

# Untersuchung unterschiedlicher CO<sub>2</sub>-Beaufschlagungszyklen hinsichtlich des Carbonatisierungswiderstands von Beton

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 41 (2017)

Simon Krumscheid, Charlotte Thiel, Christoph Gehlen

Arbeitsgruppe 2: Betontechnologie

## 1 Einleitung

Die Carbonatisierung von Beton kann die Dauerhaftigkeit von Bauteilen aus Stahlbeton gefährden. Dabei zerstört eindringendes Kohlenstoffdioxid die alkalische Schutzwirkung des Betons auf die eingebettete Stahlbewehrung und fördert damit die Gefahr von korrosiven Schädigungen [1]. Daher ist es notwendig, das unterschiedliche Carbonatisierungsverhalten von Beton in Form von Laborprüfungen charakterisieren und bewerten zu können. Da der Carbonatisierungsprozess in zementgebundenen Werkstoffen allerdings über Jahre abläuft, sind Laborprüfungen unter natürlichen Bedingungen sehr zeitintensiv. Im Rahmen der Qualifizierung von Betonzusammensetzungen bzw. allgemeiner Qualitätskontrollen sind jedoch vielmehr schnelle Beurteilungen gefordert. Daher besteht ein Bedarf an beschleunigten Carbonatisierungsprüfungen, welche die natürlichen Prozesse im Labor zuverlässig und zeitraffend simulieren sollen.

In diesem Zusammenhang wird die beschleunigende Wirkung einer zyklischen CO<sub>2</sub>-Beanspruchung unter Druck untersucht. Zu diesem Zweck werden Betonprobekörper innerhalb unterschiedlicher Zyklen abwechselnd bei Überdruck bzw. Atmosphärendruck gelagert und der Carbonatisierungsfortschritt überprüft. Der Gedanke dahinter ist, den CO<sub>2</sub>-Transport über Permeation zu fördern und die Carbonatisierungsbeschleunigung gegenüber Versuchen mit reinem Überdruck bzw. erhöhter Konzentration zu erhöhen. Aus der Literatur, sowie aus vorangegangenen Versuchsreihen geht hervor, dass die infolge der beschleunigten Carbonatisierungsreaktionen verstärkte Wasserbildung und Verdichtung des Zementsteingefüges die CO<sub>2</sub>-Diffusion im Porenraum erheblich behindert [2,3]. Dies gilt es mithilfe der Versuchszyklen zu umgehen. Ebenso sollen praxisfremde Phasenänderungen vermieden werden.

## 2 Messmethoden

Der Versuchsaufbau besteht aus zwei unterschiedlichen Prüfatmosphären, zum einen bei erhöhtem Gasdruck in einem Druckbehälter (Abbildung 1) und zum anderen bei Atmosphärendruck (Klimaschrank). Die Proben werden diesen

Prüfatmosphären innerhalb verschiedener Wechselzyklen über eine Gesamtdauer von 7 Tagen ausgesetzt. Zur Beschleunigung der Carbonatisierungsprozesse wird eine erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration von 2,0 Vol.-% gewählt. Zudem werden konstante klimatische Umgebungsbedingungen bei 21 ± 2 °C sowie 50 – 70 % relativer Luftfeuchte festgelegt. Somit wird lediglich die Dauer der zyklisch wechselnden Lagerungen und zuweilen der CO<sub>2</sub>-Druck variiert.

Anhand geeigneter Untersuchungsmethoden, vor allem zur Entwicklung der Feuchte und Porosität sowie der Phasenzusammensetzung im Beton, gilt es die carbonatisierungsbedingten Vorgänge im Zementstein der Proben zu analysieren.

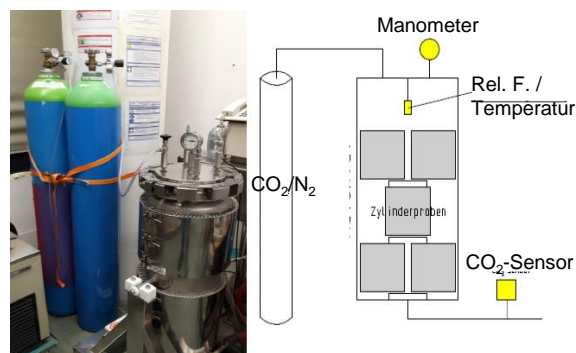


Abbildung 1: Versuchsaufbau Druckbehälter

## 3 Durchführung

Die Studie erfolgt an zylindrischen Betonprobekörpern (100x100mm<sup>2</sup>) aus Portlandzement (CEM I) sowie Hochofenzement (CEM III). Der w/z-Wert beträgt 0,5. Es wird quarzitisches Gesteinskörnung verwendet (Sieblinie A/B 8).

Tabelle 1: Betonzusammensetzung der Proben

Probenbezeichnung	B 3-1	B 3-2
Zementart	CEM I 42,5 R	CEM III B 42,5 N
w/z-Wert	0,5	0,5
Zementgehalt	300 kg/m <sup>3</sup>	300 kg/m <sup>3</sup>
Wassergehalt	150 kg/m <sup>3</sup>	150 kg/m <sup>3</sup>
Gesteinskörnungsgesamt	1939 kg/m <sup>3</sup>	1923 kg/m <sup>3</sup>

Die Betonproben wurden nach dem Betonieren für 24 Stunden in der Schalung belassen und im Anschluss für weitere 27 Tage in gesättigter  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Lösung gelagert. Vor Versuchsbeginn wurden diese zudem bei  $20^\circ \text{C}$  und 65 % RH,  $\text{CO}_2$ -frei unter Argon 21 Tage vorkonditioniert. Im Alter von 28 Tagen wurde darüber hinaus an Prismen die Biegezug- und Druckfestigkeit bestimmt.

#### 4 Ergebnisse

Tabelle 2 zeigt Ergebnisse, die zwei interessante Aspekte verdeutlichen. Vergleicht man die Carbonisierungstiefen ausgewählter zyklischer  $\text{CO}_2$ -Beanspruchungen der Versuchsreihe (Z) mit denen konstanter Prüfverfahren (P) unter erhöh-

ter Konzentration und Überdruck [4], dann ergibt sich zum einen ein merklich beschleunigter Carbonisierungsfortschritt der Zyklen (rechte Spalte). Zum anderen wird die Problematik bisheriger Prüfvarianten deutlich, welche die beiden Betonsorten in unterschiedlichem Maße begünstigen. Während demnach die konstanten Methoden (P) nach 7d zu kaum auswertbaren Ergebnissen beim Beton mit CEM I führen und die Carbonatisierung im Beton mit CEM III erheblich gegenüber solchen mit CEM I fördern, wird mithilfe der Zyklen (Z) im Mittel ein Verhältnis der gemessenen Tiefen von 1,6 erzielt (untere Zeile), welches den Verhältniswert unter natürlichen Bedingungen gut widerspiegelt [5, 6].

**Tabelle 2:** Vergleich gemessener Carbonisierungstiefen unterschiedlich beschleunigter Prüfvarianten

	Carbonisierungstiefe [mm]						Faktor Z / P
	<i>P1_3,20</i>	<i>P2_3,20</i>	<i>P5_3,20</i>	<i>Z4-2</i>	<i>Z5-2</i>	<i>Z6-2</i>	
<i>CEM I</i>	0,20	<b>0,70</b>	0,68	<b>2,60</b>	2,40	2,20	3,71
<i>CEM III</i>	1,20	<b>2,70</b>	1,93	3,75	3,14	<b>4,27</b>	1,58
<b>Verhältnis</b>	6,00	3,86	2,84	1,44	1,31	1,94	
CEM III / CEM I	~ 4,23			~ 1,56			

Zusätzlich konnte festgestellt werden, dass die Betone mit Portlandzement stets eine Verdichtung ihres Gefüges aufwiesen. Die Struktur der Betonproben mit Hochofenzement vergrößerte sich stattdessen nach siebentägiger  $\text{CO}_2$ -Einwirkung. Somit wurden die aus der Literatur bekannten Erkenntnisse zu natürlichen Carbonisierungsvorgängen größtenteils bestätigt.

Während diese Untersuchungen zeigen, dass das makroskopische Carbonisierungsverhalten durch eine zyklische Druckbeaufschlagung effizient beschleunigt werden kann, wird in Anschlussuntersuchungen die Entwicklung des Phasenbestands unter diesen Bedingungen untersucht und mit Langzeitmessungen unter natürlicher Atmosphäre verglichen.

#### 5 Zusammenfassung

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass zyklische  $\text{CO}_2$ -Beanspruchungen durchaus großes Potential zur Entwicklung einer beschleunigten Prüfmethode des Carbonisierungswiderstands von Beton bieten.

#### 6 Literatur

- [1] Schießl P. (1976): Zur Frage der zulässigen Rißbreite und der erforderlichen Betondeckung im Stahlbetonbau unter besonderer Berücksichtigung der Karbonatisierung des Betons, DfStB Heft 255, Berlin W. Ernst u. Sohn.
- [2] Cui, H.; Tang, W.; Liu, W.; Dong, Z.; Xing, F. (2015): Experimental study on effects of  $\text{CO}_2$  concentrations on concrete carbonation and diffusion mechanisms. In: Construction and Building Materials 93, pp. 522-527, Amsterdam: Elsevier Ltd.
- [3] Reardon, E. J.; James, B. R.; Abouchar, J. (1989): High pressure carbonation of cementitious grout. In: Cement and Concrete Research Vol. 19/3, pp. 385-399, Amsterdam: Elsevier Ltd.
- [4] Skora, A. (2017): Einfluss der Nachbehandlung auf die beschleunigte Carbonisierung zementgebundener Baustoffe. Master's Thesis, Technische Universität München.
- [5] Stark, J.; Wicht, B. (2013): Dauerhaftigkeit von Beton. S.129, Berlin: Springer-Verlag.
- [6] Greve-Dierfeld v., S. (2015): Bemessungsregeln zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit XC-exponierter Stahlbetonbauteile. Dissertation, Technische Universität München.