

**Zeitschrift:** Cementbulletin  
**Herausgeber:** Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)  
**Band:** 56-57 (1988-1989)  
**Heft:** 8

**Artikel:** Schnellverfahren zur Beurteilung der Betonkarbonisierung  
**Autor:** Piguet, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-153723>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 02.05.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# CEMENTBULLETIN

AUGUST 1988

JAHRGANG 56

NUMMER 8

---

## Schnellverfahren zur Beurteilung der Betonkarbonatisierung

Einfache Methode zur Beurteilung von Betonqualität und von Sanierungssystemen. Übliche Versuchsdauer: 36 Tage.

Die Betonkarbonatisierung ist zur Hauptsache eine chemische Reaktion zwischen dem Kalkhydrat des Zementsteins und der Kohlensäure von Luft, die in den Zementstein eindringt. Während Jahrzehnten verläuft sie an den Betonoberflächen und neutralisiert dort die äussersten Zonen von einigen Millimetern Stärke. Ihre Auswirkung auf die Dauerhaftigkeit von Stahlbeton ist bekannt und u. a. im «Cementbulletin» Nr.13/87 beschrieben [1]. Bei Bauvorhaben möchte man zusätzlich noch ihren mutmasslichen Verlauf in Erfahrung bringen.

Die Karbonatisierung ist von folgenden *Einflussgrössen* abhängig:

- Beton: Porosität (W/Z-Wert), Nachbehandlung (Art und Dauer), Hydratationsgrad.
- Umgebung: relative Luftfeuchtigkeit, Gehalt an Kohlensäure, Temperatur.

Die chemische Reaktion selbst verläuft relativ rasch. Die *Geschwindigkeit* der Betonkarbonatisierung ist deshalb hauptsächlich vom Luftzutritt abhängig und kann als Gasdiffusion in porösen Stoffen beschrieben werden [2]. Hier gilt näherungsweise das Wurzel-Zeit-Gesetz [3]

$$y = k \cdot \sqrt{t} \quad (\text{Gl. I})$$

$y$  = Karbonatisierungstiefe (in mm)

$k$  = Karbonatisierungskoeffizient (in  $\text{mm} \cdot \text{Jahr}^{-0,5}$ )

$t$  = Zeit (Betonalter in Jahren)

Der *Karbonatisierungskoeffizient* umfasst die oben genannten Einflussgrößen. Er ist eine Materialkonstante des gegebenen Betons, hängt aber gleichzeitig noch von den herrschenden Umweltbedingungen ab, denen ein Bauwerk im Laufe der Jahre ausgesetzt ist.

Bei bestehenden älteren Bauten lässt sich  $y$  messen;  $t$  findet man in den Bauakten. Mit Gl. I berechnet man  $k$  und kann die Dauerhaftigkeit bezüglich der Karbonatisierung für gleichbleibende Umweltbedingungen genügend genau voraussagen.

Im Zusammenhang mit der Bauwerksqualität ergeben sich aber noch weitere Fragen, beispielsweise:

1. Ein Beton, der nur wenige Wochen alt ist, weist noch keine starke Karbonatisierung auf. Sein Verhalten kann nicht nach Gl. I berechnet werden. Wie wird sich dieser Beton im Laufe der Jahre verhalten?
2. Für eine Grossbaustelle oder für die Vorfabrikation werden Vorversuche durchgeführt. Können die Betonrezepte im Hinblick auf die Karbonatisierung noch verbessert werden?
3. Bei der Sanierung von Betonoberflächen sollen Schutzschichten aufgebracht werden, die u. a. die Karbonatisierung verlangsamen («Karbonatisierungsbremsen»). Wie gross ist ihre Wirksamkeit gegenüber dem Zutritt von  $\text{CO}_2$ ?

Nachstehend wird eine Untersuchungsmethode beschrieben, die den sonst langsam verlaufenden Karbonatisierungsvorgang innert einigen Wochen messbar macht [4].

### Physikalische Grundlagen

Bei der Untersuchungsmethode wird angenommen, dass Gl. I auch im Versuch zutrifft. Benötigt wird allerdings nicht der Karbonatisierungskoeffizient  $k$  in seiner vereinfachten Form, sondern als

$$k = \sqrt{2D \cdot \frac{c_1}{c_2}}$$

wobei  $D$  = Diffusionskonstante für  $\text{CO}_2$  des karbonatisierten Betons (in  $\text{mm}^2/\text{s}$ )

3

$c_1 = \text{CO}_2\text{-Gehalt der Atmosphäre (g/m}^3\text{)}$

$c_2 = \text{erforderliche Menge CO}_2 \text{ zur vollständigen Karbonatisierung von 1 m}^3 \text{ Beton (in g/m}^3\text{)}$

so dass 
$$y = \sqrt{2 D \cdot \frac{c_1}{c_2} \cdot t} \quad (\text{Gl. II})$$

Die Versuche werden mit Probestücken aus einem Bauwerk oder aus Laborbeton durchgeführt. Die Resultate vergleicht man mit Werten desselben Betons. In diesem Fall bleiben die Materialwerte  $D$  und  $c_2$  konstant, so dass gilt

$$Y = \sqrt{2 D \cdot \frac{C_1}{c_2} \cdot T}$$

wobei  $Y = \text{Karbonatisierungstiefe am Probestück im Laborversuch}$

$C_1 = \text{CO}_2\text{-Gehalt im Laborversuch}$

$T = \text{Zeit (Dauer des Laborversuchs)}$

Im Labor will man dieselbe Karbonatisierungstiefe erreichen, wie sie an einem Bauwerk auftritt, d. h.  $Y = y$ . Also gilt:

$$c_1 \cdot t = C_1 \cdot T = \text{konstant} \quad (\text{Gl. III})$$

Gleichung III zeigt den Modellmassstab. Die Dauer des Laborversuchs kann im selben Verhältnis verkürzt werden, wie der  $\text{CO}_2$ -Gehalt erhöht wird.

### Ausrüstung

Zur benötigten Ausrüstung gehört ein gewöhnlicher Kunststoffbehälter aus PVC von etwa 60 l Volumen (Abb. 1). Er ist mit einem Deckel gasdicht verschliessbar. Die Kohlensäure wird durch je eine Waschflasche zu- und weggeführt. Beide Waschflaschen enthalten Äthylenglykol (Vermeidung von Verdampfungsverlusten).

Auf dem Boden des Behälters befindet sich ein flaches Becken, das mit einer gesättigten Lösung an Ammoniumsulfat gefüllt ist. Auf diese Weise wird die relative Luftfeuchtigkeit im Innern des Behälters konstant gehalten. Um ein gleichmässiges Klima zu schaffen, wird jede Stunde ein kleiner Ventilator während 15 Minuten eingeschaltet. Einige Zentimeter über dem Becken befindet sich ein Gitter, wo die Probestücke des zu prüfenden Betons gelagert werden.

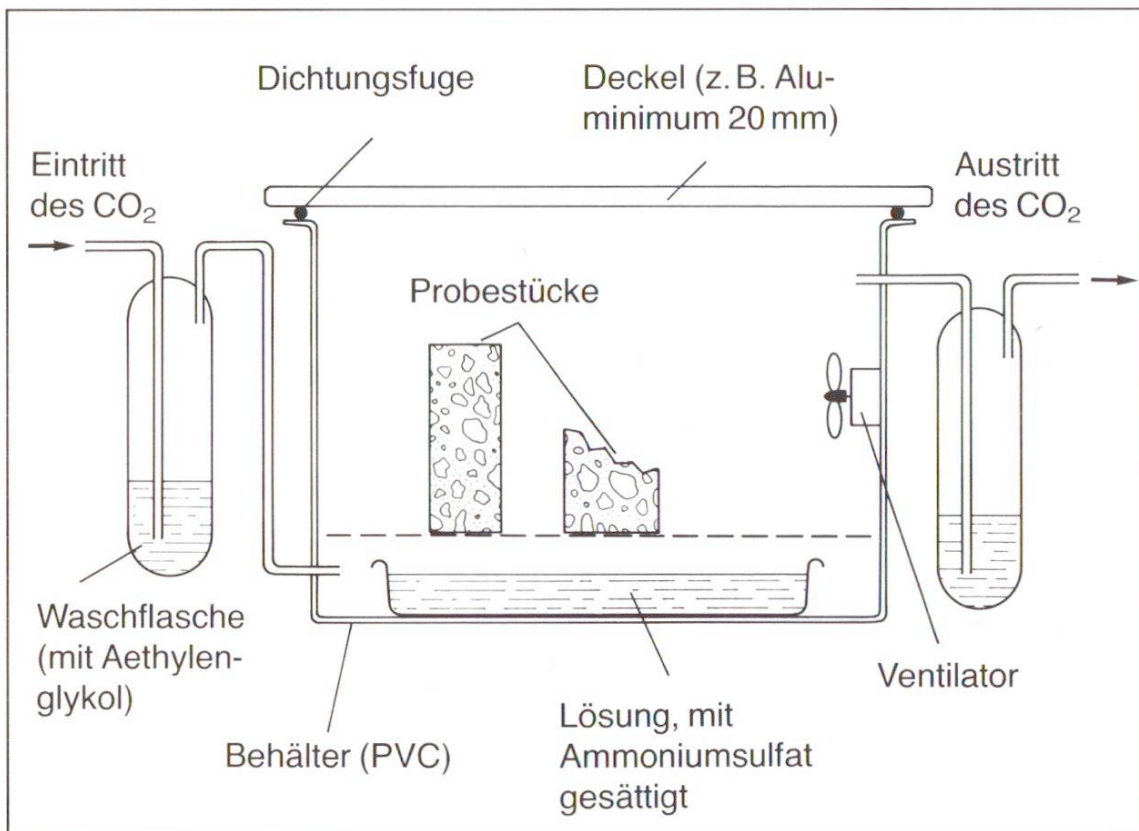


Abb. 1 Ausrüstung zur Durchführung der Versuche.

## Durchführung

*Versuchsprogramm:* Vor Versuchsbeginn wird ein Versuchsprogramm mit Zweck und zeitlichem Umfang erstellt.

*Probestücke:* Form und Abmessungen sind grundsätzlich nicht beschränkt. Bei Bauwerken verwendet man üblicherweise Bohrkern von 50 mm Durchmesser und 100 mm Länge. Ihre Mantelflächen werden abgedichtet (Bestreichen mit Paraffin bei einer Temperatur von 60 °C). In diesem Fall erfolgt der Zutritt von CO<sub>2</sub> nur an den Grund- und Deckflächen. Man kann also die Probekörper entsprechend ihrer Form und Herkunft präparieren, aber auch entsprechend jener Oberflächen, die man der Karbonatisierung aussetzen will.

*Probenahme an Bauwerken:* Die Bohrkern müssen nicht speziell behandelt werden. Das Notieren von Ort, Datum und Betonalter sowie ein Nummerieren genügen. Ihre Anzahl richtet sich nach dem zuvor erstellten Versuchsprogramm. Besteht eine anfängliche Karbonatisierung, kann sie vor Versuchsbeginn gemessen und bei der Interpretation berücksichtigt werden. In der Regel wird man auch Referenzproben beiseite legen.

*Umgebung:* Im Laborversuch wird die normale Atmosphäre durch reine Kohlensäure mit einer relativen Feuchtigkeit von 75% ersetzt. Die Temperatur entspricht Zimmertemperatur.

- 5 Saubere Luft hat einen Kohlensäuregehalt von 0,033 Vol.-%. Bei Verwendung von reinem CO<sub>2</sub> statt Luft beträgt das Verhältnis

$$C_1/c_1 = 3000 \quad (\text{gemäss Gl. III})$$

Verschmutzte Luft hat einen höheren CO<sub>2</sub>-Gehalt, was im Versuch mit dem Verhältnis C<sub>1</sub>/c<sub>1</sub> berücksichtigt werden kann.

Die Geschwindigkeit der Karbonatisierung ist stark von der Luftfeuchtigkeit abhängig. Sie ist am höchsten bei Werten zwischen 40 und 80% r. F. Im Versuch wird deshalb die Feuchtigkeit auf 75% r. F. eingestellt und konstant gehalten.

*Versuchsdauer:* Als Versuchsdauer T sind 36 Tage (= 0,1 Jahr) festgelegt. Gemäss Gleichung III entspricht dies:

$$t = \frac{C_1}{c_1} \cdot T = 3000 \cdot 0,1 = 300 \text{ Jahre}$$

Das Schnellverfahren beruht darauf, dass man durch Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Belastung einen praktisch vorkommenden Zeitraum (z. B. die Lebensdauer eines Bauwerks) im Labor simuliert. Selbstverständlich sind auch Zwischenwerte möglich, was im Versuchsprogramm festzuhalten ist.

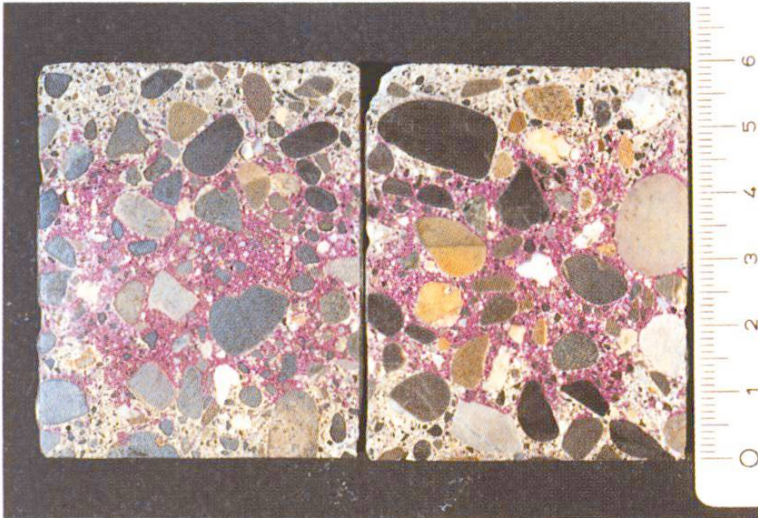
*Messung der Karbonatisierungstiefe:* Am Ende des Versuchs werden die Probestücke mit Diamantscheiben aufgeschnitten und sofort mit Pressluft getrocknet. Trockenes Schneiden ist nicht erforderlich. Anschliessend wird die Karbonatisierungstiefe Y mit dem bekannten Phenolphthalein-Test ermittelt.

## **Interpretation der Resultate**

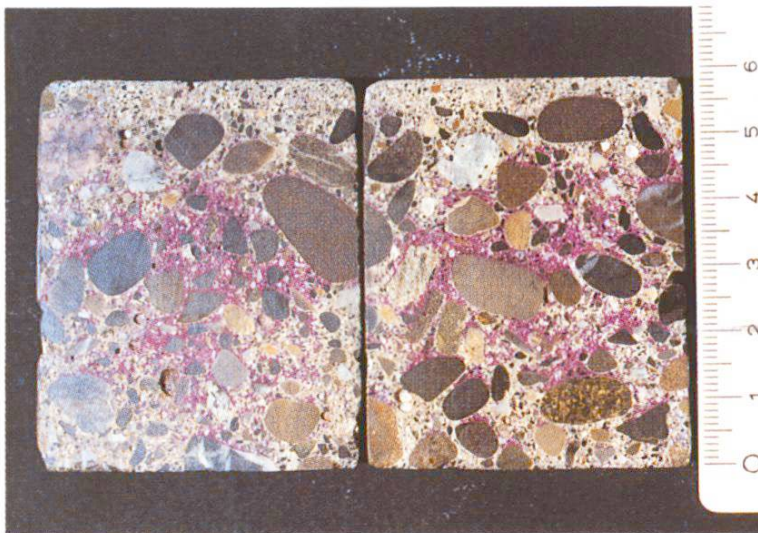
Das beschriebene Schnellverfahren dient vor allem zu praktischen Vergleichszwecken. Bei gegebenen Umweltbedingungen kann man ermitteln, ob sich ein Beton gut oder schlecht verhalten wird. Hier zeigt sich deutlich, dass hohe Dichte nicht nur höhere Festigkeit, sondern auch ein besseres Karbonatisierungsverhalten zur Folge hat. Voraussetzung dafür sind niedriger W/Z-Wert und ausreichende Nachbehandlung. Beispiel 1 enthält drei Probestücke mit W/Z = 0,50 bis 0,60, die einem Standardversuch unterzogen worden sind. Während die Karbonatisierungstiefe Y bei W/Z = 0,50 nur 12,5 mm beträgt, steigt sie bei W/Z = 0,60 auf über 30 mm an.

Mit dem Schnellverfahren kann ferner die Wirksamkeit eines Schutzsystems überprüft werden. Verglichen werden die Karbonatisierungstiefen von Betonoberflächen mit und ohne Schutzschicht. Beispiel 2 zeigt ein Probestück, wo die Karbonatisierung durch eine

**Beispiel 1** Einfluss des W/Z-Wertes auf die Betonkarbonatisierung. Beton PC 350, 0–16 mm.



W/Z = 0,50  
Y = 12,5 mm  
 $K = 0,72 \text{ mm} \cdot a^{-0,5}$

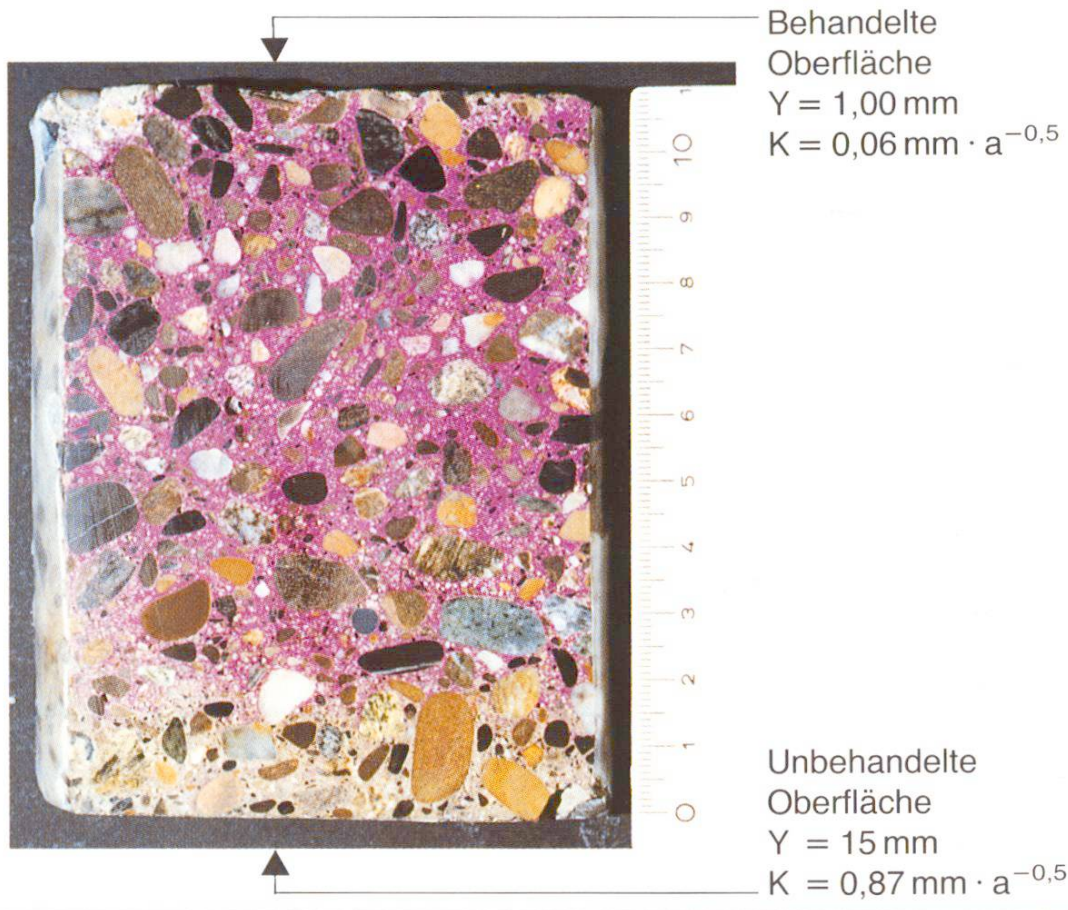


W/Z = 0,55  
Y = 17,0 mm  
 $K = 0,98 \text{ mm} \cdot a^{-0,5}$



W/Z = 0,60  
Y > 30 mm  
 $K > 1,73 \text{ mm} \cdot a^{-0,5}$

**Beispiel 2** Einfluss einer Schutzschicht auf die Betonkarbonatisierung. Beton PC 325, 0–16 mm. W/Z = 0,55



Schutzschicht praktisch verhindert wird. Auf dieselbe Weise können auch verschiedene Reparatursysteme miteinander verglichen werden.

Bei dieser Methode handelt es sich um ein kombiniertes Verfahren, d.h., Schutzschicht und Betonuntergrund werden einer gemeinsamen Prüfung ausgesetzt. Bei gutem Beton wird man mit allen Systemen auch gute Werte erhalten. Unterschiede zeigen sich erst bei schlechten Betonstücken, wie sie aber im Sanierungsfall auch vorliegen.

Die Resultate selbst, insbesondere der berechnete Karbonatisierungskoeffizient, können nicht ohne weiteres auf die tatsächlichen Verhältnisse eines Einzelfalles übertragen werden. So ist zu berücksichtigen:

- Der Hydratationsgrad bleibt im Versuch unverändert. Am Bauwerk nimmt er aber mit der Zeit zu, was die Karbonatisierung verlangsamt.
- Eine Betonoberfläche ist den Schwankungen des  $\text{CO}_2$ -Gehalts und der relativen Feuchte der Luft ausgesetzt. Der Karbonatisie-

8 rungskoeffizient  $k$  gemäss Gleichung I berücksichtigt diese tatsächlichen Verhältnisse. Soll er im Labor ermittelt werden, so gilt

$$K = \frac{Y}{\sqrt{t}} \quad (\text{Gl. IV})$$

wobei  $K$  = Karbonatisierungskoeffizient des Probestücks im Laborversuch  
(in  $\text{mm} \cdot \text{Jahr}^{-0,5}$ )

und für 100 %  $\text{CO}_2$  hat man bei  $T = 0,1$  Jahr

$$\sqrt{t} = \sqrt{\frac{C_1}{c_1} \cdot T}, \text{ z. B. } \sqrt{3000 \cdot 0,1} = 17,3 \text{ Jahre}^{0,5}$$

$K$  ist als Grössenordnung zu verstehen. Wegen der Klimaschwankungen soll er nicht als  $k$  in Gl. I zur Berechnung des tatsächlichen späteren Verlaufs verwendet werden.

- Schutzschichten, wie beispielsweise die Karbonatisierungsbremsen, sind der Witterung ausgesetzt. Ihre Wirkung kann im Laufe der Jahre abnehmen, was in diesen Versuchen nicht simuliert werden kann.

Das Schnellverfahren wurde von der TFB entwickelt, um in den praktisch vorkommenden Fällen eine nützliche Entscheidungshilfe zu haben.

**Verfasser:** Dr. A. Piguet, TFB, Vernier. **Redaktion:** B. Meyer.

#### Literatur

- [1] Betonkarbonatisierung und Dauerhaftigkeit. Cementbulletin Nr. 13 (1987).
- [2] *Klopfner, H.*: «Die Carbonatisation von Sichtbeton und ihre Bekämpfung.». Bautenschutz und Bausanierung, Heft 3, S. 86–97 (1978).
- [3] *Weber, H.*: «Berechnung des Carbonatisierungsfortschritts und der damit verbundenen Lebenserwartung von Stahlbetonteilen.». In: Weber H.: (Hrsg.): Fassadenschutz und Bausanierung. 2. Aufl. Kontakt und Studium, Bd. 40. Grafenau: Expert Verlag (1983).
- [4] *Brianza, M. und Piguet, A.*: «Praxisbezogenes Schnellverfahren zur Beurteilung der Einwirkung von  $\text{CO}_2$  auf zementgebundene Baustoffe.». Esslingen: 2. Internationales Kolloquium «Werkstoffwissenschaften und Bausanierung», S. 651–657 (1986).