

## Fachtagung Recycling R'16

### **Nachwuchspreis Baustoffrecycling**

# **Einfluss rezyklierter, carbonatisierter Gesteinskörnung auf die Frisch- und Festbetoneigenschaften von Recyclingbeton**

Vortragender: M. Sc. Stefan Doose

Datum: 19.09.2016

## Zielstellung

- Herstellung Referenzbetone
- Gewinnung rezyklierter Gesteinskörnung durch Aufbruch Referenzbetone nach Ermittlung Festbetonkennwerte
- Hälfte des Materials gezielt im Reaktor carbonatisieren
- Charakterisierung der rezyklierten und carbonatisierten Gesteinskörnung
- Herstellung Betone mit rezyklierter oder carbonatisierter Gesteinskörnung
- Gegenüberstellung aller Frisch- und Festbetonkennwerte zwischen Referenzbetonen und modifizierten Betonen
- Beurteilung der Einsatzfähigkeit der carbonatisierten Gesteinskörnung in Betonen für die Baupraxis

## Carbonatisierung

- Kohlenstoffdioxid aus Atmosphäre diffundiert in Beton ein
- bei ausreichender Feuchtigkeit an Porenwandungen Übergang in Lösung
- Calciumhydroxid des Zementsteins dissoziiert ebenfalls
- Bildung von instabiler Kohlensäure  $\text{H}_2\text{CO}_3$
- Zerfall in Ionen und Ablauf der Carbonatisierung



- Absenkungen des pH-Wertes
- Passivität bei Stahlbetonbauten gefährdet
- Bindung von  $\text{CO}_2$  abhängig von Angebot an Calciumhydroxid

## DAfStb-Richtlinie:

- Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 - Teil 1: Anforderungen an den Beton für die Bemessung nach DIN EN 1992-1-1
- Gehalt an rezyklierter Gesteinskörnung max. Vol.-45 % in Abhängigkeit von Expositionsklasse → Typ 1 gewählt

## DIN 4226-100:

- DIN 4226-100: Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel  
Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen
- Einteilung von Gesteinskörnungen in 4 Typen
- Anforderungen hinsichtlich Kornrohdichte, maximale Wasseraufnahmefähigkeit usw. für Typ 1 von rezyklierter und carbonatisierter Gesteinskörnung erfüllt

## Carbonatisierung rezyklierter Gesteinskörnung

- Referenzbetone mittels Backenbrecher gebrochen
- Hälfte des gewonnenen Materials carbonatisiert
- Bewitterung für 3 h bei 100 °C mit 20 Vol.-% CO<sub>2</sub>
- Dauerhafte Bindung von CO<sub>2</sub> im Zementstein



Reaktor für CO<sub>2</sub>-Bewitterung  
[Quelle: Privataufnahme]



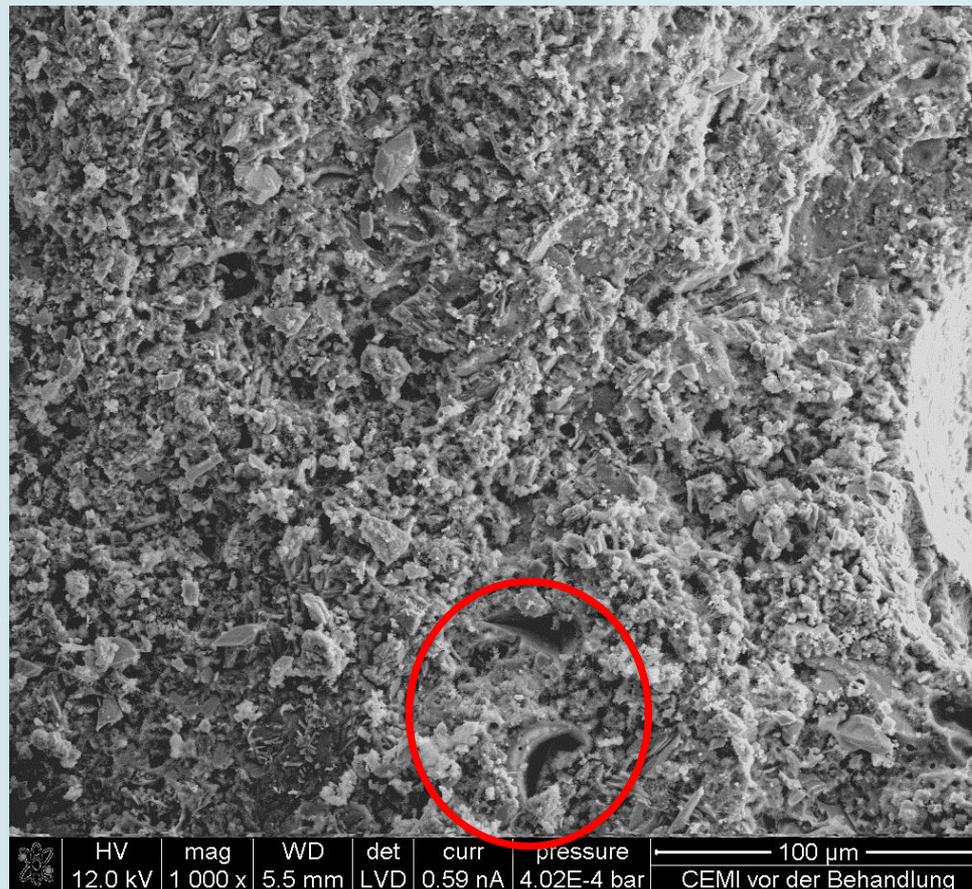
Innenraum des Reaktors  
[Quelle: Privataufnahme]

## Charakterisierung der Rezyklate

- Kernfeuchte
- Roh- und Reindichte
- Massezunahme in Abhängigkeit von der Hydratationszeit und der Bewitterungsdauer
- BET-Oberfläche
- Quecksilberhochdruckporosimetrie
- Thermische Analyse
- Röntgendiffraktometrie
- Rasterelektronenmikroskopie

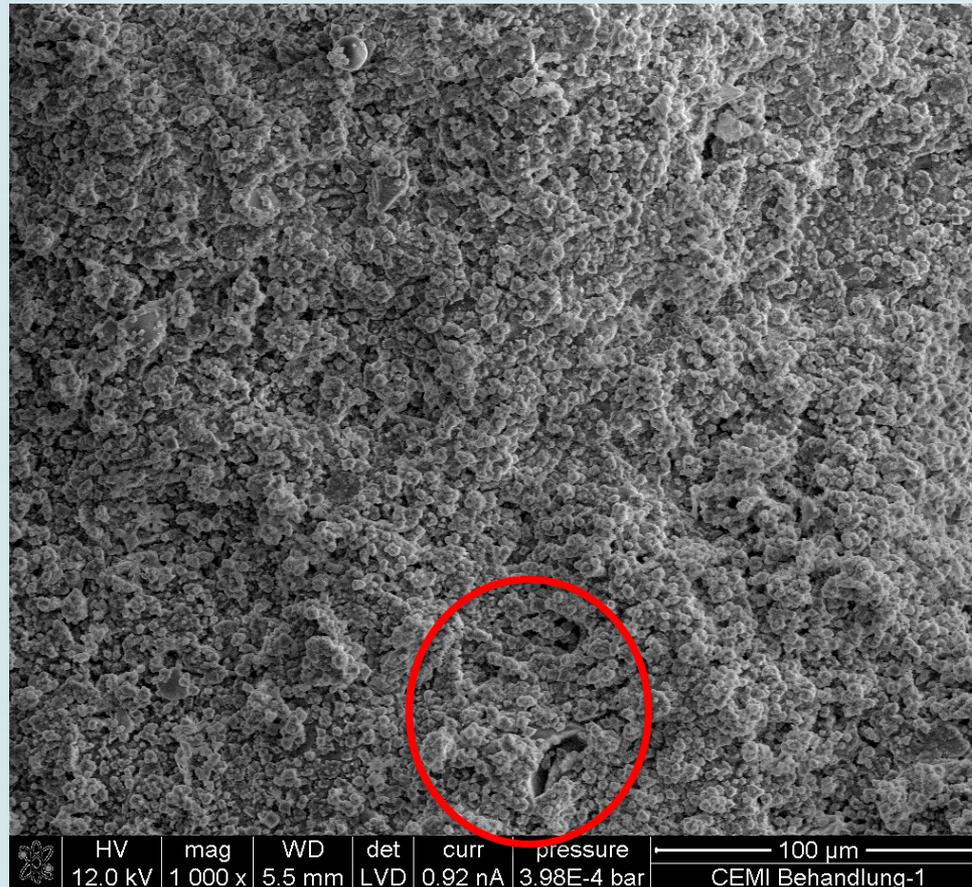
## Rasterelektronenmikroskopie (1000-fach)

- Aufnahme der rezyklierten Gesteinskörnung N/CI



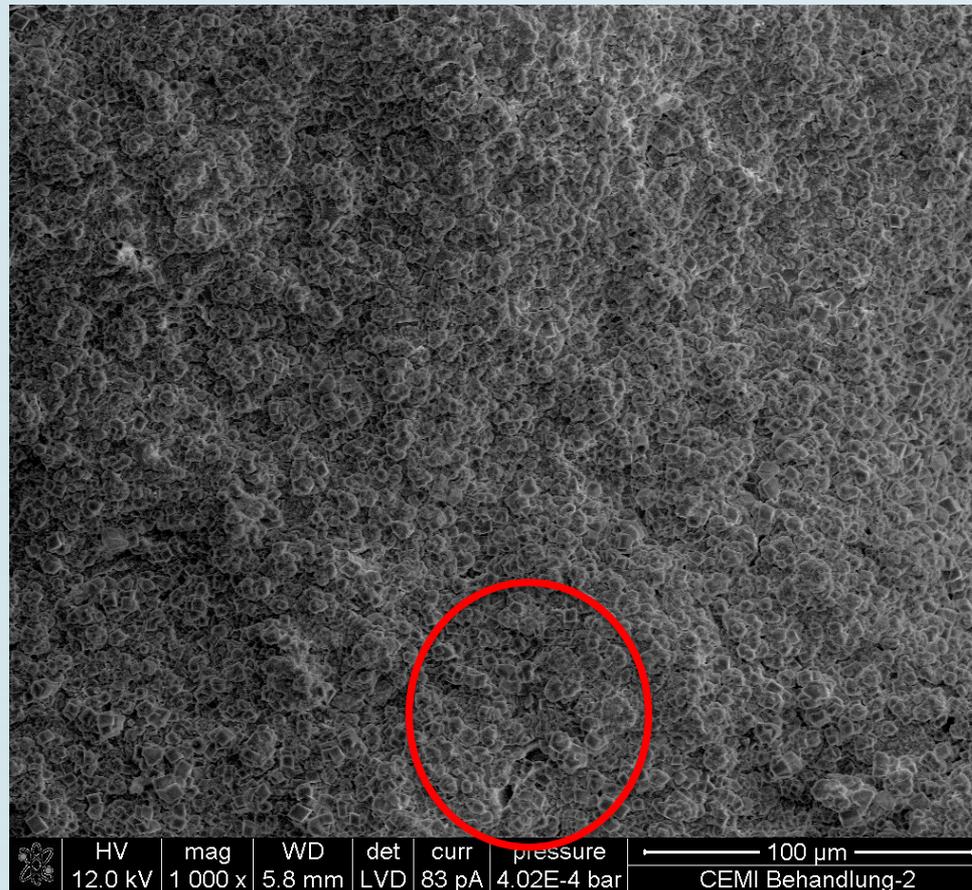
## Rasterelektronenmikroskopie (1000-fach)

- Aufnahme der 3 h carbonatisierten Gesteinskörnung N/CI



## Rasterelektronenmikroskopie (1000-fach)

- Aufnahme der 6 h carbonatisierten Gesteinskörnung N/C1



## Übersicht der Rezepturen

| Bez.               | Bedeutung  |
|--------------------|--|
| <b>N/CI</b>        | <b>Referenzbeton</b> mit natürlicher Gesteinskörnung [CEM I 42,5 N]                        |
| <b>R/45/CI</b>     | Betonmischung mit 45 Vol.-% rezyklierter N/CI-Gesteinskörnung [CEM I 42,5 N]               |
| <b>R/100/CI</b>    | Betonmischung mit 100 Vol.-% rezyklierter N/CI-Gesteinskörnung [CEM I 42,5 N]              |
| <b>RC/45/CI</b>    | Betonmischung mit 45 Vol.-% carbonatisierter N/CI-Gesteinskörnung [CEM I 42,5 N]           |
| <b>RC/100/CI</b>   | Betonmischung mit 100 Vol.-% carbonatisierter N/CI-Gesteinskörnung [CEM I 42,5 N]          |
| <b>N/CIII</b>      | <b>Referenzbeton</b> mit natürlicher Gesteinskörnung [CEM III/A 42,5 N-NA]                 |
| <b>R/45/CIII</b>   | Betonmischung mit 45 Vol.-% rezyklierter N/CIII-Gesteinskörnung [CEM III/A 42,5 N-NA]      |
| <b>R/100/CIII</b>  | Betonmischung mit 100 Vol.-% rezyklierter N/CIII-Gesteinskörnung [CEM III/A 42,5 N-NA]     |
| <b>RC/45/CIII</b>  | Betonmischung mit 45 Vol.-% carbonatisierter N/CIII-Gesteinskörnung [CEM III/A 42,5 N-NA]  |
| <b>RC/100/CIII</b> | Betonmischung mit 100 Vol.-% carbonatisierter N/CIII-Gesteinskörnung [CEM III/A 42,5 N-NA] |

## Referenzbeton N/CI

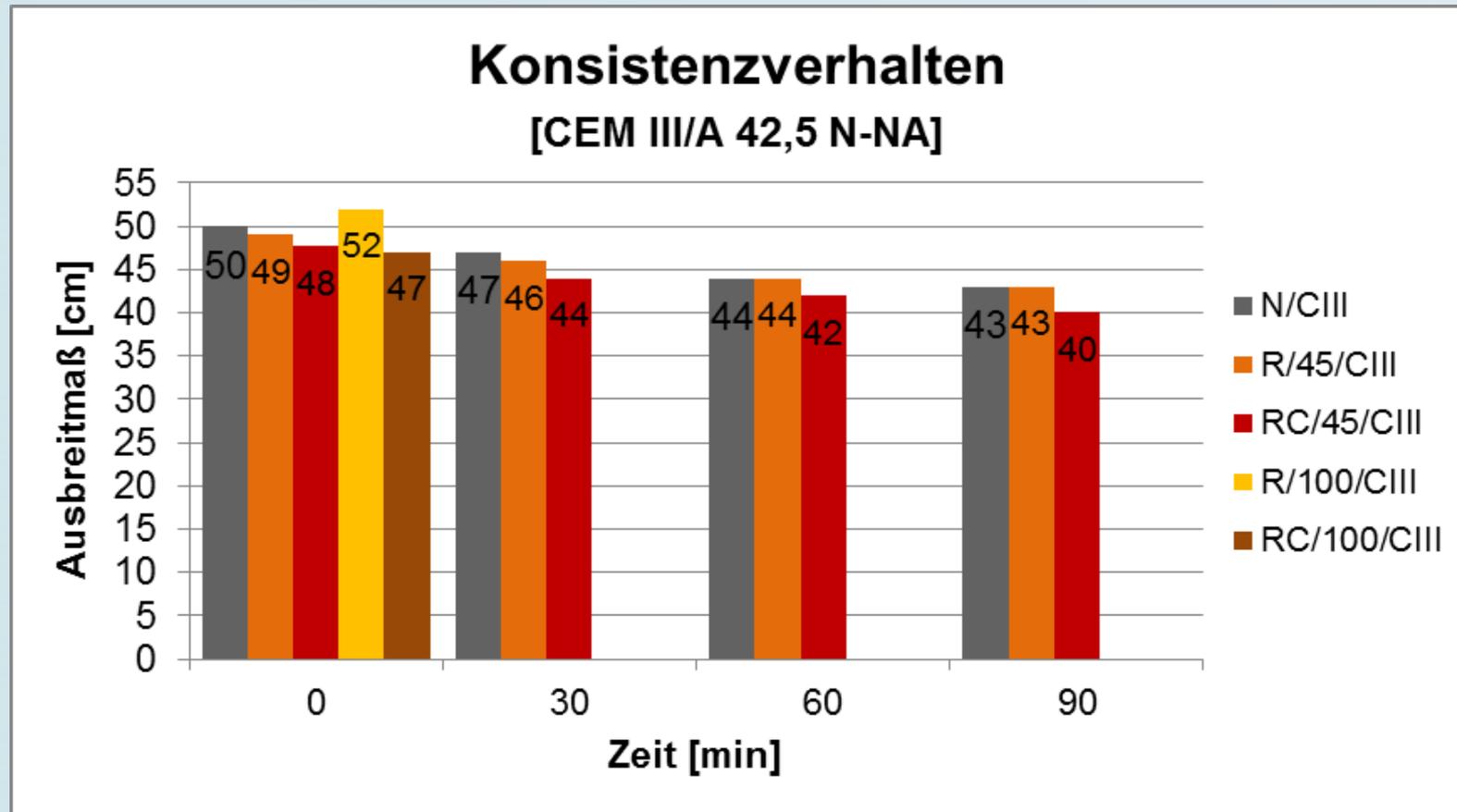
| Ausgangsstoff               | N/CI [kg/m <sup>3</sup> ] |
|-----------------------------|---------------------------|
| <b>Gesteinskörnung 0/2</b>  | 555,1                     |
| <b>Gesteinskörnung 2/8</b>  | 737,3                     |
| <b>Gesteinskörnung 8/16</b> | 555,1                     |
| <b>Zement CEM I 42,5 N</b>  | 350,0                     |
| <b>Wasser</b>               | 175,0                     |

- 3-Stoff-System ohne Zusatzmittel
- w/z-Wert von 0,5
- Sieblinie AB 16
- Gesteinskörnung 0/2 bei allen Betonen identisch

## Frischbetonkennwerte

- Frischbetonkonsistenz
- Frischbetonrohddichten
- LP-Gehalte

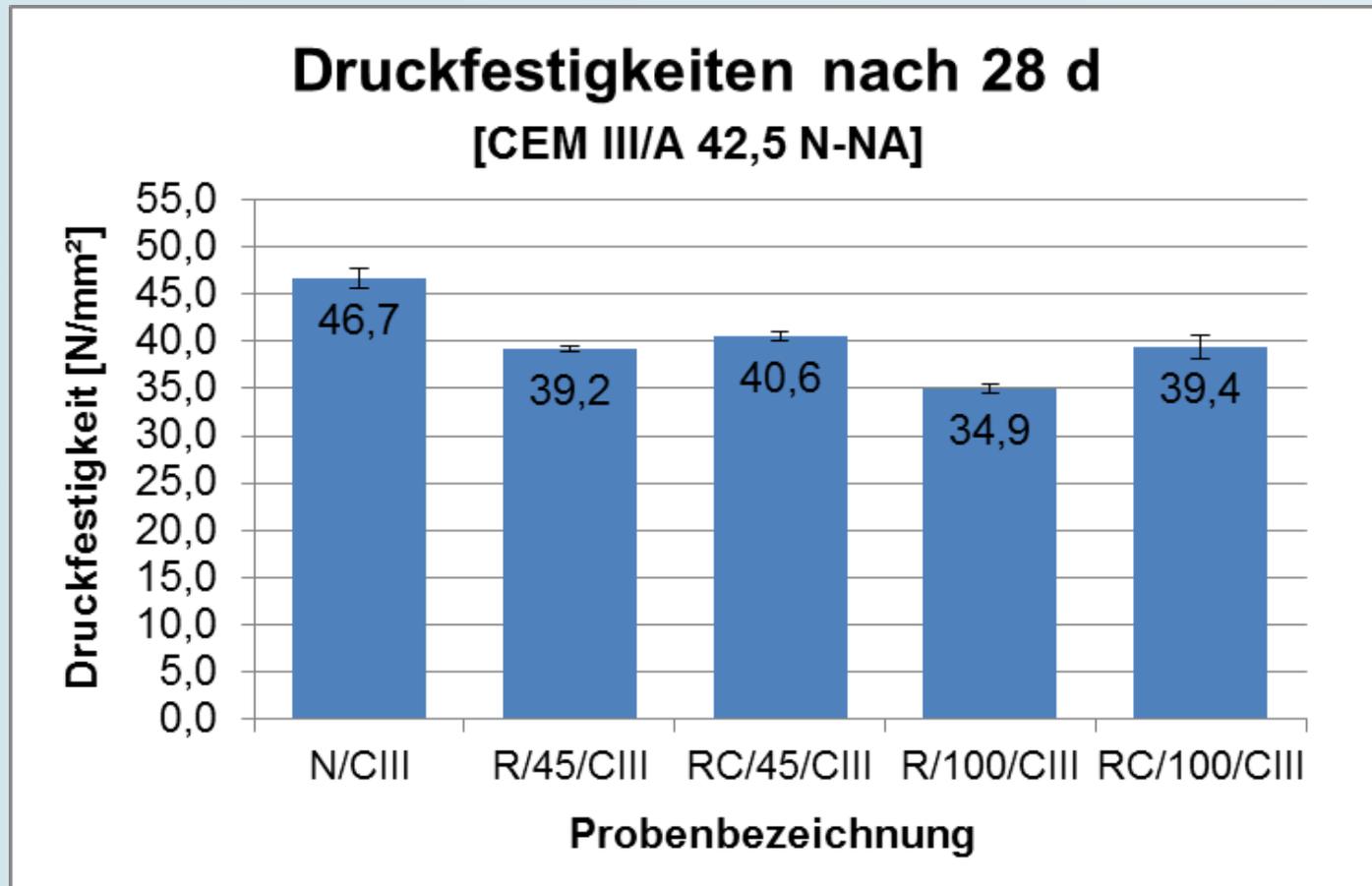
## Frischbetonkonsistenz



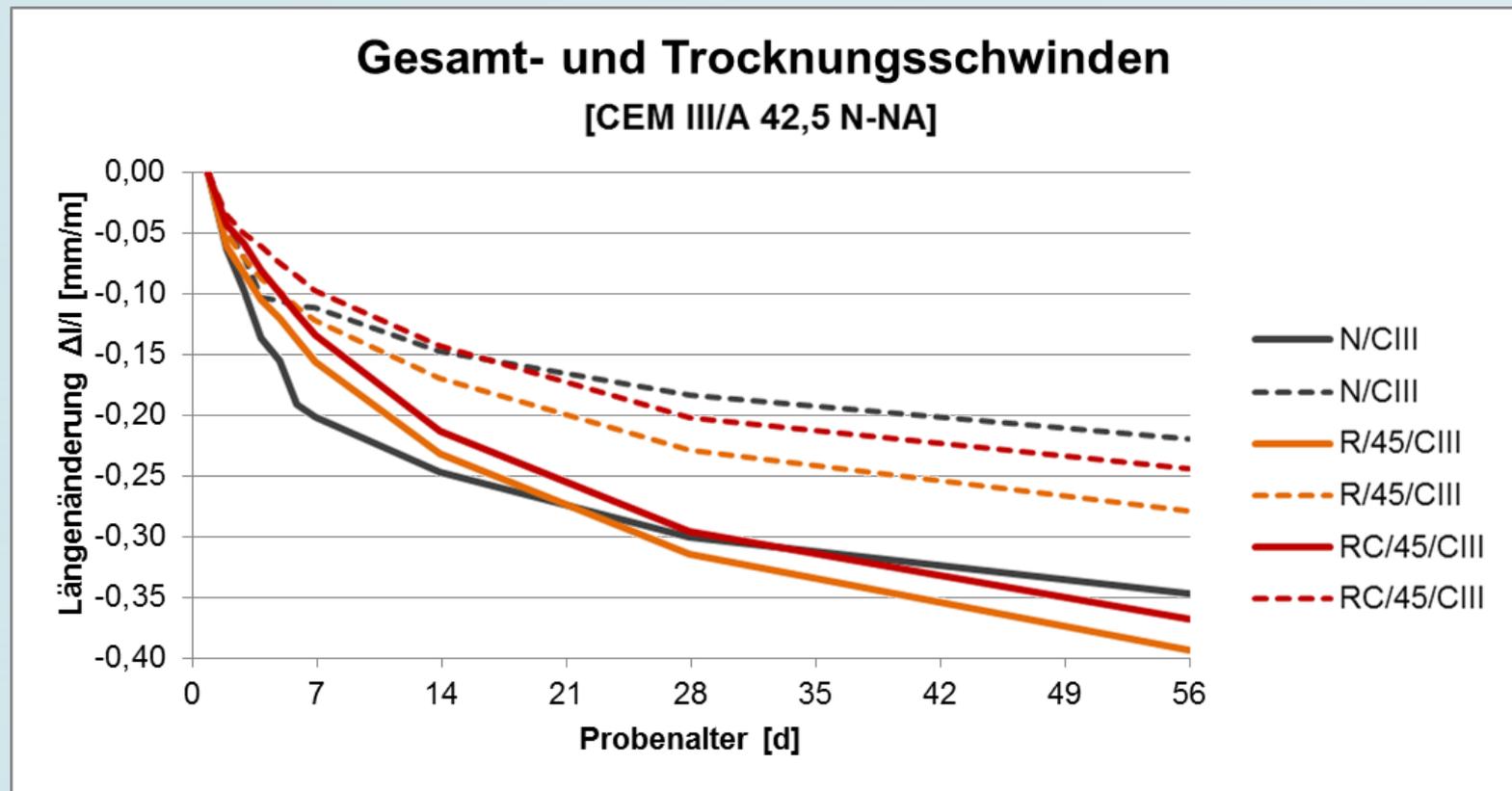
## Festbetonkennwerte

- **Druckfestigkeiten** 2, 7, 14, **28**, 56 d
- Statische Elastizitätsmoduln 28 d
- Dynamische Elastizitätsmoduln 28 d
- Biegezugfestigkeiten 28 d
- **Schwindverhalten** 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14, 28, 56 d
- Frost-Widerstand 28 - 63 d

## Druckfestigkeiten



## Schwindverhalten



## Zusammenfassung

- Charakterisierung der Rezyklate
  - Calciumhydroxid mit  $\text{CO}_2$  erfolgreich zu Calcit umgewandelt
  - optischer Nachweis mithilfe der Rasterelektronenmikroskopie
  - längere Bewitterung erhöht Effektivität der Carbonatisierung
- Frischbetonkennwerte
  - Konsistenzverhalten bei Verwendung rezyklierter oder carbonatisierter Gesteinskörnung nicht beeinträchtigt
- Festbetonkennwerte
  - Verwendung von carbonatisierter Gesteinskörnung steigert Druckfestigkeit gegenüber Einsatz rezyklierter Gesteinskörnung
  - Dynamische Elastizitätsmoduln und Schwindverhalten kaum verändert
  - Einfluss auf weitere Festbetonkennwerte relativ gering
  - Modifizierte Betone erreichen meist nicht Parameter der Referenzbetone

## Ausblick

- Carbonatisierung der Gesteinskörnung weiter optimieren
- Erhöhung der Bewitterungszeiten ermöglicht umfangreichere Umwandlung von Calciumhydroxid zu Calciumcarbonat
- weitere Zementarten charakterisieren
- Erweiterung des 3-Stoff-Systems auf zusätzliche Komponenten
- Anwendbarkeit in Baupraxis abhängig von homogenem Altbeton bzw. erfolgreicher Stofftrennung für Ausgangsmaterial
- Qualitätsverbesserung von Recyclingbetonen möglich

Die dauerhafte Bindung von CO<sub>2</sub> in rezyklierter Gesteinskörnung kann eine Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Atmosphäre erreichen.