

## Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen



# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

---

## Inhalt

- Einführung
  - Prozess
  - Normative Situation
- Karbonatisierungswiderstand nach SIA
  - Schnellkarbonatisierung von Mörtel
  - Schnellkarbonatisierung von Beton
- natürliche Karbonatisierung von Beton
- Schlussfolgerungen

# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

## Bewehrungskorrosion am Bauwerk infolge Karbonatisierung

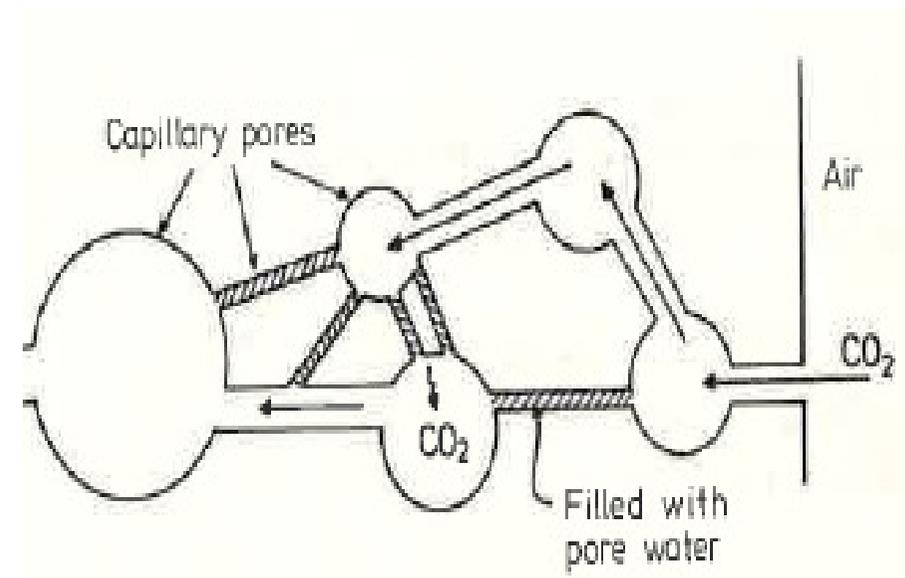
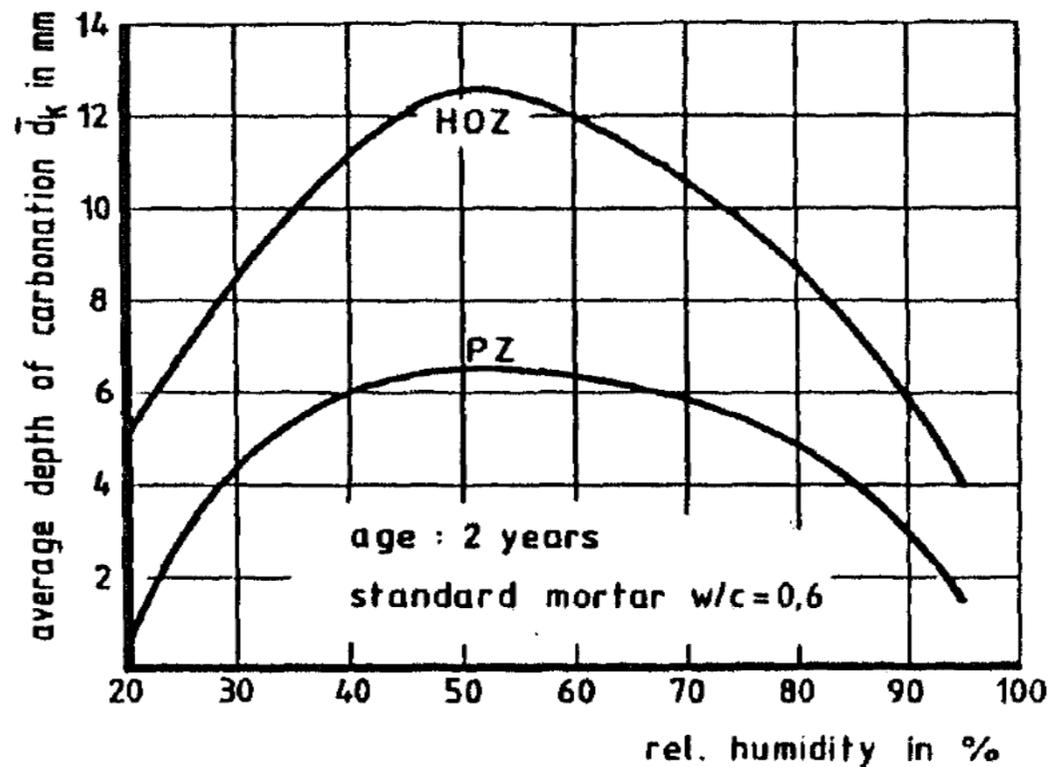


Bilder: R. Loser

# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

## Karbonatisierung

- $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} = \text{CaCO}_3 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- abhängig von Feuchtegehalt des Betons

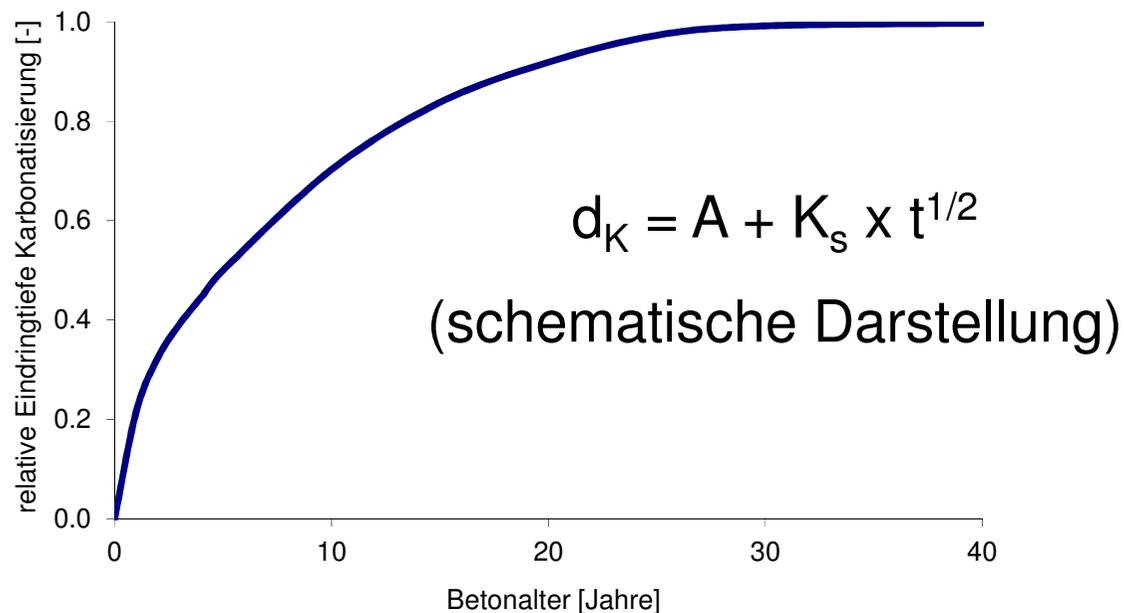


Tuutti 1982

# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

## Karbonatisierung

- $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 (\text{g}) = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- abhängig von Feuchtegehalt des Betons
- Eindringgeschwindigkeit der Karbonatisierungsfront nimmt mit der Zeit ab



# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

## Normative Situation: NA der SN EN 206-1

Bezeichnung Anforderungen	Sorte 0 (Null)	Sorte A	Sorte B	Sorte C	Sorte D (T1)	Sorte E (T2)	Sorte F (T3)	Sorte G (T4)
Expositionsklasse (Kombination der aufgeführten Klassen)	X0(CH)	XC2(CH)	XC3(CH)	XC4(CH), XF1(CH)	XC4(CH), XD1(CH), XF2(CH)	XC4(CH), XD1(CH), XF4(CH)	XC4(CH), XD3(CH), XF2(CH)	XC4(CH), XD3(CH), XF4(CH)
Maximaler w/z-Wert bzw. w/z <sub>eq</sub> -Wert [-]	--	0,65	0,60	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45
Mindestzementgehalt (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>a)</sup>	--	280	280	300	300	300	320	320
Dauerhaftigkeitsprüfungen <sup>d)</sup>	Keine	Keine	<sup>e)</sup> , KW	KW	KW, FT	KW, FT	CW, FT	CW, FT
Andere Anforderungen	SN EN 12620:2002 enthält Anforderungen an die Gesteinskörnungen							
<b>Zulässige Zementarten<sup>b)</sup></b>								
CEM I	+	+	+	+	+	+	+	+
CEM II/A-LL	+	+	+	+	+	+	+	+
CEM II/A-M (D-LL)	+	+	+	+	+	+	+	+
CEM II/B-LL <sup>c)</sup>	+	+	+	-	-	-	-	-
CEM II/A-D	+	+	+	+	+	+	+	+
CEM II/A-S	+	+	+	+	+	+	+	+
CEM III/A	+	+	+	+	-	-	-	-
CEM III/B	+	+	+	+	+	+	+	+
CEM II/A-M (V-LL) <sup>1)</sup>	+	+	+	+	+	+	+	+
CEM II/B-M (V-LL) <sup>1)</sup>	+	+	+	+	+	+	+	+
CEM II/B-T <sup>2)</sup>	+	+	+	+	+	+	+	+
CEM II/B-M (T-LL) <sup>3)</sup>	+	+	+	+	+	+	+	+
CEM II/B-M (S-LL) <sup>4)</sup>	+	+	+	+	+	+	+	+
CEM II/B-M (S-T) <sup>5)</sup>	+	+	+	+	+	+	+	+

# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

## Karbonatisierungswiderstand nach SIA 262/1

- Grenzwerte

Karbonatisierungswiderstand	50 Jahre <sup>2)</sup>	I	XC3 und XC4: $K_N \leq 5,0 \text{ mm}/\sqrt{\text{Jahr}}$	XC3 und XC4: $K_N \leq 5,3 \text{ mm}/\sqrt{\text{Jahr}}$
	100 Jahre <sup>2)</sup>		XC3: $K_N \leq 4,0 \text{ mm}/\sqrt{\text{Jahr}}$ XC4: $K_N \leq 4,5 \text{ mm}/\sqrt{\text{Jahr}}$	XC3: $K_N \leq 4,3 \text{ mm}/\sqrt{\text{Jahr}}$ XC4: $K_N \leq 4,8 \text{ mm}/\sqrt{\text{Jahr}}$

SIA 262/1

XC1	trocken oder ständig nass
XC2	nass, selten trocken
XC3	mässig feucht
XC4	wechselnd nass und trocken

SN EN 206-1

Bewehrungsüberdeckung $c_{nom}$ [mm]	Expositionsklasse gemäss Tabelle 1			
	2) Bewehrungskorrosion in karbonatisiertem Beton			
	XC1	XC2	XC3	XC4
Betonstahl	20		35	40
Spannstahl bzw. Spannglied	30		45	50

SIA 262

7

# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

---

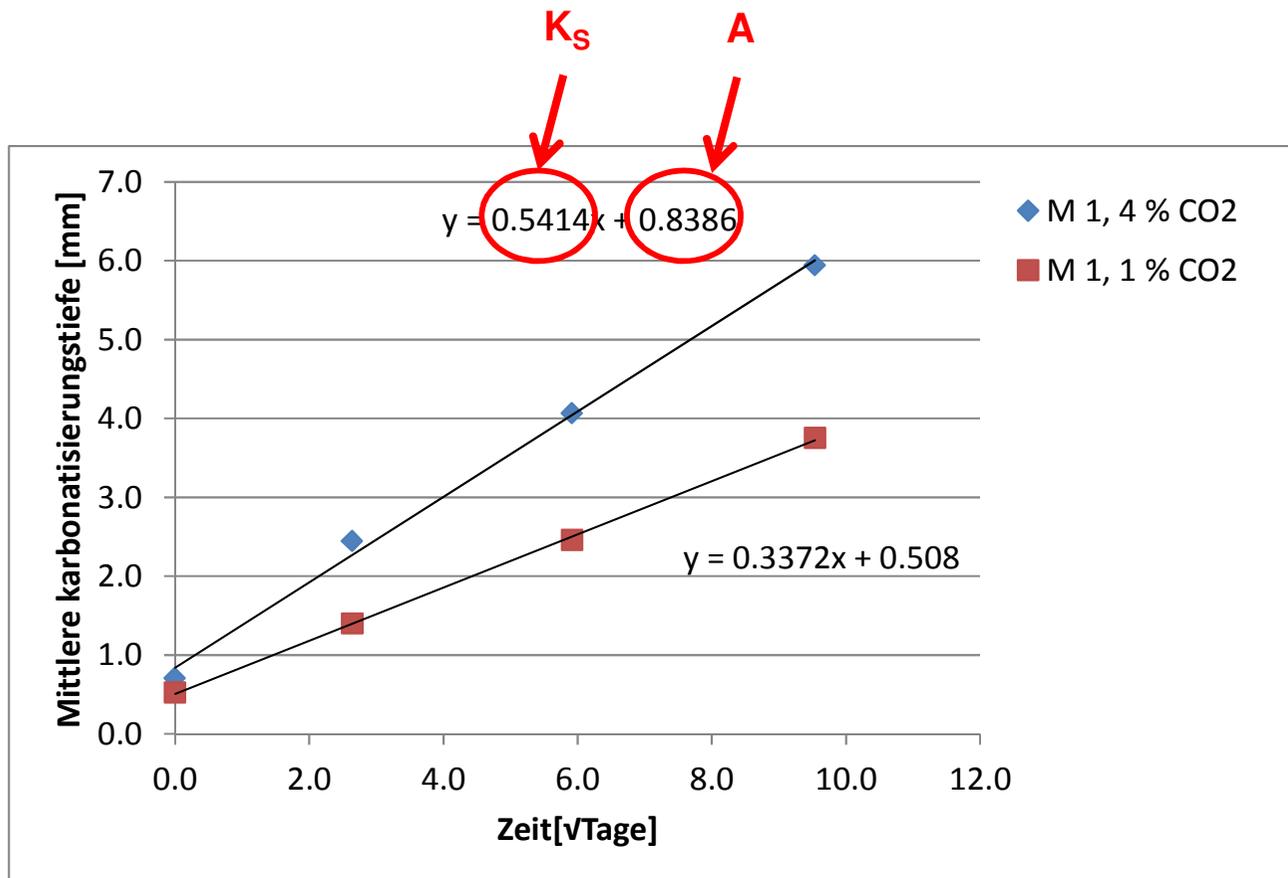
## Karbonatisierungswiderstand nach SIA 262/1

- Betonprismen herstellen und nach 24h ausschalen
- Wasserlagerung bis 3d
- “falls nötig, in trockenem Innenraum lagern”, bis 10d
- vorlagern bei 57% r.F. von 10-28d
- anschliessend Lagerung bei 4% CO<sub>2</sub> während 63 Tagen
- Bestimmung der Karbonatisierungstiefe zu bestimmten Zeitpunkten
- Berechnung des Karbonatisierungskoeffizienten  $K_S$  aus:  $d_K = A + K_S \cdot t^{1/2}$
- Umrechnung auf natürlichen CO<sub>2</sub>-Gehalt: Karbonatisierungskoeffizienten  $K_N$

# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

## Karbonatisierungswiderstand nach SIA 262/1

- $d_K = A + K_S \cdot t^{1/2}$



# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

## Karbonatisierungswiderstand nach SIA 262/1

- Betonprismen herstellen und nach 24h ausschalen
- Wasserlagerung bis 3d
- “falls nötig, in geschützten, trockenen Innenraum lagern”, bis 10d
- vorlagern bei 57% r.F. von 10-28d
- anschliessend Lagerung bei 4% CO<sub>2</sub> während 63 Tagen
- Bestimmung der Karbonatisierungstiefe zu bestimmten Zeitpunkten
- Berechnung des Karbonatisierungskoeffizienten  $K_S$  aus:  $d_K = A + K_S \cdot t^{1/2}$
- Umrechnung auf natürlichen CO<sub>2</sub>-Gehalt: Karbonatisierungskoeffizienten  $K_N$

$$K_N = a \cdot b \cdot c \cdot K_S = 2.6 \cdot K_S \quad (1.2)$$

$K_N$	Karbonatisierungskoeffizient unter natürlichen Bedingungen mit einem CO <sub>2</sub> -Gehalt von 0.04 Vol. % ,[mm/Jahr <sup>1/2</sup> ]		
$a$	Umrechnung von 1 Tag auf 1 Jahr:	$(365/1)^{1/2} =$	19.10
$b$	Umrechnung von 4.0 auf 0.04 Vol. % CO <sub>2</sub>	$(0.04/4.0)^{1/2} =$	0.10
$c$	Korrekturfaktor für die Schnellkarbonatisierung	1.36	

# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

## Versuchsmatrix Mörtel

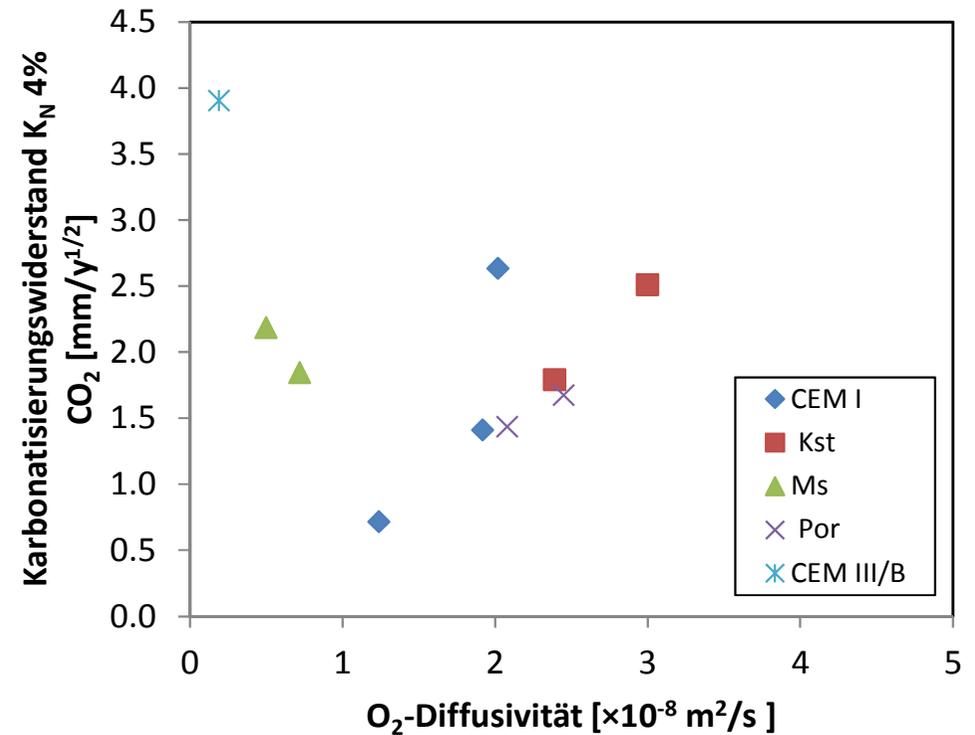
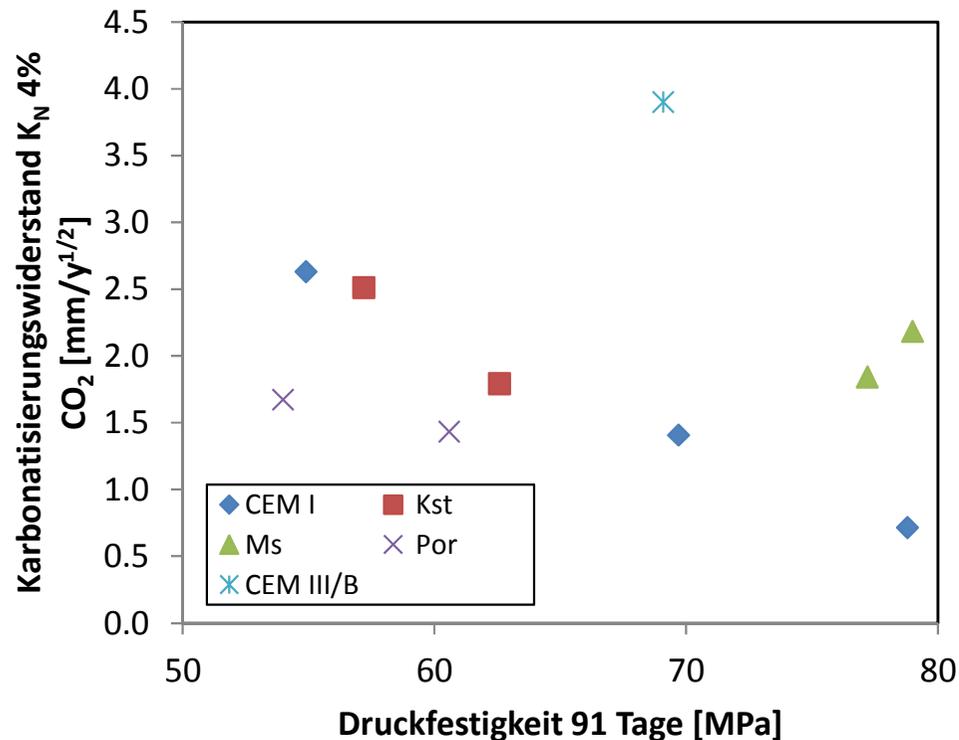
- Variable Materialeigenschaften:
  - Diffusivität (w/z, Mikrosilika-Zugabe)
  - Pufferkapazität (Zugabe von Kalksteinmehl, Portlandit und Mikrosilika)

Mörtel	Zement	Zusatzstoff	Anteil [Masse-%]	w/b
1-3	CEM I 52.5 N	-	-	0.40 / 0.48 / 0.56
4	CEM I 52.5 N	Kalksteinmehl	7.5	0.48
5	CEM I 52.5 N	Kalksteinmehl	15.0	0.48
6	CEM I 52.5 N	Silicastaub	7.5	0.48
7	CEM I 52.5 N	Silicastaub	15.0	0.48
8	CEM I 52.5 N	Portlandit	7.5	0.48
9	CEM I 52.5 N	Portlandit	15.0	0.48
10	CEM III/B 32.5	-	-	0.48

# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

## Schnellkarbonatisierung von Mörtel

- Karbonatisierung - Druckfestigkeit / Sauerstoff-Diffusion

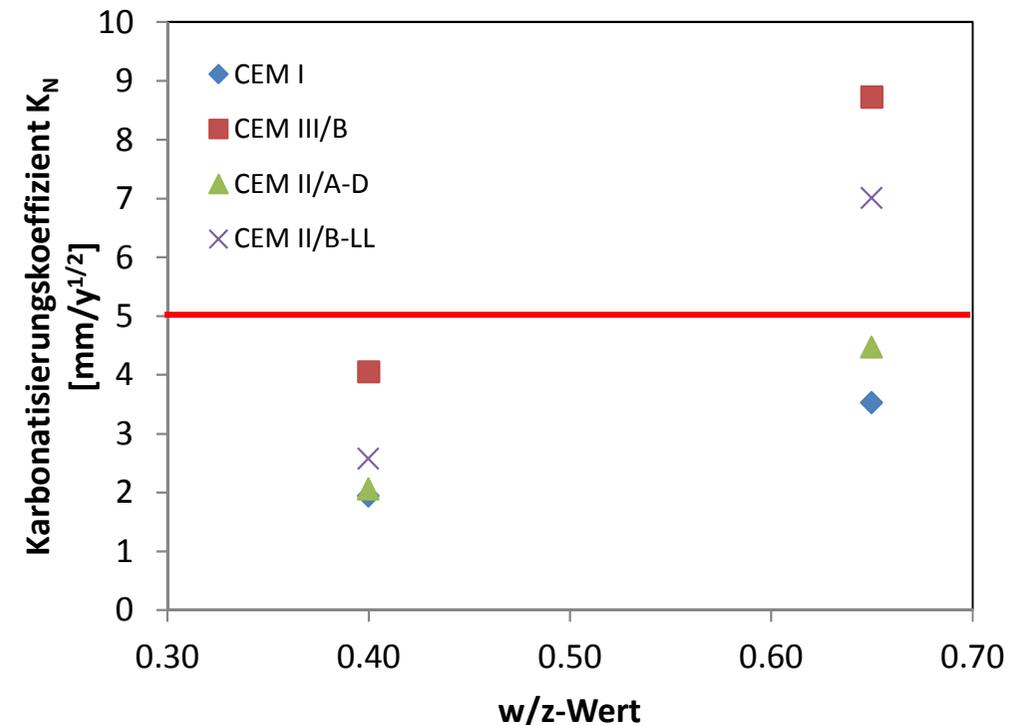
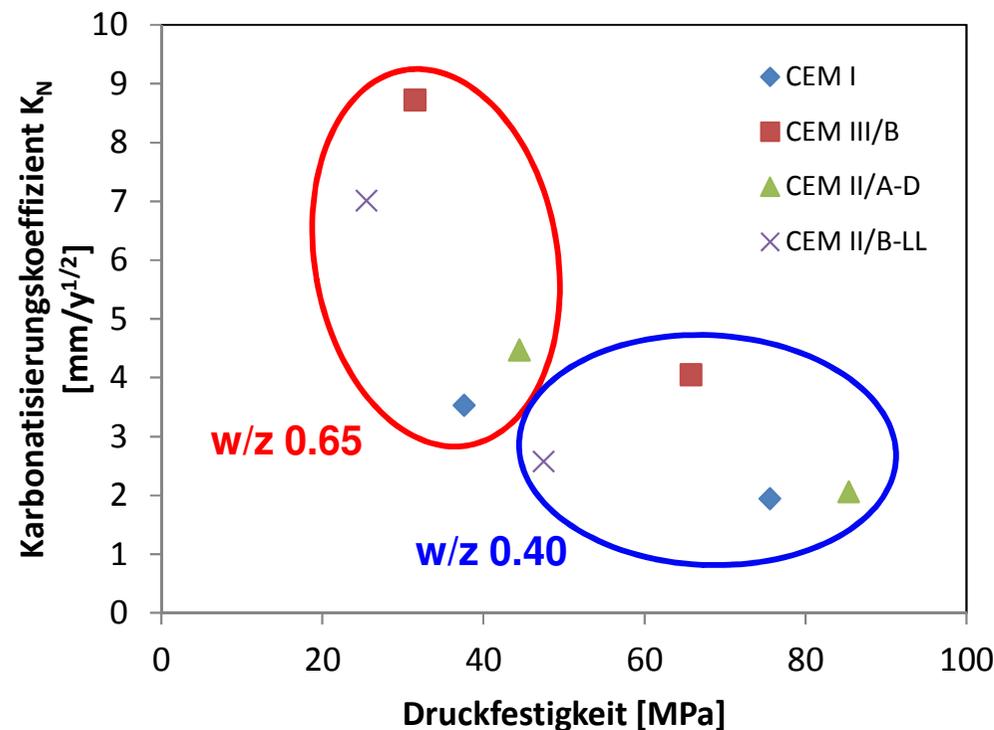


- Korrelation innerhalb einer «Zementart»
- als Gesamtheit: keine Korrelation zu Druckfestigkeit und Diffusivität

# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

## Schnellkarbonatisierung von Beton

- Karbonatisierung - Druckfestigkeit / w/z-Wert

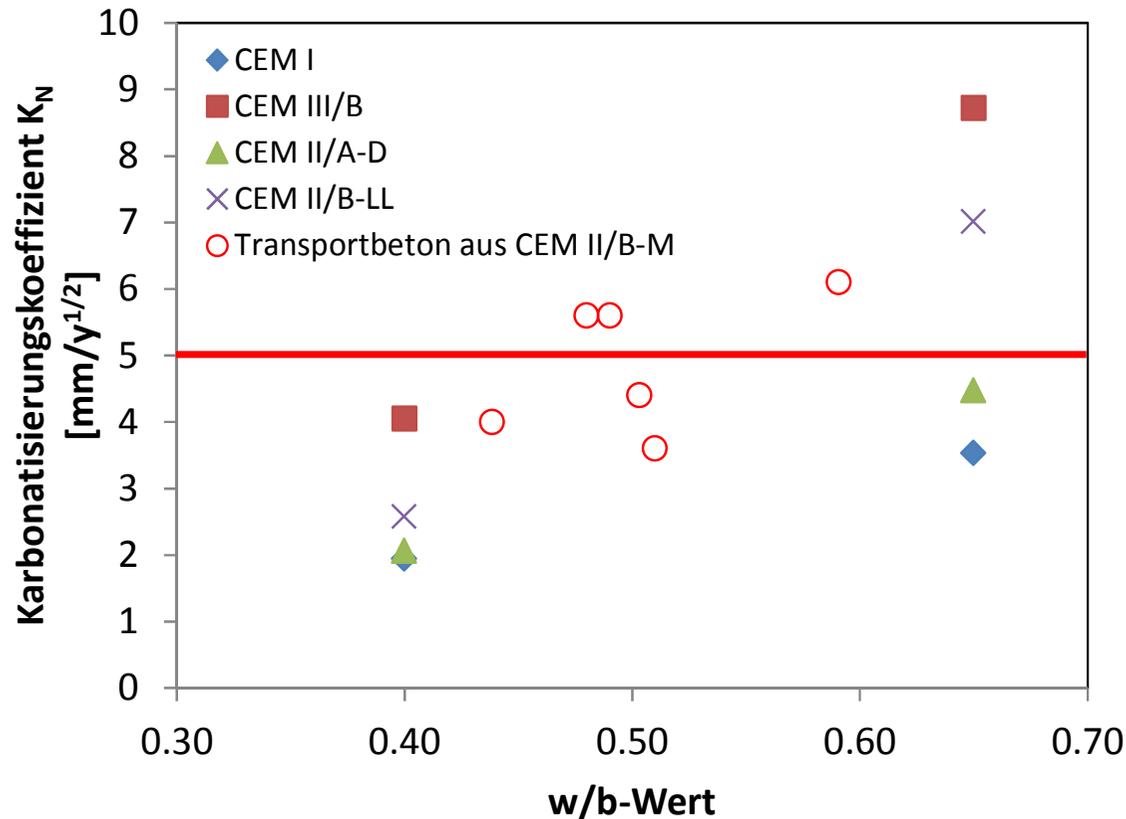


- wenig Zusammenhang mit Druckfestigkeit («Festigkeitsklasse»)
- Steuergrößen: w/z-Wert (innerhalb einer Zementart) und Zementart

# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

## Schnellkarbonatisierung von Beton

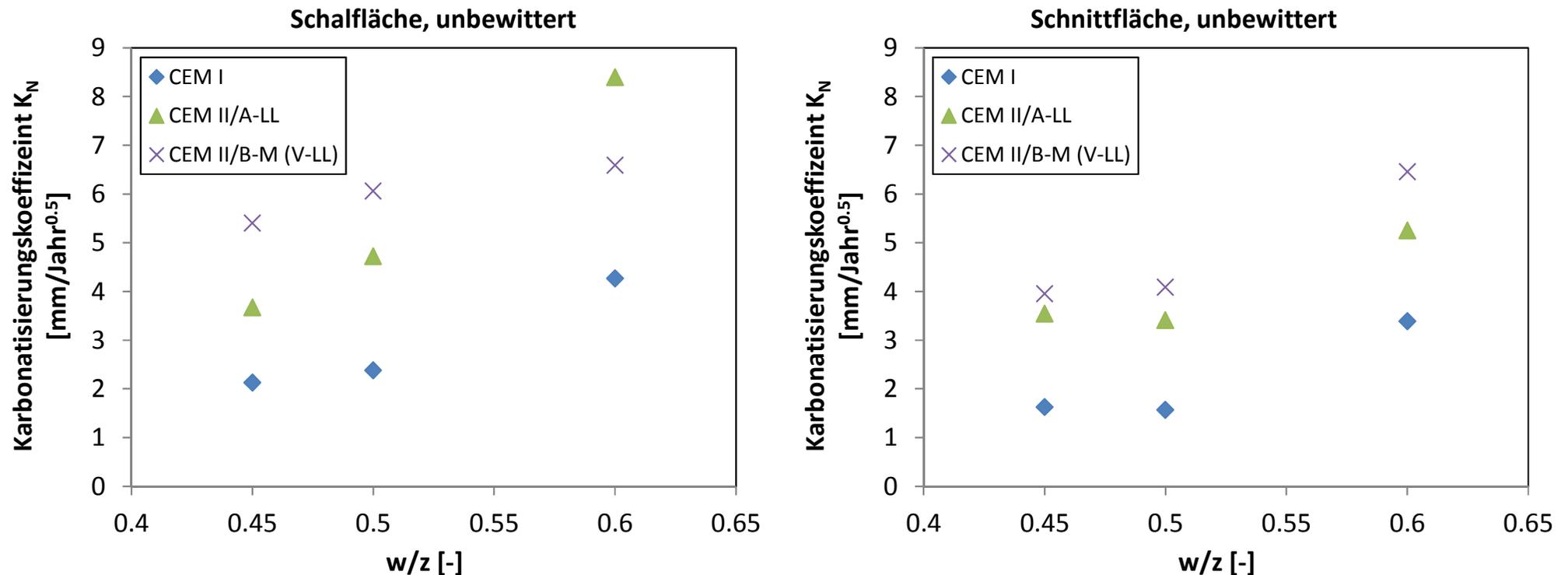
- Karbonatisierung – w/b-Wert



- problematische Betone: Sorte B mit CEM II/B-M

# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

Natürliche Karbonatisierung von Beton (Exposition: 2.5 Jahre)

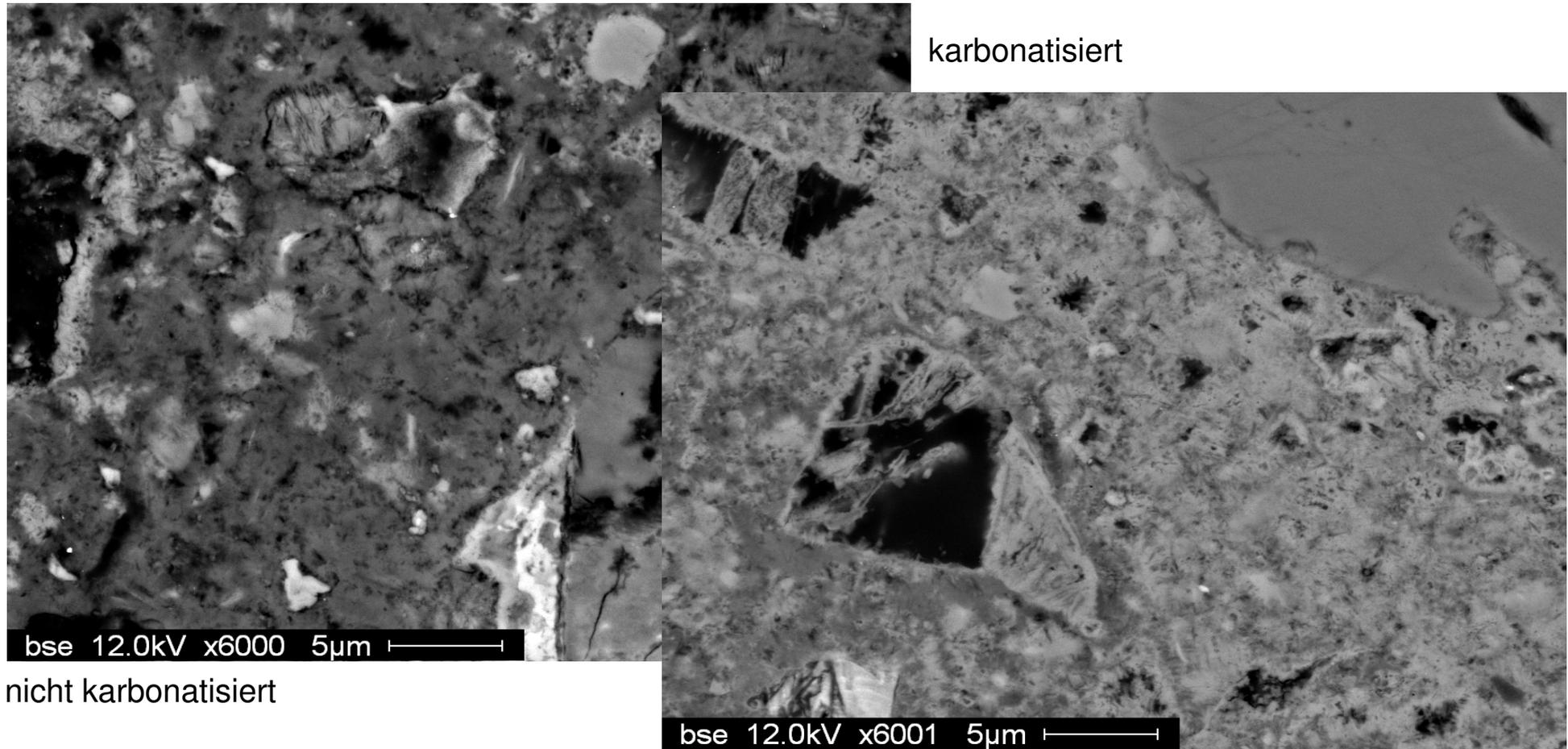


- Beziehung zwischen w/z und Zementart mit Karbonatisierungswiderstand bestätigt
- Differenz zwischen Schal- und Schnittfläche («Nachbehandlung»)

# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

## Veränderung des Zementsteins im Beton

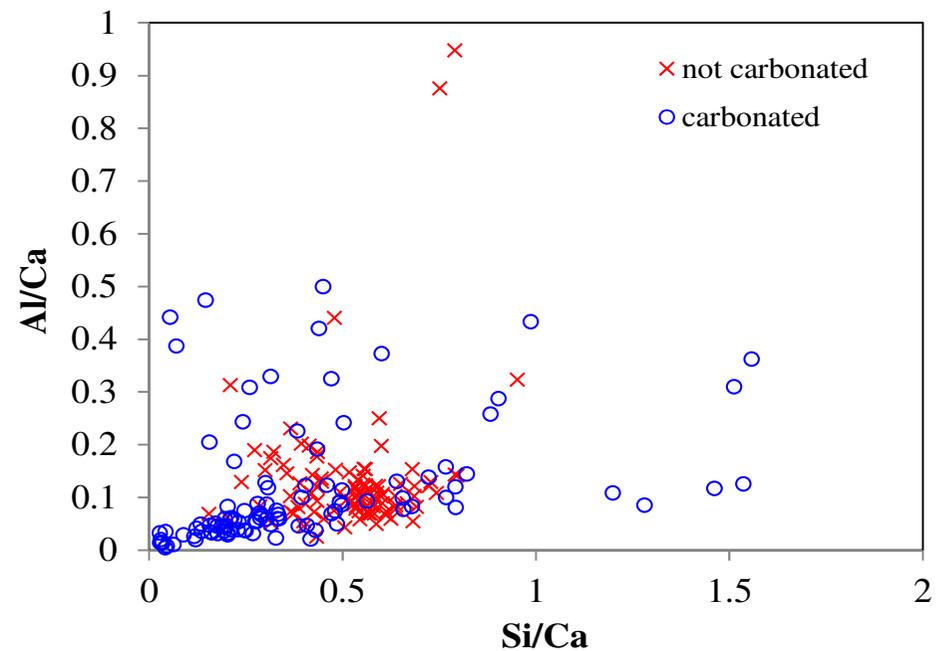
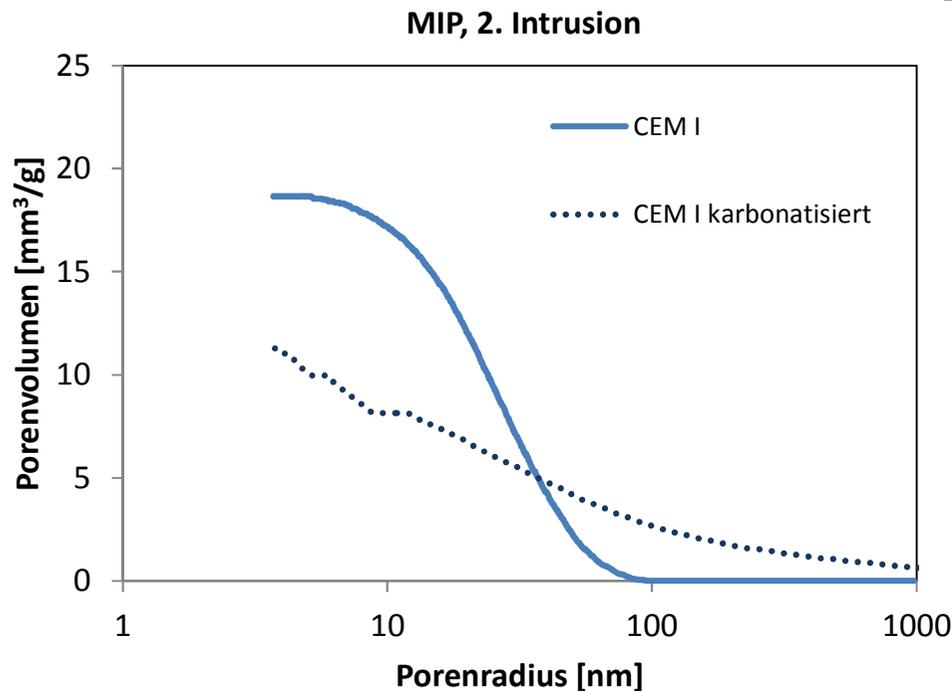
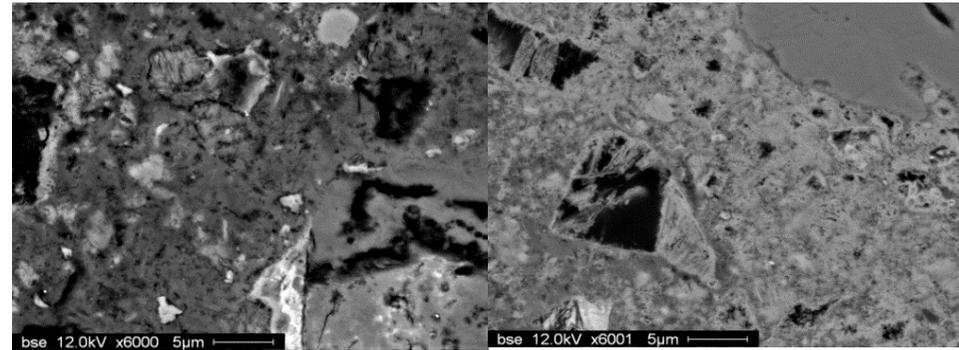
- Beton aus CEM I



# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

## Veränderung des Zementsteins

- Beton aus CEM I

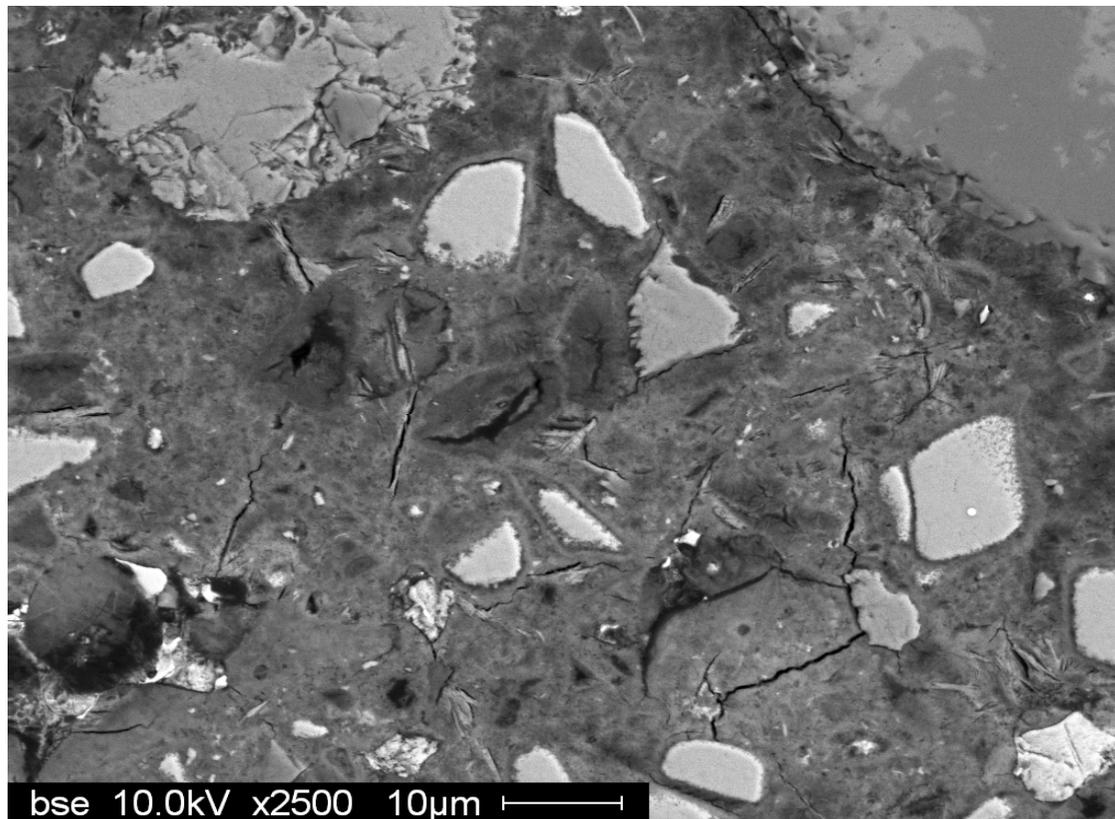


- Gesamtporosität wird verringert, aber Porenradien werden grösser
- Zersetzung der Hydratphasen zu Calcit und siliziumreichen Gel

# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

## Veränderung des Zementsteins

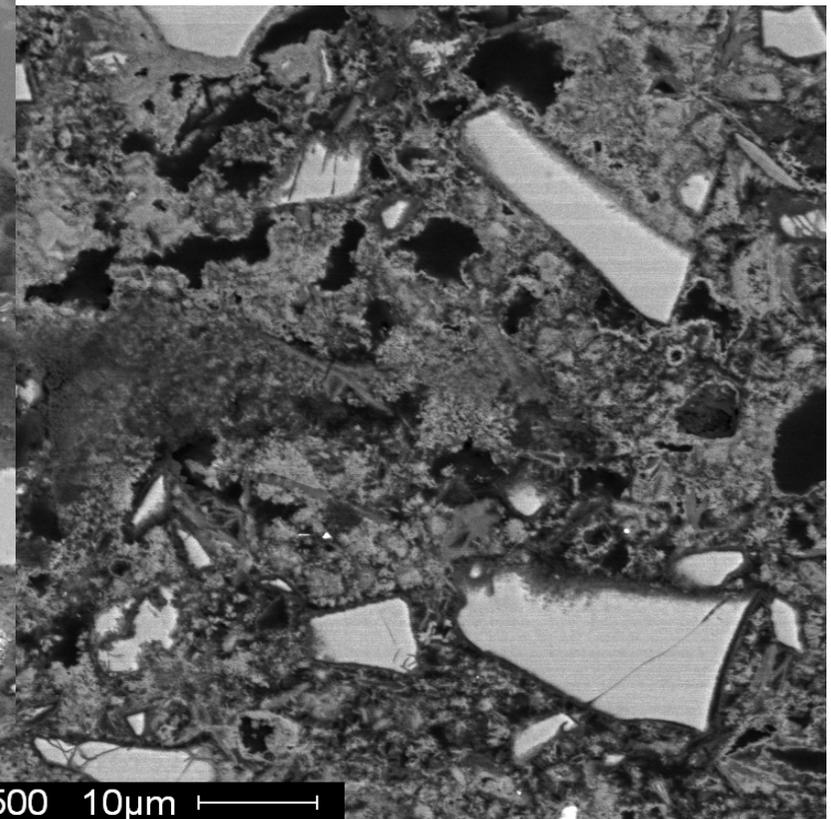
- Beton aus CEM III/B



bse 10.0kV x2500 10µm 

nicht karbonatisiert

karbonatisiert

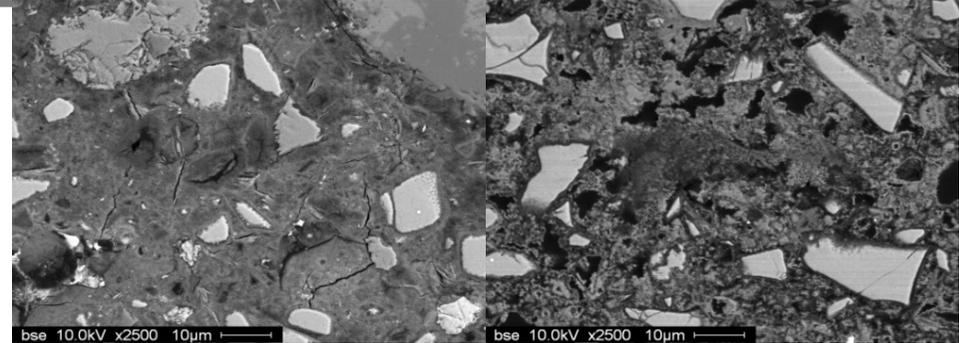


bse 10.0kV x2500 10µm 

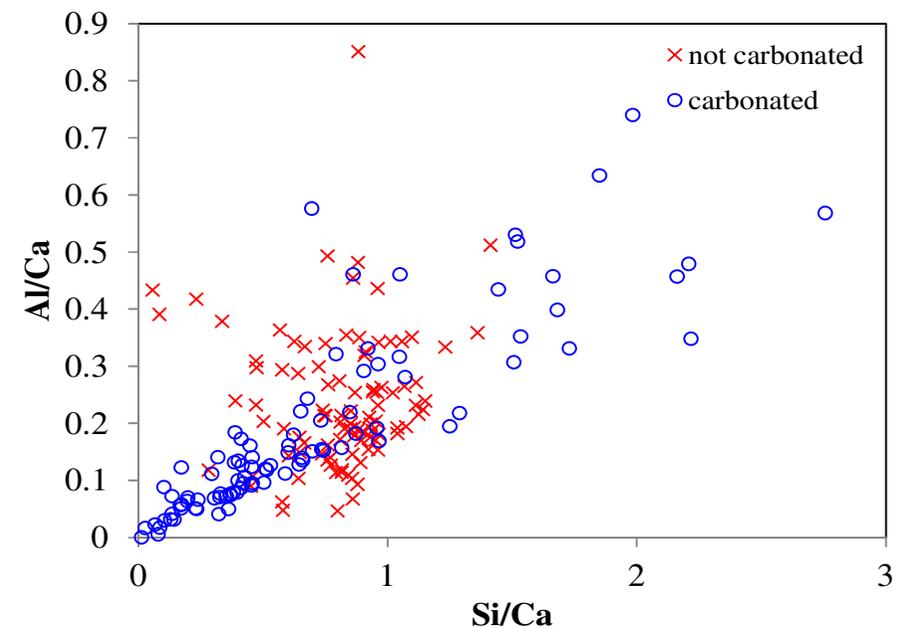
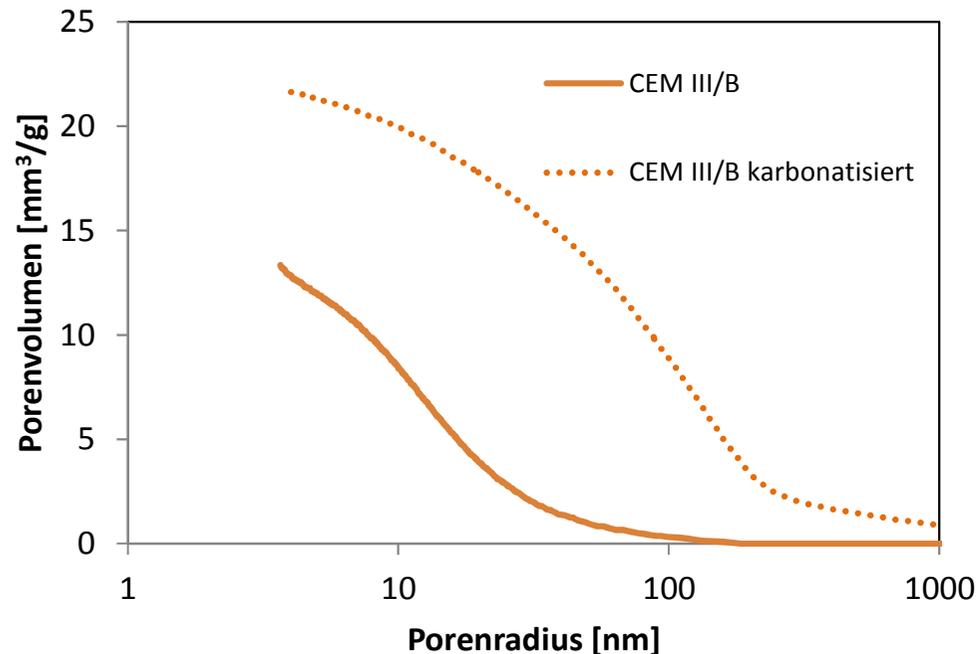
# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

## Veränderung des Zementsteins

- Beton aus CEM III/B



MIP, 2. Intrusion



- Gesamtporosität wird erhöht und Porenradien werden grösser
- Zersetzung der Hydratphasen zu Calcit und siliziumreichen Gel

# Karbonatisierungswiderstand – erste Erfahrungen

---

## Schlussfolgerungen

- Grenzwerte:
  - üblicherweise keine Probleme bei Sorten C, D und E
  - Sorte B kann über Grenzwert liegen
- Steuergrößen für Beton:
  - w/z-Wert innerhalb einer Zementart
  - Zementart

→ Erreichen einer bestimmten Festigkeitsklasse kein Garant für Erfüllen des Karbonatisierungswiderstandes
- mehr Erfahrungen benötigt (z. Bsp. Recyclingbeton)