

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Leistungsbezogene Bewertung der dauerhaftigkeitsrelevanten Betoneigenschaften auf der Baustelle

M.Sc. David Ov

DAfStb-Fachkolloquium

21. Mai 2025, Berlin

und

Lozano, J.; Kränkel, T.; Gehlen, C.; Breitenbücher, R.

RUHR
UNIVERSITÄT
BOCHUM

RUB

Technische
Universität
München

TUM

Verbundforschungsvorhaben

<u>Projekt</u>	<u>Inhalt</u>
P1	<i>Objektsammlung, Zustandserfassung eines repräsentativen Bauwerksbestandes (XC, XD, XS und XF)</i>
P2	<i>Grenzzustände / erforderliche Zuverlässigkeiten</i>
P3	<i>Bewertung von Laborprüfverfahren</i>
P4	<i>Klassifikation Materialwiderstände, Produktionskontrolle, Konformitätskriterien und -kontrolle</i>

Forschungspartner



<p>P5</p> <p><i>Annahmeprüfungen auf der Baustelle / Abnahmeprüfungen am Bauwerk</i></p>	
--	--

Grundsätzliche Unterschiede in der Bewertung der Performance

- Alle dauerhaftigkeitsrelevanten Betoneigenschaften sollten direkt bewertbar sein
- Bewertung erfolgt an repräsentativen Proben unter standardisierten Bedingungen

Druckfestigkeit

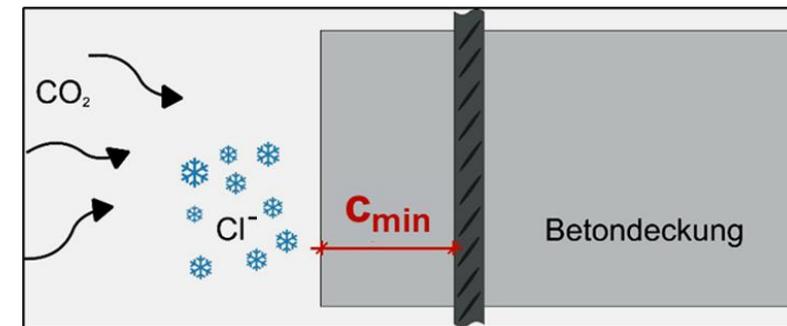
- ❖ Relevant: **Gesamtquerschnitt**
→ Baustoff Beton maßgebend
- ❖ Verarbeitung + Nachbehandlung + Exposition nachgeordnet



- Bewertung an separat hergestellten Proben (Würfel) **hinreichend**

Dauerhaftigkeit

- ❖ Relevant: **Randzone**
→ Baustoff Beton + Verarbeitung + Nachbehandlung + Exposition maßgebend



- Bewertung an separat hergestellten Proben (Würfel) alleine **nicht hinreichend**

Nachweise Beton / Bauteil

- **Maßgebend: Performance am Bauteil / Bauwerk**
- Erstprüfung: Vortrag Frau Dr. Schießl-Pecka
- Konformitätsnachweis in der Herstellung: Vortrag Hr. Mohs und Hr. Dr. Kubens
- Auf der Baustelle:
Laufende **Annahme-** und **Abnahmeprüfungen**:
 - Prüfung an separat hergestellten Proben?
 - Zusätzliche Nachweise an Proben aus Bauteil?



AiF-Forschungsprojekt

Projekt 5: Annahmeprüfungen auf der Baustelle / Abnahmeprüfungen am Bauwerk



RUHR
UNIVERSITÄT
BOCHUM

RUB

Technische
Universität
München

TUM

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



- ↳ **13** repräsentative Baustellen in Deutschland (Ingenieurbauwerke + Hochbauten)
- ↳ **20** verschiedene Betonzusammensetzungen bzw. Bauteilen



Herstellung

1. Separat hergestellte Proben

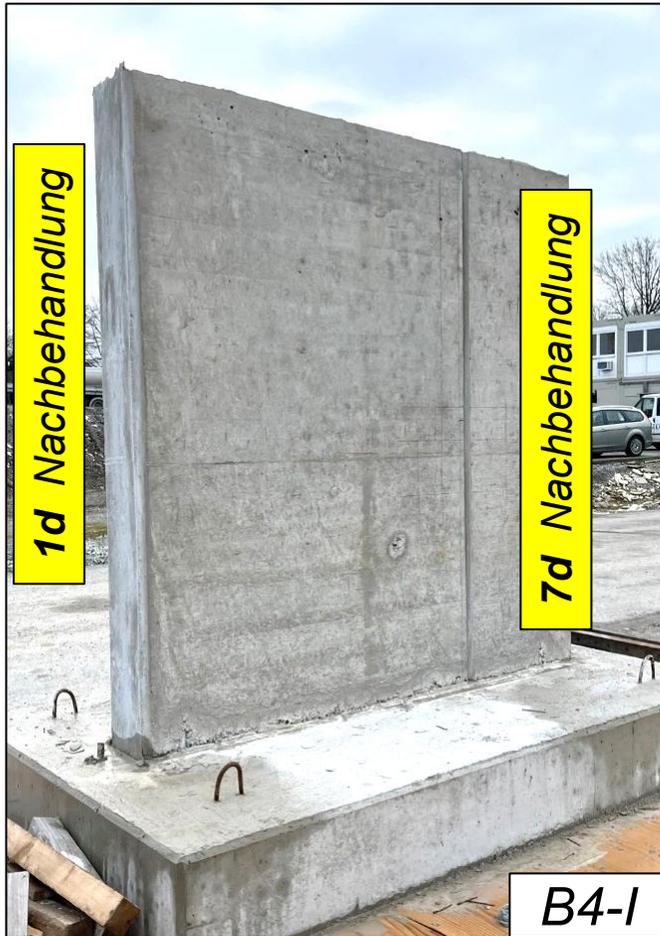
- Würfelformen (150 mm Kantenlänge)
- Balkenformen (100 × 100 × 500 mm³)
- Verdichtung mittels Rütteltisches
- Nach 24 Std. entformt und unter Wasser gelagert

2. Demonstrator-Bauteile (Bauteilproben)

- Abmessungen: 2 m × 2 m × 0,25 m (B × H × T)
- Erhärtet in der Schalung für eine definierte Anzahl von Tagen
- Gleichen Bedingungen wie das reale Bauwerk ausgesetzt
- Bohrkerne wurden vor dem Alter von 28 Tagen entnommen



Demonstrator-Wände



Abmessungen: $2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 0,25 \text{ m}$ (B \times H \times T)

Demonstrator-Platten



Abmessungen:

$2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 0,30\text{ m}$ (B \times L \times H)



Demonstrator-Pfeiler

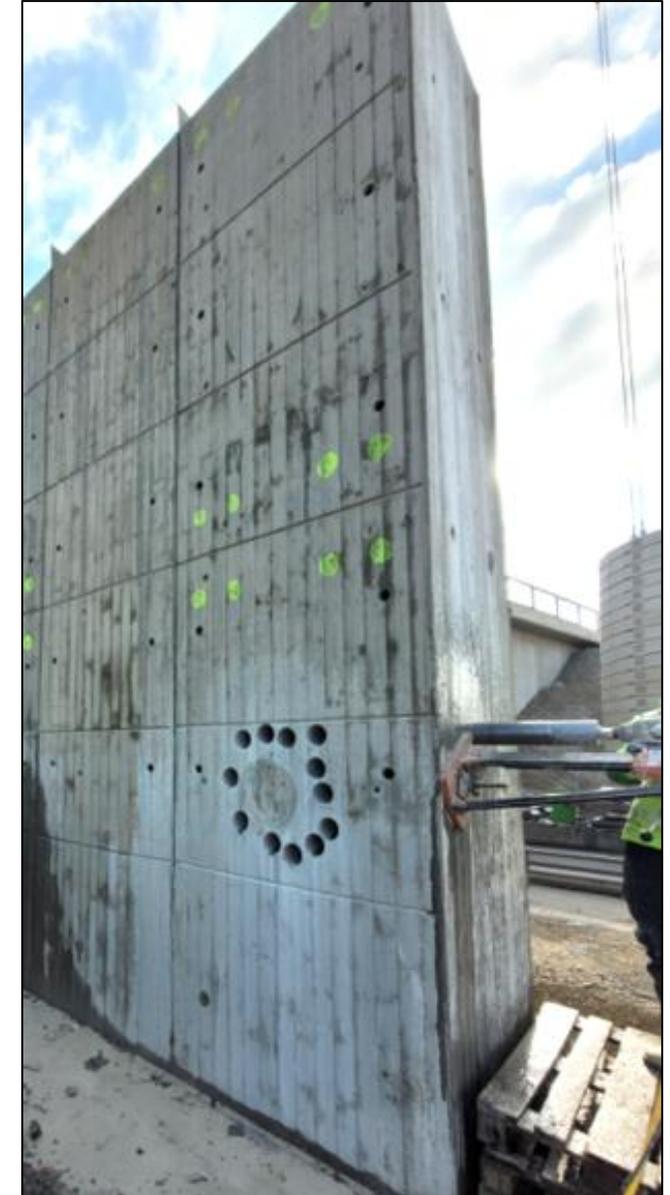


Abmessungen: 1,2 m × 6 m × 6 m (L × B × H)

1. Betoniertermin: **B10-I** und **B10-III**
2. Betoniertermin: **B10-II** und **B10-IV**



Bohrkernentnahme

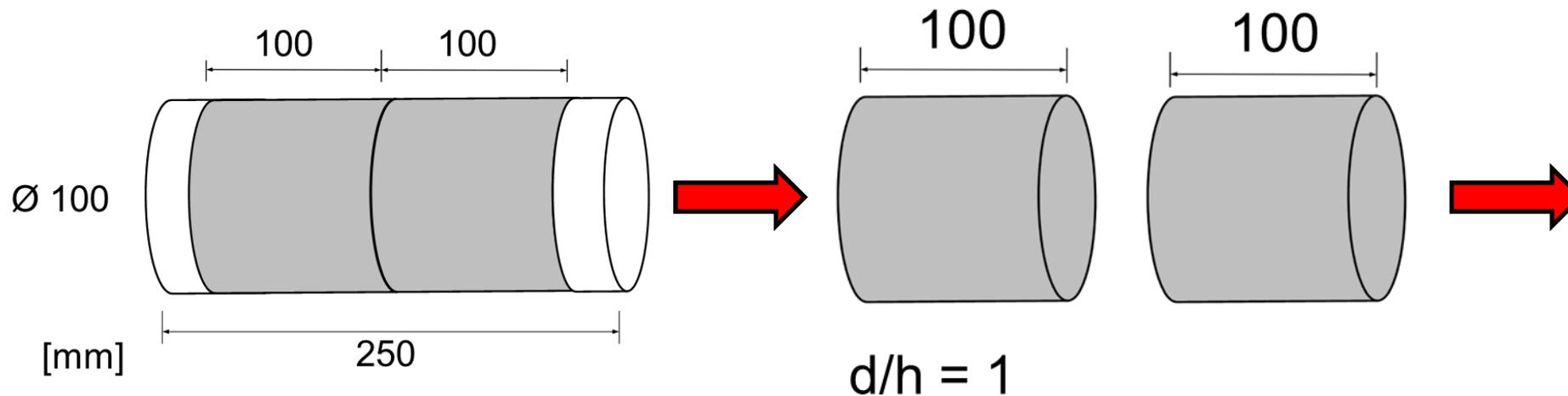


Präparation Bauteilproben

- Entnahme von Bohrkernen (\varnothing 100 mm; $h = 250$ mm)
- Prüfungen hinsichtlich
 - Druckfestigkeit
 - Chloridmigrationskoeffizient
 - Karbonatisierungswiderstand

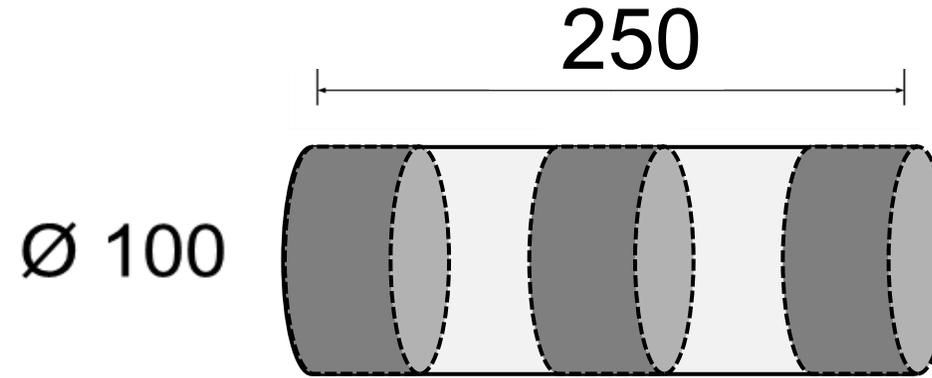


Bauteilproben mit \varnothing 100 mm für Druckfestigkeit:



Präparation Bauteilproben

Bauteilproben mit \varnothing 100 mm für Karbonatisierung und Chloridmigration



Randbeton
mit z.B. 1d Schalldauer



Kernbeton



Randbeton
mit z.B. 7d Schalldauer

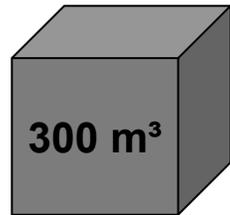
Prüfungen

Chloridmigrationsprüfung:

- BAW-Merkblatt MDCC
- Prüfdauer: 28 Tage
- Versuchsdauer bis 7 Tage

Karbonatisierungsprüfung:

- DIN EN 12390-10 (natürlich)
- DIN EN 12390-12 (beschleunigt)
- Versuchsdauer bis 12 Monate (natürlich) bzw. 70 Tage (beschleunigt)



*alle 300 m³ für direkte Prüfungen
auf der Baustelle zu aufwändig*

Indirekte (vergleichende) Bewertungen hilfreich

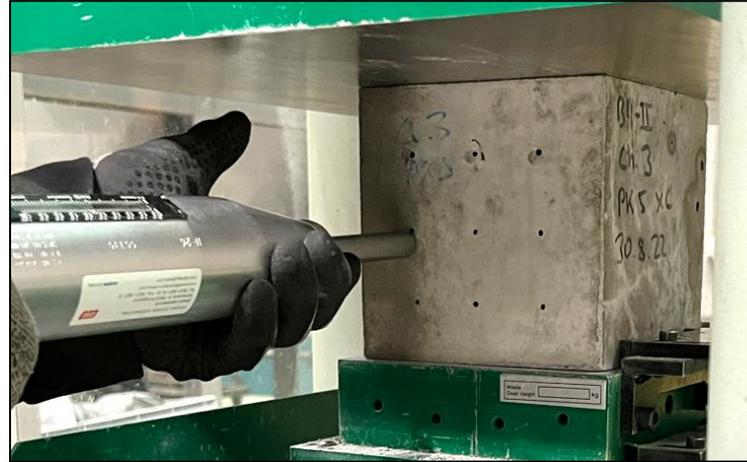
❖ **Spez. Elektrolytwiderstand
mittels Wenner-Sonde**

❖ **Festigkeit aus Druckfestigkeits-
und Rückprallhammerprüfung**

Indirekte Prüfverfahren

- **Rückprallhammer:**
(Bewertung der Betonrandzone)

An **Probewürfeln:**

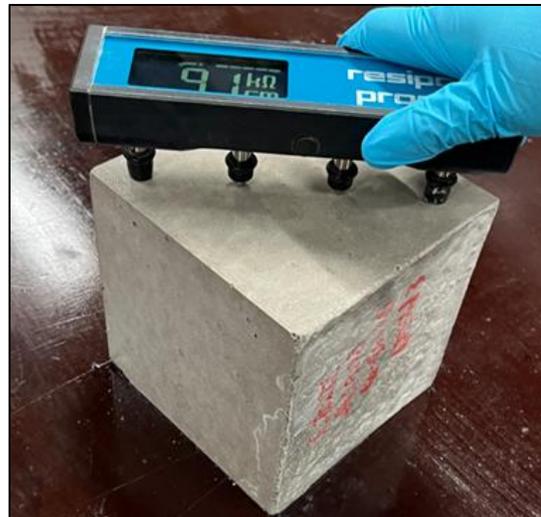


Am **Bauteil:**



- **Wenner-Sonde**
(spez. Elektrolytwiderstand)

An **Probewürfeln:**

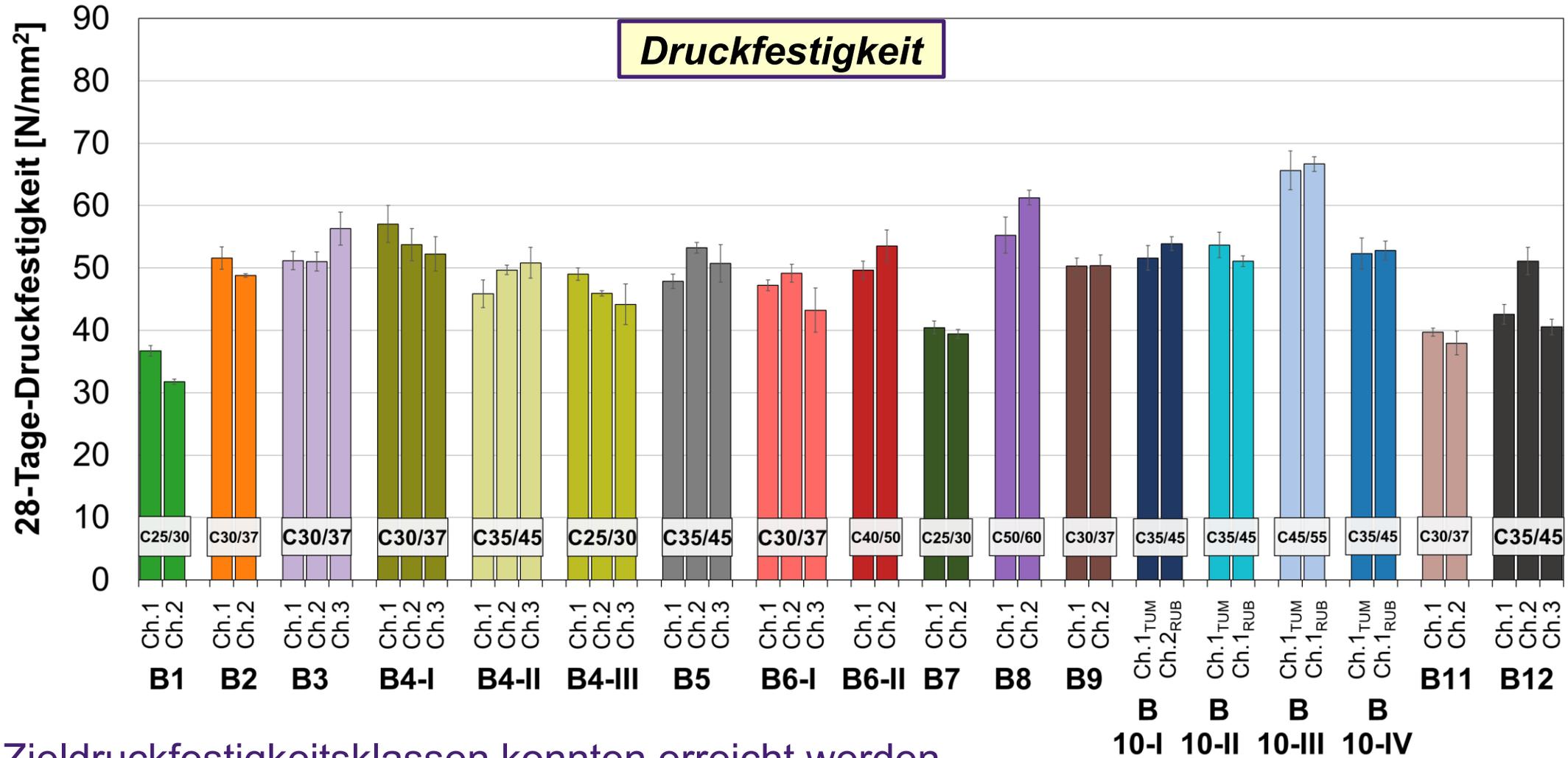


Am **Bauteil** (vorbefeuchtet):



Ergebnisse

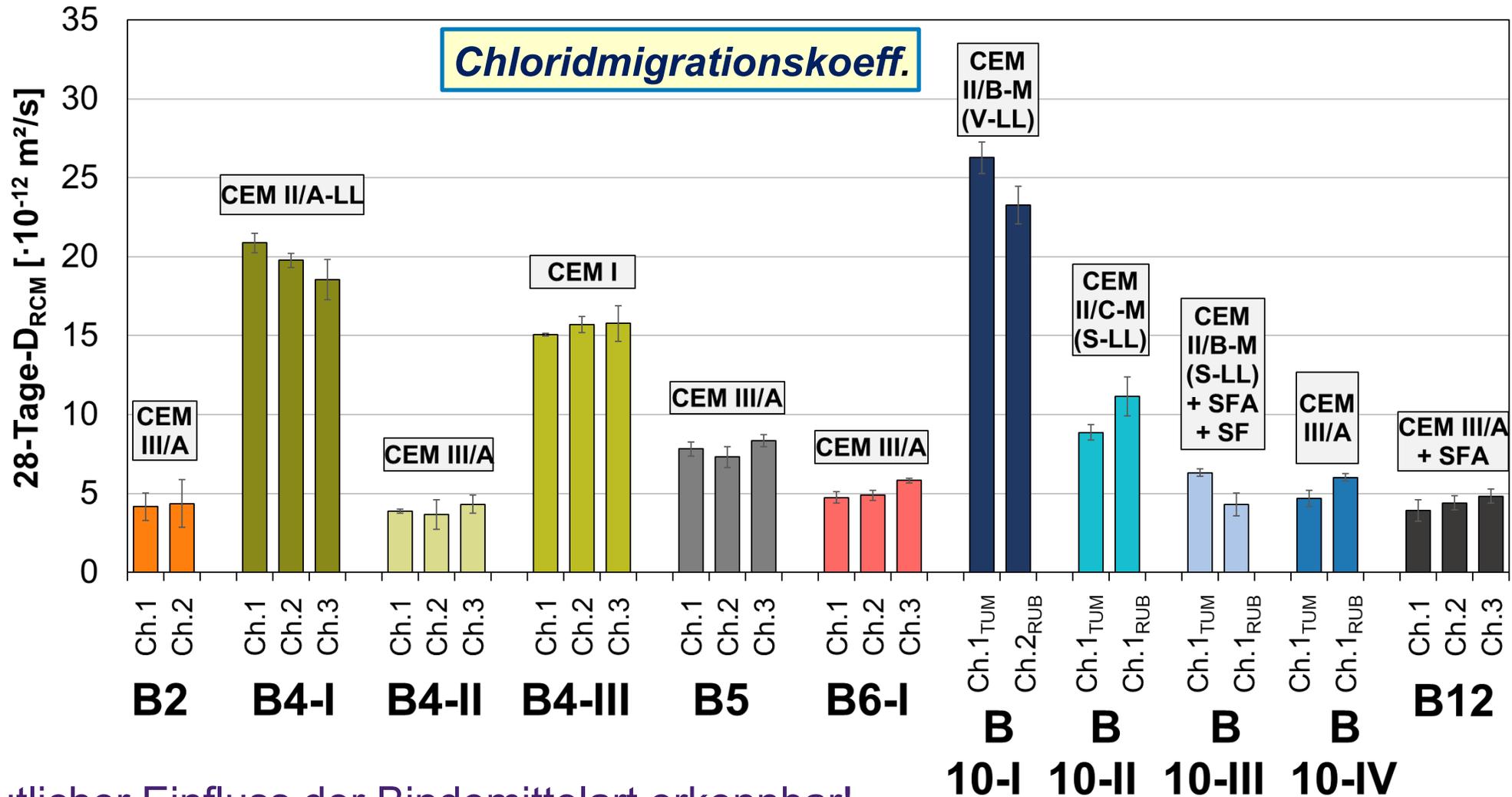
Separat hergestellte Proben mit bis zu drei Lieferchargen (Ch.1 bis Ch.3)



- Zieldruckfestigkeitsklassen konnten erreicht werden
- Gleichmäßig sichergestellte Qualität der einzelnen Transportbetone

Ergebnisse

Separat hergestellte Proben mit bis zu drei Lieferchargen (Ch.1 bis Ch.3)



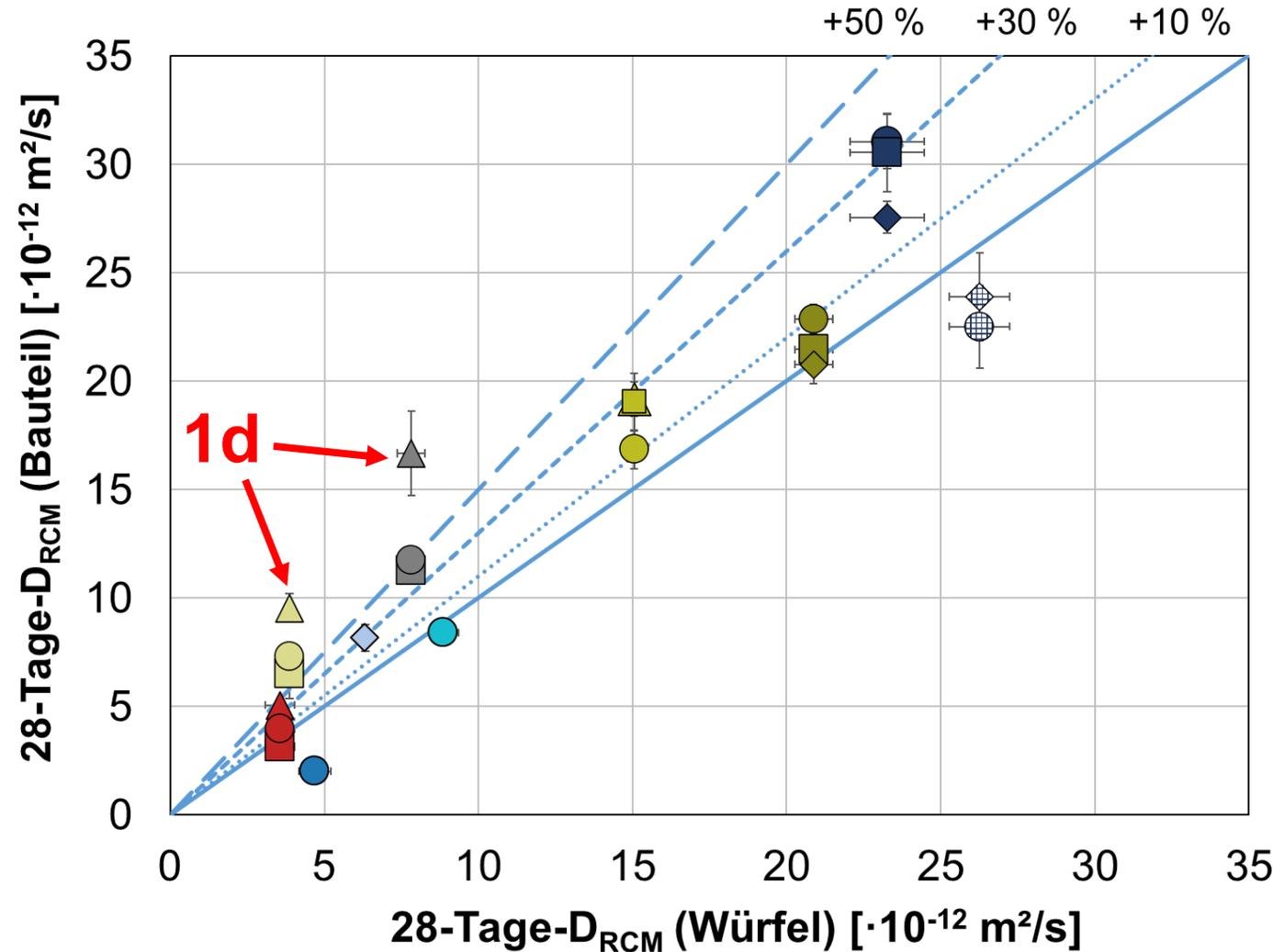
➤ Deutlicher Einfluss der Bindemittelart erkennbar!

➤ Ebenfalls gleichmäßig sichergestellte Qualität der einzelnen Transportbetone

Ergebnisse

Vergleich zwischen **separat hergestellten Proben** und **Bauteilproben**

Chloridmigrationskoeff.



- B4-I_R-7d (Wand)
- B4-I_Kern (Wand)
- ◆ B4-I_R-14d (Wand)
- ▲ B4-II_R-1d (Wand)
- B4-II_Kern (Wand)
- B4-II_R-7d (Wand)
- ▲ B4-III_R-1d (Platte)
- B4-III_Kern (Platte)
- B4-III_R-7d (Platte)
- ▲ B5_R-1d (Platte)
- B5_Kern (Platte)
- B5_R-7d (Platte)
- ▲ B6-II_R-1d (Wand)
- B6-II_Kern (Wand)
- B6-II_R-7d (Wand)
- B10-I_R-7d (Wand)
- B10-I_Kern (Wand)
- ◆ B10-I_R-18d (Wand)
- ⊗ B10-I_R-7d (Pfeiler)
- ⊕ B10-I_R-25d (Pfeiler)
- B10-II_R-7d (Pfeiler)
- ◆ B10-III_R-25d (Pfeiler)
- B10-IV_R-7d (Pfeiler)

- D_{RCM} am Bohrkern ist im Mittel ca. **30-50 %** höher
- Effekt der Nachbehandlung besonders deutlich, Proben mit ***R-1d** wesentlich schwächere Performance



*R-1d = Randbeton mit 1d Nachbehandlung

Ergebnisse

Karbonatisierung

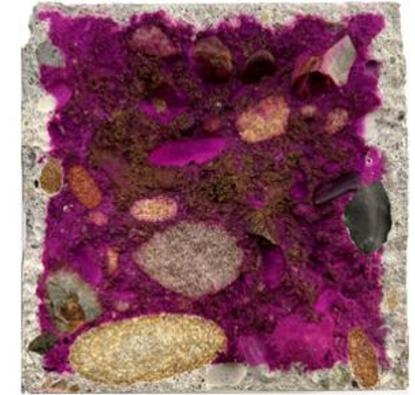
Expositionsdauer (0,05 Vol.-% CO₂)



3 Monate

6 Monate

12 Monate



0d



Expositionsdauer (3,0 Vol.-% CO₂)



7d

28d

70d

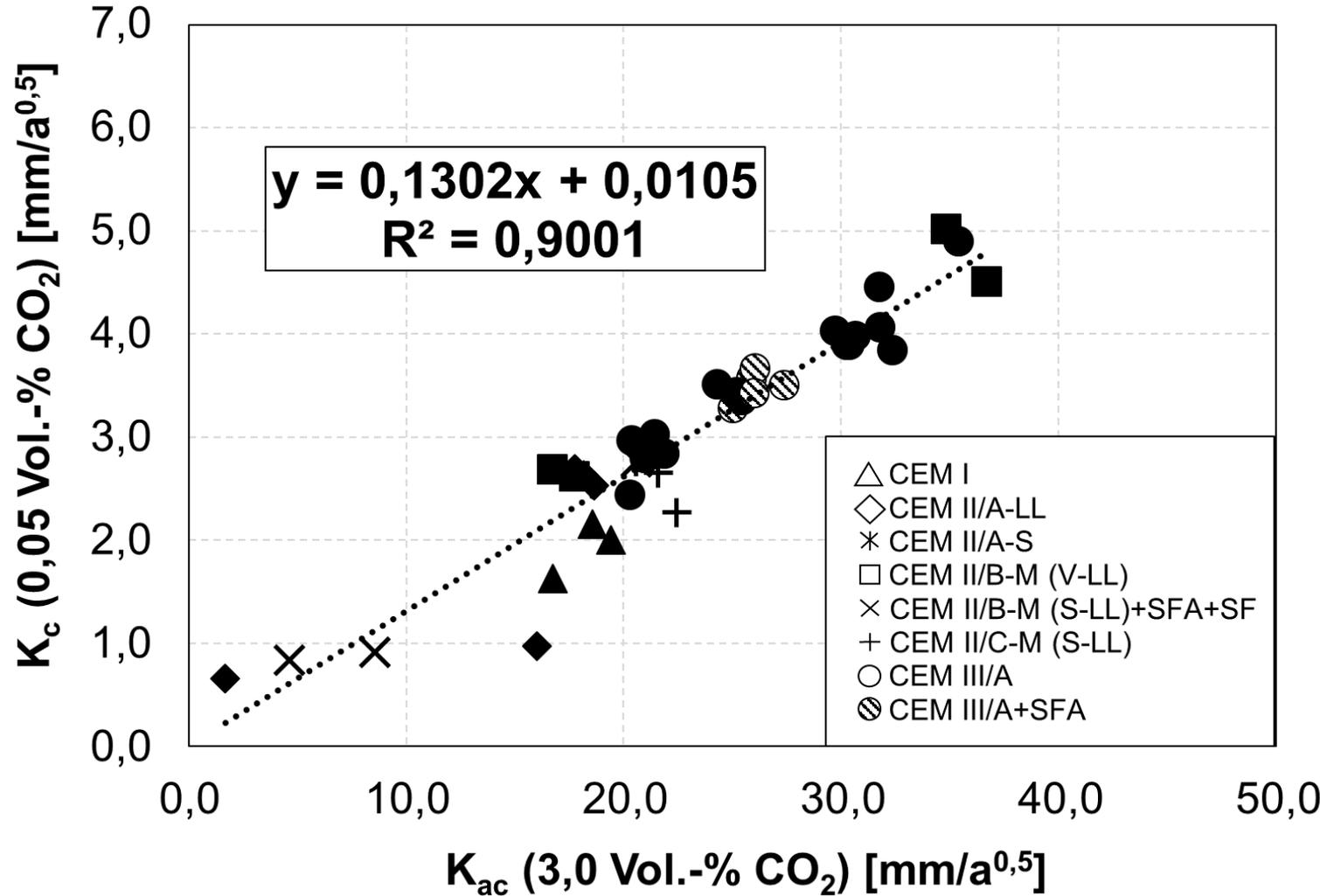


B1

CEM III/A
w/z = 0,50
LP = 6,3 %

Ergebnisse

Vergleich natürliche Karbonatisierung K_c ↔ beschleunigte Karbonatisierung K_{ac}



Vergleichsweise gute, bindemitteldifferenzierte Korrelation:

$$K_c \approx 0,13 \cdot K_{ac}$$

Theoretische Formel:

$$K_c = \frac{\sqrt{0,05\%CO_2}}{\sqrt{3\%CO_2}} \cdot K_{ac} = 0,1291 \cdot K_{ac}$$

→ Vorteil:

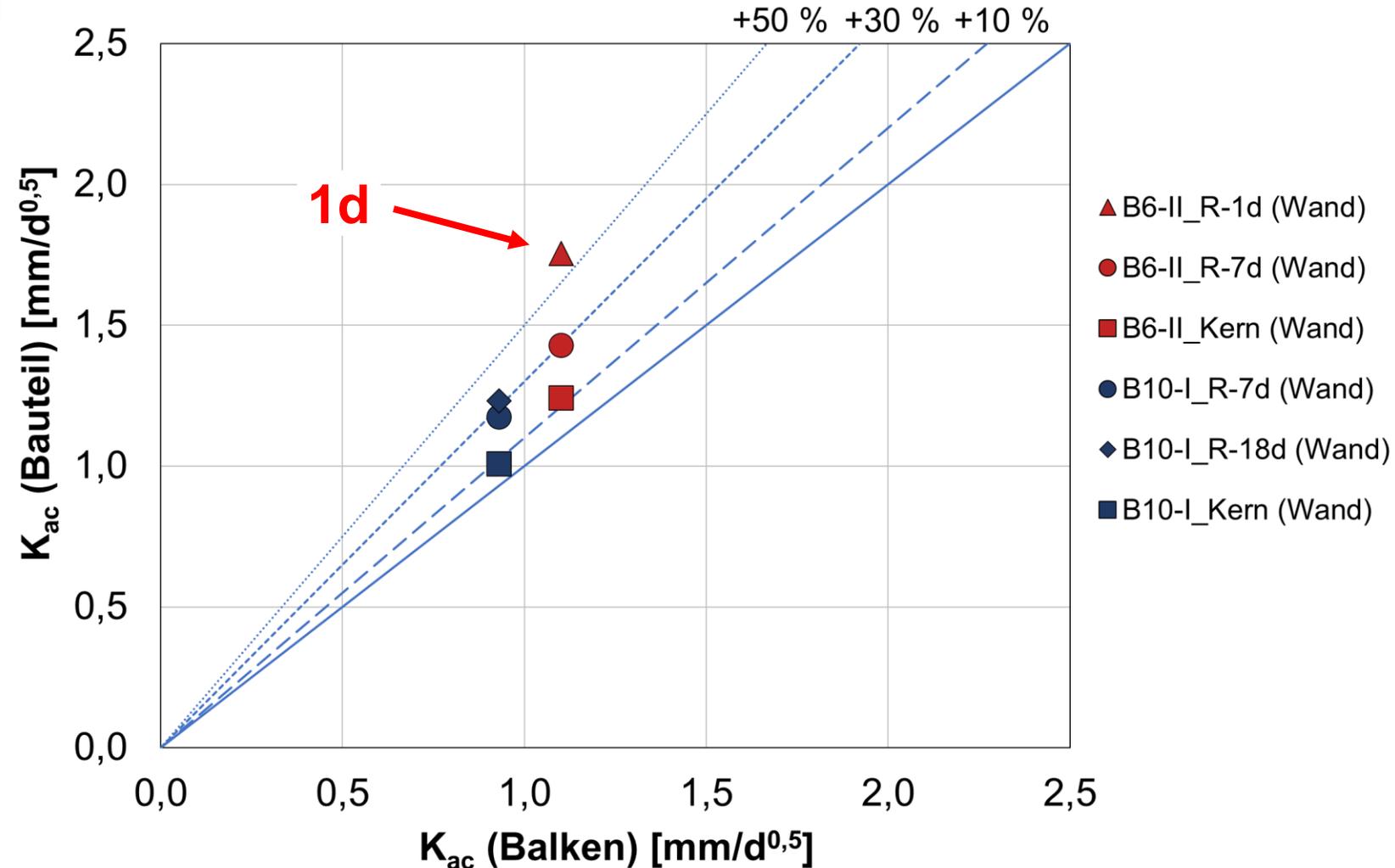
Verkürzte Prüfdauer bei gleicher Aussagekraft

Ergebnisse

Vergleich zwischen **separat hergestellten Proben** und **Bauteilproben**

Karbonatisierung (3,0 Vol.-% CO₂)

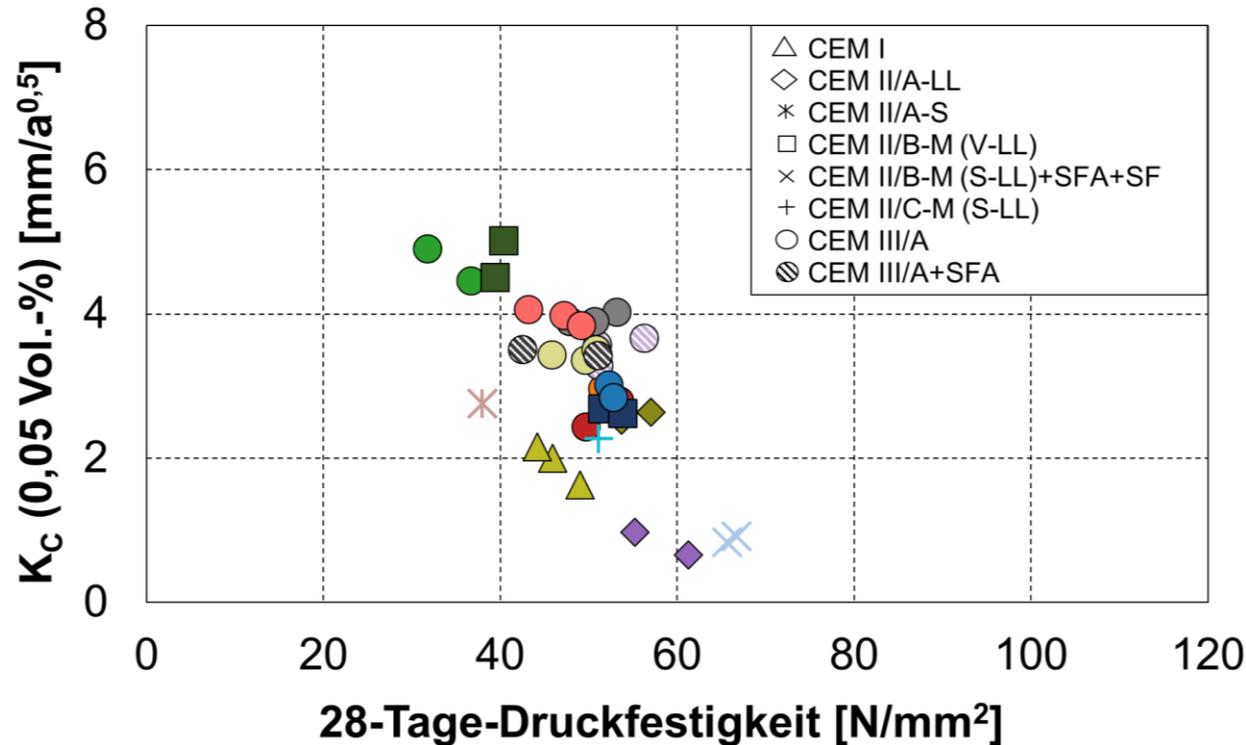
- Karbonatisierungsrate K_{ac} (3,0 Vol.-% CO₂) am Bohrkern ist im Mittel ca. **20-30 %** höher
- Einfluss der Nachbehandlung in der Randzone erkennbar
- Nachbehandlung mit nur 1 Tag zeigt höhere Karbonatisierungsrate



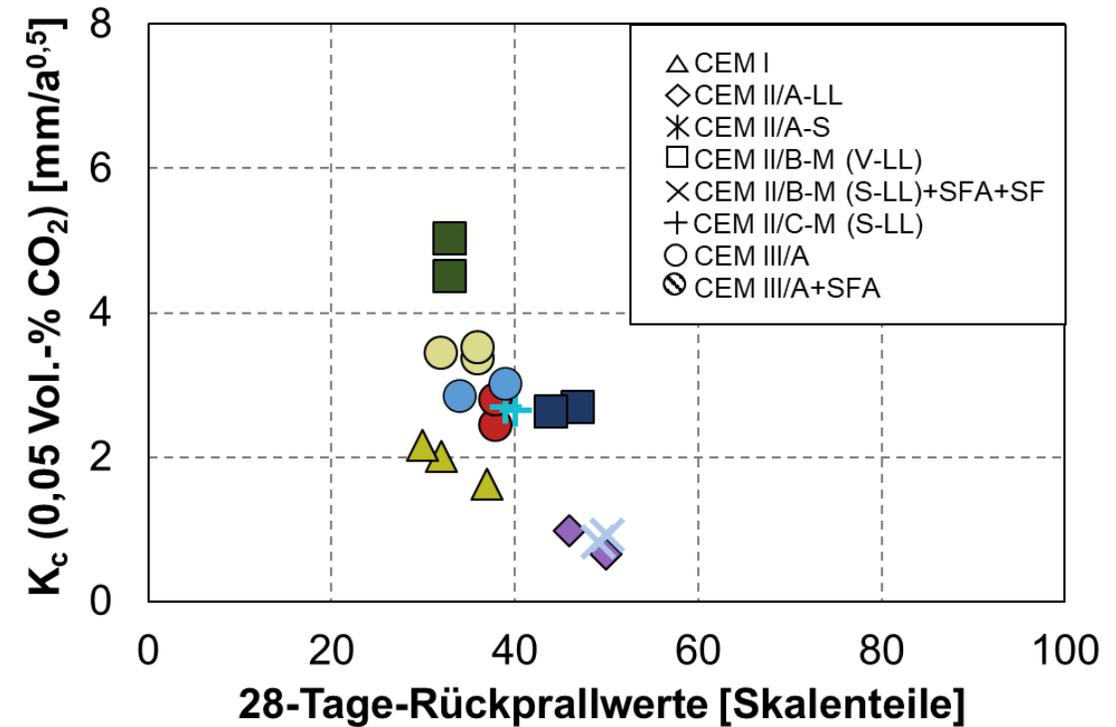
Ergebnisse

Vergleich zwischen Betoneigenschaften

Karbonatisierungsrate K_c ↔ Druckfestigkeit



Karbonatisierungsrate K_c ↔ Rückprallwerte

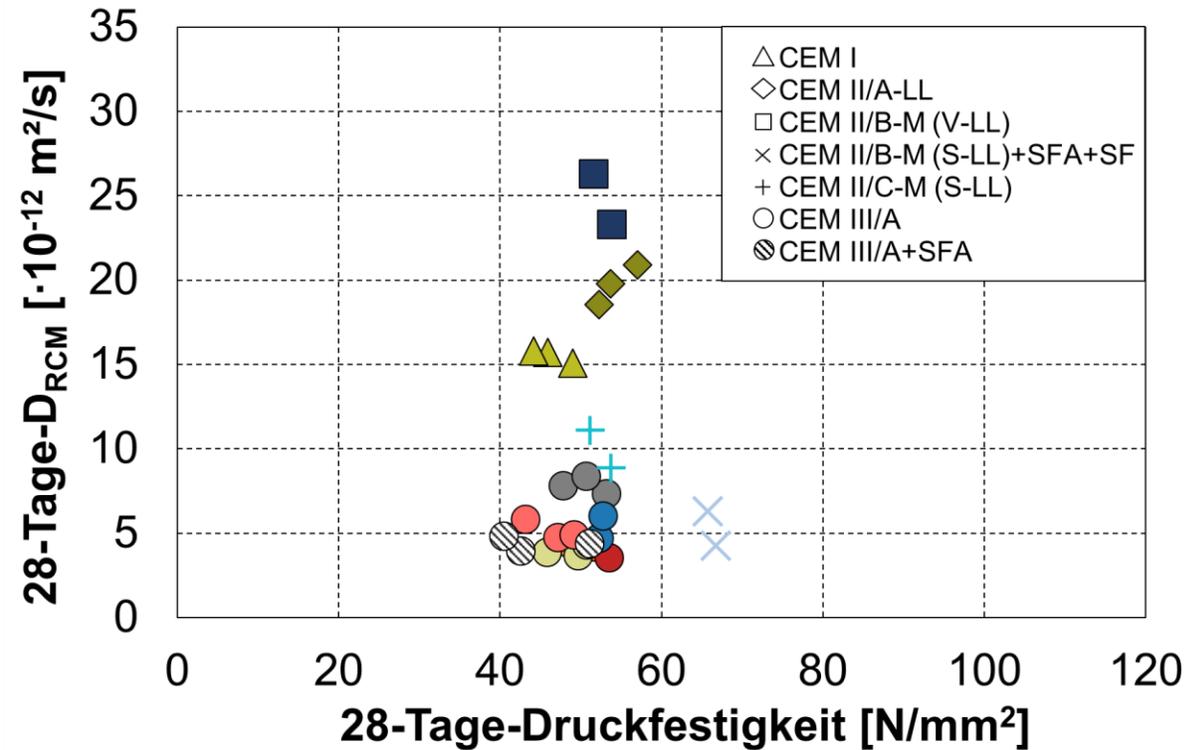


- Bei Berücksichtigung von verschiedenen Zementarten zeigt sich keine eindeutige Korrelation
- Rückprallhammerprüfung nicht hinreichend, weitere Studien erforderlich

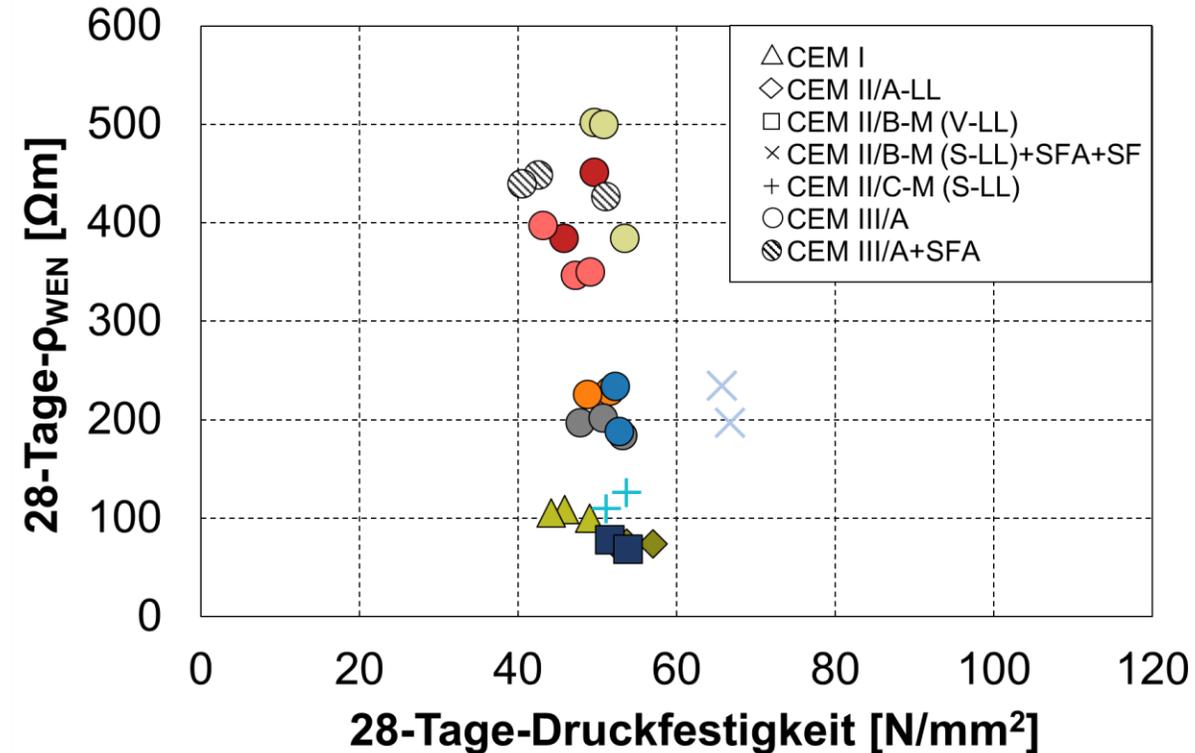
Ergebnisse

Vergleich zwischen Betoneigenschaften

Chloridmigrationskoeff. ↔ Druckfestigkeit



Spez. Elektrolytwiderst. ↔ Druckfestigkeit

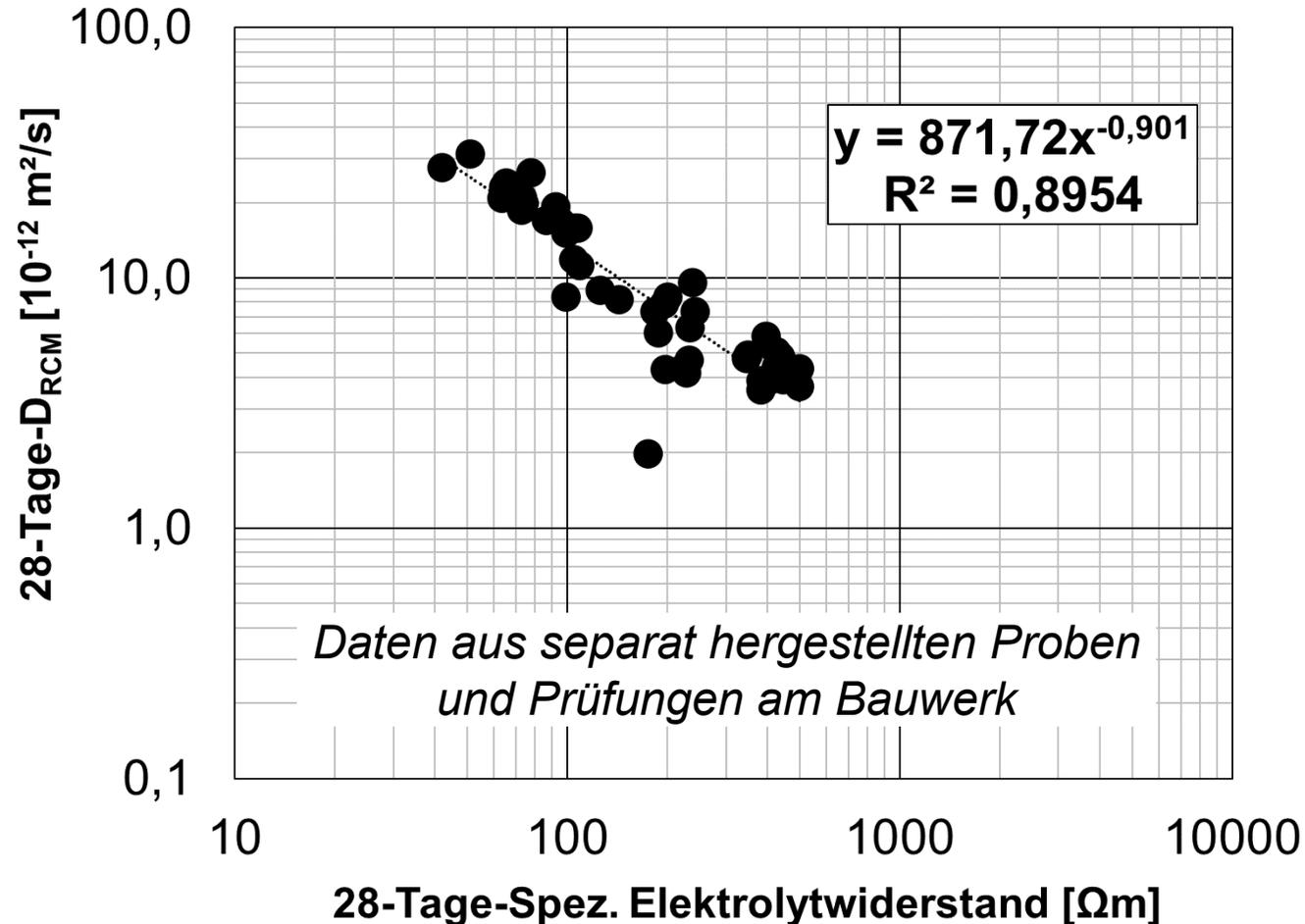


- Signifikanter Einfluss der Bindemittelart → kein direkter Zusammenhang erkennbar
- Umso wichtiger, die Dauerhaftigkeit des Betons gesondert zu bewerten!

Ergebnisse

Korrelation zwischen **direkten** und **indirekten** Prüfverfahren

Chloridmigrationskoeffizient ↔ **Spez. Elektrolytwiderstand**



Korrelation deutlich,
tendenziell niedrigere Werte des
Elektrolytwiderstands mit höheren
Chloridmigrationskoeff. einhergehend

**Als Schnellprüfverfahren zur
Überwachung und Abnahme
baustellengerecht**

- ➔ Annahmeprüfung: vorab an Würfeln für f_c
- ➔ Abnahmeprüfung: am Bauteil anwendbar
- ➔ **Prüfung bei intensiver Cl-Einwirkung (XD2/XD3)**

Zusammenfassung

- Im Vergleich zur Druckfestigkeit beeinflussen die Verarbeitung / Nachbehandlung und Exposition die dauerhaftigkeitsrelevanten Parameter in der Randzone deutlich stärker
- Prüfungen am Bauteil: ungünstigere Ergebnisse (f_c , K_{ac} , D_{RCM}) als an separat hergestellten Proben (reale Erhärtingsbedingungen \neq definierte Normlagerungen)
- Direkte Prüfung der dauerhaftigkeitsrelevanten Eigenschaften vergleichsweise aufwändig
 - indirekte, zerstörungsfreie Verfahren (Festigkeit / Wenner-Sonde)
 - dazu Kalibrierung für den konkreten Beton in Erstprüfung notwendig

➔ **Kombination:** direkte Prüfungen in größeren Zeitabständen
indirekte Prüfungen in engeren Zeitabständen

Leistungsbezogene Bewertung der dauerhaftigkeitsrelevanten Betoneigenschaften auf der Baustelle



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

