

Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

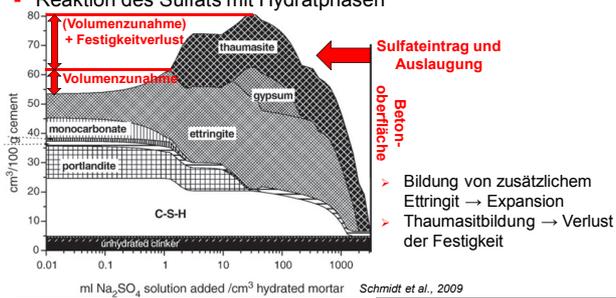
Inhalt des 1. Teils: Sulfatwiderstand

- Einführung
 - chemische Reaktion
 - Sulfatangriff am Bauwerk
- Prüfung nach SIA 262/1
 - Prinzip
 - Sulfatwiderstand verschiedener Betone

Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Chemische Reaktion

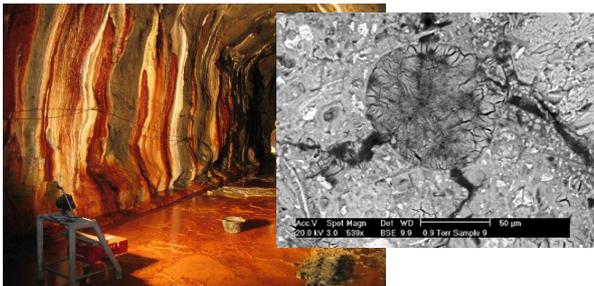
▪ Reaktion des Sulfats mit Hydratphasen



Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Sulfatangriff am Bauwerk: Sondierstollen Umfahrung Visp

▪ Spritzbeton



Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Sulfatangriff am Bauwerk: Gotschnatunnel

(CEM I HS + 10% Mikrosilika)



Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Sulfatangriff am Bauwerk: San Bernardino

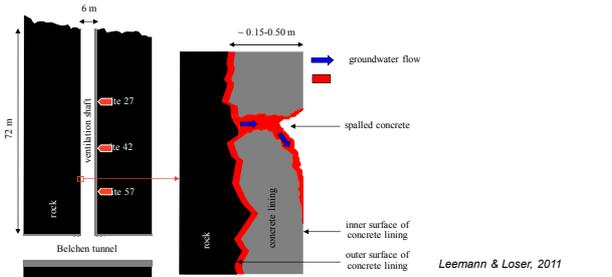
- Drainage



Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Sulfatangriff am Bauwerk: Belchentunnel

- vertikaler Belüftungsschacht aus Ortsbeton (CEM I HS)



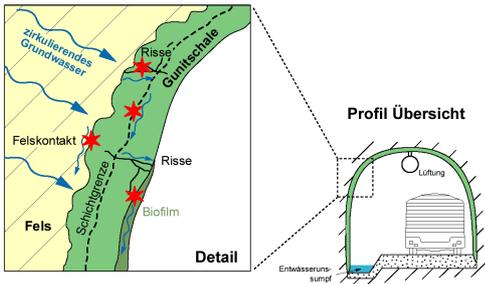
Leemann & Loser, 2011

Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand



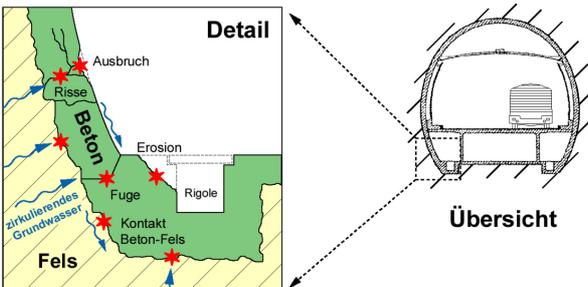
Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Sulfatangriff am Bauwerk: Situation Sulfatangriff in Tunnel



Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Sulfatangriff am Bauwerk: Situation Sulfatangriff in Tunnel



Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Prüfung nach SIA 262/1

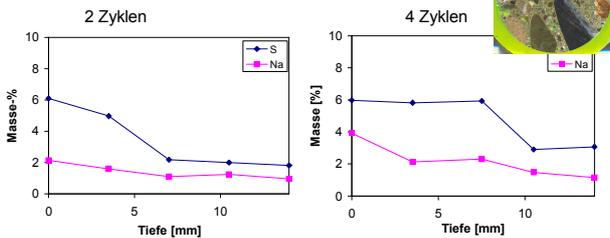
- Prüfung des Potentials zur Ettringitbildung
- Durchführung: Trocknung der Prüfkörper (\varnothing 28 mm, L = 150 mm) für 5 Tage bei 50 °C, Sättigen in Sulfatlösung (5% Na_2SO_4) für 2 Tage (4 Zyklen)
- 8 Wochen Lagerung in Sulfatlösung
- Messgrößen: Längen - und Massenänderung



Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Sulfateindringtiefe mit Elektronenmikroskopie:

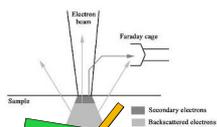
- CEM I HS, w/b = 0.60



- Sulfat dringt während Trocknung/Trankungszyklen ein
- Zusatzlagerung: wenig Sulfateintrag, aber Zeit für chem. Reaktion

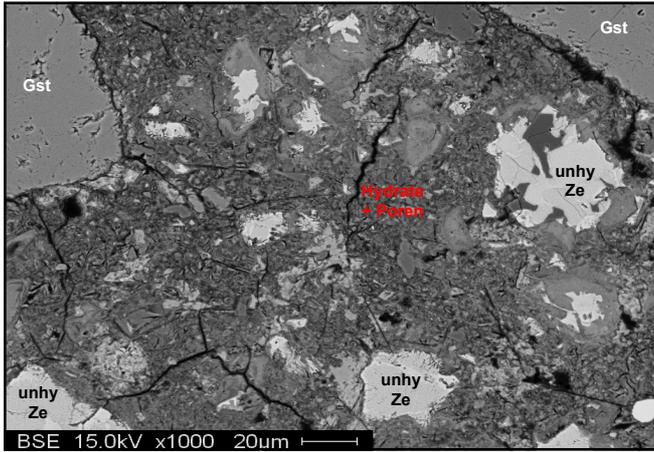
Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

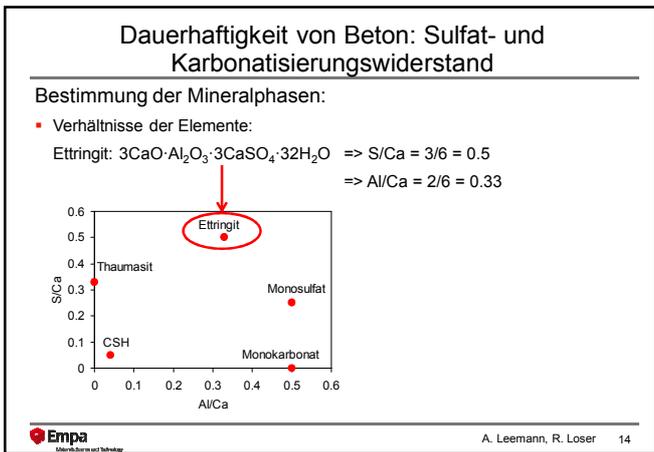
Sulfateindringtiefe mit Elektronenmikroskopie kombiniert mit energiesensitiver Röntgenspektroskopie (EDX):

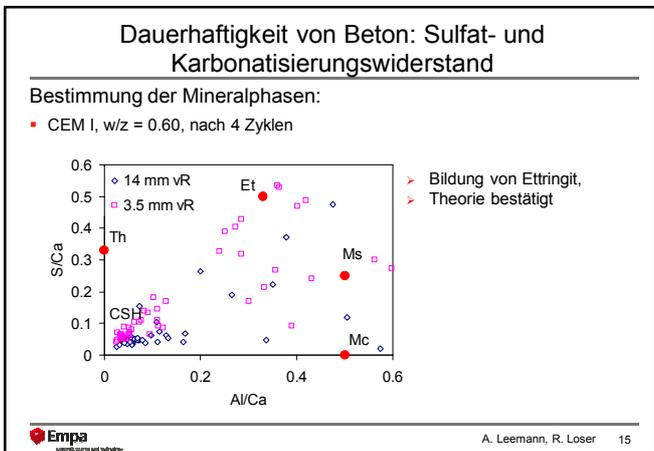


EDX Signal von verschiedenen Hydratphasen



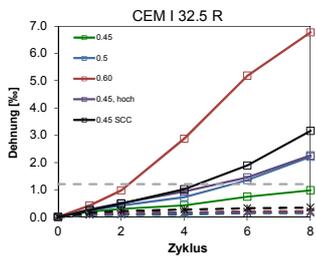






Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Einfluss w/z und Zementleimvolumen



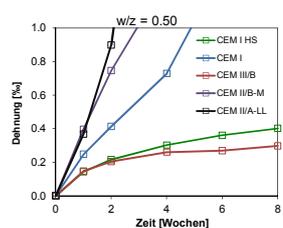
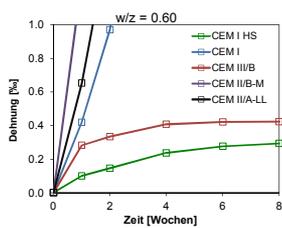
- Dehnung nimmt mit w/z und Zementsteinvolumen zu



A. Leemann, R. Loser 16

Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Einfluss w/z und Zementart



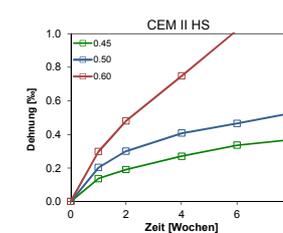
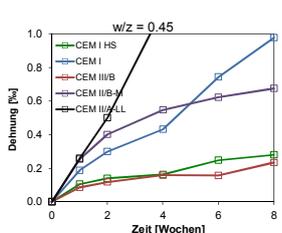
- Dehnung abhängig von Zementart und w/z
- HS Zement (weniger Aluminium → weniger Ettringit): widerstandsfähiger



A. Leemann, R. Loser 17

Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Einfluss w/z und Zementart



- sulfatbeständiger Beton ohne HS-Zement möglich
- nicht-sulfatbeständiger Beton aus HS-Zement möglich



A. Leemann, R. Loser 18

Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Inhalt des 2. Teils: Karbonatisierungswiderstand

- Einführung
- Karbonatisierungswiderstand
 - Schnellkarbonatisierung
 - Natürliche Karbonatisierung
- Karbonatisierungswiderstand von Recyclingbeton

Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Karbonatisierung von Mörtel und Beton



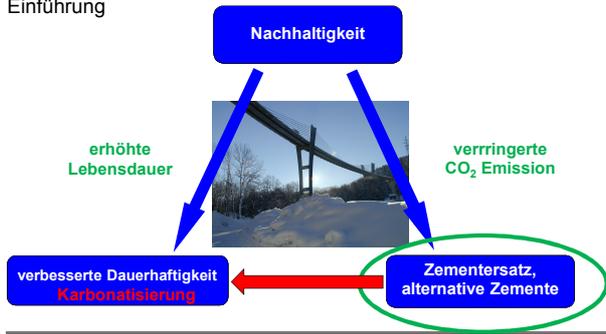
Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Inhalt des 2. Teils: Karbonatisierung

- Einführung
- Prüfung nach SIA 262/1
 - Prinzip
 - Karbonatisierungswiderstand verschiedener Betone
 - Karbonatisierungswiderstand von RC-Beton

Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

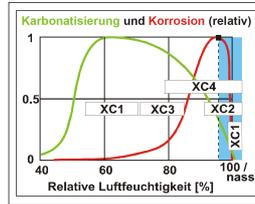
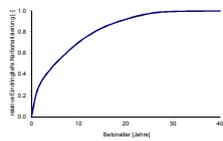
Einführung



Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Karbonatisierung

- $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_n + \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 (\text{g}) = \text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- abhängig von Feuchtegehalt des Betons
- Eindringgeschwindigkeit der Karbonatisierungsfront nimmt mit der Zeit ab
- pH-Wert in der Porenlösung sinkt ab
→ passiver Bewehrungsschutz wird aufgehoben → Bewehrungskorrosion



Hunkeler & Lammar, 2012

Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

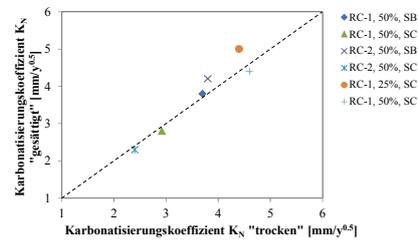
Korrosion infolge Karbonatisierung am Bauwerk



Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Resultate

Karbonatisierung



- kein messbarer Einfluss der Granulatsfeuchte auf Karbonatisierung

Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

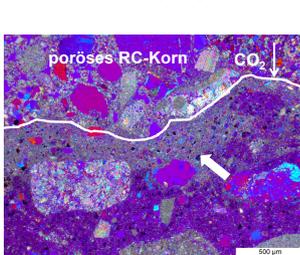
Problematik Recyclingbeton



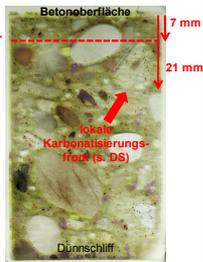
- poröses Betongranulat kann schneller karbonatisieren als neuer Zementstein
- bereits karbonatisiertes Betongranulat erhöht Karbonisierungstiefe (wenn es repräsentativ für Front betrachtet wird)
- karbonisiertes Betongranulat hat keine CO₂-Aufnahmekapazität und beschleunigt damit Fortschreiten der Front

Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Problematik Recyclingbeton



allgemeine
Karbonatisierungs-
front

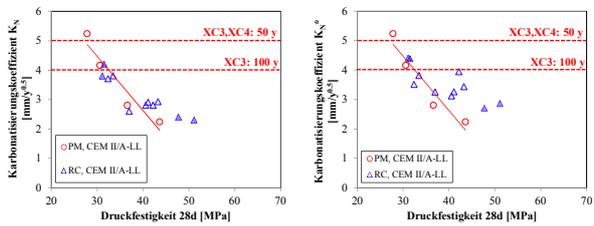


- Karbonatisierungs"zungen" durch poröse oder bereits karbonatisierte RC-Körner können Karbonisierungstiefe wesentlich erhöhen

Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Resultate

■ Karbonatisierung



- Berücksichtigung des karbonatisierten Betongranulates erhöht Werte um ca. 10%
- präzisierete Messung der Karbonatisierungstiefe wird in revidierter SIA berücksichtigt

Dauerhaftigkeit von Beton: Sulfat- und Karbonatisierungswiderstand

Schlussfolgerungen

- Karbonatisierung kann Bewehrungskorrosion auslösen (abhängig von Sauerstoff und Feuchte)
- Steuergrößen beim Karbonatisierungswiderstand des Betons sind
 - > w/z-Wert (bei gleicher Zementart)
 - > Zementart (Klinkeranteil des Zementes)
- in Recyclingbeton kann Karbonatisierungswiderstand reduziert sein
 - ➔ erhöhtes Vorhaltemass
