacant octahedra are ordered as shown. The distortion of the filled octahedra enlarges the vacant site.

Brucit-Schicht
($Mg(OH)_2$)

2. Struktur und Einteilung



Beispiel: Kaolinit

Dreischicht-Mineraler

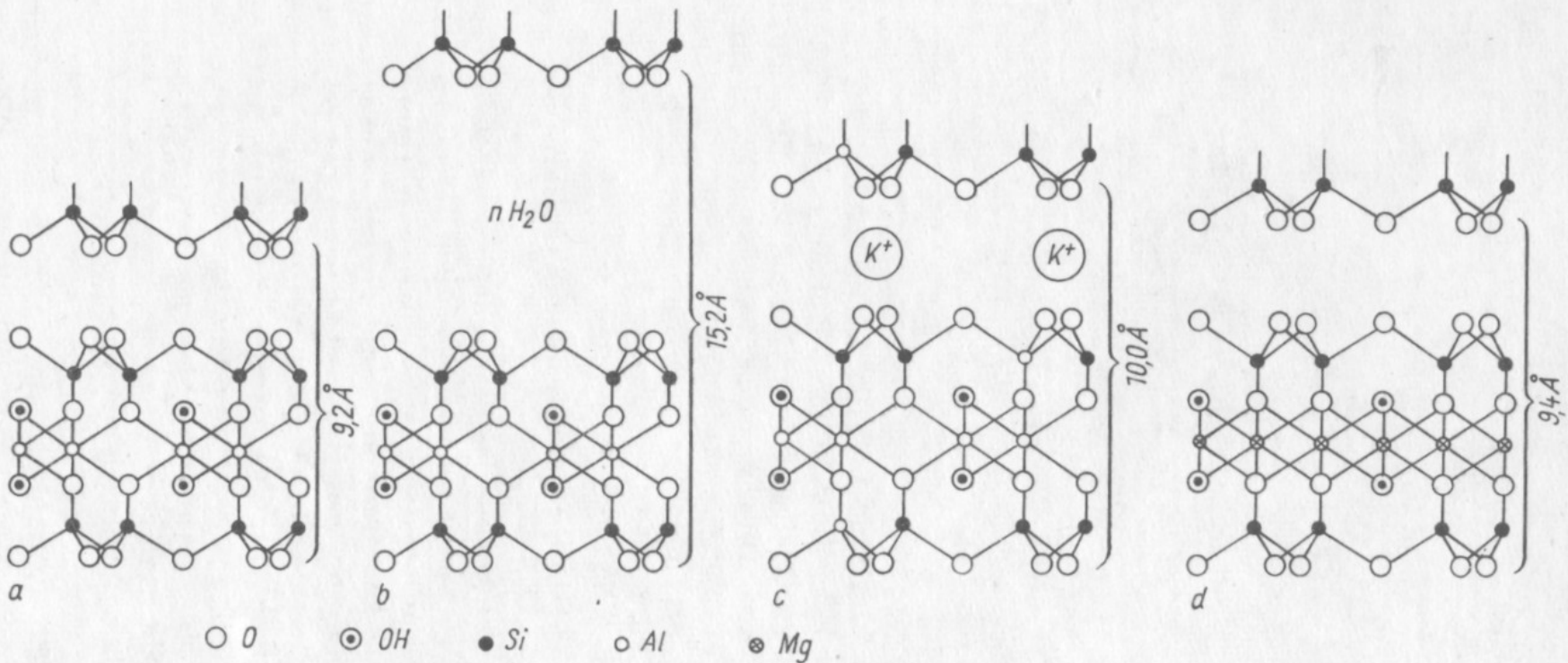
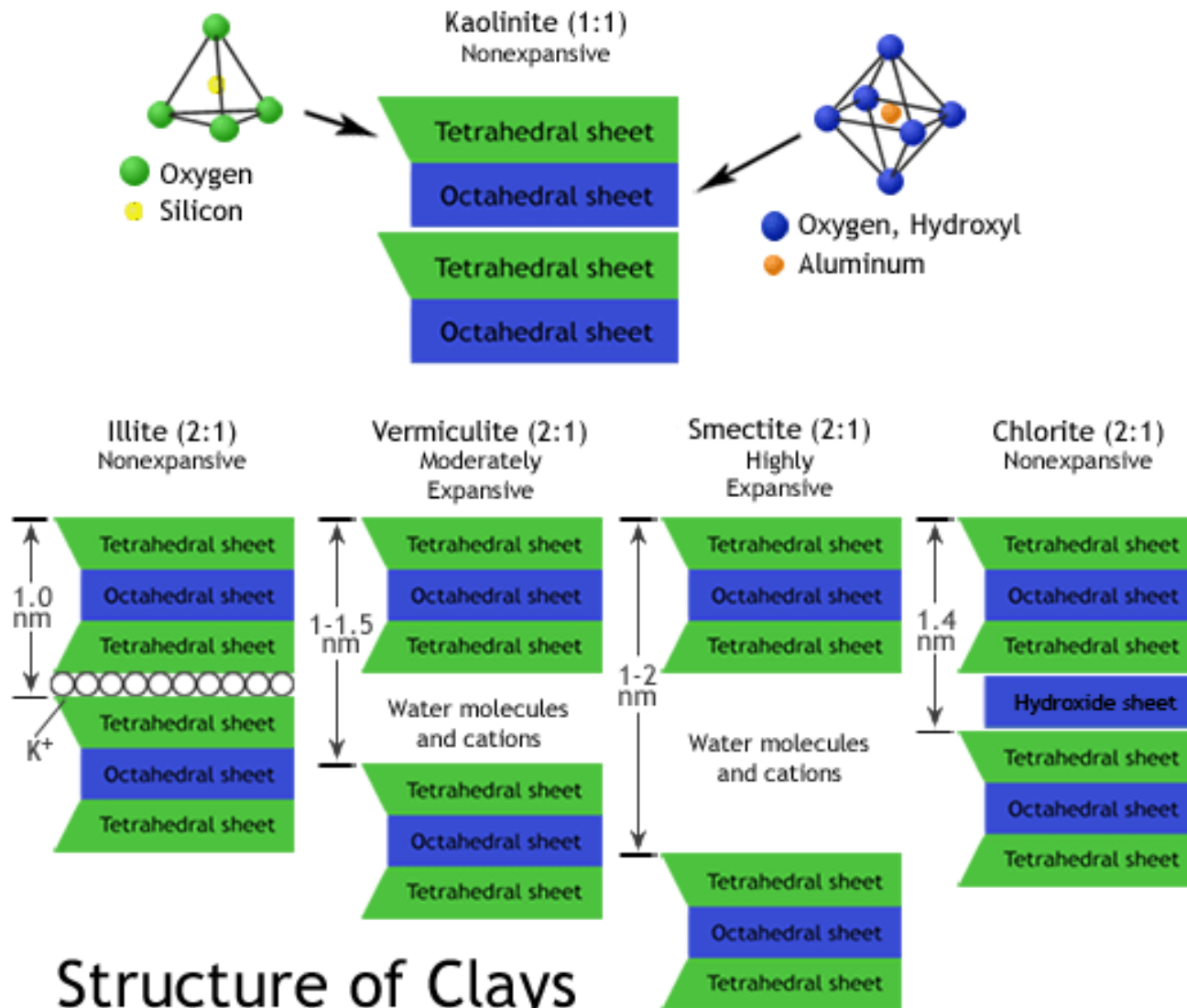


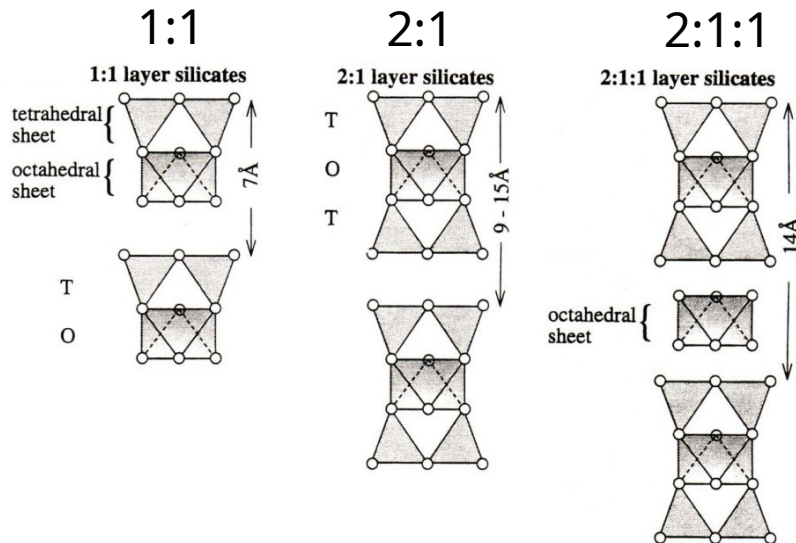
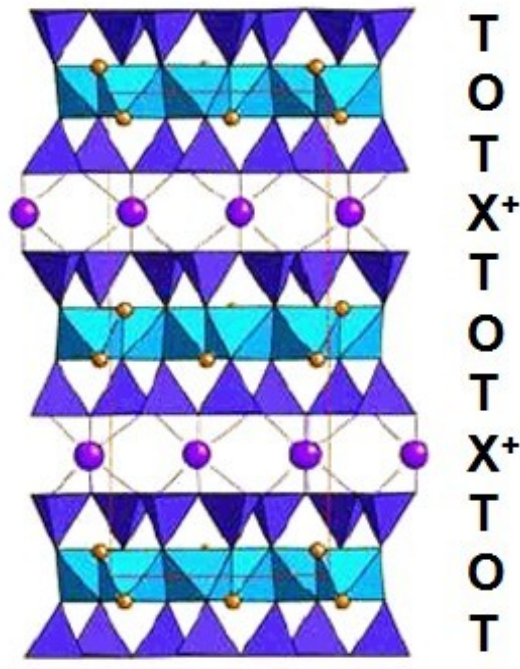
Bild 11.8. Struktur von Dreischichtmineralen (schematisch)

a) Pyrophyllit, b) Montmorillonit, c) Muskovit, d) Talk

Geomaterialien in Technik und Umwelt

Tonminerale





1:1

Kaolinit $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ dioktaedrisch

Serpentin $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ trioktaedrisch
(Lizardit, Chrysotil, Antigorit)

2:1

Pyrophyllit $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ dioktaedrisch

Talk $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ trioktaedrisch

Muskovit $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ dioktaedrisch

Phlogopit (Biotit) $\text{KMg}_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ trioktaedrisch

Illit

$\sim (\text{K}, \text{H}_3\text{O}^+)\text{Al}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$
 $\sim$ ausgetauschter Muskovit < 2 Mikrometer

Montmorillonit

$\sim (\text{H}_2\text{O})_x \text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
 $\sim$ Pyrophyllit + Zwischenschicht-Wasser

Vermiculit

$\sim (\text{K}, \text{H}_3\text{O}^+, \text{H}_2\text{O}) \text{Mg}_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$
 $\sim$ Biotit + Zwischenschicht-Wasser

2:1:1

Chlorit

$\sim (\text{Mg}, \text{Al})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \times 3 \text{Mg}(\text{OH})_2$
 $\sim$ Pyroph/Talk + $\text{Mg}(\text{OH})_2$ -Schicht

Einteilung Schichtsilikate

Tonminerale

1. Was sind Tonminerale?
2. Struktur und Einteilung
3. **Bildung und mineralische Evolution**
4. Eigenschaften
5. Technische Nutzung
6. Kulturelle Bedeutung

3. Bildung und mineralische Evolution

- a) Wässrige Umwandlung von Gestein
- b) Authigene Bildung
- c) Diagenese
- d) Oberflächennahe Verwitterungsreaktionen
- e) biologisch vermittelte Mineralisation

3. Bildung und mineralische Evolution

a) Wässrige Umwandlung von Gestein

→ Hydrothermale Umwandlung und Serpentinisierung von vorhandenen Mineralen

- In Asteroiden/ Planetesimalen bereits in der Frühzeit des Sonnensystems gebildet
- Serpentinisierung von Basalt und anderer mafischer Gesteine durch Kontakt mit Meerwasser erste mengenmässig signifikante Tonmineralbildung auf der Erde.

3. Bildung und mineralische Evolution

b) Authigene Bildung

→ direkte Ausfällung von authigenem Ton, v.a. aus wässrigen Lösungen in marinen Sedimenten, alkalischen Seen;

- Auf frühen Erde (seit Hadaikum)

3. Bildung und mineralische Evolution

c) Diagenese

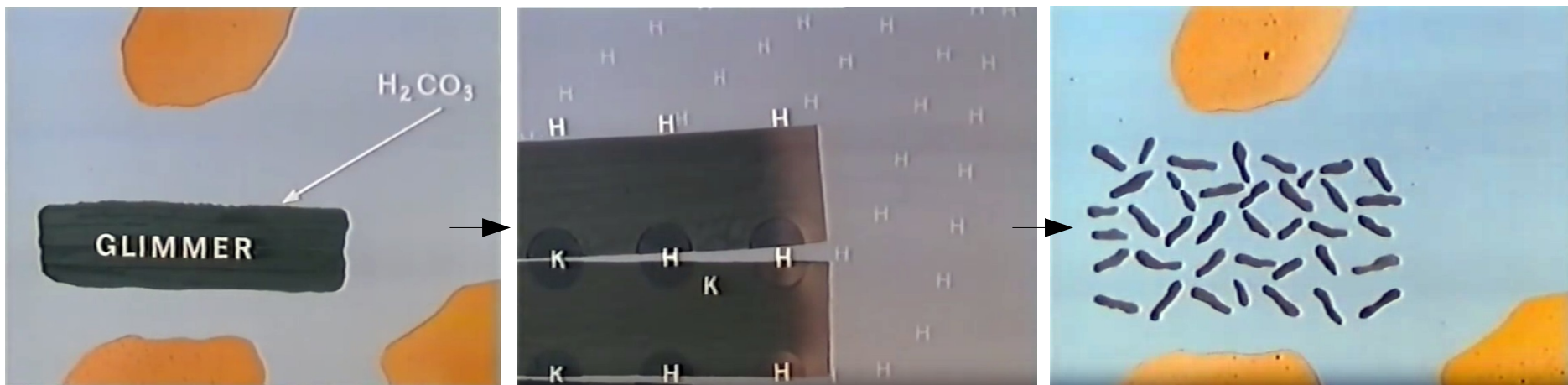
→ Verfestigungen in Sedimentbecken und während niedrig-gradiger Metamorphose verschiedener Gesteine.
Signifikante Mengen seit Plattentektonik (Subduktionszonen).
Auch durch Impaktereignisse (v.a. Mars)

3. Bildung und mineralische Evolution

d) Oberflächennahe Verwitterungsreaktionen

→ gelöstes CO_2 in Grundwasser

→ oxidative Verwitterung seit dem *Great Oxidation Event* (2,5 GA)



3. Bildung und mineralische Evolution

e) biologisch vermittelte Mineralisation

→ v.a. durch bodenbildende Bakterien und Pilze
besonders ab dem Phanerozoium (541 MA)

3. Bildung und mineralische Evolution

Fazit:

**Bei Bildung von Tonmineralen ist praktisch
immer**

Wasser direkt oder indirekt beteiligt

3. Bildung und mineralische Evolution

=> Suche nach Tonmineralen auf Mars
bedeutend für die Strategie „Follow the water“
(Exobiologie)



Tonminerale

1. Was sind Tonminerale?
2. Struktur und Einteilung
3. Bildung und mineralische Evolution
4. **Eigenschaften**
5. Technische Nutzung
6. Kulturelle Bedeutung

4. Eigenschaften

- Quellfähigkeit
- Ionenaustausch/Adsorption
- Rheologie
- Asbest

4. Eigenschaften

- Quellfähigkeit
- Ionenaustausch/Adsorption
- Rheologie
- Asbest

Quellfähigkeit



Quellfähigkeit

Durch Substitution (v. a. von 4wertigem Si durch 3wertiges Al in Tetraederschicht oder von 3wertigem Al durch 2wertiges Mg in der Oktaederschicht) entsteht **negative Schichtladung**, die durch die Einlagerung von Kationen in der Zwischenschicht neutralisiert wird.

1:1-Tonminerale: Die Schichtladung ist ≈ 0 .

2:1-Tonminerale werden nach ihrer Schichtladung x klassifiziert:

$x \approx 0$: Talk-Pyrophyllit-Gruppe

$x \approx 0,25 - 0,6$: Smektitgruppe

$x \approx 0,6 - 0,9$: Vermiculit(-Illit)-Gruppe

$x \approx 1 - 2$: Glimmergruppe

Tonminerale mit nicht ganzzahligen Schichtladungen besitzen die Fähigkeit zur **Quellung**, das heißt zur temporären und reversiblen Wasseraufnahme zwischen den Schichten. Das Wasser koordiniert die großen Kationen. Illit ist nicht quellfähig, da die Schichtladung von 0.9 zu nahe bei eins ist.

Geomaterialien in Technik und Umwelt

Tonminerale

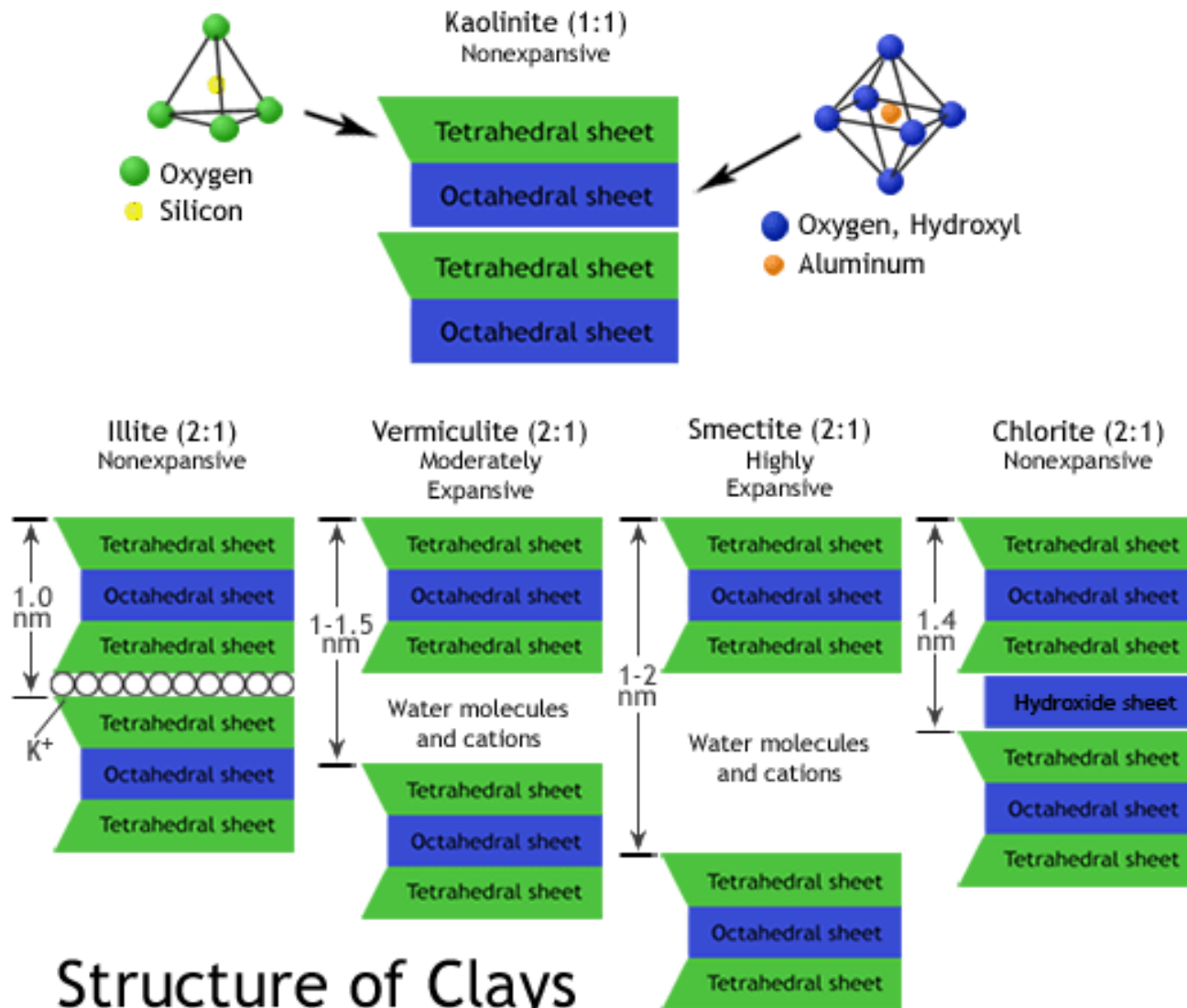


Tabelle 11.1. Gliederung der Tonminerale (Rösler/Starke)

Art der Besetzung der Oktaeder- schicht		nicht quellfähig		quellfähig	
		dioaktaedrisch	trioktaedrisch	dioktaedrisch	trioktaedrisch
Tetraeder- schicht					
silikatisch		Zweischichtminerale			
2-Schicht		Kaolinitgruppe $\text{Al}_4[(\text{OH})_8 \text{Si}_4\text{O}_{10}]$	Serpentingruppe $\text{Mg}_6[(\text{OH})_8 \text{Si}_4\text{O}_{10}]$	Hydrohalloysit $\text{Al}_4[(\text{OH})_8 \text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot (\text{H}_2\text{O})_4$	
alumosilikatisch		Donbassit (Na, Ca, Mg) $\text{Al}_4[(\text{OH})_8 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$	Berthieringruppe (Fe, Mg, Al) ₆ $[(\text{OH})_8 (\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}]$		
		Dreischichtminerale			
silikatisch		Pyrophyllit $\text{Al}_2[(\text{OH})_2 \text{Si}_4\text{O}_{10}]$	Talk $\text{Mg}_3[(\text{OH})_2 \text{Si}_4\text{O}_{10}]$	„Smektiten“	
3-Schicht				Montmorillonitgruppe $\{(\text{Al}, \text{Mg})_2[(\text{OH})_2 \text{Si}_4\text{O}_{10}]\}$ $\{(\text{Na}, \text{Ca})_x(\text{H}_2\text{O})_n\}$	Saponitgruppe $\{(\text{Mg}, \text{Fe})_3[(\text{OH})_2 \text{Si}_4\text{O}_{10}]\}$ $\{(\text{Na}, \text{Ca})_x(\text{H}_2\text{O})_n\}$
alumosilikatisch		Muskovitgruppe $\text{KAl}_2[(\text{OH})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ Illit gehört hierher	Biotitgruppe $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3$ $[(\text{OH})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$	Vermiculitgruppe $\{(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Mg})_2$ $\{[(\text{OH})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]\}$ $\{(\text{Ca}, \text{Mg})_x(\text{H}_2\text{O})_n\}$	Vermiculitgruppe $\{(\text{Mg}, \text{Fe})_3$ $\{[(\text{OH})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]\}$ $\{\text{Mg}_x(\text{H}_2\text{O})_n\}$
alumosilikatisch		Vierschichtminerale			
4-Schicht		Chloritgruppe $\{(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_3$ $\{[(\text{OH})_2 (\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}]\}$ $\cdot (\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{OH})_6\}$			
		Wechselagerungsminerale			
		Rectorit (Illit + Montmorillonit)		Corrensit (Vermiculit + quellfähiger Chlorit)	

Smektiten: Mineralgemenge aus 3-Schichtern, hauptsächlich Montmorillonit

Smektit-Gruppe

Montmorillonit

(diokt.) $R_{2x}^{+}(Al_{2-x}Mg_x [(OH)_2 | Si_4O_{10}])_2^1)$

Beidellit

(diokt.) $R_{2x}^{+}(Al_2[(OH)_2 | Si_{4-x}Al_xO_{10}])_2$

Nontronit

(diokt.) $R_{2x}^{+}(Fe_2^{3+}[(OH)_2 | Si_{4-x}Al_xO_{10}])_2$

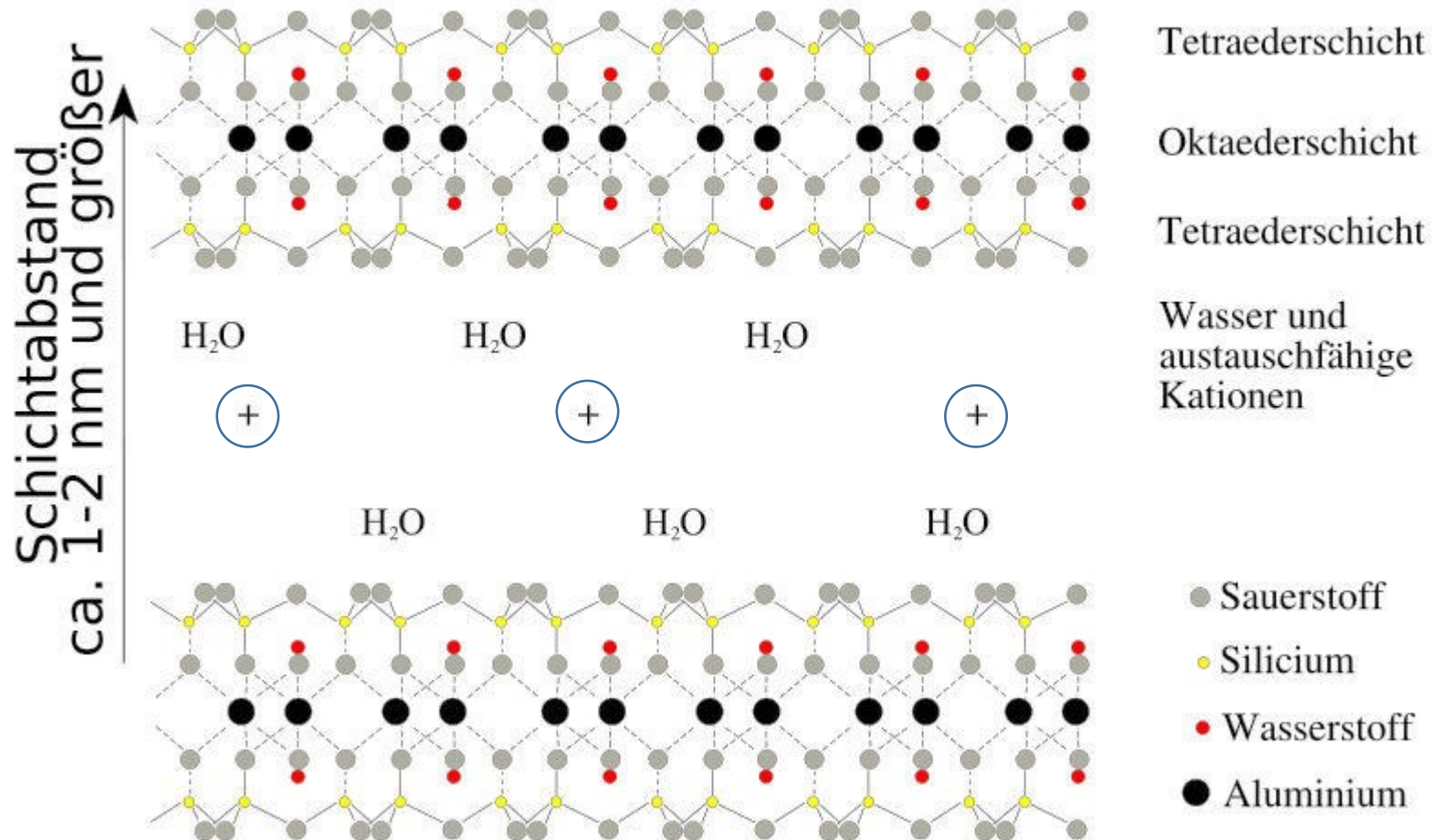
Hectorit

(triokt.) $R_{2x}^{+}(Mg_{3-x}Li_x [(OH)_2 | Si_4O_{10}])_2$

Saponit

(triokt.) $R_{2x}^{+}(Mg_3[(OH)_2 | Si_{4-x}Al_xO_{10}])_2$

Quellfähigkeit von Smektiten



4. Eigenschaften

- Quellfähigkeit
- Ionenaustausch/Adsorption
- Rheologie
- Asbest

Ionenaustausch

BSP.: ENTSTEHUNG VON TONMINERALEN AUS GRANIT

Physikalische Verwitterung **Chemische Verwitterung**



Ionenaustausch

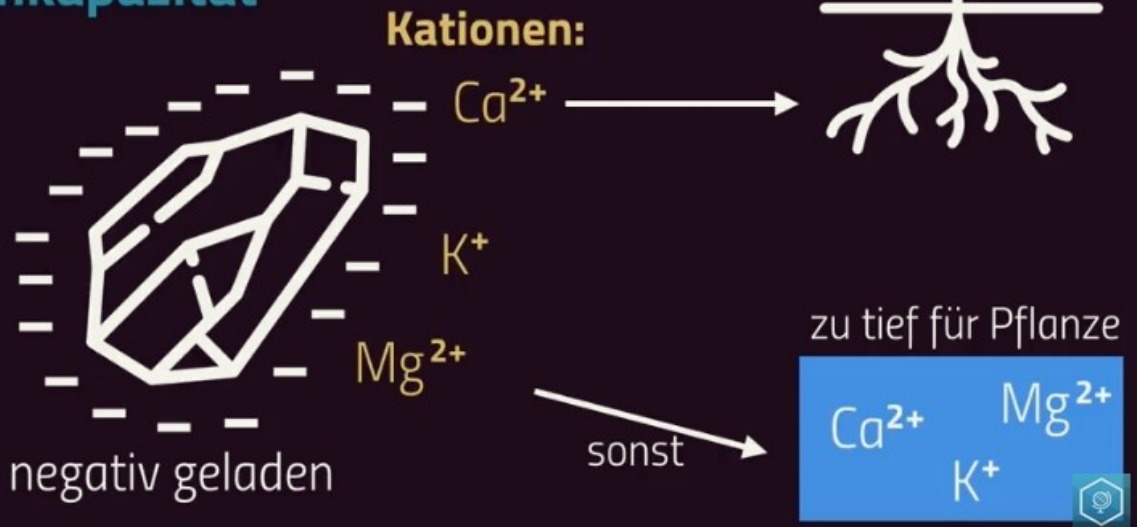
TONMINERALE

- Speichern Pflanzennährstoffe:

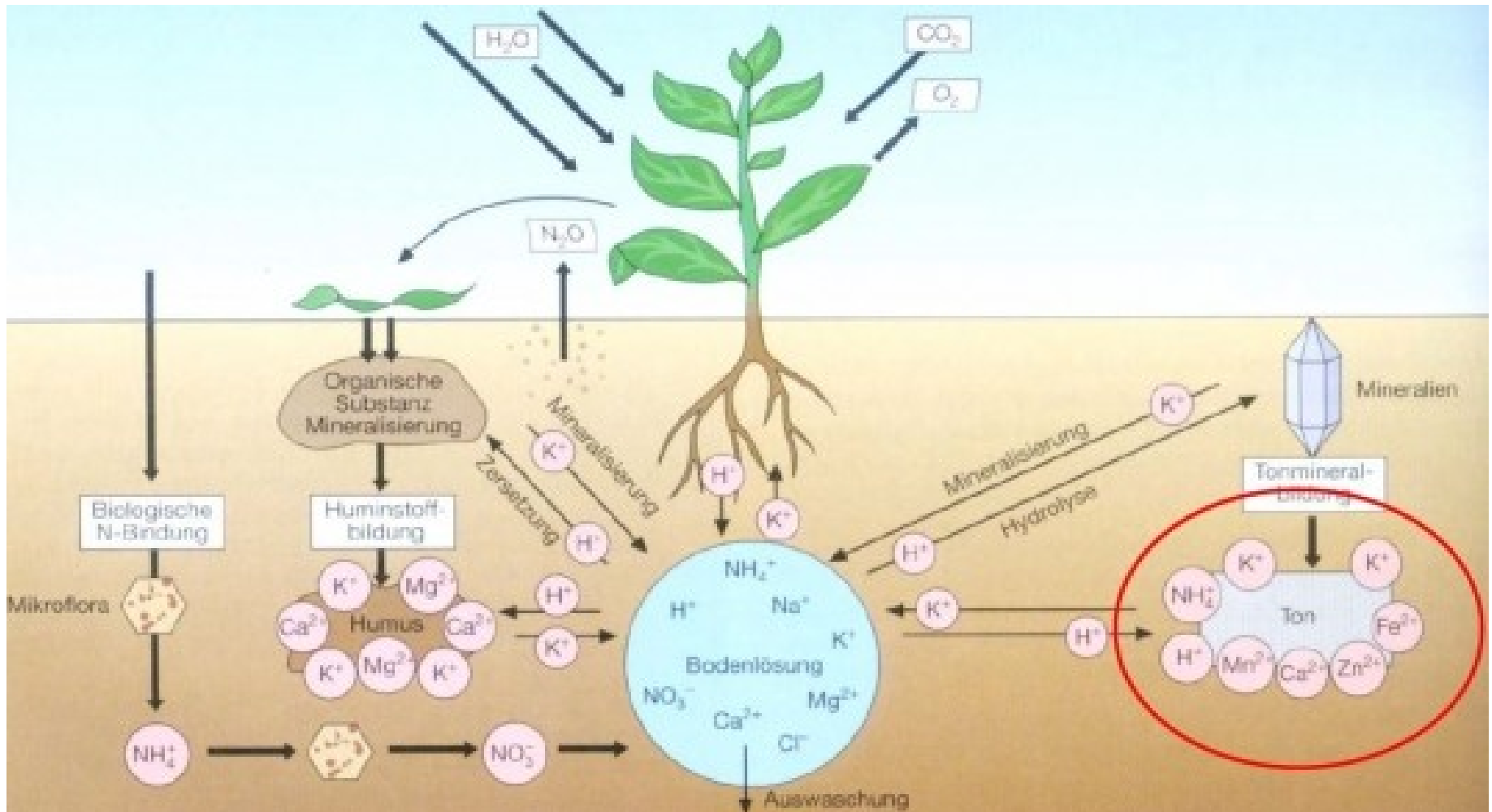
Kationenaustauschkapazität

Maß für Fähigkeit,
Kationen festzuhalten
je höher,
desto mehr Kationen,
desto fruchtbarer

↑
Hängt vom
Verwitterungsgrad ab!



Ionenumtausch



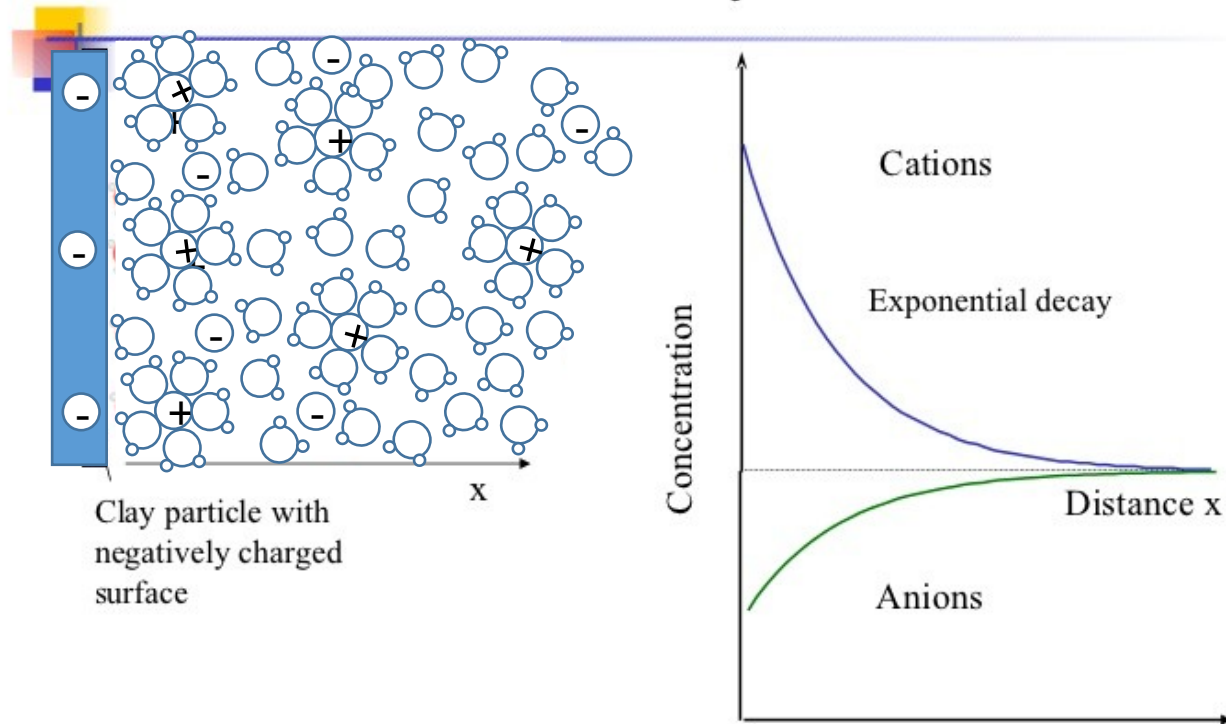
Ionenumtausch

Tabelle 11.3 Ionenumtauschkapazität von Tonmineralen

Mineral	Austauschkapazität in mval/100 g
Kaolinit insgesamt	max. 15
Fraktion 5 ... 10 μm	3
0,5 ... 1 μm	5
0,05 ... 0,1 μm	10
nach Langzeitmahlung	
Kaolinit	≈ 120
Montmorillonit	≈ 360
zum Vergleich:	
Muskovit	≈ 115
Quarz	≈ 100

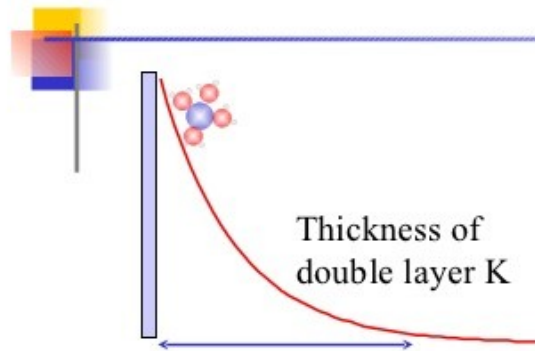
Adsorption von Ionen

Diffuse Double Layer



Adsorption von Ionen

5.3 Thickness of Double Layer



$K \uparrow$		repulsion force $\uparrow$
$n_0 \uparrow$	$K \downarrow$	repulsion force $\downarrow$
$v \uparrow$	$K \downarrow$	repulsion force $\downarrow$
$T \uparrow$	$K \uparrow$	repulsion force $\uparrow(?)$

$$K = \left(\frac{\epsilon_0 \kappa \cdot kT}{2n_0 e^2 v^2} \right)^{1/2}$$

ϵ_0 : Permittivity in vacuum

κ : Relative permittivity

k : Boltzmann constant

T : Temperature

n_0 : Cation concentration

e : Electron charge

v : Valence

κ decreases with increasing temperature

4. Eigenschaften

- Quellfähigkeit
- Ionenaustausch/Adsorption
- Rheologie
- Asbest

Kartenhausstruktur

In ruhender Suspension verbrücken sich die Tonpartikel über dazwischenliegende Ionen -> thixotropes Verhalten (Belastungsdauer steigt → Viskosität sinkt: Ketchup)
Die Vernetzung erfolgt über Ecken oder Kanten.

Zweiwertige Ionen sind dabei effektiver als einwertige.

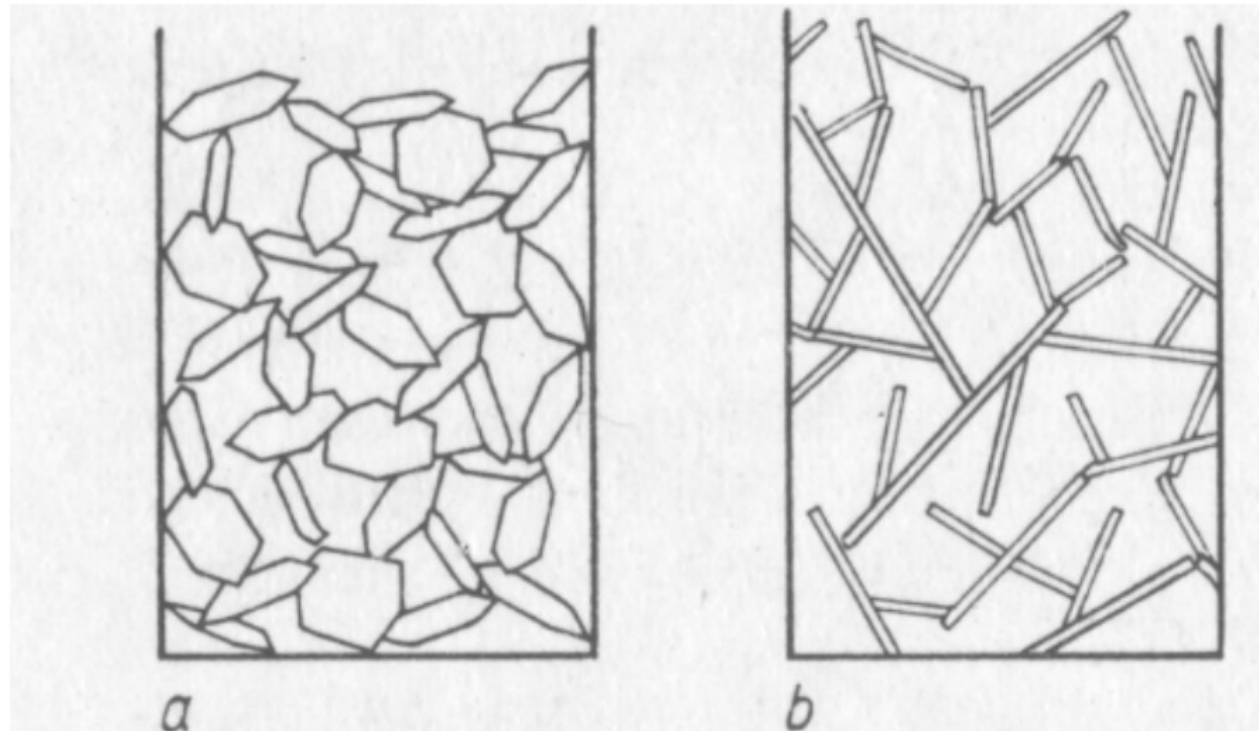
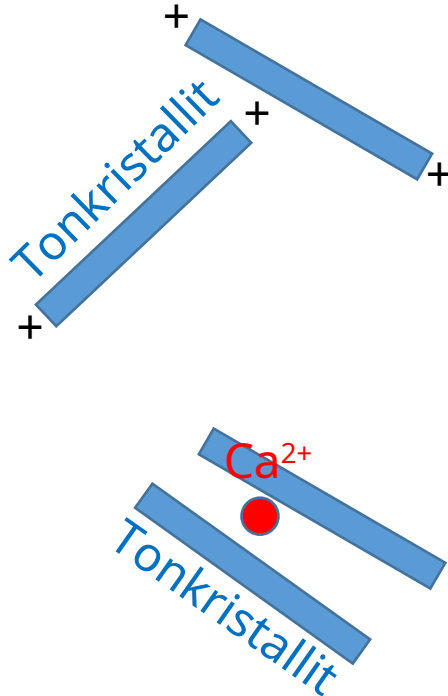


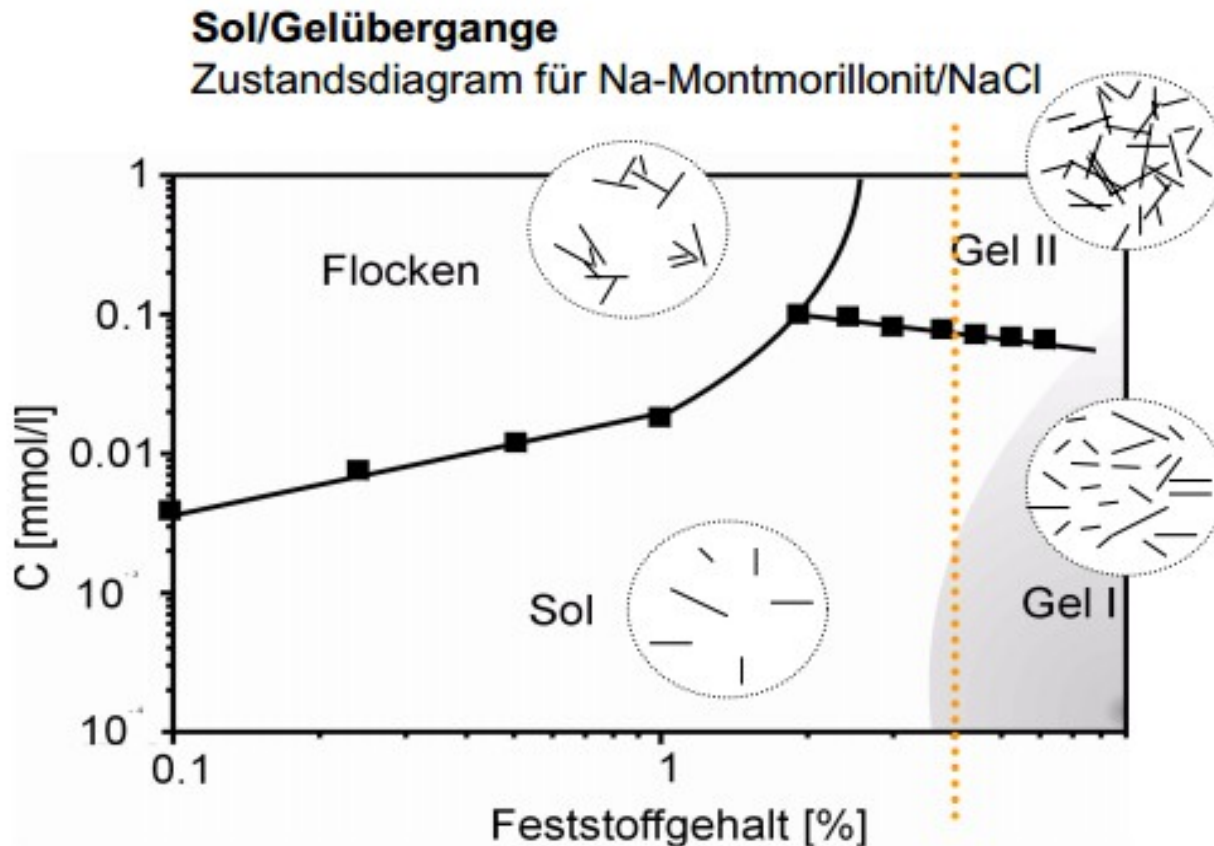
Bild 11.14. Strukturen thixotrop versteifter Suspensionen

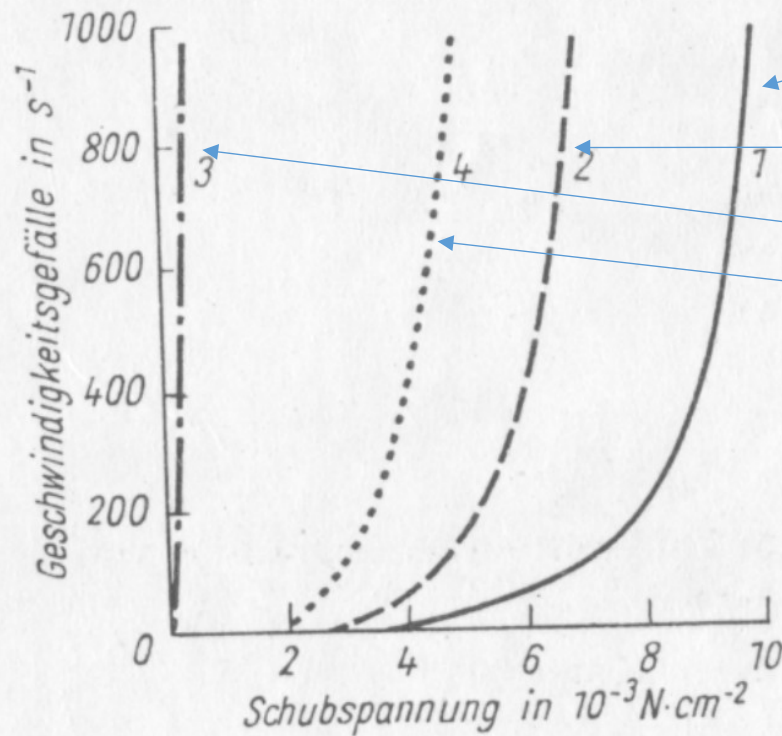
a) plättchenförmige, b) leistenförmige Teilchen
(»Kartenhausstruktur«)

Dispersion: kolloidal stabiler Zustand „Sol“: separierte Partikel $< 1 \mu\text{m}$

„Gel“ Zustand: verbrückte Teilchen $< 1 \mu\text{m}$

Suspension: kollidal instabiler Zustand: große oder geflockte Partikel $> 1 \mu\text{m}$,
setzen sich ab, wenn man nicht rührt





← Kaolinsuspension ohne Zusatz

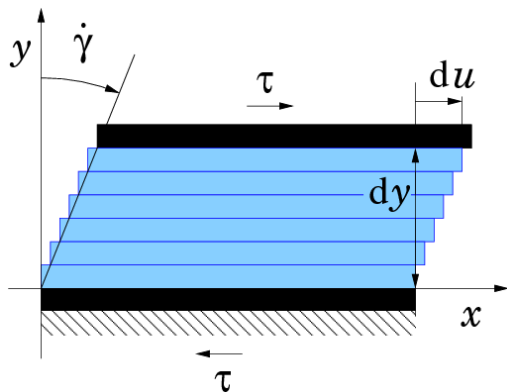
← 2 mval NaOH

← 20 mval NaOH

← 2000 mval NaOH

Bild 11.13. Einfluß von Elektrolytzusätzen auf die Fließfähigkeit von Kaolin-Suspensionen (220 g H-Kaolinit in 500 ml Lösung) (nach Hofmann)

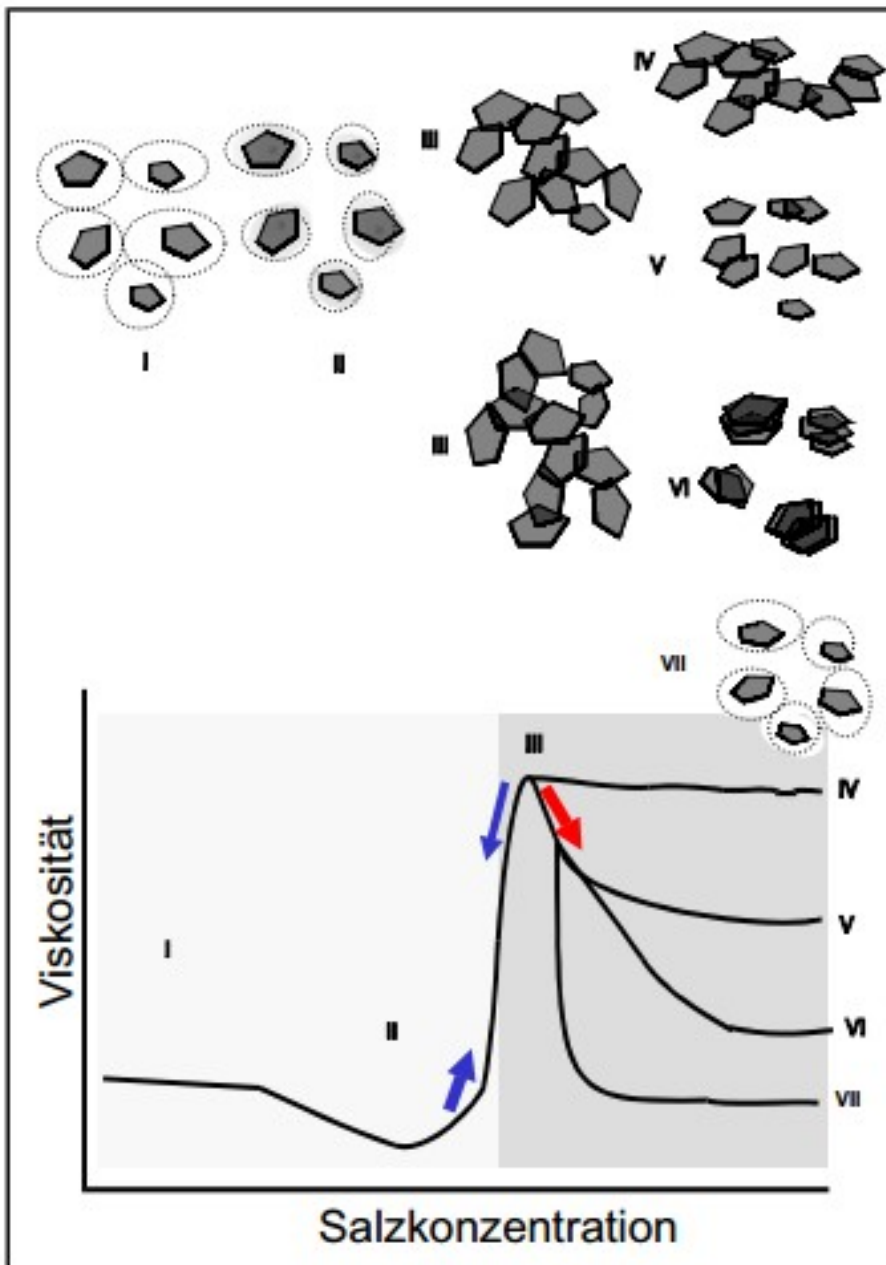
1 Suspension ohne Zusatz, 2 2 mval NaOH, 3 20 mval NaOH, 4 2000 mval NaOH



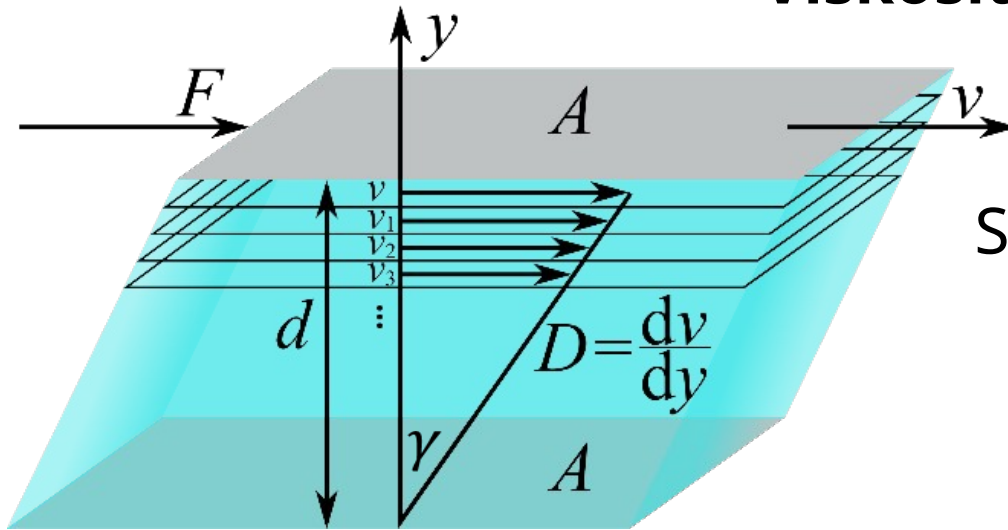
(Scherbelastung)

Schubspannung= Scherspannung $\tau = F/A$

$$\text{Geschwindigkeitsgefälle } \dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{du}{dy}$$



Viskosität



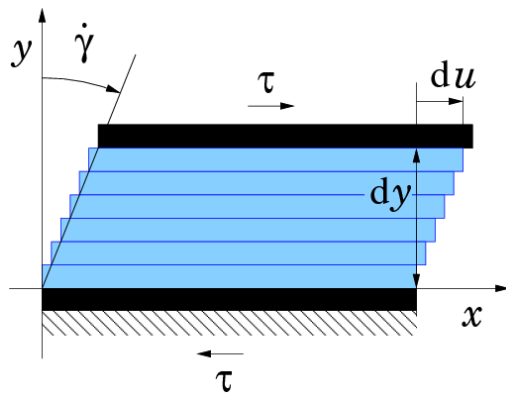
Scherspannung $\tau = F/A$

Scherwinkel γ

Scherrate $\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{dv}{dy} = D$

Laminare Strömung einer Flüssigkeit Für laminare Strömung: $\dot{\gamma} = \text{const} = \frac{v}{d}$
 zwischen 2 Platten, die sich mit
 Geschwindigkeit v gegeneinander bewegen

Viskosität

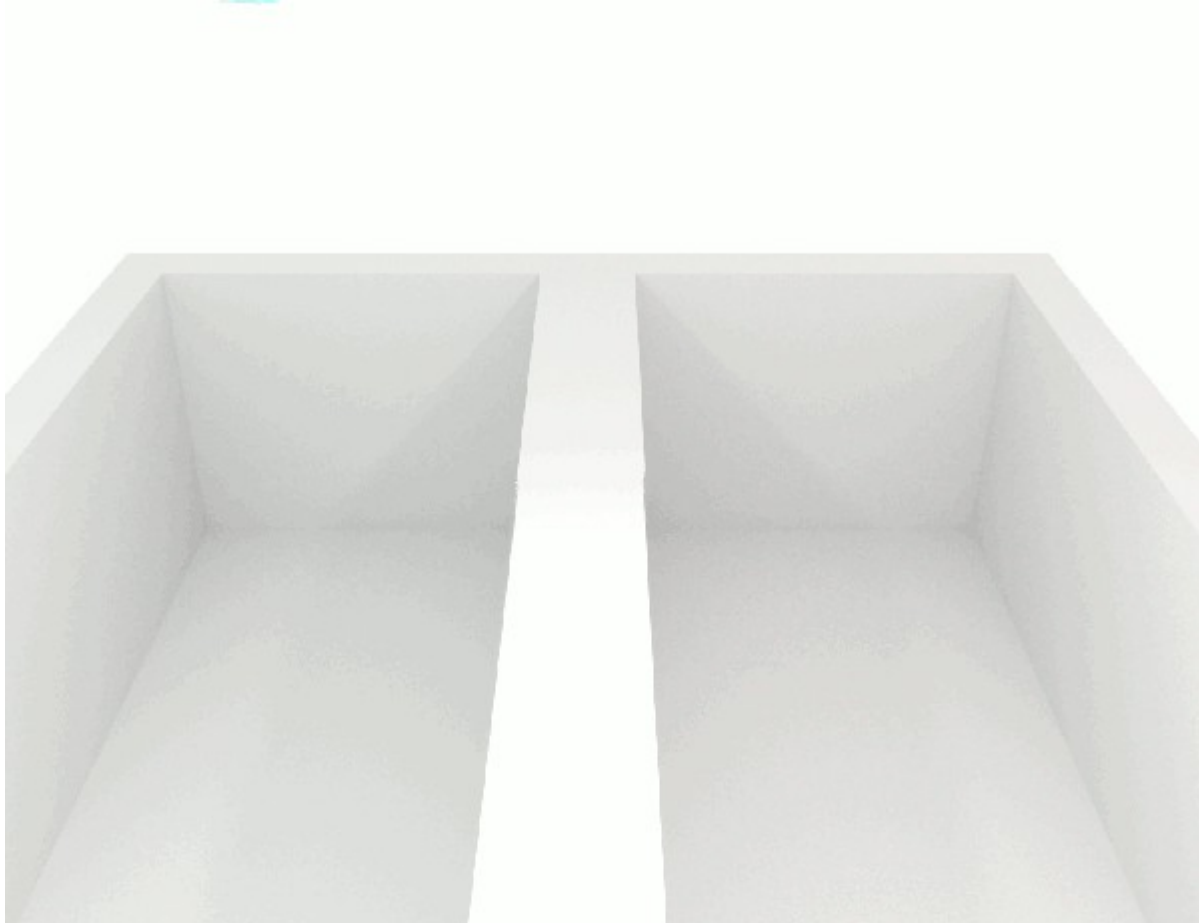


„Newton's law“ $\tau = \eta \dot{\gamma}$

Viskosität: $\eta = \left(\frac{d\dot{\gamma}}{d\tau} \right)^{-1}$ Einheit $Pa \cdot sec == \text{Poise}$

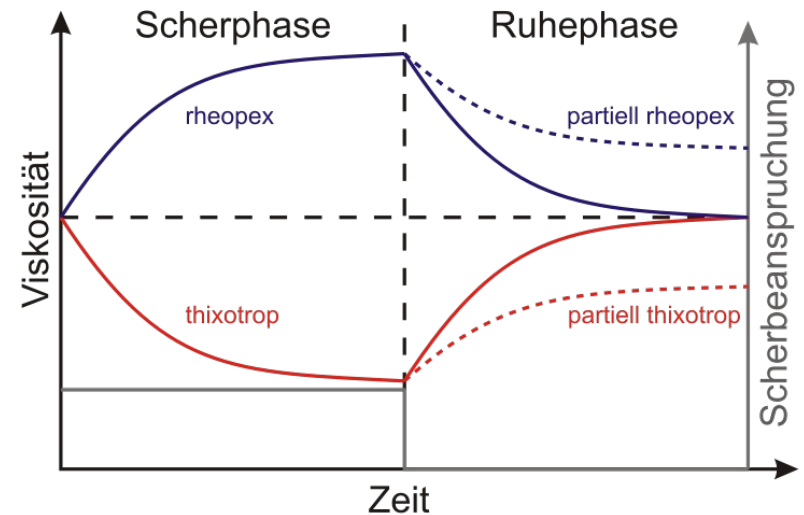
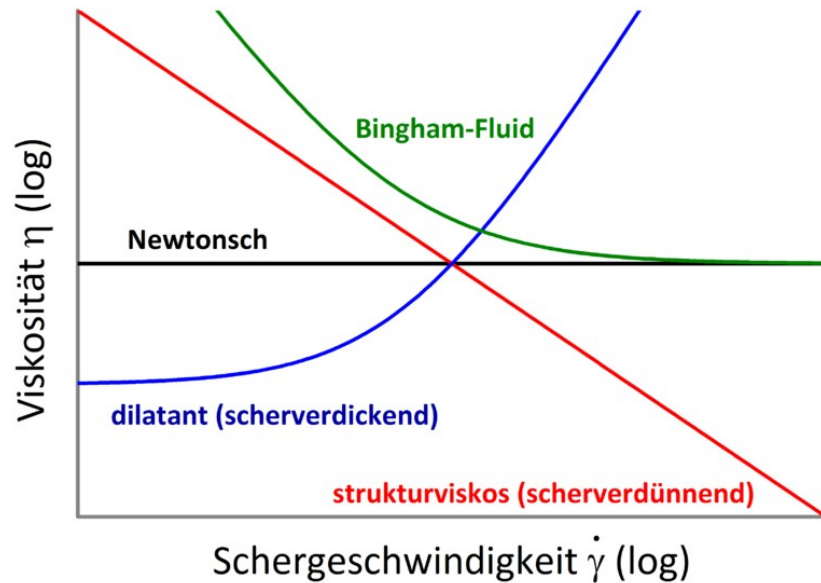
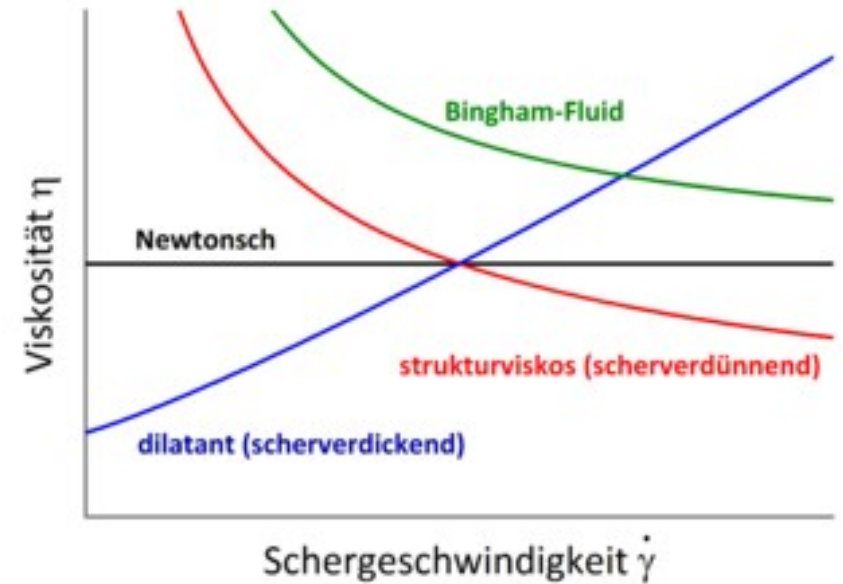
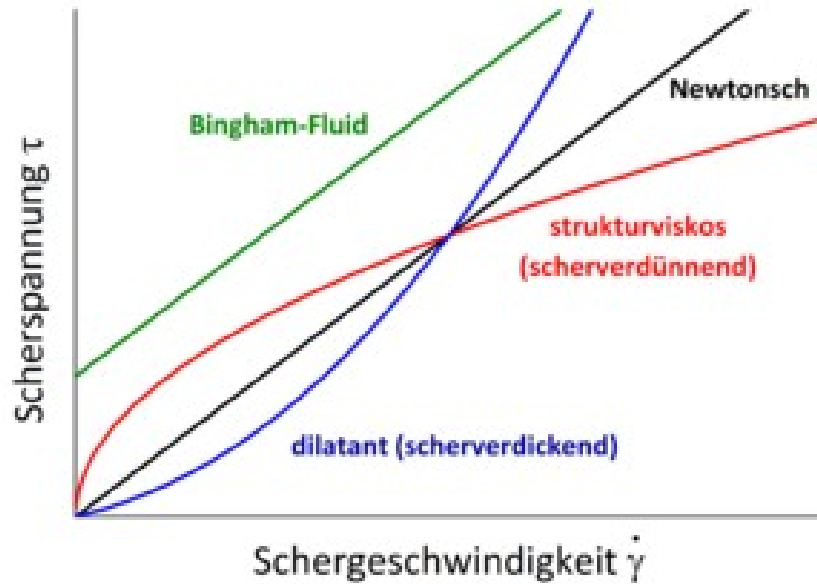
η heißt auch „Dynamische Viskosität“. Die „Fluidität“ ist der Kehrwert von η .
 Daneben wird die „kinematische Viskosität“ μ benutzt $\mu = \frac{\eta}{\rho}$
 (ρ ist die Dichte)

Viskosität



<https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Viscosities.gif>

Grundsätzliche rheologische Eigenschaften



Newtonsches Fluid:
Beispiel: Wasser

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy}$$

Linear viskoses Fließverhalten:
Scherspannung proportional zur
Schergeschwindigkeit

Bingham-Körper
Beispiele: Plastisch
verformende Körper
wie z.B. Metalle

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} + \tau_0 \quad \tau_0 \text{ ist die } \underline{\text{Fließgrenze}}$$

Fließt erst ab einer Mindest-Schubspannung,
Darunter wie Festkörper

Dilatantes Verhalten:
Beispiele:
Stärkebrei, hüpfende Knete

Strukturviskoses Verhalten:
Beispiele:
Tonmineral-Suspensionen
Nicht-tropfende Wandfarbe
Böden !

$$\tau = K \left(\frac{dv}{dy} \right)^n$$

Thixotropie: Viskosität wird mit der Fließ-Zeit kleiner. Beispiel: Tonmineralsuspensionen

Rheopexie: Viskosität wird mit der Fließ-Zeit größer.
Beispiel: Gips/Wasser-Suspensionen mit 40 % Gips

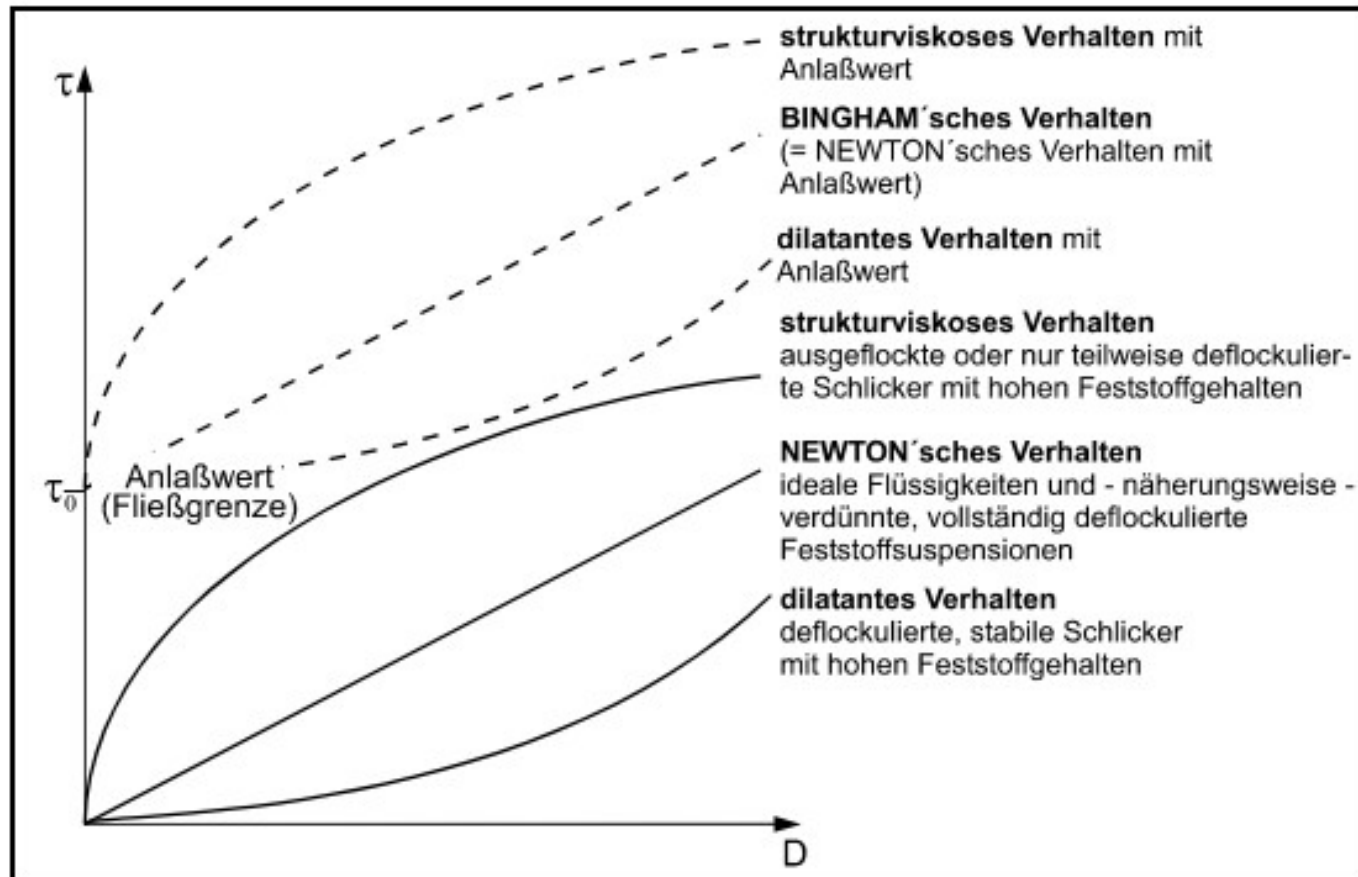
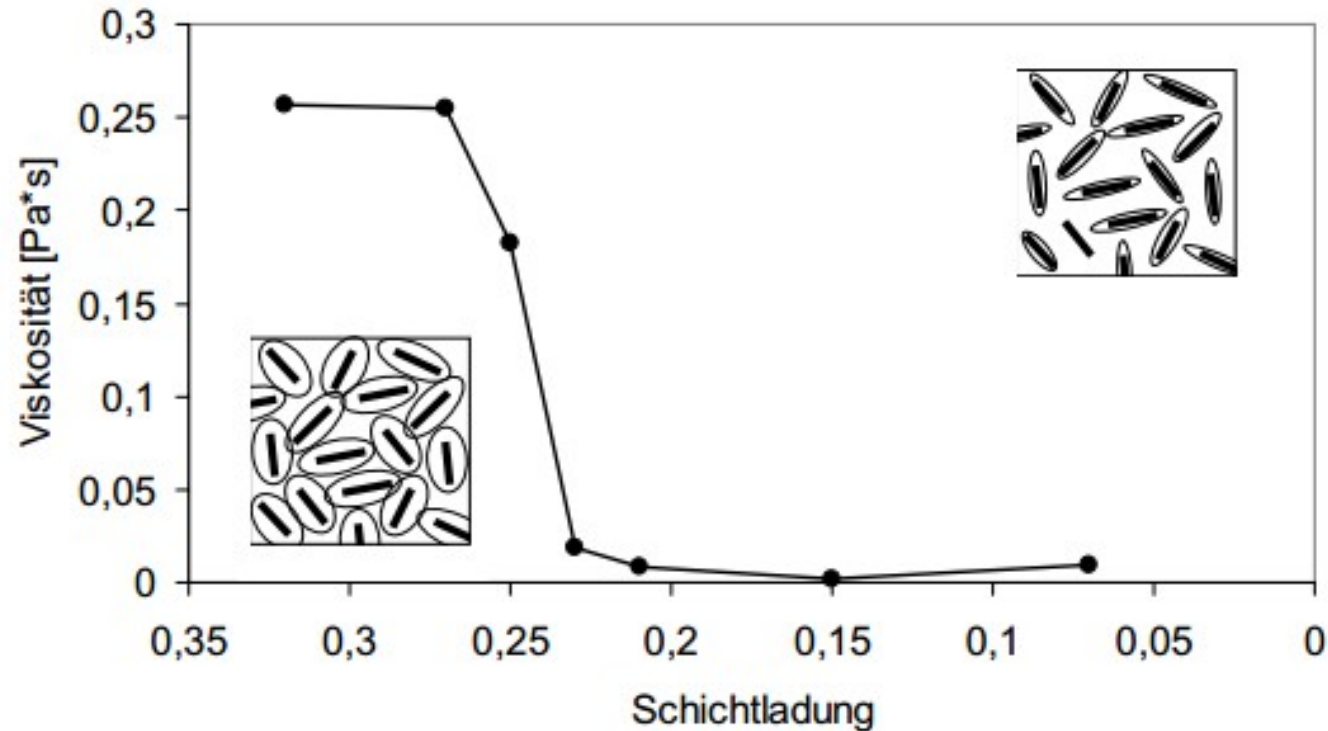


Abb. 10: Scherspannung und Schergeschwindigkeit für unterschiedliches Fließverhalten (schematisch).

Viskosität vs. Ladung



Wyoming-Bentonit, Schichtladungsmodifikation von Erhitzen der Li-ausgetauschten Form, Hofmann-Kleemen-Effekt

Material	Temp. [°C]	Dynamic Viscosity η [mPa.s]
----------	---------------	-------------------------------------

Gasoline / petrol (octane)	20	0.538
----------------------------	----	-------

Water	20	1.00
-------	----	------

Ethanol	20	1.20
---------	----	------

Blood:	37	3-4
--------	----	-----

Glycol	20	20
--------	----	----

Olive oils	20	approx. 100
------------	----	-------------

Motor oil SAE 10W-30	23	175
----------------------	----	-----

Gear oils	20	300 to 800
-----------	----	------------

Glycerine	20	1480
-----------	----	------

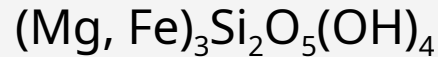
Honey / concentrated syrups	20	approx. 10 Pa.s
-----------------------------	----	-----------------

Bitumen	20	0.5 MPa.s
---------	----	-----------

4. Eigenschaften

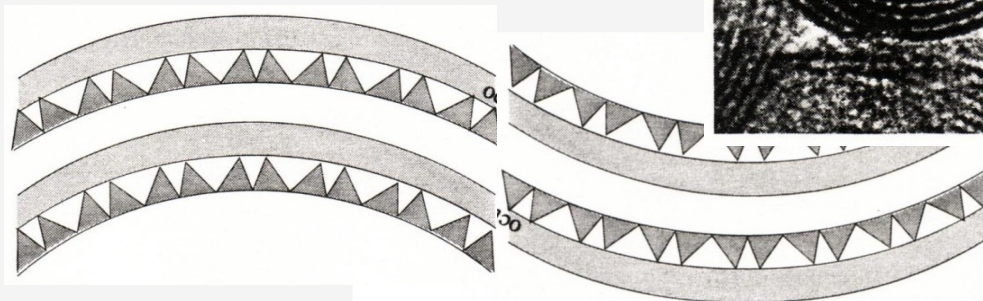
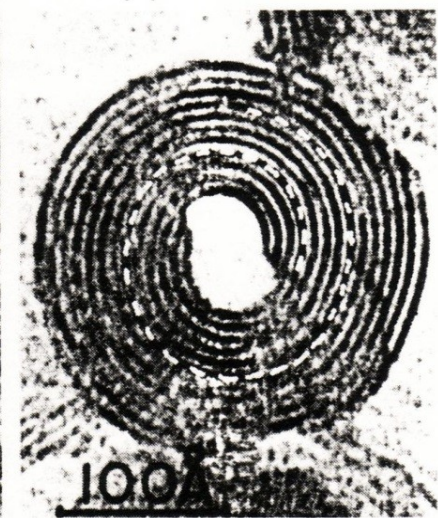
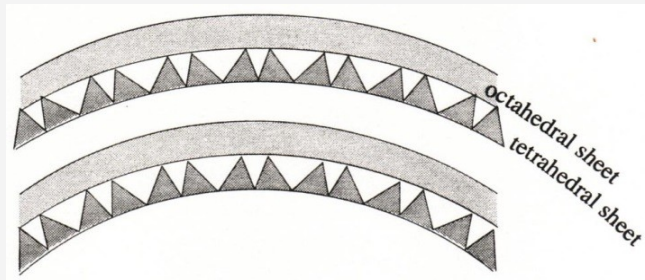
- Quellfähigkeit
- Ionenaustausch/Adsorption
- Rheologie
- Asbest

Chrysotil, Antigorit, Halloysit



Fehlpassung zwischen Oktaederschicht und Tetraederschicht

- die Schicht wellt sich (Antigorit) oder
- rollt sich auf: Chrysotil-**Asbest**-Fasern.

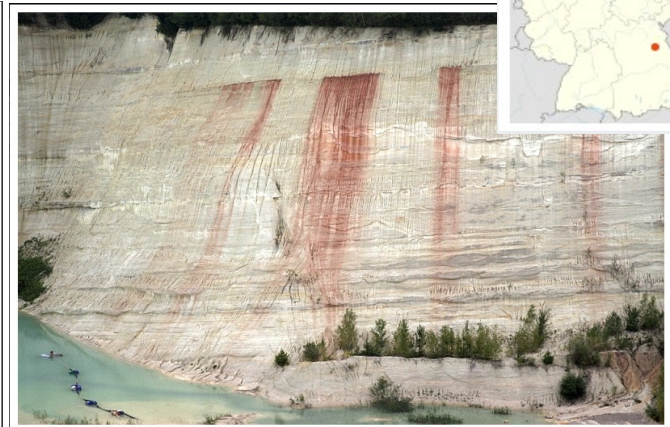


Tonminerale

1. Was sind Tonminerale?
2. Struktur und Einteilung
3. Bildung und mineralische Evolution
4. Eigenschaften
5. Technische Nutzung
6. Kulturelle Bedeutung

5. Technische Nutzung

Kaolin-Abbau bei Hirschau (Oberpfalz): Rohstoff für **Porzella**



„Monte Kaolino“ Abraumhalde,
besteht aus Quarzsand

5. Technische Nutzung

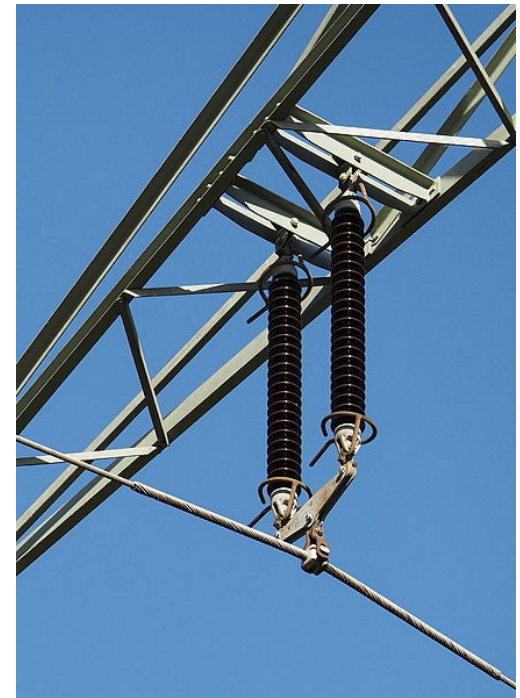
Kaolin: Rohstoff für **Porzellan**



https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Arzberg_2000_Krug.jpg



[https://de.wikipedia.org/wiki/Isolator_\(Elektrotechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Isolator_(Elektrotechnik))



5. Technische Nutzung

Rohstoff für Keramik



5. Technische Nutzung

- Rohstoffe für Keramik
- Wichtiges Bodenmineral
- Absorberstoffe
- Geologische Dichtmittel
- Lösbares Bindemittel
- (Rohstoff für Asbest)

Tonminerale

1. Was sind Tonminerale?
2. Struktur und Einteilung
3. Bildung und mineralische Evolution
4. Eigenschaften
5. Technische Nutzung
6. **Kulturelle Bedeutung**

6. Kulturelle Bedeutung

- Erste nachgewiesene Kleinplastiken aus Lösslehm, gebrannt in einer Feuerstelle (30.000 v.Chr.)
- Erste nachgewiesene Tongefäße aus Sibirien (15.000 v.Chr.)

→ Herstellung im offenen Feldbrand

Ab 5. Jahrtausend v.Chr. erste Öfen

6. Kulturelle Bedeutung

Hochspezialisierte Technik der Keramikherstellung war einhergehend mit Fertigkeit, hohe Brenntemperaturen bis 1000°C im Brennofen zu erreichen.

→ Voraussetzung für die Verhüttung von Kupfer!