

3.2 Korrosion zementgebundener Baustoffe

- Lösender Angriff

Lösender Angriff auf Beton u. a. zementgebundene Baustoffe durch

- Säuren
- kalklösende Kohlensäure
- austauschfähige Salze
- weiches Wasser
- Fette und Öle

Oberflächliche Umwandlung und Abtrag von schwerlöslichen in leichtlösliche Verbindungen

Betonaggressivität von Wässern nach DIN 4030

Parameter	Angriff			
	schwach	stark	sehr stark	Art
pH-Wert	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5	L
CO ₂ in mg/L	15 - 30	30 - 60	> 60	L
NH ₄ ⁺ in mg/L	15 - 30	30 - 60	> 60	L
Mg ²⁺ in mg/L	100 - 300	300 - 1500	> 1500	L, T
SO ₄ ²⁻ in mg/L	200 - 600	600 - 3000	> 3000	T

L = lösender Angriff

T = treibender Angriff

Angriff durch Säuren

Starke Säuren (H_2SO_4 , HNO_3 , HCl) lösen alle Hydratationsprodukte des Zementsteins auf

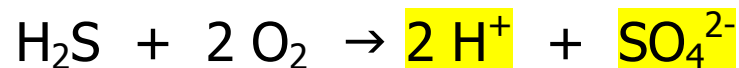


CSH-Phase, schwer löslich

leicht löslich

→ in sauren Abwässern

→ Bildung aus H_2S durch Schwefelsäurebakterien
in Abwasserrohren



→ in der Luft aus SO_2 , NO_x

→ durch nitrifizierende Bakterien aus
 NH_3 , NH_4^+ oder $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$

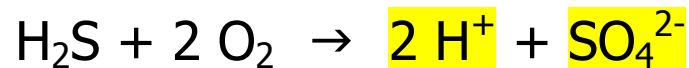


nitrifizierende Bakterien bis in
15 cm Tiefe des Sandsteins
→ Auflösung des CaCO_3

Biogene Schwefelsäurekorrosion (BSK)

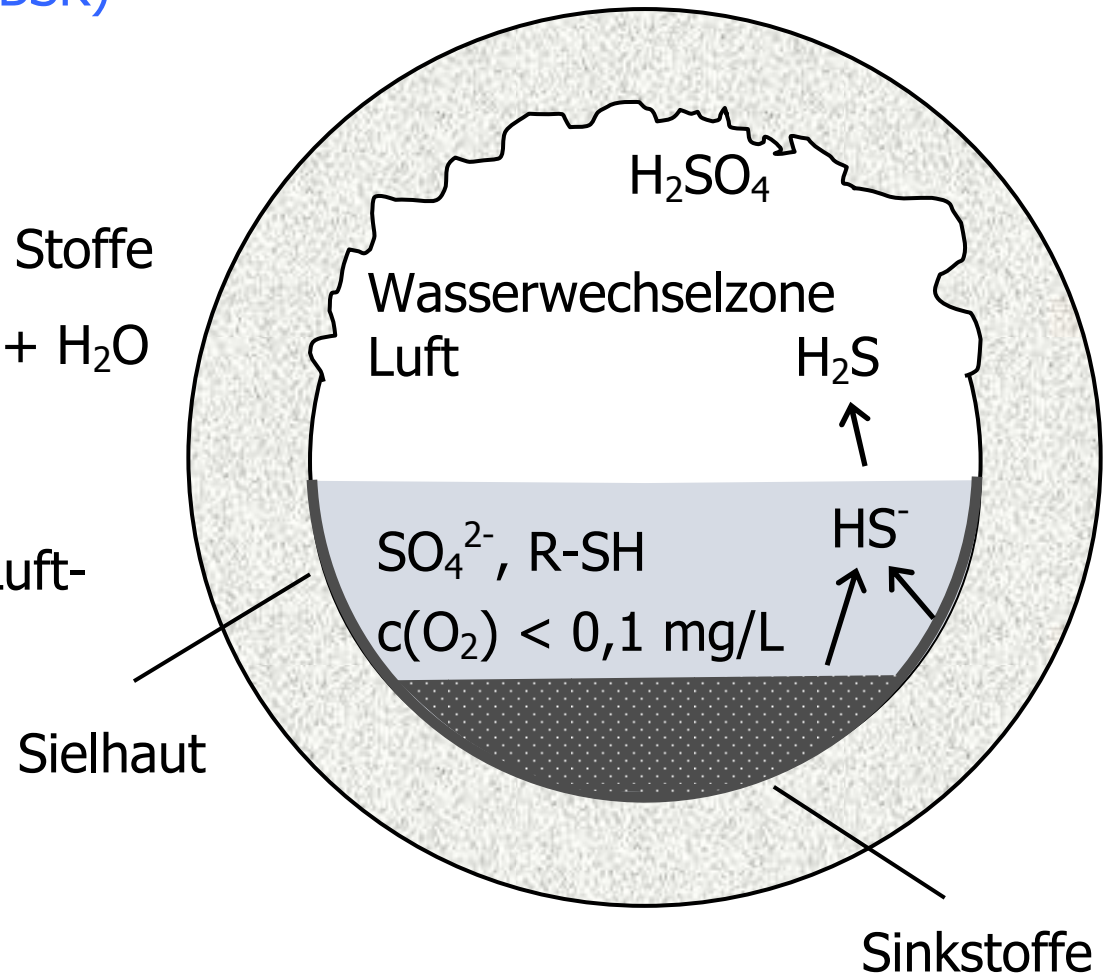
Anaerober Bereich - SOB¹⁾,
Sulfatreduktion in Gegenwart org. Stoffe
Org. Stoffe + $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{S}^{2-} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Aerober Bereich - SRB²⁾,
 H_2S -Oxidation in Gegenwart von Luft-
sauerstoff



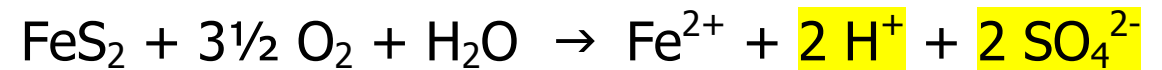
bewirkt lösenden (0,5 - 10 mm/a)
und treibenden Angriff

¹⁾ schwefeloxidierende Bakterien ²⁾ sulfatreduzierende Bakterien



Grubenwässer in Erz- und Braunkohlegebieten

Aus den Grundgesteinen Pyrit und Markasit wird durch Verwitterung und mikrobielle Umsätze Säure freigesetzt. Die Seen weisen vielfach pH-Werte zwischen 2,3 und 3,5 auf!



Schwache Säuren (Huminsäuren, Milchsäure, Fruchtsäure, Kohlensäure)

→ greifen nur reine Calciumverbindungen an, z. B. CaCO_3 und Ca(OH)_2

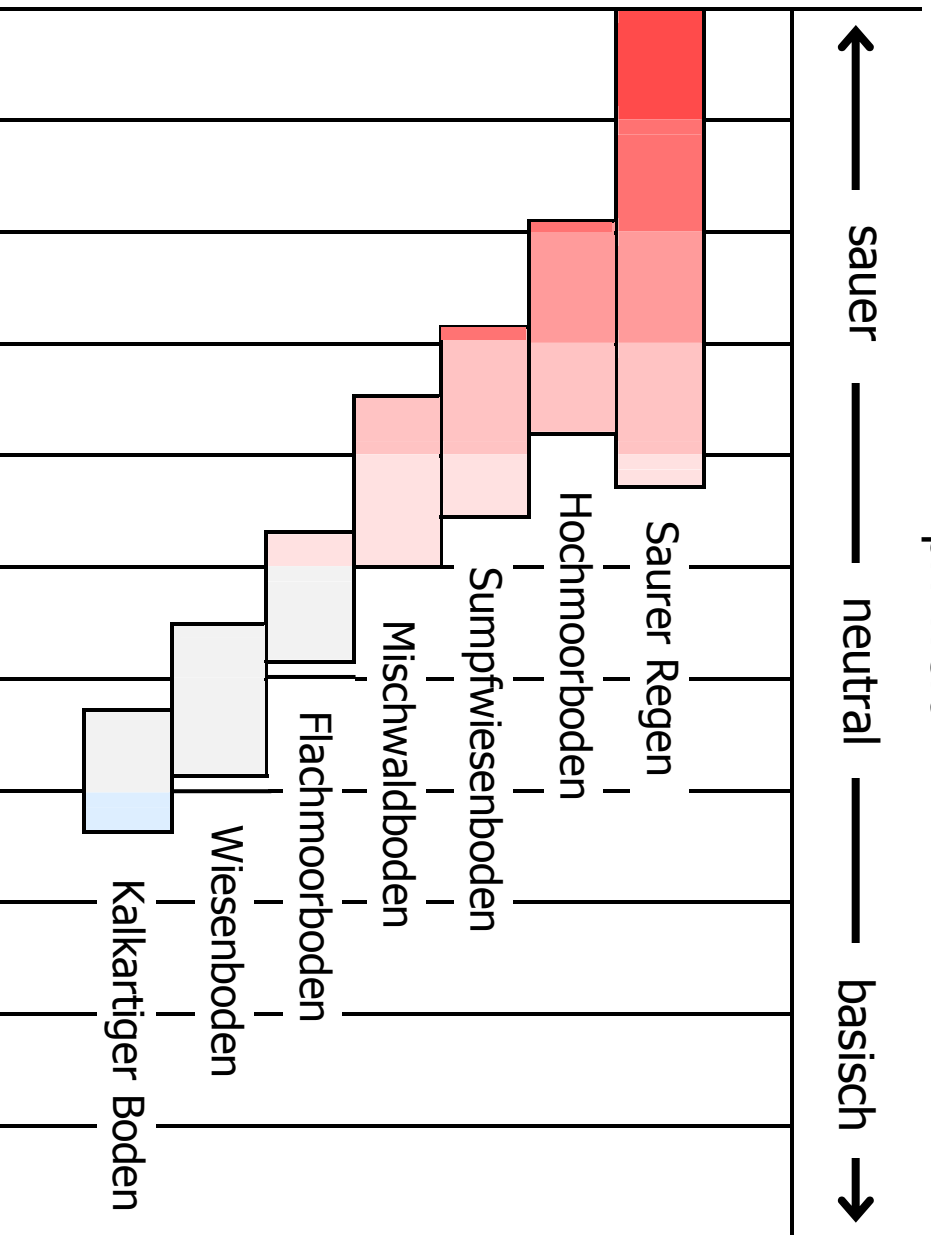
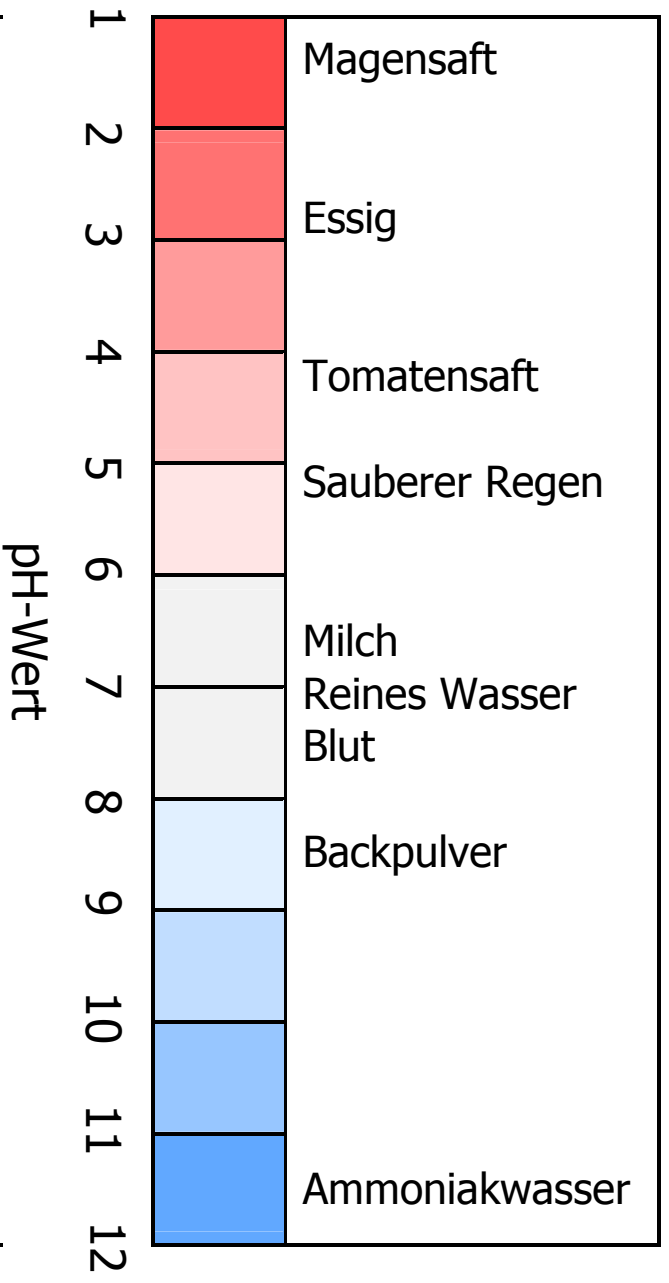
→ in Böden (Huminsäuren in Humus, Torf, Braunkohle)



→ in Moorwässern

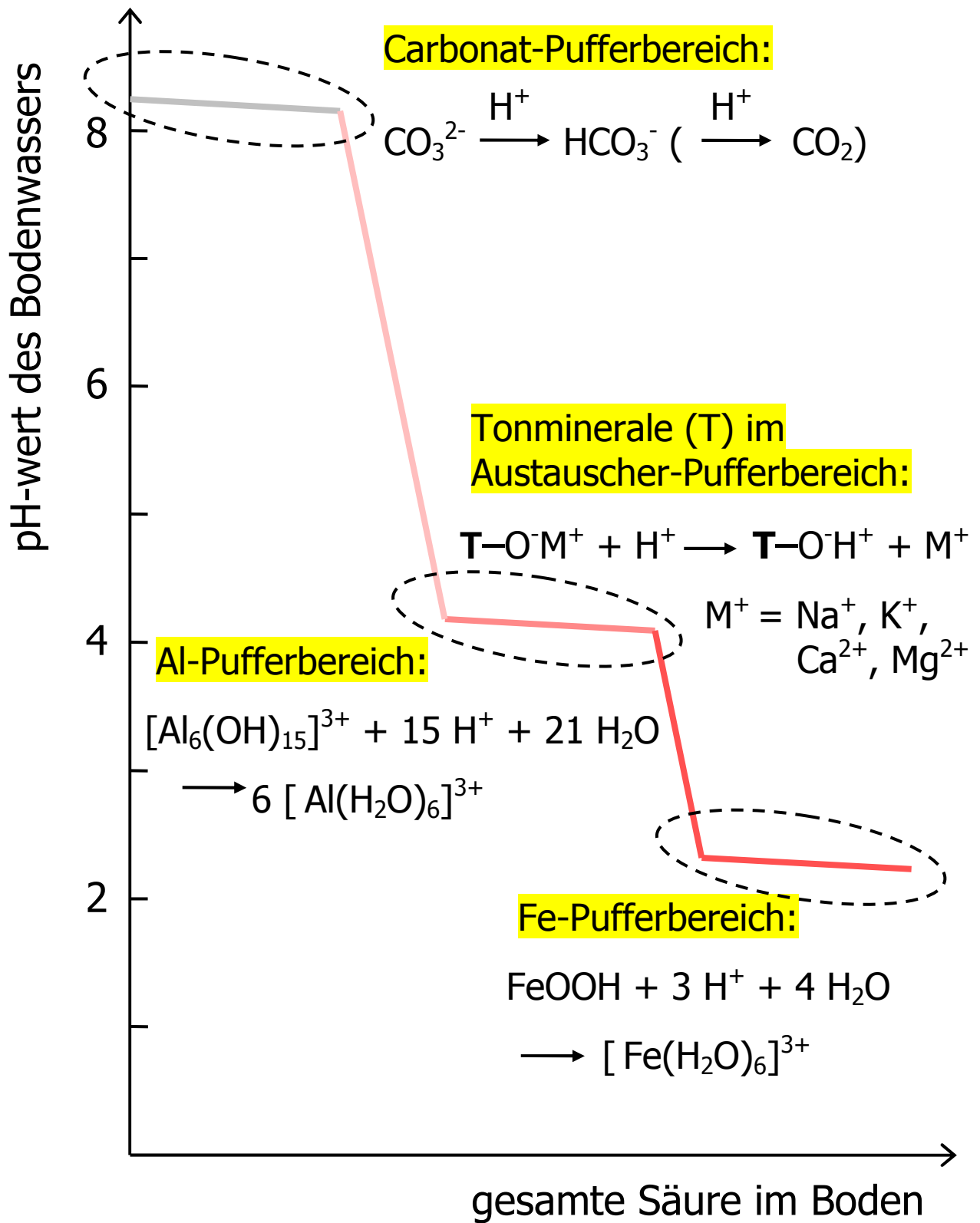
→ Molkereien, Lebensmittelindustrie

Bodenreaktion und pH-Werte verschiedener mitteleuropäischer Böden¹⁾



¹⁾Enslinn, Krahn, Skupin, 2000

pH-Wert-Veränderung im Bodenwasser bei fortgesetztem Eintrag von Säure (*Bliefert, 2002*)



Säurefeste Fußböden

→ Fußbodenbeschichtung,
Stoffauswahl entsprechend Beanspruchung

Epoxidharz

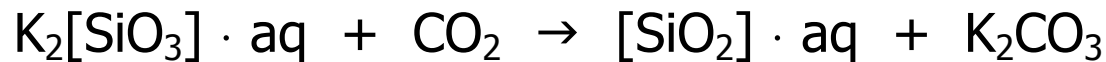
Vinylesterharz

→ keramische Platten,
Problem Fugenmörtel

Furanharzkitte

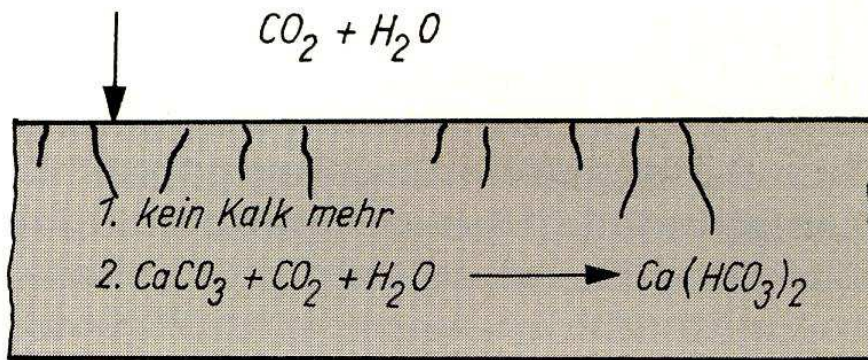
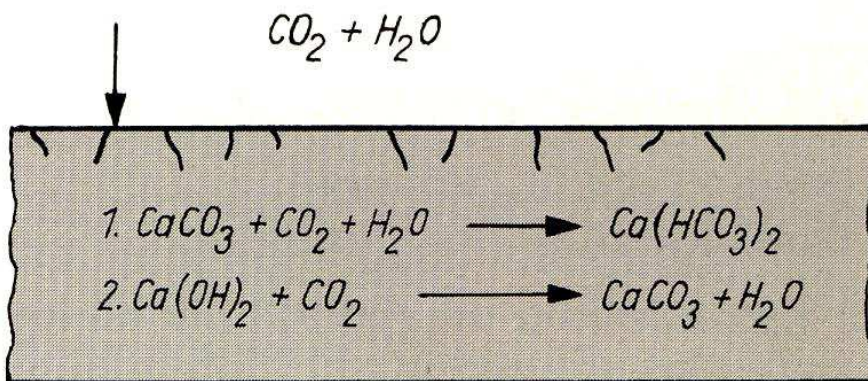
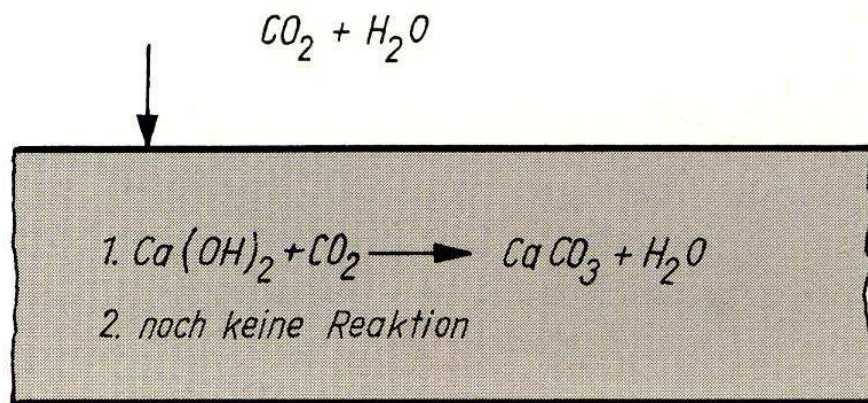
Keine Verwendung von zementhaltigem Fugenmörtel

Mörtel auf Basis Kaliwasserglas als Bindemittel (Füllstoff Quarz, Steinkohlenflugasche, enthält amorphes SiO_2 u. a. Oxide)

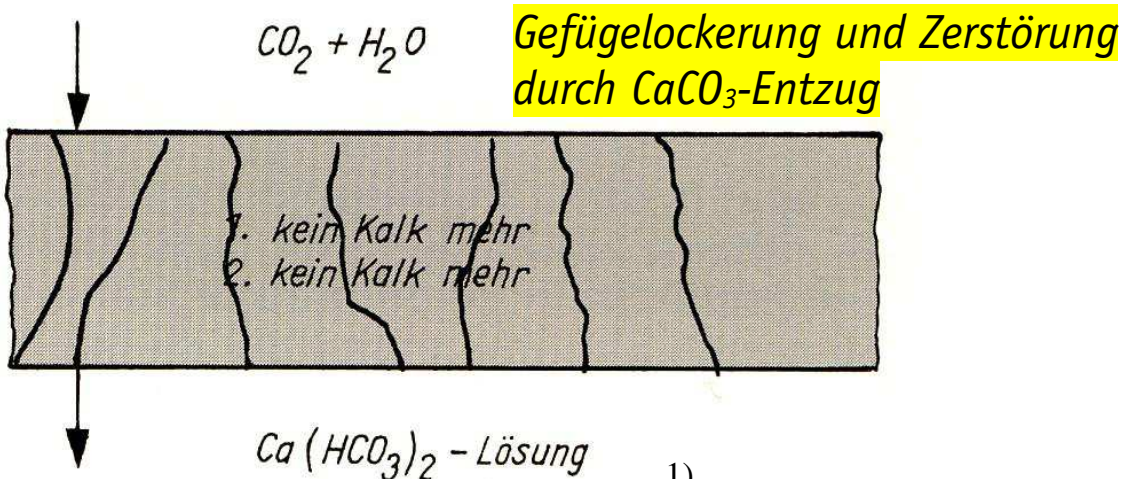


→ Reinigung mit Heißwasser und Industriereiniger (pH-Wert beachten!)
Empfindlichkeit gegen Reinigungsmittel und Alkalien!

Angriff von kalklösender Kohlensäure¹⁾



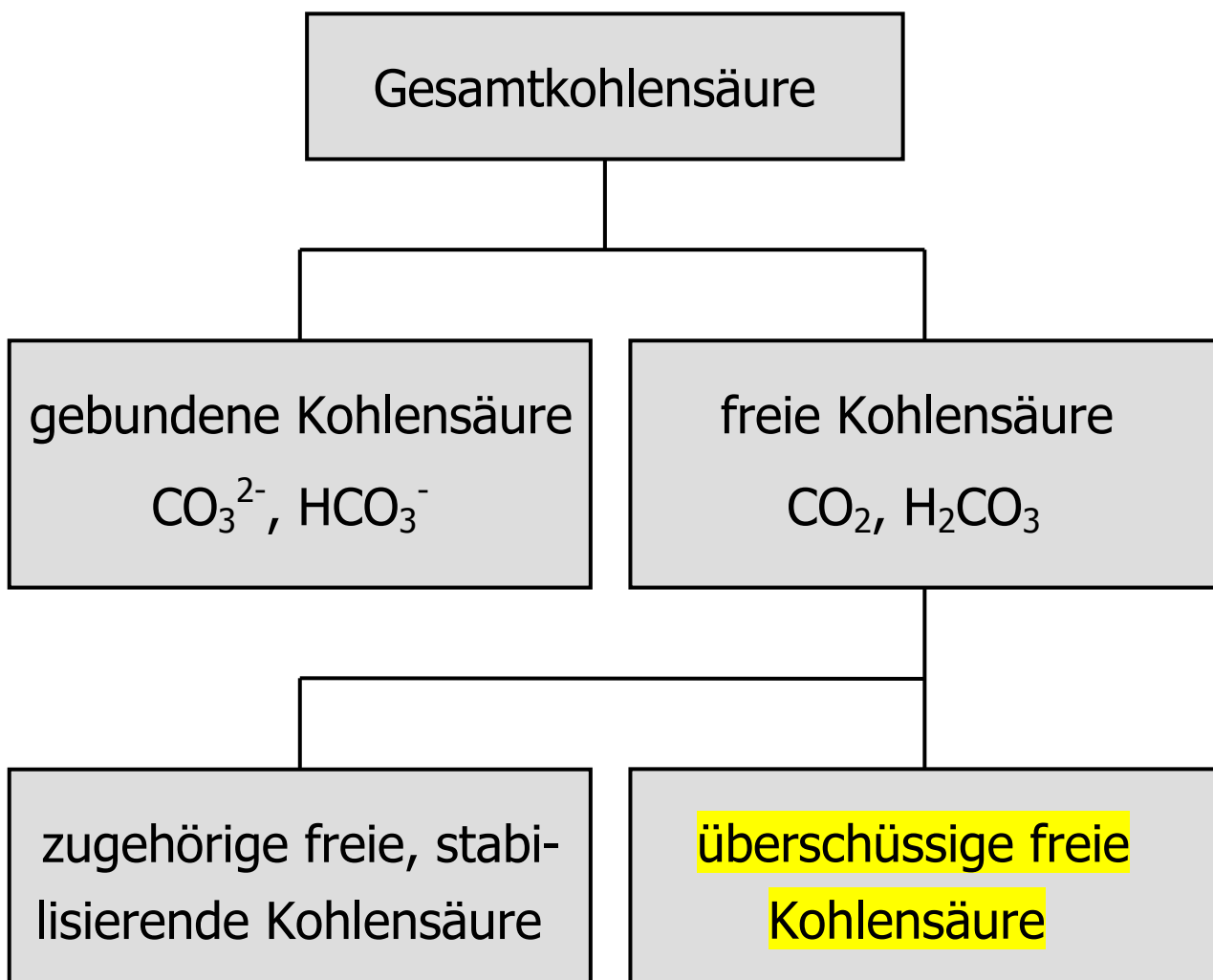
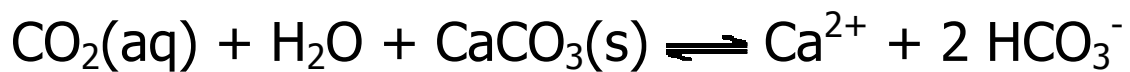
↓ $Ca(HCO_3)_2$ - Lösung



¹⁾ Henning, Knöfel, 2002

Angriff von überschüssiger, freier Kohlensäure

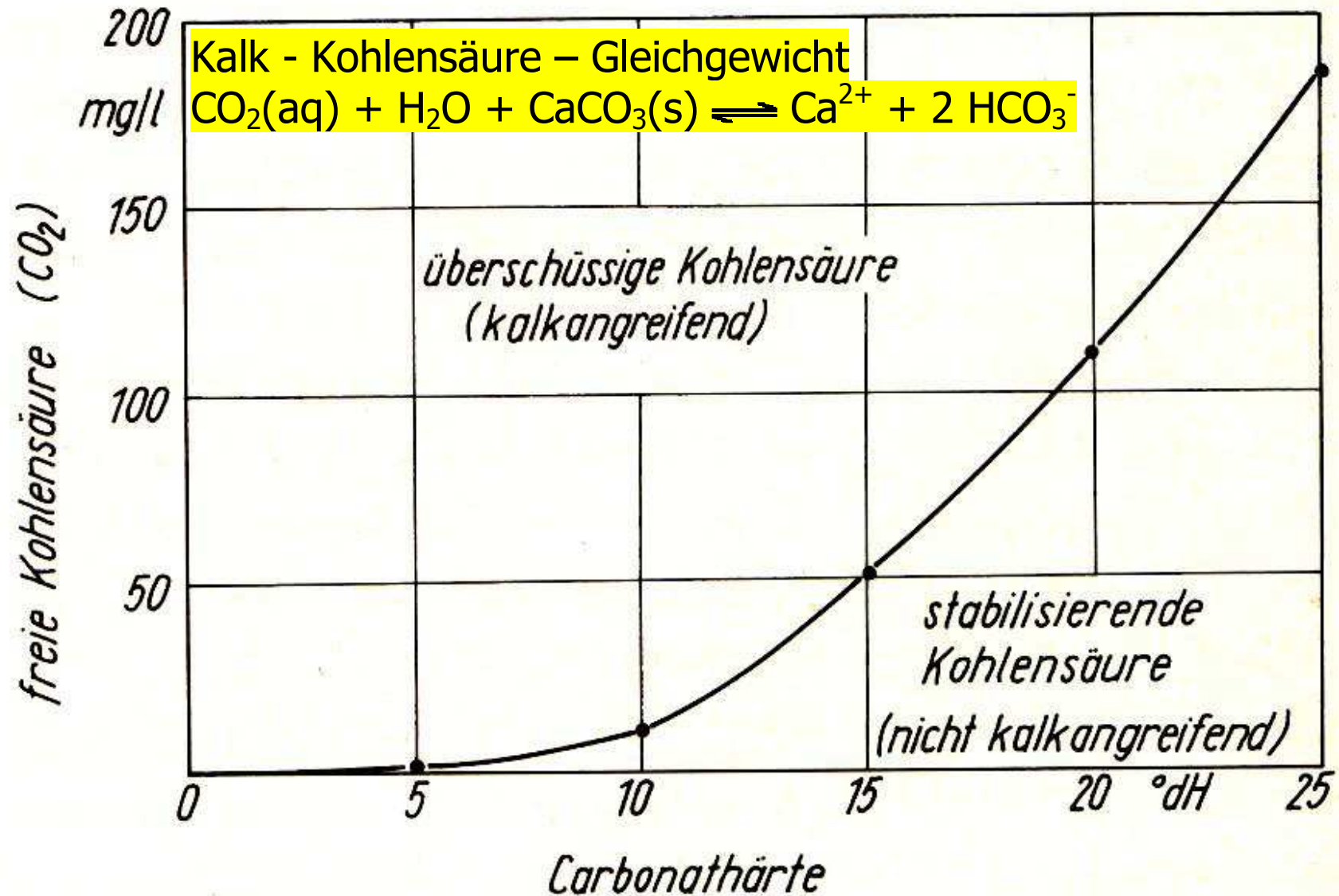
Kalk - Kohlensäure – Gleichgewicht



Je höher die Wasserhärte, um so mehr zugehörige, freie (stabilisierende) Kohlensäure ist erforderlich, um das Hydrogencarbonat in Lösung zu halten.

In hartem Wasser wirkt erst ein höherer Gehalt an freier Kohlensäure schädigend als in weichem Wasser.

Zusammenhang zwischen überschüssiger und stabilisierender Kohlensäure¹⁾

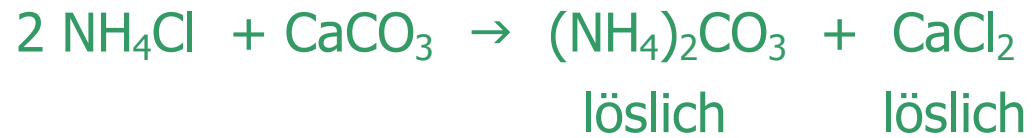
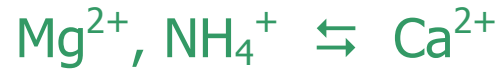


¹⁾ Henning, Knöfel, 2002

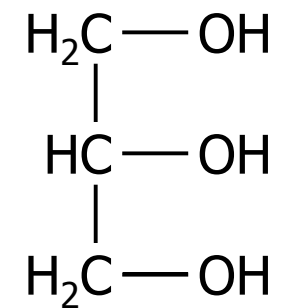
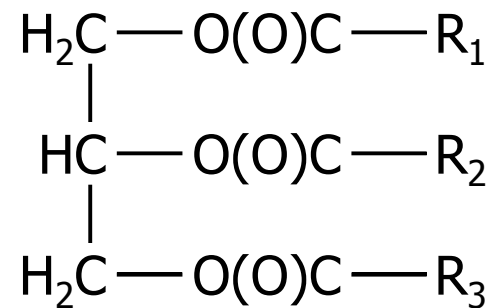
Verhinderung der Schutzschichtbildung

Ausbildung von *Kalk-Rost-Schutzschichten* (FeCO_3 , Fe_2O_3 , CaCO_3) nur in sauerstoffhaltigen, nicht zu weichen, fließenden Wässern (Wasserleitungsrohren).

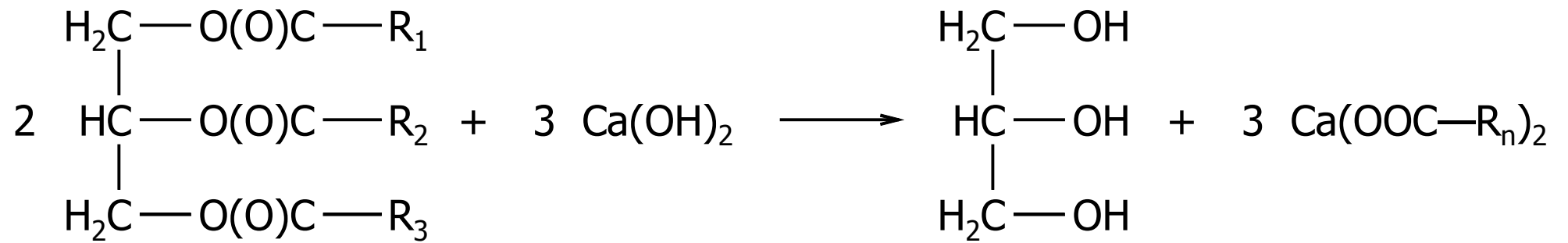
Austauschfähige Salze



Fette und Öle



Verseifung von Fetten



Ca-Seife

- Treibender Angriff

Prinzip der Rissbildung durch schädliche Treiberscheinungen:

- Eindringen von Stoffen in **erhärteten** Beton
- Chemische Reaktion mit vorliegenden festen Ausgangsstoffen (Mineralphasen)
- Volumen der Neubildung > Volumen der Ausgangsstoffes
- Entstehende Spannungen > Festigkeit des Betons

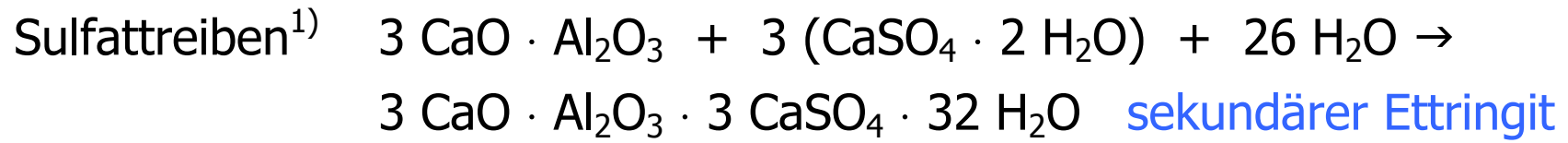
Wichtige Treibreaktionen

gelöste Sulfate + CAH
→ **Sulfattreiben**

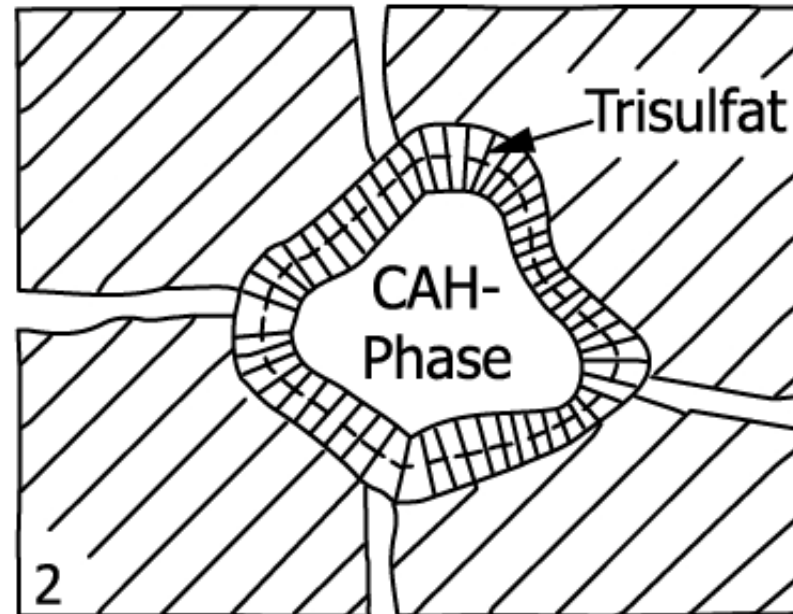
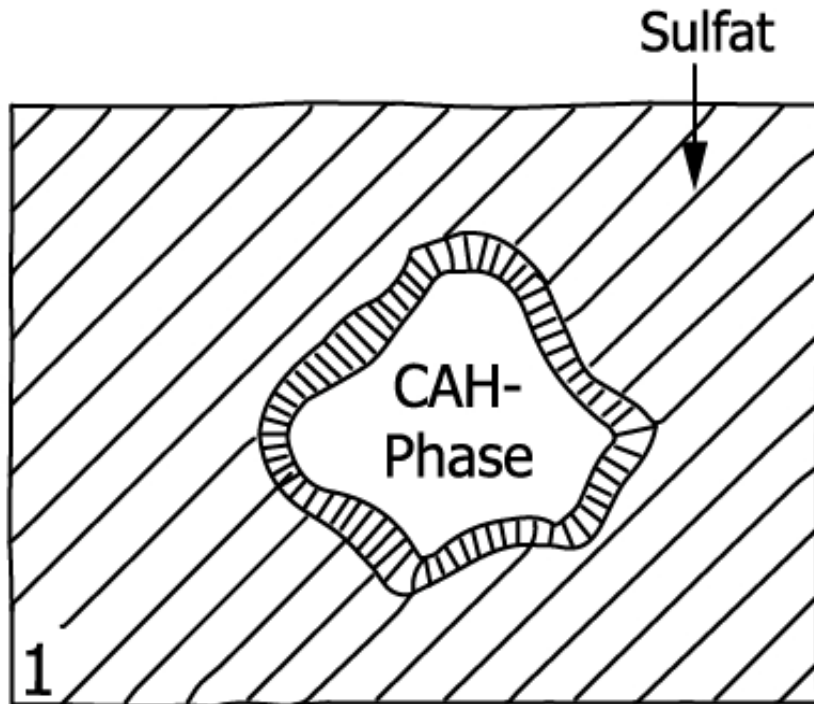
Wasser + CaO
→ **Kalktreiben**

Wasser + MgO
→ **Magnesiatreiben**

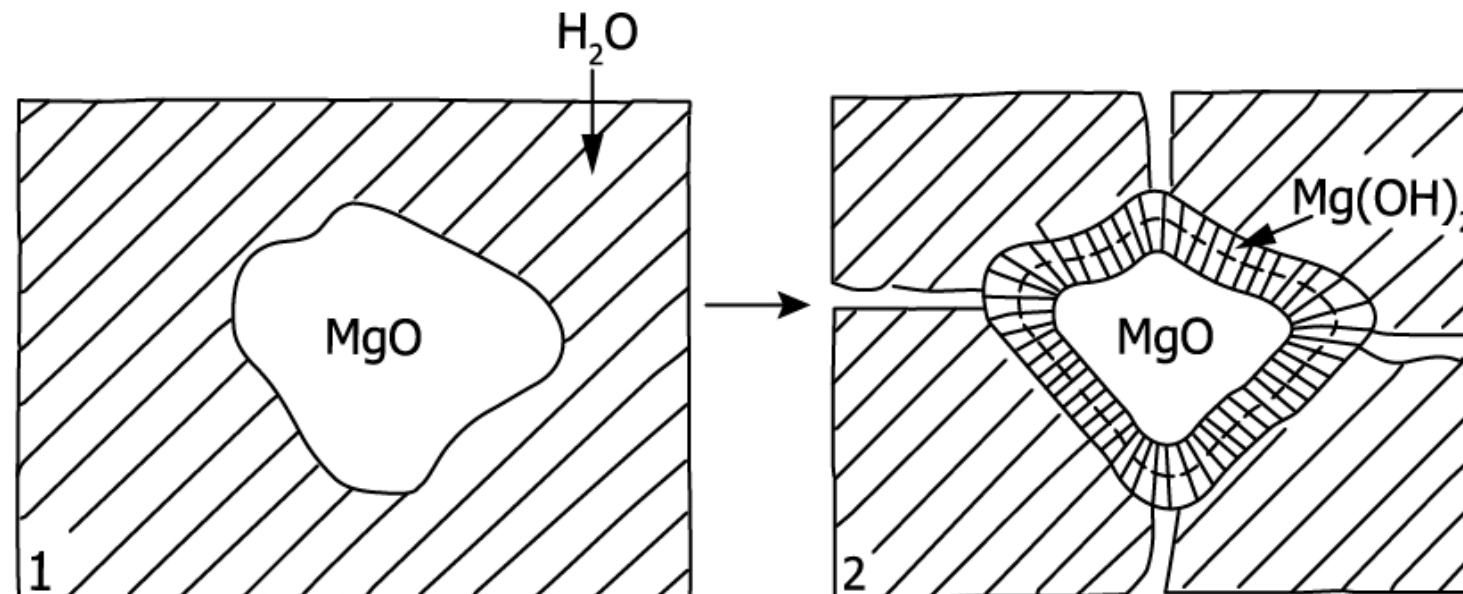
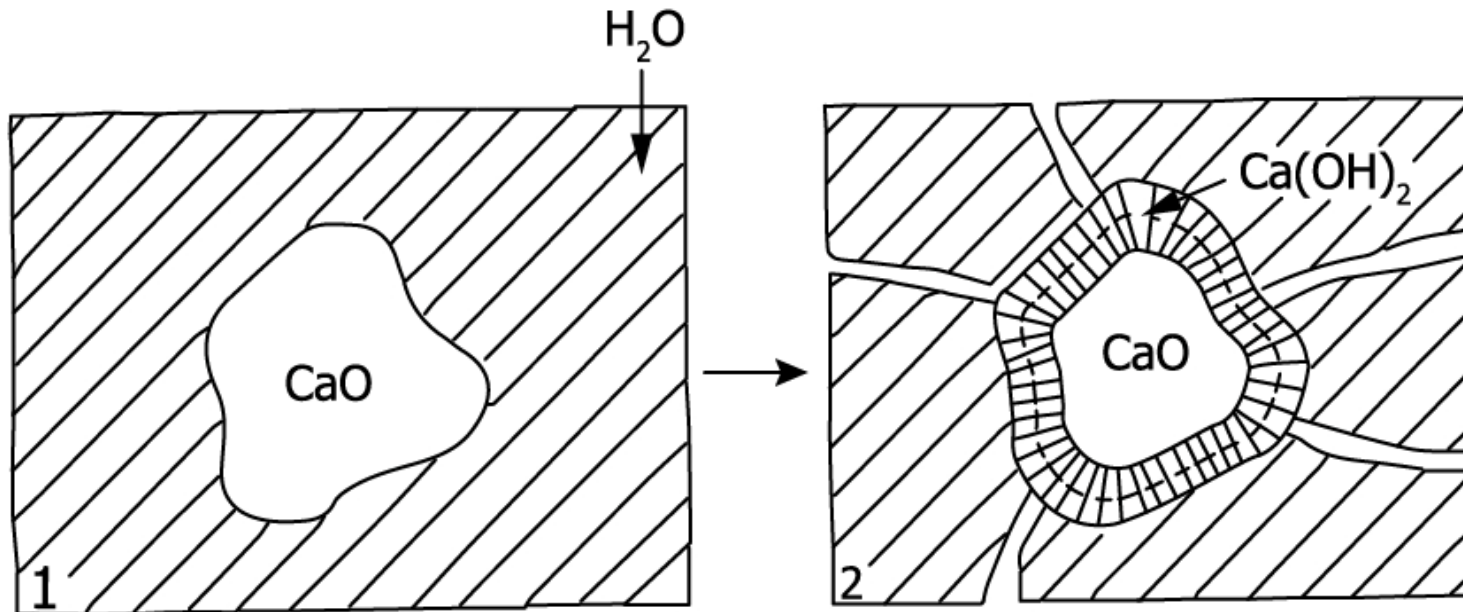
Wasser +
Alkalien des Zementes
Opal, Flint, Grauwacke
→ **Alkalitreiben (AKR)**



¹⁾nach Henning, Knöfel, 2002

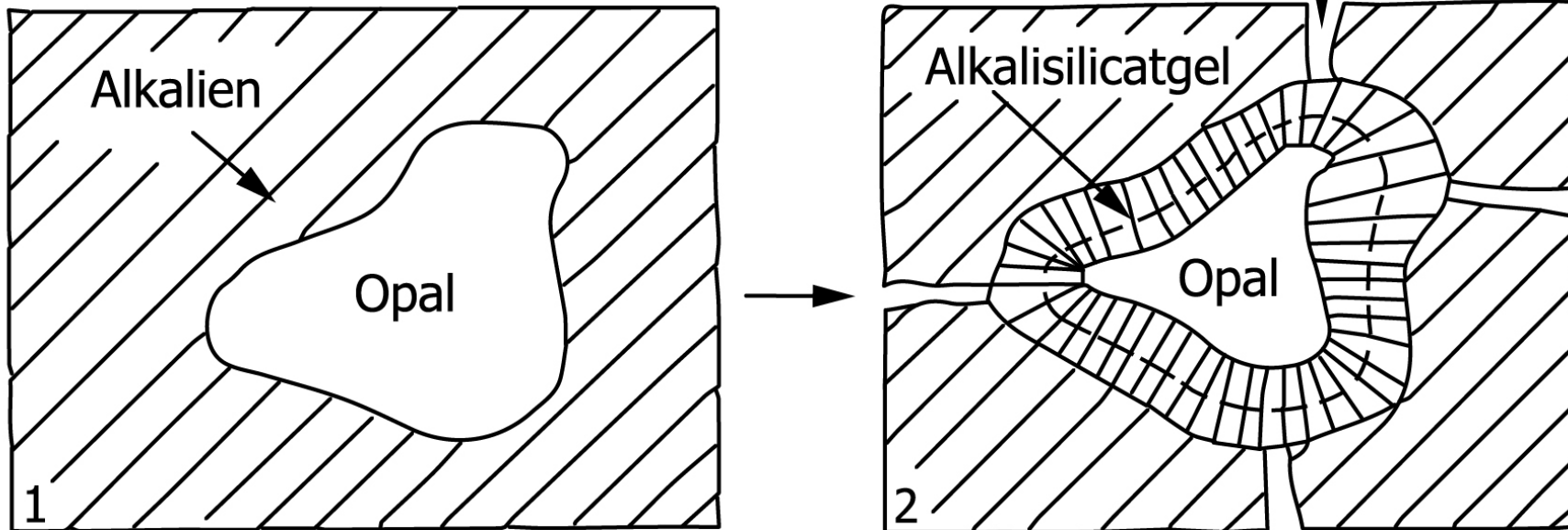


Kalk- und Magnesiatreiben¹⁾



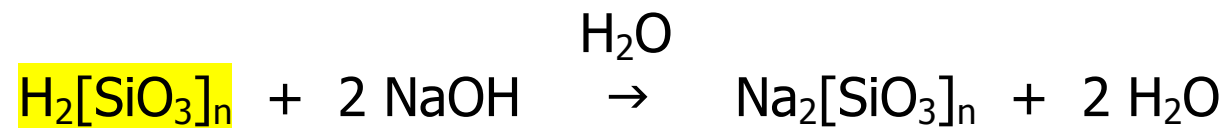
¹⁾nach Henning, Knöfel, 2002

Alkalitreiben¹⁾ (Alkali-Kieselsäure-Reaktion, AKR)



¹⁾nach Henning, Knöfel, 2002

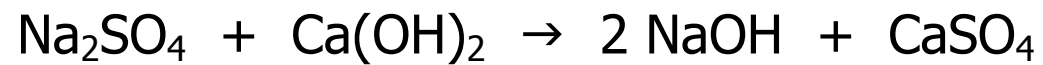
Alkaliempfindlicher Zuschlag
Einsatz von NA-Zement →
CEM I mit $\leq 0,6$ % Na₂O-Äqui-
valent,
CEM III mit höherem Na₂O -
Äquivalent, fein aufgemahlen



Alkaliempfindliche Zuschläge enthalten **amorphe Kieselsäure**

Flinte, Opalsandstein, präkambrische Grauwacke, gebrochener Quarzporphyr

Auch Alkalisalze können zum Alkalitreiben führen, da sie sich mit Ca(OH)_2 zu Alkalihydroxiden umsetzen, z. B.:



DAfStb-Richtlinie "Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton" - Alkali-Richtlinie

Umwelteinflüsse → Feuchtigkeitsklassen (Angriffsgrad)

Feuchtigkeitsklasse	Abkürzung	Beispiele
trocken	WO	Innenbauteile Hochbau, Bauteile ohne Einwirkung von Niederschlag, Oberflächenwasser, Bodenfeuchte, keine ständige Einwirkung einer rel. LF > 80 %
feucht	WF	Ungeschützte Außenbauteile Innenbauteile, auf die Luft einer rel. LF > 80 % einwirkt Bauteile mit häufiger Taupunktunterschreitung, massige Bauteile, deren kleinstes Maß > 0,50 m ist
feucht + Alkali-zufuhr von außen	WA	Bauteile mit Meerwassereinwirkung Bauteile mit Tausalzeinwirkung ohne zusätzl. hohe dynam. Beanspruchung Bauteile (Industrie, Landwirtsch.) mit Alkalisalzeinwirkung
feucht + Alkali-zufuhr von außen + starke dynam. Beanspruchung	WS	Bauteile unter Tausalzeinwirkung mit zusätzlicher hoher dynam. Beanspruchung (z. B. Betonfahrbahnen)

Gesteinskörnung → Alkaliempfindlichkeitsklassen

Klasse	Gesteinskörnungen	Einstufung hinsichtlich AKR
E I-O	Opalsandstein (einschließlich Kieselkreide)	unbedenklich
E II-O		bedingt brauchbar
E III-O		bedenklich
E I-OF	Opalsandstein (einschließlich Kieselkreide) und Flint	unbedenklich
E II-OF		bedingt brauchbar
E III-OF		bedenklich
E I-S	gebrochene Grauwacke, gebrochener Quarzporphyr, gebrochener Oberrheinkies u. a. Körnungen	unbedenklich
E III-S		bedenklich

Vorbeugende Maßnahmen

Beton mit $z \leq 330 \text{ kg/m}^3$

Alkaliempfindlichkeitsklasse	Feuchtigkeitsklasse			
	WO	WF	WA	WS
E I-O	keine	keine	keine	Zemente mit begrenztem Alkaligehalt
E II-O	keine	keine	NA-Zement	Austausch der Gesteinskörnung
E III-O	keine	NA-Zement	Austausch der Gesteinskörnung	Austausch der Gesteinskörnung

Beton mit $z \geq 330 \text{ kg/m}^3$

Alkaliempfindlichkeitsklasse	Feuchtigkeitsklasse			
	WO	WF	WA	WS
E I-OF	keine	keine	keine	Zemente mit begrenztem Alkaligehalt
E II-OF	keine	NA-Zement	NA-Zement	Austausch der Gesteinskörnung
E III-OF	keine	NA-Zement	Austausch der Gesteinskörnung	Austausch der Gesteinskörnung

Alkalireaktionen mit
dolomithaltigem Zuschlag

