

Kalk & Gips



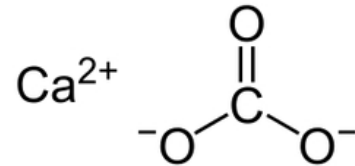
Dover, Kollaps 2012

Kalk

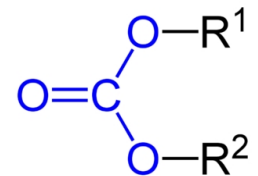
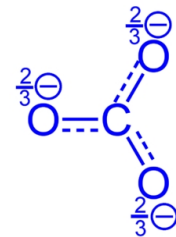
- **Charakterisierung**
 - Chemie
 - Kristallographie
 - Bildung
- **Technik**
 - Baustoff
 - Papierindustrie
 - Kunst
- **Umwelt**
 - Kohlenstoffkreislauf
 - Baustoff: CO₂ Emission

Kalk: Chemie

Calcium-Salz der Kohlensäure: $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ (Carbonate)



- **Calcit** (Kalkstein, Kreide, Marmor, Kalksinter)
- Aragonit (Perlmutter)
- Vaterit



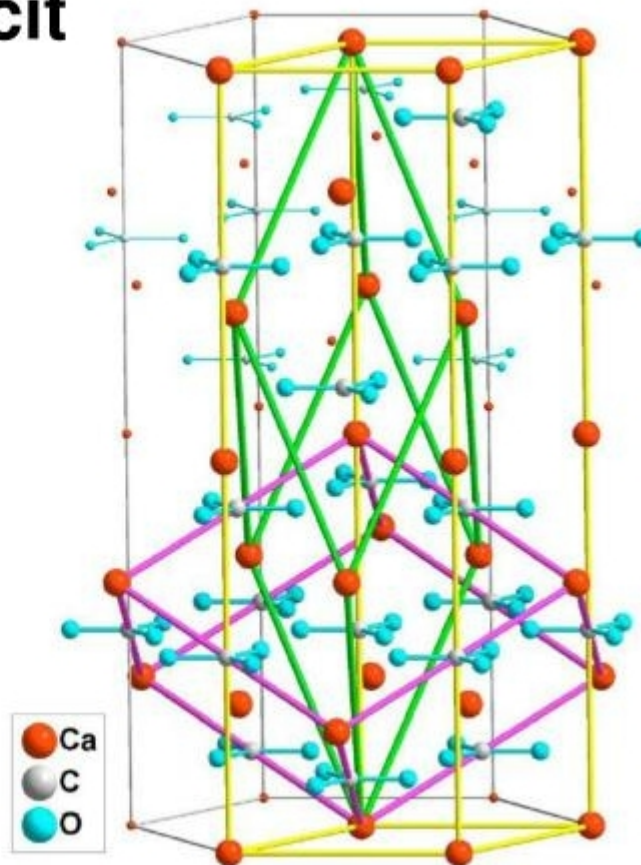
Kalk

- **Charakterisierung**
 - Chemie
 - Kristallographie
 - Bildung
- **Technik**
 - Baustoff
 - Papierindustrie
 - Kunst
- **Umwelt**
 - Kohlenstoffkreislauf
 - Baustoff: CO₂ Emission

Kalk: Kristallographie

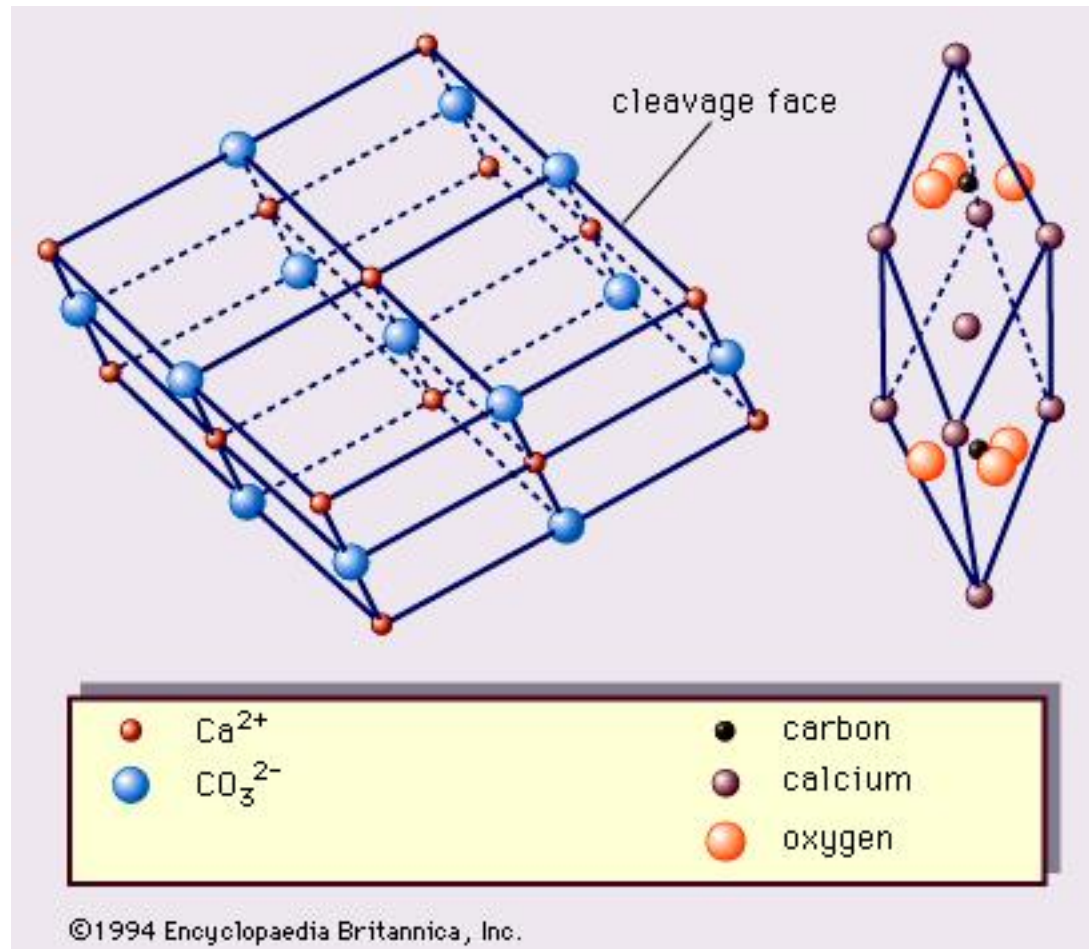
Calcit

- trigonales Kristallsystem
 $a = b = 498 \text{ pm}$
 $c = 1712 \text{ pm}$
 $\alpha = \beta = \gamma 90^\circ$
- dieser Typ lässt sich vom NaCl-Typ ableiten
- C trigonal planar von drei O umgeben
- Calciumionen oktaedrisch von sechs Carbonationen umgeben
- stabilste Form



Kalk: Kristallographie

Calcit



C trigonal planar von drei O umgeben
Calciumionen oktaedrisch von sechs Carbonationen umgeben

Kalk

- **Charakterisierung**

Chemie

Kristallographie

Bildung

- **Technik**

Baustoff

Papierindustrie

Kunst

- **Umwelt**

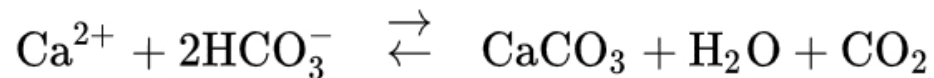
Kohlenstoffkreislauf

Baustoff: CO₂ Emission

Kalk



Kalk: Bildung



je höher Temperatur (T)
Je geringer Druck (P)

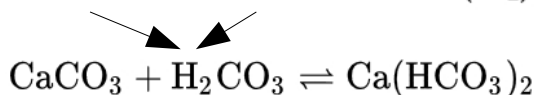
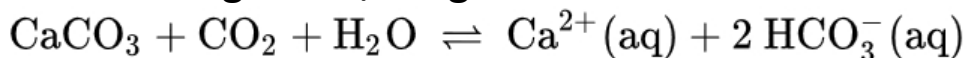


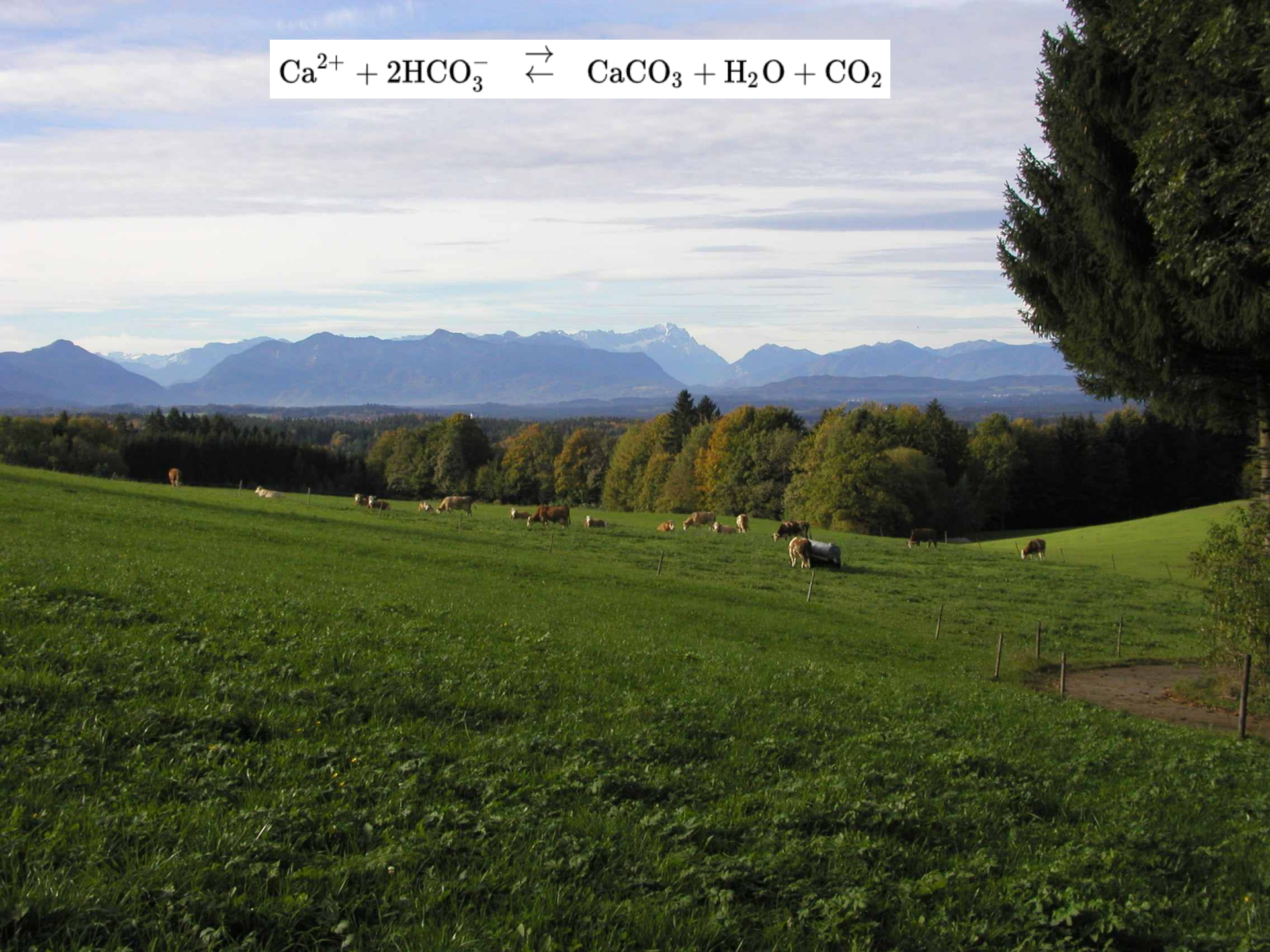
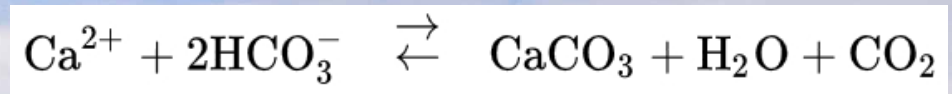
desto schlechter löslich
(Reaktionsgleichgewicht auf rechten Seite)

→ im warmen Wasser (Boiler, Wasserhahn): Kalk-Ausfällung

→ kalkbildende Lebewesen können im warmen Wasser Kalkgehäuse mit geringerem Energieaufwand erzeugen

→ Carbonat-Kompensationstiefe (CCD): T gering, P hoch, Konzentration CO₂ hoch:
= Auflösung Calcit/Aragonit beim Absinken unterhalb CCD (quasi Kohlensäureverwitterung):





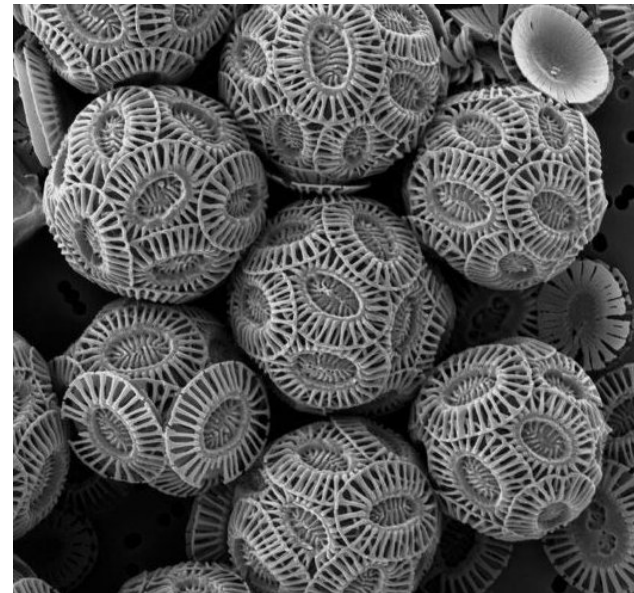
Kalk: Bildung

Kreide

- Sehr feinkörnige Matrix (v.a. Coccolithen) eingebettet: Foraminiferen, Schwämme, Muscheln, Ammoniten, ...



https://www.steinartig.de/images/product_images/original_images/kreidekalk_1596_0.jpg



<https://starinthestone.files.wordpress.com/2012/08/coccolithophores-algae-chalk-carbon-crp.jpg>

Kalk: Bildung

Kreide

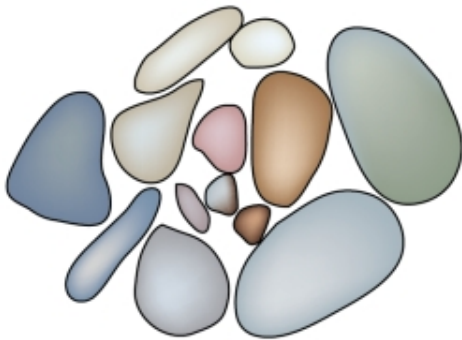
- Kreidekalk: hart, muscheliger Bruch
- Schreibkreide: mürbe, schwach **zementiert**



Gelöstes CaCO_3 wird in Porenraum transportiert
Und ausgefällt als Calcit-Zement:
Porosität nimmt ab, Sedimentkörner werden verkittet

Zementierung

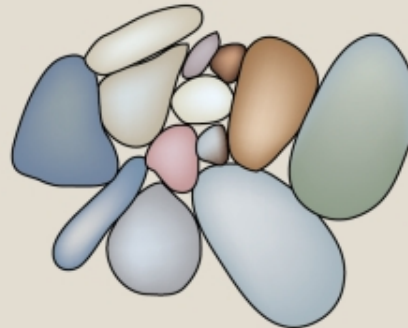
Deposition



Clasts are dropped or settle out.

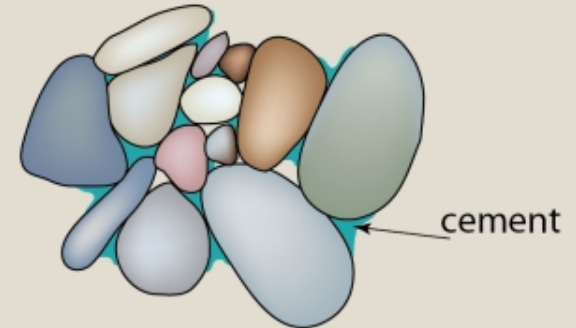
**Lithification turns
sediment into rock**

Compaction



As more sediments accumulate above, clasts are forced closer together.

Cementation



Groundwater moves between the grains and leaves behind mineral deposits, bonding the grains to each other.

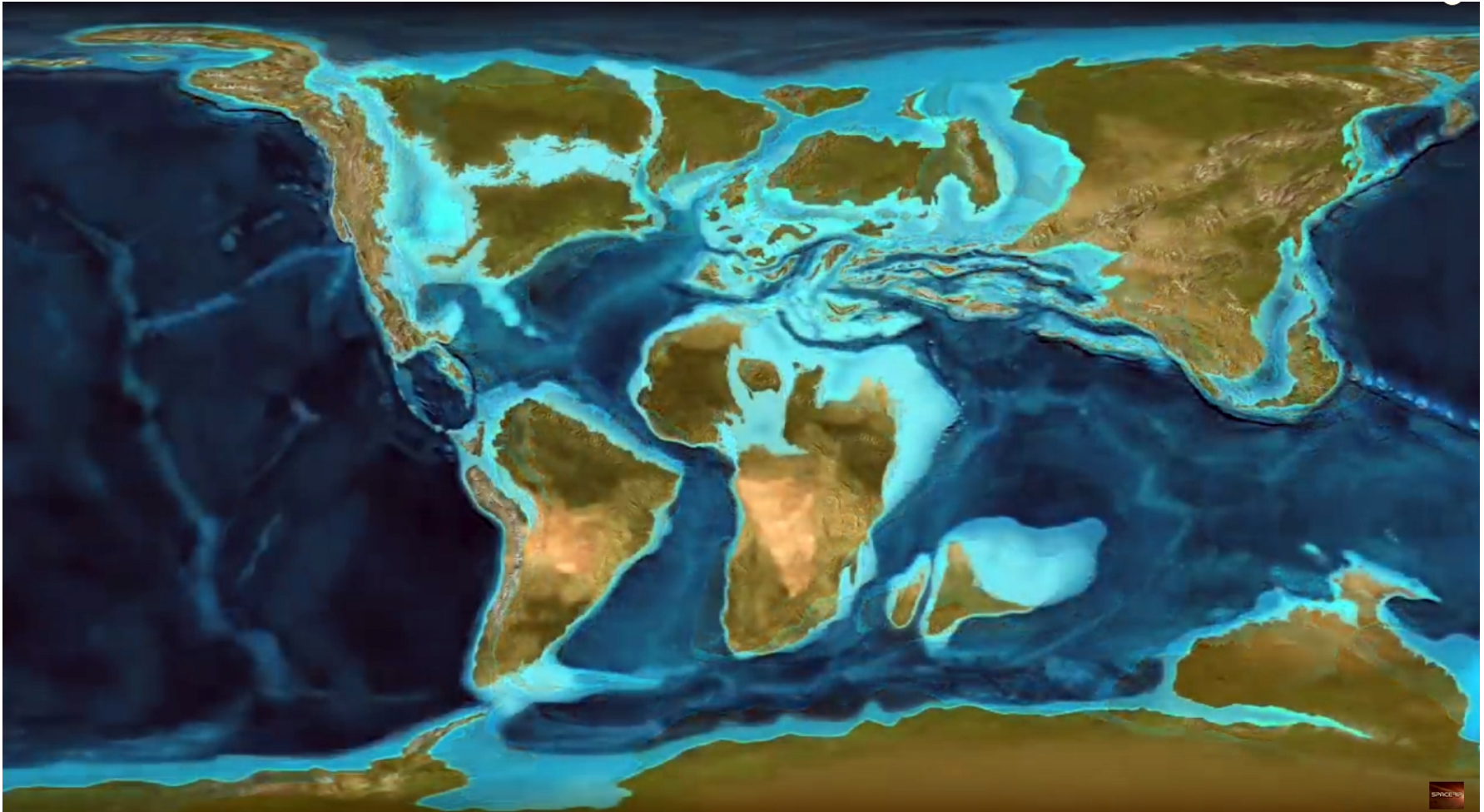
LITHIFICATION

Geomaterialien in Technik und Umwelt



https://www.ruegenurlaub.de/wp-content/uploads/2016/12/wissower-klinken_01.jpg

Erde vor 90 Millionen Jahren



<https://www.youtube.com/watch?v=uGcDed4xVD4>

Kalk

- **Charakterisierung**
 - Chemie
 - Kristallographie
 - Bildung
- **Technik**
 - Baustoff
 - Papierindustrie
 - Kunst
- **Umwelt**
 - Kohlenstoffkreislauf
 - Baustoff: CO₂ Emission

Kalk: Technik

- Baumaterial (Säulen, Treppen,...)
- Baustoff ([Zementherstellung](#))

Kalk: Zementherstellung



Kalk: Zementherstellung

Zement: feingemahlener Baustoff (Bindemittel)



Mörtel: Gesteinskörnung ($\leq 4\text{mm}$) + Bindemittel + Wasser

Beton: Gesteinskörnung ($\gg 4\text{mm}$) + Bindemittel + Wasser



erhärtet bei Zugabe von Wasser
(Hydratation)

Kalk: Zementherstellung

Rohstoffe:

- Kalkstein (CaCO_3)
 - Ton
 - Sand, Erze
- } Mergel

gemahlen

Rohmehl

Brennen
(1.450 °C)

Zementklinker
(kugelförmig)

Portlandzement:

bis 66% CaO

bis 26% SiO_2

bis 10% Al_2O_3

bis 5% Fe_2O_3



gemahlen



Kalk: Zementherstellung

Rohstoffe:

- Kalkstein (CaCO_3)
 - Ton
 - Sand, Erze
- } Mergel

gemahlen

Rohmehl

Brennen
($1.450\text{ }^\circ\text{C}$)

Zementklinker
(kugelförmig)

Portlandzement:

bis 66% CaO

bis 26% SiO_2

bis 10% Al_2O_3

bis 5% Fe_2O_3



gemahlen



Zementklinker-Phasen

Bei fortschreitender Erhitzung bis zum Sintern bilden sich aus dem Rohstoffgemisch CaO , SiO_2 , Al_2O_3 und Fe_2O_3 schließlich neue Verbindungen – die Klinkerphasen. Aus diesen Phasen besteht nach dem Sintern das Endprodukt – der Zementklinker. Die wichtigsten Klinkerphasen sind (in absteigender Häufigkeit):

- Tricalciumsilikat (**Alit**) ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), Kurzformel „C3S“
- Dicalciumsilikat (**Belit**) ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), Kurzformel „C2S“
- Tetracalciumaluminatferrit (Brownmillerit) ($4\text{CaO} \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3)$), Kurzformel „C4AF“
- Tricalciumaluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), Kurzformel „C3A“
- Freies CaO (Freikalk)

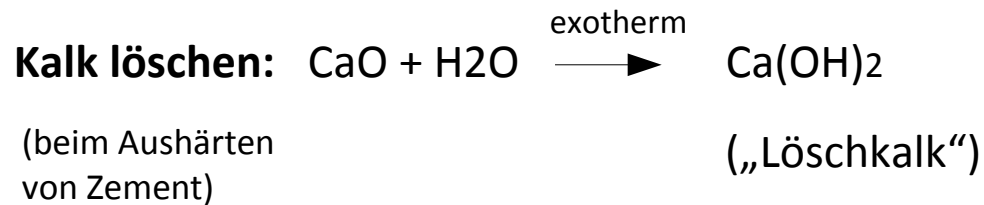
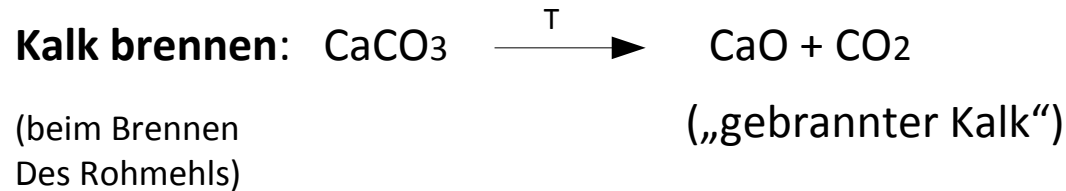
Die verschiedenen Phasen besitzen bei der Hydratation (hydraulische Erhärtung) unterschiedliche Reaktionsgeschwindigkeiten, tragen daher in verschiedener Art zur Festigkeitsentwicklung des Zementklinkers bei.

Alit und C3A hydratisieren am schnellsten, Belit und C4AF deutlich langsamer:

→ Frühfestigkeit Portlandzement v.a. bestimmt durch Hydratation des Alit

→ Spätfestigkeitsentwicklung v.a. durch Belit

Kalk: Zementherstellung



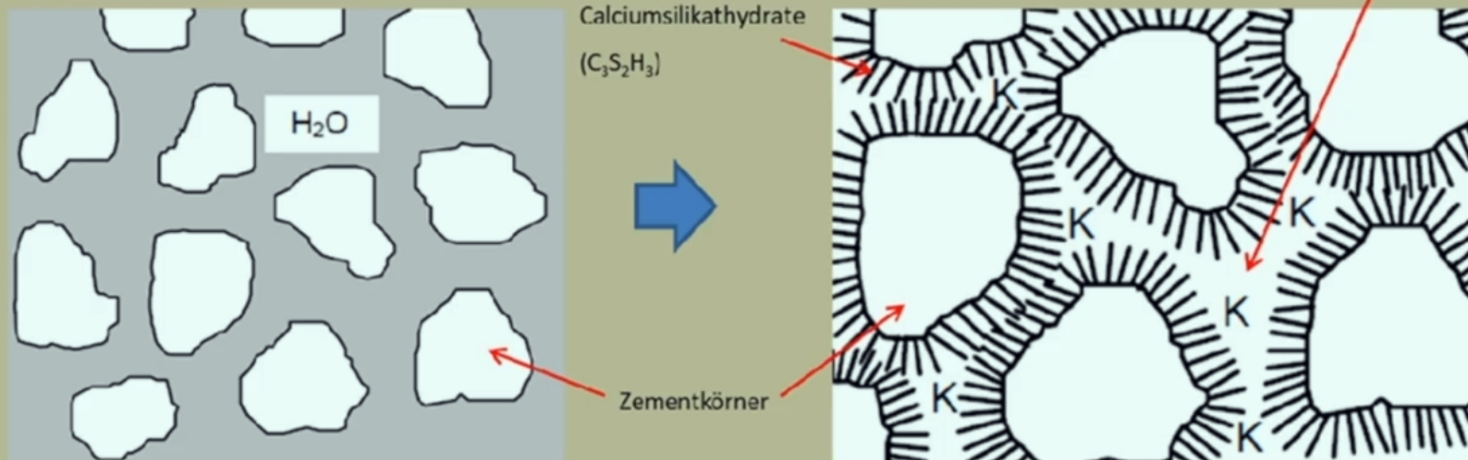
Füllt wassergefüllte
Zwischenräume zwischen
Partikeln des Mörtels,
Betons u.a. als starres
Gefüge

Kalk: Technik

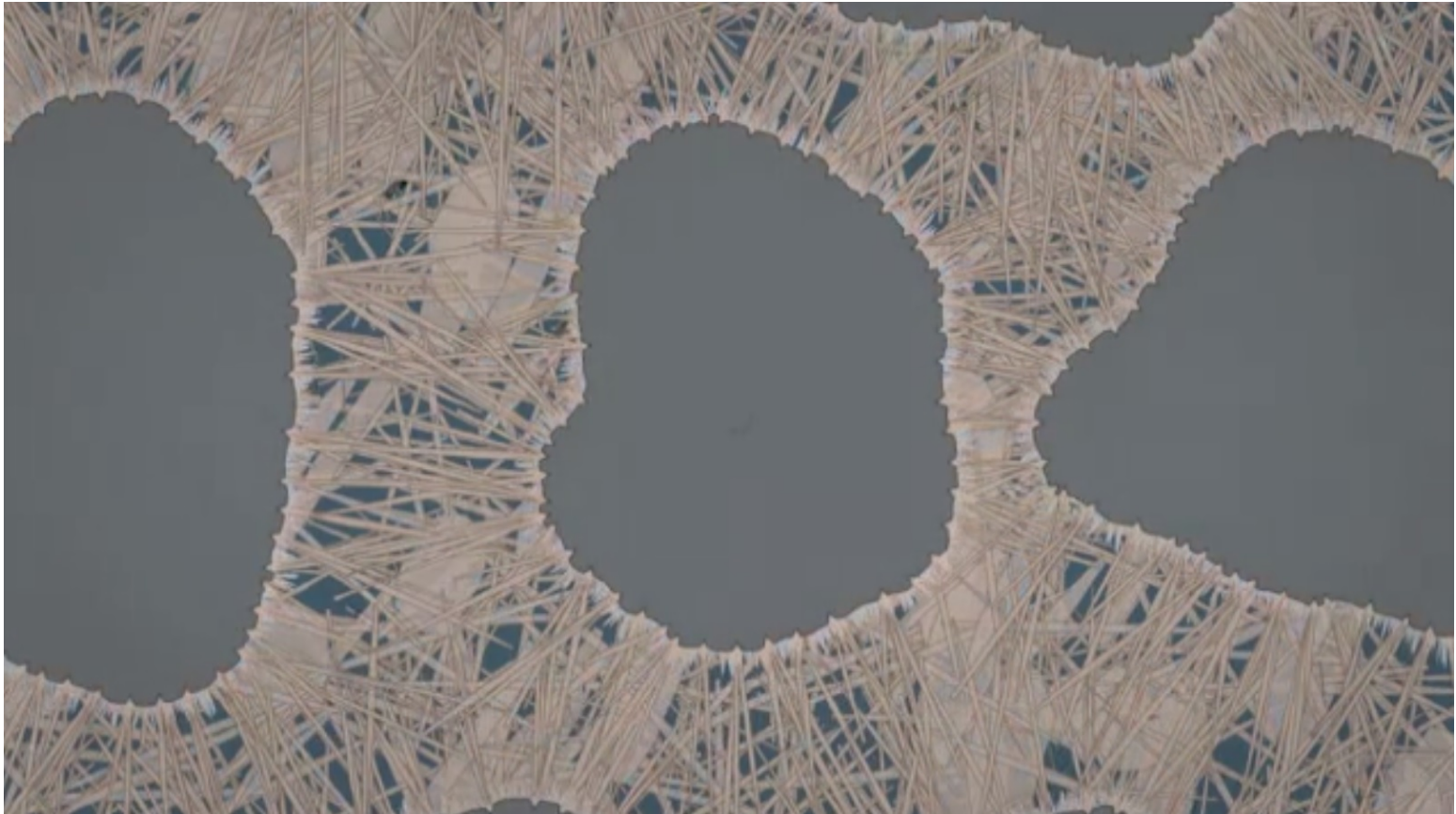
Vom Zement zum Zementstein



- Zusammenwachsen der Zementkörner zu Zementmatrix
- Anteil Wasser sinkt; Es entstehen kristalline Calciumhydroxid und nicht-kristalline Calciumsilikathydrate

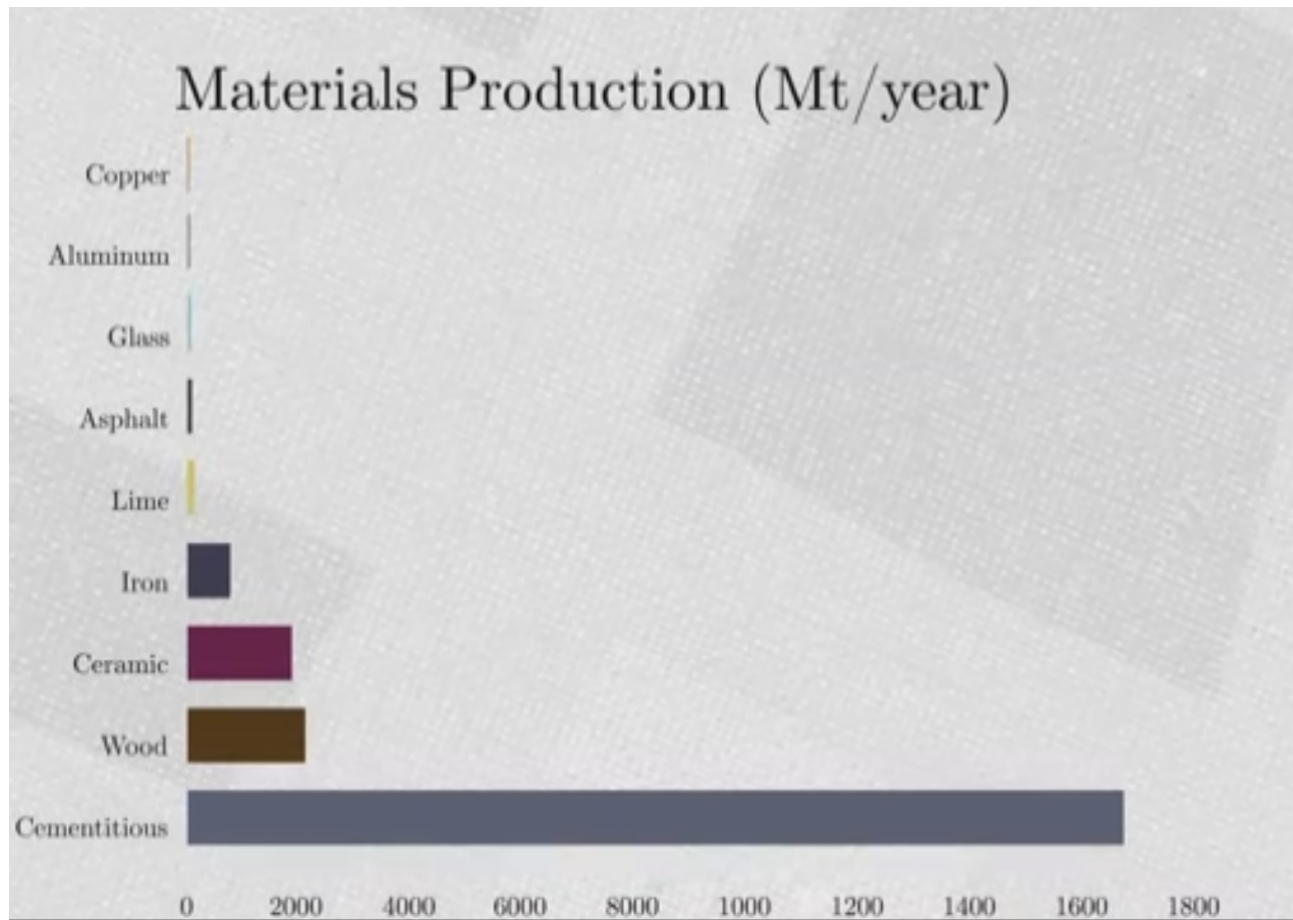


Kalk: Technik



youtube.com/watch?v=rWVAzS5duAs

Kalk: Technik



youtube.com/watch?v=rWVAzS5duAs

Kalk

- **Charakterisierung**
 - Chemie
 - Kristallographie
 - Bildung
- **Technik**
 - Baustoff
 - Papierindustrie
 - Kunst
- **Umwelt**
 - Kohlenstoffkreislauf
 - Baustoff: CO₂ Emission

Kalk: Technik

Papierindustrie

Kalkmilch (Suspension von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in Wasser)



Zugabe von CO_2 : Ausfällung als CaCO_3



Damit Oberflächenveredelung von Papier („gestrichenes Papier“):
Aus Rohpapier wird Papier mit bestimmter Oberfläche (z.B. Druckerpapier)

Kalk: Technik



Gips



Gips

- **Charakterisierung**
 - Chemie
 - Kristallographie
 - Bildung
 - Quellreaktion
- **Technik**
 - Baustoff (Trockenbau)

Gips: Chemie

Gips:

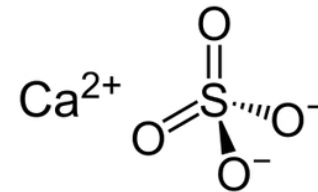
wasserhaltiges Calciumsulfat
(ca 20% Kristallwasser)
 $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Bassanit (Hemihydrat):

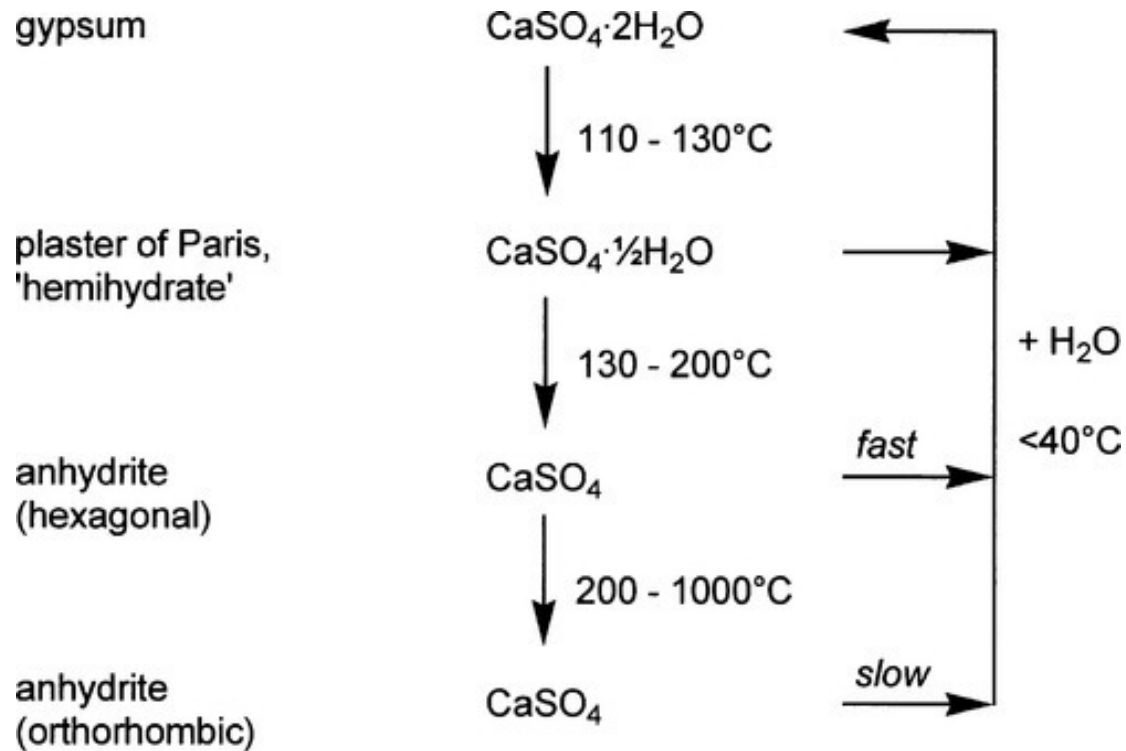
gebrannter Gips
 $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$

Anhydrit

CaSO_4



Gips: Chemie



Gips

- **Charakterisierung**

 - Chemie

 - Kristallographie

 - Bildung

 - Quellreaktion

- **Technik**

 - Baustoff (Trockenbau)

Gips: Kristallographie

Gips

monoklin

2/m

Gitterparameter:

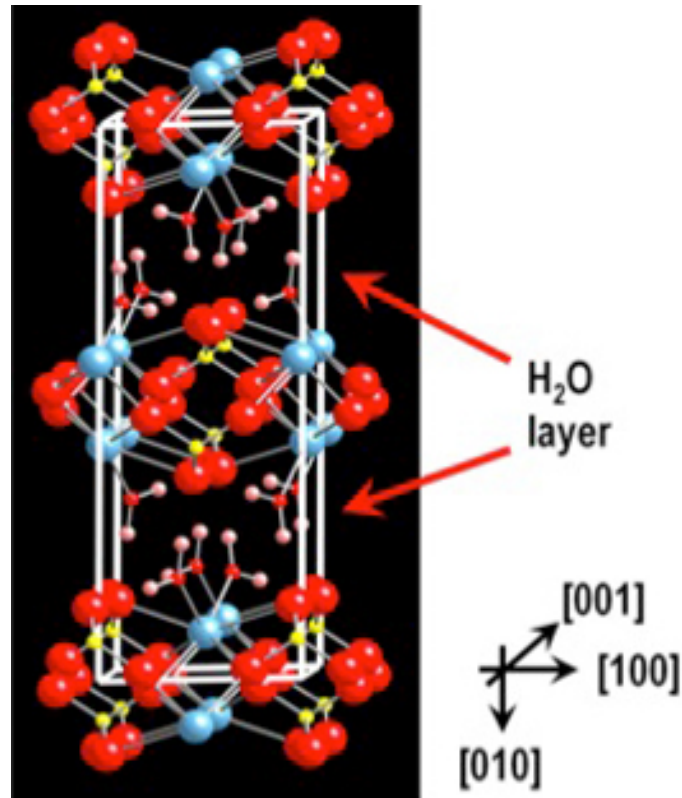
$a = 6,52 \text{ \AA}$;

$b = 15,18 \text{ \AA}$;

$c = 6,29 \text{ \AA}$

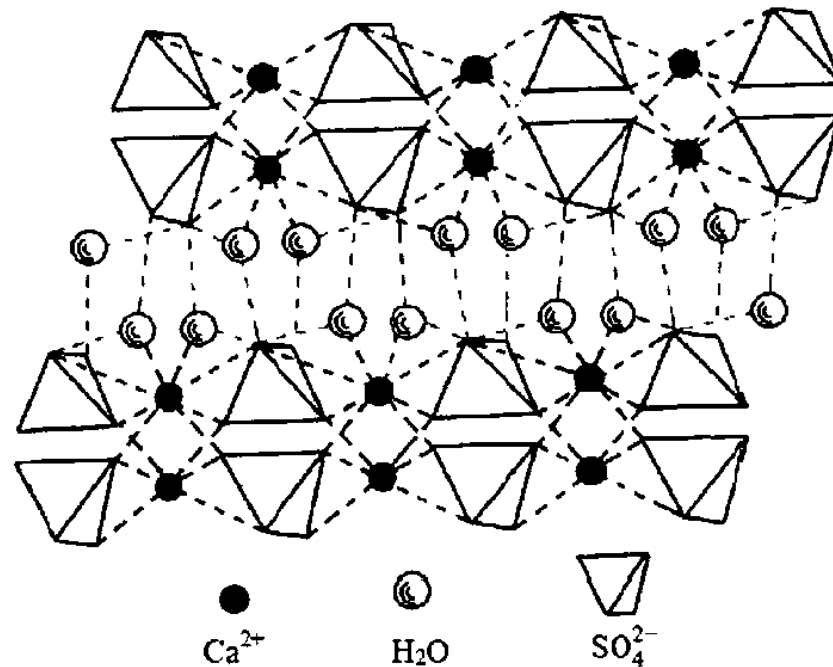
$B = 127,4^\circ$

Mohshärte: 2



Gips: Kristallographie

Gips



Kristallwasser ist im Gitter in „Schichten“ konzentriert. Durch die alternierende Abfolge: Gut spaltbar

Gips: Kristallographie

Anhydrit

--Empirical Formula--

Ca(SO₄)

--Elemental Breakdown--

Calcium	29.44%	●
Sulfur	23.55%	●
Oxygen	47.01%	●

--Common Impurities--

(Sr)	Strontium
(Ba)	Barium
(H ₂ O)	Water

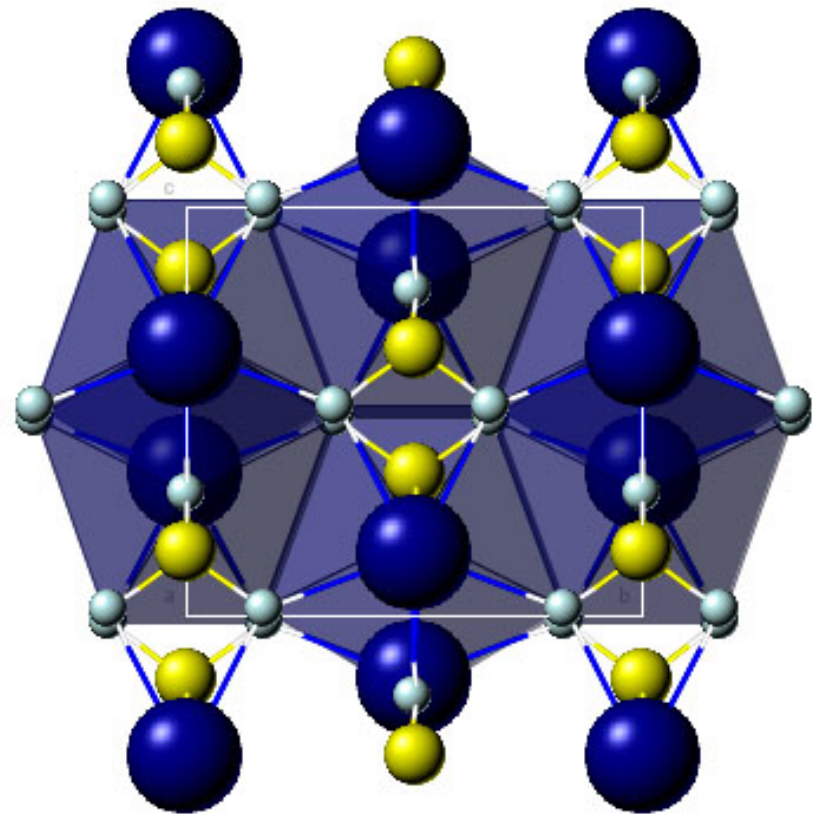
orthorhombisch

2/m 2/m 2/m

Gitterparameter:

$a = 6,99 \text{ \AA}$; $b = 7,00 \text{ \AA}$; $c = 6,24 \text{ \AA}$

Härte (Mohs): 3-3,5



Gips

- **Charakterisierung**
 - Chemie
 - Kristallographie
 - Bildung
 - Quellreaktion
- **Technik**
 - Baustoff (Trockenbau)

Gips: Bildung

- **Evaporite**
(Auflast von Sedimenten: Druck $\rightarrow$ Anhydrit)
- **Vulkanische Schlote**
(Reaktion H_2SO_4 mit CaCO_3)
- **Verwitterung sulfidischer Erze**
- **Sekundärprodukt industrieller chemische Prozesse**
(z.B. Rauchgasentschwefelung)

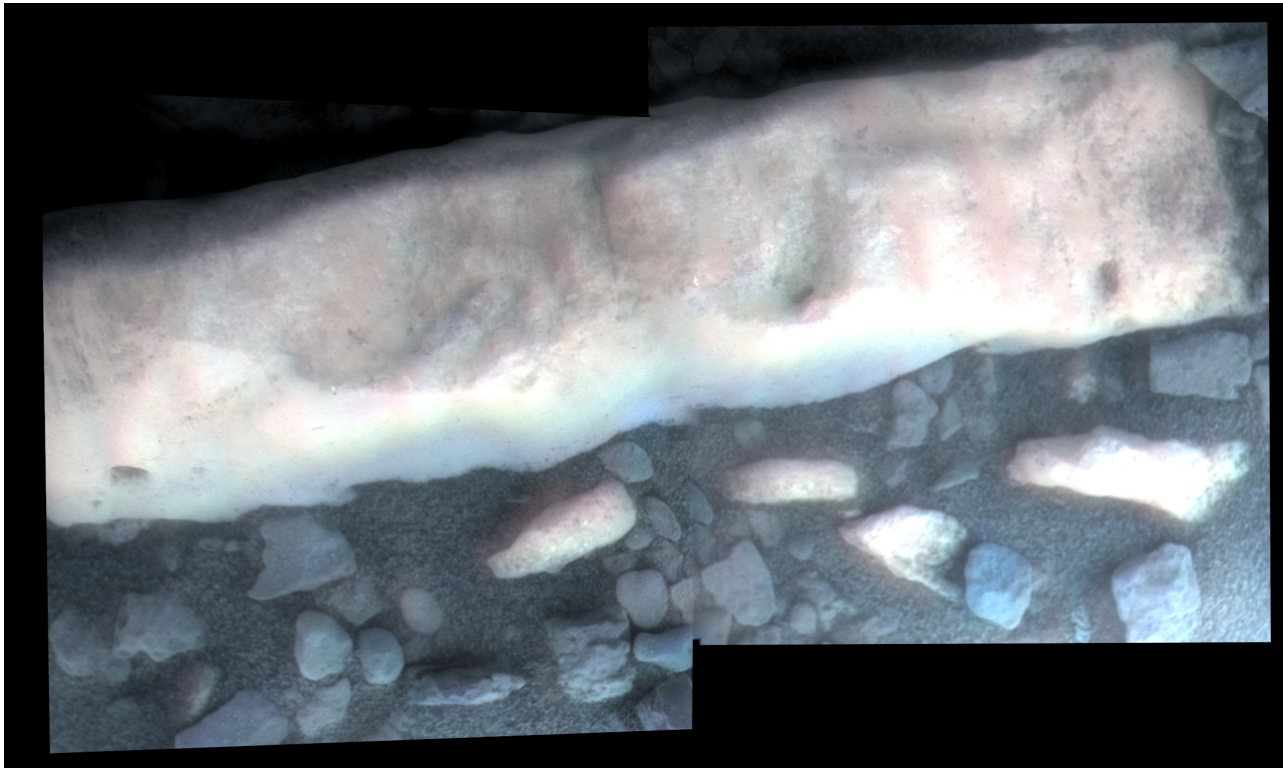
Gips: Bildung

- **Evaporite**
(Auflast von Sedimenten: Druck $\rightarrow$ Anhydrit)
- **Vulkanische Schlote**
(Reaktion H_2SO_4 mit CaCO_3)
- **Verwitterung sulfidischer Erze**
- **Sekundärprodukt industrieller chemische Prozesse**
(z.B. Rauchgasentschwefelung)



Endeavour Krater, Meridianum Planum, Mars

Gips: Bildung

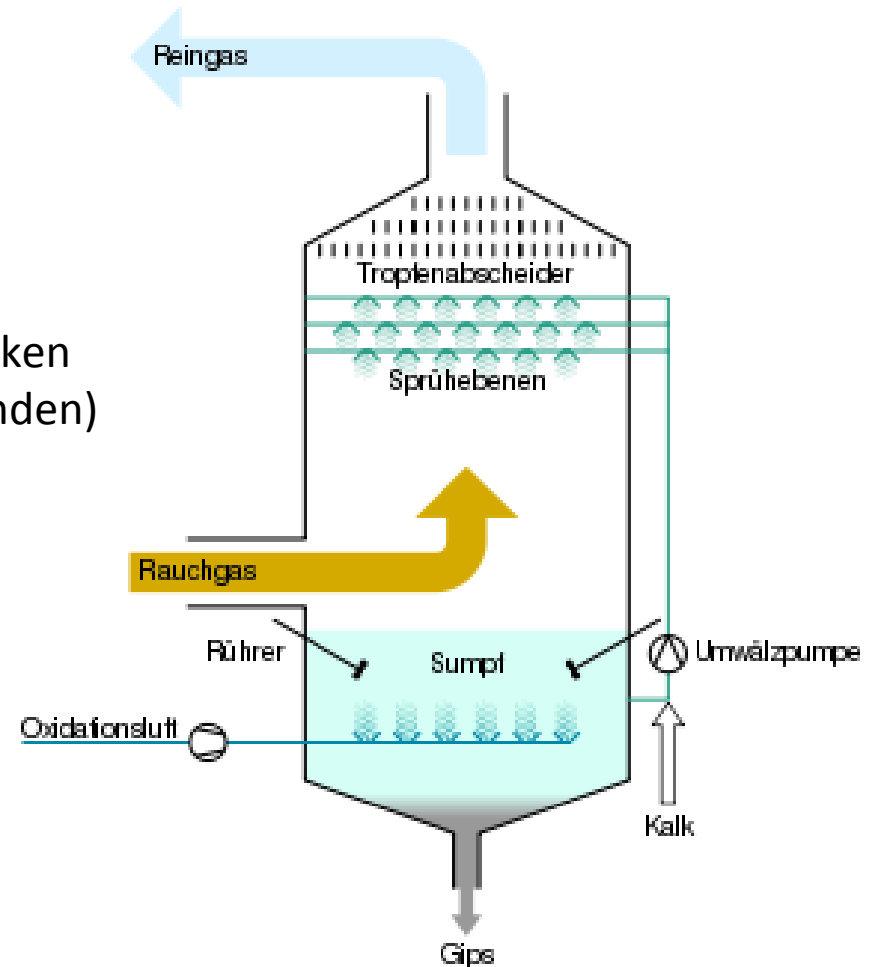


Homestake, Endeavour Krater, Mars

Gips: Bildung

Rauchgasentschwefelung

REA-Gips aus der **Rauchgas**Entschwefelung von Kohle- oder Müllverbrennungskraftwerken (SO_2 und SO_3 werden mit „Kalkmilch“ gebunden)



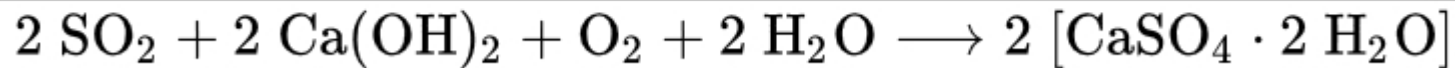
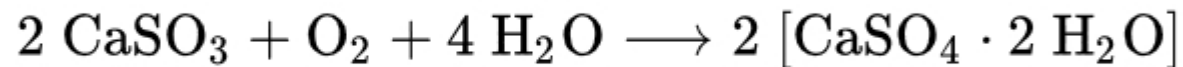
Gips: Bildung

Rauchgasentschwefelung



Gips: Bildung

Rauchgasentschwefelung



Gips

- **Charakterisierung**

Chemie

Kristallographie

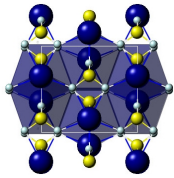
Bildung

Quellreaktion

- **Technik**

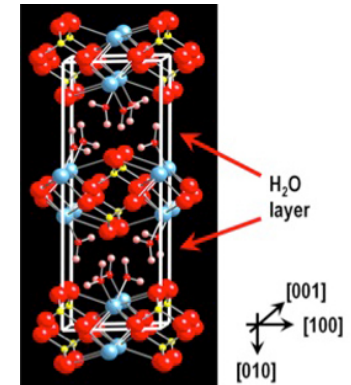
Baustoff (Trockenbau)

Anhydrit: Quellreaktion



Anhydrit → Wasseraufnahme → **Gips**

- nicht ohne weiteres reversibel
(im Gegensatz zu Tonmineralen)
- Quellverhalten: Röntgenbeugung!



Anhydrit: Quellreaktion

„Der Anhydritproblem im Tunnelbau von Stuttgart 21 war bei der Genehmigung 2005 technisch nicht gelöst und Tunnel im Anyhdrit wurden möglichst vermieden. Die erst später erarbeitete und 2014 genehmigte, sehr komplizierte angepasste Tunnelbautechnik für 15,3 km S21-Tunnel in Anhydrit (unausgelaugter Gipskeuper) ist technisch unerprobt und ohne jegliche Langzeiterfahrung.“

<https://www.geologie21.de/geologie-stuttgart/untergrund-schwierig-stuttgart21.html>

Anhydrit: Quellreaktion

Anbohren von Gipskeuper in Staufen/Breisgau für Geothermie untersagt:



Gips

- **Charakterisierung**
 - Chemie
 - Kristallographie
 - Bildung
 - Quellreaktion
- **Technik**
 - Baustoff (Trockenbau)

Gips: Technik

Brennen von Gips

(120-130 °C):

Gips gibt Teil seines Kristallwassers ab und geht in das Halbhydrat $\text{CaSO}_4 \times 0,5 \text{ H}_2\text{O}$ über.



Vermischt man das entstandene Halbhydrat später wieder mit Wasser, bildet sich innerhalb von Minuten unter Erhärten der Masse das Dihydrat (Gips) zurück (Abbindeprozess).

Anwendung: Modellgips, Putzgips, Gipskartonplatten.

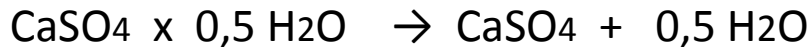
→ Im Handel erhältliche „Gips“ ist also eigentlich nicht Gips, sondern Calciumsulfat-Halbhydrat, das dann bei Gebrauch Gips bildet.

Gips: Technik

Brennen von Gips

Temperaturen > 200 °C:

gesamtes Kristallwasser wird abgegeben → Bildung des wasserfreien Salzes (**Anhydrit**)

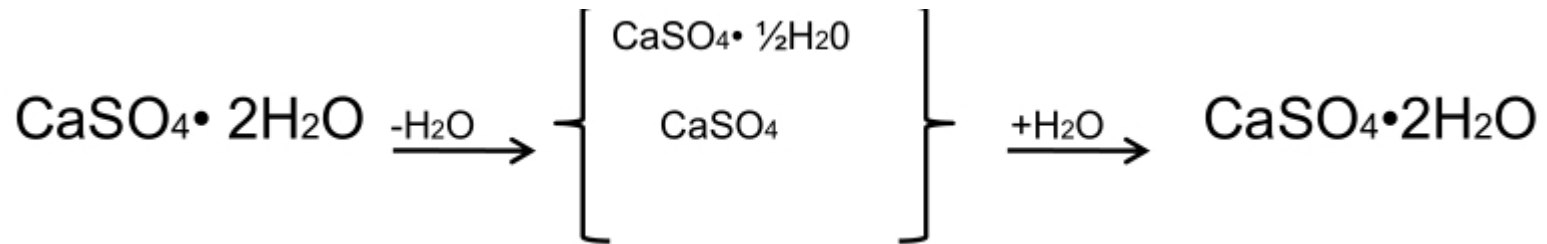


Anhydrit bindet langsamer als Halbhydrat zu Gips, das Produkt weist aber eine höhere Härte auf (Verwendung u.a. für Fußböden (Estrichgips)).

Anhydrit auch als:

- Beigabe Zement
- Abbindezögerer bei Verfestigung von Beton

Gips: Technik



Dehydration

abbindefähige Modifikation
(Hemihydrat)

Rehydratation (Abbinden)

Gips: Technik



Gipskartonplatten im „Trockenbau“

(Gips ist brandhemmend)

Gips

