

DIN EN 12390-10

ICS 91.100.30

Entwurf

Einsprüche bis 2017-05-24
Vorgesehen als Ersatz für
DIN CEN/TS 12390-10:2007-12

**Prüfung von Festbeton –
Teil 10: Bestimmung des Karbonatisierungswiderstandes von Beton bei
atmosphärischer Konzentration von Kohlenstoffdioxid;
Deutsche und Englische Fassung prEN 12390-10:2017**

Testing hardened concrete –

Part 10: Determination of the carbonation resistance of concrete at atmospheric levels of carbon dioxide;

German and English version prEN 12390-10:2017

Essai pour béton durci –

Partie 10: Détermination de la résistance à la carbonatation du béton à des niveaux atmosphériques de dioxyde de carbone;

Version allemande et anglaise prEN 12390-10:2017

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-03-24 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 43 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12390-10:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 104 „Beton und zugehörige Produkte“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-07-05 AA „Prüfverfahren für Beton (SpA CEN/TC 104/SC 1/TG 8 und CEN/TC 104/SC 1/TG 11 sowie CEN/TC 51/WG 12)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der prEN 12390-10 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Änderungen

Gegenüber DIN CEN/TS 12390-10:2007-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Überführen der technischen Spezifikation in eine Norm;
- b) Änderung des Titels;
- c) Änderung des Anwendungsbereiches;
- d) die Prüfung gegen einen Referenzbeton entfällt, dadurch wird statt eines relativen Karbonatisierungswiderstandes anhand der zeitabhängigen Karbonatisierungstiefe der Prüfkörper eine mittlere Karbonatisierungsgeschwindigkeit bestimmt;
- e) die Anforderungen an das Laborklima wurden präzisiert;
- f) redaktionelle Überarbeitung der Norm.

Prüfung von Festbeton — Teil 10: Bestimmung des Karbonatisierungswiderstandes von Beton bei atmosphärischer Konzentration von Kohlenstoffdioxid

Essai pour béton durci — Partie 10 : Détermination de la résistance à la carbonatation du béton à des niveaux atmosphériques de dioxyde de carbone

Testing hardened concrete — Part 10: Determination of the carbonation resistance of concrete at atmospheric levels of carbon dioxide

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.8f

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Kurzbeschreibung	5
4 Reagenzien und Geräte	5
5 Herstellung der Probekörper	6
5.1 Allgemeines	6
5.2 Verfahren bei Nutzung der Konditionierungskammer	6
5.3 Verfahren bei Nutzung eines Orts mit natürlichen Lagerungsbedingungen	7
6 Messungen der Karbonatisierungstiefe	8
6.1 Alter bei Prüfung und Herbeiführung der Farbveränderung	8
6.2 Bestimmung der Karbonatisierungstiefe	8
6.2.1 Allgemeines	8
6.2.2 Messung der Karbonatisierungstiefe	9
6.2.3 Berücksichtigung von dichten Gesteinskörnungen	9
6.2.4 Berücksichtigung von Poren, porösen Gesteinskörnungen und Extremwerten	9
7 Bestimmung der Karbonatisierungsgeschwindigkeit	9
8 Prüfbericht	10
9 Präzision	11
Anhang A (informativ) Hinweise zur Auswahl einer geeigneten Klimakammer	14
Anhang B (informativ) Hinweise zu natürlichen Lagerungsbedingungen	18
Literaturhinweise	20

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12390-10:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 104 „Beton und zugehörige Produkte“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird CEN/TS 12390-10:2007 ersetzen.

Mit dem Entwurf dieser Europäischen Norm wurde CEN/TC 51/WG 12 beauftragt.

Die Reihe EN 12390: *Prüfung von Festbeton* umfasst folgende Teile:

- Teil 1: *Form, Maße und andere Anforderungen für Probekörper und Formen*
- Teil 2: *Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen*
- Teil 3: *Druckfestigkeit von Probekörpern*
- Teil 4: *Bestimmung der Druckfestigkeit — Anforderungen an Prüfmaschinen*
- Teil 5: *Biegezugfestigkeit von Probekörpern*
- Teil 6: *Spaltzugfestigkeit von Probekörpern*
- Teil 7: *Dichte von Festbeton*
- Teil 8: *Wassereindringtiefe unter Druck*
- Teil 10: *Bestimmung des Karbonatisierungswiderstandes von Beton bei atmosphärischer Konzentration von Kohlenstoffdioxid*
- Teil 11: *Bestimmung des Chloridwiderstandes von Beton — Einseitig gerichtete Diffusion*
- Teil 13: *Bestimmung des Elastizitätsmoduls unter Druckbelastung (Sekantenmodul)*

und die folgenden Technischen Spezifikationen:

- Teil 9: *Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand — Abwitterung*

Einleitung

In bewehrten Spannbetonbauwerken müssen herkömmliche Stahlbewehrungen durch eine ausreichende Betondeckung geschützt werden, um sicherzustellen, dass die vorgesehene Gebrauchsdauer erreicht wird. Durch Karbonatisierung ausgelöste Korrosion der Bewehrung kann für die Gebrauchstauglichkeit eines Bauwerks eine entscheidende Rolle spielen und folglich ist der Karbonatisierungswiderstand von Beton, insbesondere in der Deckungszone, eine wichtige zu bestimmende Eigenschaft.

Diese Prüfung darf zur Messung der Karbonatisierungsgeschwindigkeit von frisch gegossenem Beton herangezogen werden. Sie darf zur Bewertung der Auswirkung einer Veränderung eines Bestandteils, z. B. Zementart, Zusatzstoff, oder der Auswirkung einer Veränderung der Mischungsanteile, z. B. W/Z-Wert, Zementgehalt, Feinanteil, herangezogen werden.

Die durch dieses Prüfungsverfahren bestimmte Karbonatisierungsgeschwindigkeit darf als Eingabeparameter für ein Modell verwendet werden, welches den Beginn der Korrosion der Bewehrung schätzt.

Bei der Bewertung der Dauerhaftigkeitseigenschaften eines Betons mit unbekanntem Karbonatisierungswiderstand oder eines Betons mit einem oder mehreren unbekannten Bestandteilen kann es notwendig sein zu bestimmen, ob dieser Beton/diese Bestandteile einen ähnlichen oder besseren Karbonatisierungswiderstand als die aktuell akzeptierten Betone/Bestandteile bietet/bieten. CEN TR 16563 [1] legt die grundlegenden Prinzipien dar, denen gleichwertige Verfahren zur Prüfung der Dauerhaftigkeit folgen müssen. Aus europäischer Sicht ist es sinnvoll, gemeinsame Prüfverfahren und gemeinsame Bewertungsverfahren zu haben. Diese Europäische Norm stellt das europäische Verfahren zur Bestimmung des Karbonatisierungswiderstands bei natürlichen Konzentrationen von Kohlenstoffdioxid dar und wird als Verfahren empfohlen, das zur Bestimmung der äquivalenten Dauerhaftigkeit in Bezug auf Karbonatisierung anzuwenden ist.

Beton darf auch auf der Grundlage seines Karbonatisierungswiderstands klassifiziert werden. Diese Norm bezieht sich auf Prüfverfahren und beschreibt daher nur die Ermittlung standardisierter Prüfergebnisse; wie diese Prüfergebnisse zur Bestimmung einer Klasse verwendet werden, ist nicht Teil des Anwendungsbereichs dieser Norm.

Zu Normungszwecken wird die Konzentration von Kohlenstoffdioxid bei der Prüfung in der Konditionierungskammer auf 400 ppm festgelegt, was eine Steigerung um 50 ppm gegenüber dem in den vorherigen Fassungen dieser Norm angewandten Wert bedeutet; die atmosphärischen Konzentrationen von Kohlenstoffdioxid sind jedoch in Bezug auf Lage und Zeit nicht konstant. In einigen städtischen und industriellen Gebieten kann die atmosphärische Konzentration von Kohlenstoffdioxid 400 ppm überschreiten.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm beschreibt die Verfahren, die zur Bestimmung der Karbonatisierungsgeschwindigkeit von Beton, ausgedrückt in $\text{mm}/\sqrt{\text{Jahr}}$, angewandt werden.

Diese Europäische Norm beschreibt das Verfahren, bei dem eine Standard-Konditionierungskammer verwendet wird und die Probekörper an einem Standort positioniert werden, an dem sie der natürlichen Witterung ausgesetzt, jedoch vor Regen geschützt sind. Das Verfahren mit der Standard-Konditionierungskammer ist das Referenzverfahren.

Diese Verfahren sind für Erstprüfungen von Beton geeignet, jedoch nicht angemessen für die werkseigene Produktionskontrolle.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 12390-1, *Prüfung von Festbeton — Teil 1: Form, Maße und andere Anforderungen für Probekörper und Formen*

EN 12390-2, *Prüfung von Festbeton — Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen*

EN 12390-3, *Prüfung von Festbeton — Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern*

3 Kurzbeschreibung

Betonträgerpaare (oder zwei Würfel je Prüfalter) werden in einer Konditionierungskammer nach 4.4 oder an einem Standort unter natürlichen Lagerungsbedingungen nach 4.5 gelagert. Nach einer spezifischen Expositionsdauer wird für jedes Prüfalter eine etwa 50 mm dicke Scheibe von der Schmalseite des Trägers abgebrochen und auf ihre Karbonatisierungstiefe geprüft. Alternativ werden bei der Verwendung von Würfeln diese in der Mitte zerbrochen, und eine Hälfte jedes Würfels wird zur Messung der Karbonatisierungstiefe verwendet, die andere dagegen wird entsorgt. Die Karbonatisierungstiefe wird an drei Stellen an jeder Fläche jedes Trägers/Würfels gemessen, so dass potentiell insgesamt 12 Messungen je Probekörper und potentiell 24 Messungen für die zwei Probekörper ausgeführt werden. Die durchschnittliche Karbonatisierungstiefe aller Messungen wird berechnet. Die Trägerreste werden für Prüfungen bei anderen vorbestimmten Prüfaltern wieder in der Konditionierungskammer gelagert. Die Karbonatisierungsgeschwindigkeit, ausgedrückt in $\text{mm}/\sqrt{\text{Jahre}}$, wird unter Bezugnahme auf mindestens drei Sätze von Messdaten, die nach 3 Monaten, 6 Monaten und 1 Jahr ermittelt wurden, bestimmt.

4 Reagenzien und Geräte

4.1 Eine Lösung aus 1 g Phenolphthaleinpulver¹⁾, aufgelöst in einer Lösung von 70 ml Ethanol und 30 ml deionisiertem Wasser oder einem alternativen Indikator mit einer Farbveränderung im Bereich von pH 8 bis 11, der eine ausreichend klare Farbveränderung in Beton erzeugt, um die neutralisierte Zone abzugrenzen, z. B. Thymolphthalein.

1) WARNUNG: Phenolphthalein wird in Anhang 2 der REACH-Verordnung und ihrer Liste der besonders besorgniserregenden Stoffe aufgeführt. Beim Umgang mit Phenolphthaleinpulver sollten Schutzhandschuhe getragen werden, und es sollte mit äußerster Vorsicht in einem Gasabzugsschrank mit einer Absaugvorrichtung gehandhabt werden.

4.2 Sofern verwendet, eine Fixierlösung zur dauerhaften Fixierung der Farbveränderung im Betonprobekörper, siehe 6.1.

ANMERKUNG Lieferanten einiger Indikatorlösungen liefern auch eine Fixierlösung, die die Farbveränderung dauerhaft fixiert.

4.3 Lupe und Messlehre zur Messung der Karbonatisierungstiefe normal zur Oberfläche mit einer Fehlergrenze von 0,5 mm.

4.4 Eine Konditionierungskammer, in der die durchschnittliche Kohlenstoffdioxid-Konzentration (Volumenanteil) für die Dauer der Prüfung auf $(0,040 \pm 0,001) \%$ ohne Schwankungen außerhalb von $(0,040 \pm 0,005) \%$, die Temperatur auf $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ und die relative Luftfeuchte auf $(65 \pm 2) \%$ eingestellt sind; siehe Anhang A für die Einzelheiten einer geeigneten Kammer.

4.5 Alternativ zu 4.4 ein Standort, an dem die Probekörper der natürlichen Witterung ausgesetzt, jedoch vor direkten Niederschlägen (Regen, Schnee und Hagel) geschützt sind; siehe Anhang B für Einzelheiten einer geeigneten Prüfanordnung. Der Standort muss mit Instrumenten zur häufigen Messung der relativen Luftfeuchte, der Temperatur und der Kohlenstoffdioxid-Konzentration ausgestattet sein.

4.6 Einrichtung zur Aufzeichnung der relativen Luftfeuchte mit einer Fehlergrenze von $\pm 1,0 \%$ und der Temperatur mit einer Fehlergrenze von $\pm 0,5\text{ °C}$.

4.7 Einrichtung zur Aufzeichnung der CO_2 -Konzentration mit einer Fehlergrenze von $\pm 0,001 \%$ (Volumenanteil). Wird eine Konditionierungskammer verwendet, muss diese über ein akustisches bzw. visuelles Warnsignal verfügen, um auf die Überschreitung der Grenzwerte hinzuweisen.

4.8 Ventilator zur Gewährleistung einer homogenen CO_2 -Konzentration in der Luft. Art, Größe und Leistungstärke des Ventilators sind der Größe der Kammer anzupassen.

5 Herstellung der Probekörper

5.1 Allgemeines

Es müssen repräsentative Proben der Bestandteile, z. B. Zement, Zuschläge, für die Herstellung der Probekörper verwendet werden. Entweder werden Betonproben aus der Betonproduktionsanlage entnommen oder es müssen nach den Standard-Laborverfahren Betonmischungen hergestellt werden. Die Probekörper für eine Prüfung müssen aus einer Betoncharge gegossen werden.

Es wird ein Mindestchargenvolumen von 50 l empfohlen.

Jede Prüfung muss mindestens zwei prismatische Träger mit einer Länge von mindestens 360 mm umfassen, deren andere zwei Abmessungen mindestens das Dreifache des Größtkorns der Gesteinskörnung betragen, oder zwei Würfel je Prüfmittel mit einer Seitenlänge von mindestens dem Dreifachen des Größtkorns der Gesteinskörnung. Träger sind die Referenz-Probekörper.

Den Gebrauch von Trennmitteln in den Formen vermeiden oder auf ein Mindestmaß beschränken, da diese sich auf die Karbonatisierungstiefe auswirken können.

Alle Druckfestigkeitsprobekörper, sowohl Würfel als auch Zylinder, werden nach EN 12390-1 und EN 12390-2 hergestellt und konditioniert und nach EN 12390-3 geprüft.

5.2 Verfahren bei Nutzung der Konditionierungskammer

Nach Fertigstellung der Probekörper die freiliegende Betonfläche mit Polyethylenfolie oder einer ähnlichen undurchlässigen Folie abdecken, um ein Austrocknen zu verhindern. Nach $(24 \pm 2) \text{ h}$ müssen die Formen

ausgeschalt und die Probekörper sofort in den Standard-Konditionierungszustand nach EN 12390-2 versetzt werden. Nach 27 Tagen Standard-Konditionierung müssen die Probekörper (16 ± 2) h der Laborluft ausgesetzt und anschließend in die Konditionierungskammer gestellt werden.

ANMERKUNG 1 Durch die 27-tägige Nass-Konditionierung sollen die langsam reagierenden Zemente vor der Karbonatisierungsprüfung hydratisiert werden, da unter den Prüfbedingungen eine weitere Hydratation minimal ist.

ANMERKUNG 2 In Konditionierungskammern ohne eine Einrichtung zur Reduzierung der relativen Luftfeuchte besteht bei sofortiger Lagerung der Probekörper in der Konditionierungskammer die Gefahr, dass die relative Luftfeuchte vorübergehend die Grenze überschreitet und diese höhere Luftfeuchte die Karbonatisierungsgeschwindigkeit verlangsamt. Verfügt die Konditionierungskammer über Einrichtungen zur Reduzierung der relativen Luftfeuchte (nicht der Normalzustand), so können die Probekörper direkt in die Konditionierungskammer gestellt werden.

Die Probekörper müssen so in der Konditionierungskammer angeordnet werden, dass die Luft frei um alle vier Flächen, die geprüft werden, zirkulieren kann. Dies ist sowohl bei horizontaler als auch vertikaler Lagerung gegeben, sofern ein Spalt von 50 mm zwischen benachbarten Probekörpern sichergestellt ist. Die Temperatur muss mindestens einmal täglich zur selben Zeit gemessen werden.

Die relative Luftfeuchte und die Kohlenstoffdioxid-Konzentration müssen mindestens alle zwei Stunden gemessen und aufgezeichnet werden. Die durchschnittliche Kohlenstoffdioxid-Konzentration für die Dauer der Prüfung muss $0,040 \% \pm 0,001 \%$ ohne Schwankungen außerhalb von $0,040 \% \pm 0,005 \%$ betragen.

5.3 Verfahren bei Nutzung eines Orts mit natürlichen Lagerungsbedingungen

Für jede Betonmischung mindestens zwei Träger oder mindestens sechs Würfel für die Karbonatisierungsprüfung sowie mindestens 2 Druckfestigkeitsprobekörper, oder mindestens 5, wenn die Festigkeitsentwicklung unbekannt ist, aus einer einzelnen Betoncharge herstellen. Die Probekörper müssen nach EN 12390-2 horizontal hergestellt werden. Nach Fertigstellung der Probekörper die freiliegende Fläche mit Polyethylenfolie oder einer ähnlichen undurchlässigen Folie abdecken, um ein Austrocknen zu verhindern. Nach 24 ± 2 h müssen die Formen entformt und sofort in passende verschließbare Polyethylenbeutel oder ähnliche Beutel überführt werden. Darin müssen sie bei $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ aufbewahrt werden, bis sie 50 % ihrer Referenzfestigkeit erreicht haben. Bei einem Temperaturbereich von $15 ^\circ\text{C}$ bis $25 ^\circ\text{C}$ darf davon ausgegangen werden, dass 50 % der Referenzfestigkeit im Fall einer raschen Betonfestigkeitsentwicklung nach 2 Tagen, einer mittleren Betonfestigkeitsentwicklung nach 4 Tagen und einer langsamen Betonfestigkeitsentwicklung nach 7 Tagen erreicht wurden [2]. Ist die Festigkeitsentwicklung unbekannt, so müssen mindestens drei Würfel oder Zylinder geprüft werden, um festzustellen, wann 50 % der Referenzfestigkeit erreicht wurden. Zwei Würfel oder Zylinder müssen 28 Tage nach der Herstellung geprüft werden, um die Referenzfestigkeit zu bestätigen.

ANMERKUNG 1 Die Konditionierungsverfahren weichen von den für die Prüfung mit der Konditionierungskammer angewandten Verfahren ab. Die Verfahren in diesem Abschnitt reflektieren die Praxis auf der Baustelle, und die natürliche Umgebung ist entscheidend dafür, ob der Beton weiter hydratisiert.

ANMERKUNG 2 Die Konditionierungszeiten wurden für die Konditionierungsklasse 3 und den Temperaturbereich von $15 ^\circ\text{C}$ bis $25 ^\circ\text{C}$ EN 13670 [2] entnommen.

Sobald die Würfel/Zylinder 50 % der Referenzfestigkeit erreicht haben, müssen die Probekörper aus ihren Polyethylenbeuteln genommen und am Standort mit natürlichen Lagerungsbedingungen positioniert werden. Die Probekörper müssen so angeordnet werden, dass die Luft frei um alle Längsflächen zirkulieren kann.

Die relative Luftfeuchte, die Kohlenstoffdioxid-Konzentration und die Temperatur müssen mindestens einmal täglich zur selben Zeit gemessen und aufgezeichnet werden.

6 Messungen der Karbonatisierungstiefe

6.1 Alter bei Prüfung und Herbeiführung der Farbveränderung

Vor Beginn der Prüfungen müssen die Alter, bei denen die Karbonatisierungstiefe zu messen ist, festgelegt werden. Als Startzeitpunkt muss der Zeitpunkt verwendet werden, an dem die Probekörper in der Konditionierungskammer oder an dem Standort mit natürlichen Lagerungsbedingungen positioniert werden. Die Karbonatisierungstiefe sollte mindestens nach einer Lagerungsdauer von drei Monaten, sechs Monaten und einem Jahr gemessen werden. Falls die gemessene Karbonatisierungstiefe in einem Jahr weniger als 5 mm beträgt, sollte die Prüfdauer auf zwei Jahre verlängert werden.

ANMERKUNG 1 Die gemessene Karbonatisierungstiefe wird durch den Zeitpunkt der Messung nach dem Besprühen mit der Indikatorlösung beeinflusst.

ANMERKUNG 2 Ist der durchschnittliche relative Feuchtegehalt größer als 65 %, so ist die Karbonatisierungsgeschwindigkeit gewöhnlich langsamer (je nach Zementart und W/Z-Wert) als in der Konditionierungskammerprüfung und folglich ist der Zeitraum, in dem Messungen vorzunehmen sind, länger.

In allen Fällen müssen die genauen Prüfalter aufgezeichnet und für die Berechnung der Karbonatisierungsgeschwindigkeit verwendet werden. Am Tag, an dem die Probekörper in der Konditionierungskammer oder an dem Standort mit natürlichen Lagerungsbedingungen positioniert werden ($t = 0$), muss eine Karbonatisierungstiefe von Null zugrunde gelegt werden.

Bei jedem Prüfalter wird eine Scheibe mit einer Dicke von etwa 50 mm von jedem Träger abgetrennt, oder es werden mindestens zwei Würfel senkrecht zur geglätteten Fläche in zwei Hälften geteilt. Die Karbonatisierungstiefe wird auf der neu gebrochenen Fläche der Scheibe mit einer Dicke von 50 mm oder auf einer Hälfte des gespaltenen Würfels gemessen.

ANMERKUNG 3 Trennen mittels Säge ist nicht zulässig.

ANMERKUNG 4 Messungen brauchen nur auf einer Hälfte des gespaltenen Würfels ausgeführt zu werden.

Gleich nach dem Brechen Staub und lose Partikel von der gebrochenen Fläche entfernen und diese mittels eines feinen Sprühnebels mit der Indikatorlösung besprühen²⁾. Darauf achten, dass die Indikatorlösung nicht von der Oberfläche abfließt. Falls sich die behandelte Oberfläche nur in geringem Maße oder gar nicht verfärbt, den Sprühtest nach ½ h wiederholen.

Die Messungen sollten 1 h $\pm$ 15 min nach dem Besprühen beginnen und ohne Verzug fertiggestellt werden. Falls mit den Aufzeichnungen nicht in dieser Periode begonnen werden kann, die Farbe mittels einer Fixierlösung unverändert erhalten. Falls eine Fixierlösung verwendet wurde, sind die Zeitpunkte der Tiefenmessungen nicht von Bedeutung.

6.2 Bestimmung der Karbonatisierungstiefe

6.2.1 Allgemeines

Die Karbonatisierungstiefe muss mit dem nachstehend beschriebenen Verfahren anhand der Farbveränderung bestimmt werden.

2) WARNUNG: Die Phenolphthalein-Indikatorlösung ist entflammbar. Verschlucken oder Haut- oder Augenkontakt sollten vermieden werden, ebenso das Einatmen des Dampfes. Zu den möglichen Auswirkungen auf den menschlichen Organismus gehören Nierenschäden und Krebs. Beim Umgang Nitrilhandschuhe, eine Schutzbrille und eine geeignete Maske tragen und für gute Raumlüftung sorgen.

6.2.2 Messung der Karbonatisierungstiefe

Die Position der Karbonatisierungsfront muss an drei Stellen an jeder Fläche gemessen werden. Um diese Stellen zu bestimmen, muss die Kantenlänge in vier gleichlange Abschnitte geteilt werden. Die drei zentralen Punkte, d. h. die Punkte bei 0,25, 0,5 und 0,75 der Kantenlänge, sollten als Messpunkte verwendet werden. Mit Hilfe eines Lineals bzw. einer Messlehre und einer Lupe muss die Karbonatisierungstiefe (d_k) senkrecht zur Oberfläche des Trägers oder Würfels mit einer Messunsicherheit von 0,5 mm je Messpunkt gemessen werden.

Es wird empfohlen, jede neu gebrochene Fläche nach dem Besprühen und die sich ergebende Farbveränderung zu fotografieren (einschließlich einer Vergleichsskala und eines Referenzprobekörpers).

Die Karbonatisierungstiefe muss auf allen vier Seiten der neu gebrochenen Flächen der Scheibe mit einer Dicke von 50 mm oder auf einer Hälfte des gespaltenen Würfels gemessen werden, wodurch sich potentiell zwölf Messpunkte ergeben. Dieses Verfahren wird mit dem zweiten Träger oder Würfelprobekörper wiederholt.

Falls die Kanten der Querschnittsfläche des nicht karbonatisierten Quadrats innerhalb der äußeren Messpunkte abgerundet sind, den Messpunkt in Richtung Mittellinie der Kante verschieben, bis er innerhalb des geraden Abschnitts der Karbonatisierungsfront liegt. Die Durchführung dieses Schrittes aufzeichnen.

Die mittlere Karbonatisierungstiefe muss berechnet und für jede Fläche angegeben werden. Ferner muss das arithmetische Mittel aller bei der Bewertung verwendeten Messpunkte berechnet und mit einer Messunsicherheit von 0,1 mm angegeben werden.

ANMERKUNG Der Mittelwert für jede Fläche wird aufgezeichnet, damit festgestellt werden kann, ob die Karbonatisierung an einer Fläche wesentlich ausgeprägter ist als an den anderen Flächen (dies trifft oftmals für die geglättete Fläche zu).

Der Prüfbericht muss die tatsächliche Anzahl der Bewertungspunkte enthalten.

6.2.3 Berücksichtigung von dichten Gesteinskörnungen

Dichte Gesteinskörnungen innerhalb der Karbonatisierungsfront werden nicht durch Phenolphthalein gefärbt und unterbrechen somit die Karbonatisierungsfront (Bild 1a). Zur Bestimmung der Karbonatisierungstiefe muss die theoretische Karbonatisierungsfront an der Schnittstelle des Messpunktes und einer geraden Linie, die die beiden Seiten des Partikels verbindet, verwendet werden (Bild 1b).

6.2.4 Berücksichtigung von Poren, porösen Gesteinskörnungen und Extremwerten

Liegen innerhalb der Karbonatisierungsfront Poren oder poröse Gesteinskörnungen, können sich Extremwerte für die Karbonatisierungstiefe ergeben, siehe Bild 2. Erhöht sich die örtlich gemessene Karbonatisierungstiefe (Δd_k) um weniger als 4 mm, muss bei der Berechnung der mittleren Karbonatisierungstiefe die bei der porösen Gesteinskörnung/Pore gemessene Karbonatisierungstiefe verwendet werden, siehe Bild 2. Höhere Werte für Δd_k dürfen bei der Berechnung der mittleren Karbonatisierungstiefe nicht verwendet werden. Jegliche höheren Werte für Δd_k müssen jedoch im Prüfbericht aufgezeichnet werden. In jedem Fall müssen für jede Fläche mindestens 3 gültige Aufzeichnungen verfügbar sein und die Gesamtzahl gültiger Karbonatisierungstiefen sollte mindestens 12 betragen.

7 Bestimmung der Karbonatisierungsgeschwindigkeit

Für die Bestimmung der Karbonatisierungsgeschwindigkeit muss die effektive Zeit, d. h. die Zeit in der Konditionierungskammer oder am Standort mit natürlichen Lagerungsbedingungen, verwendet werden. Die durchschnittliche Karbonatisierungstiefe zu jeder effektiven Zeit (y-Achse) wird gegenüber der Quadratwurzel der effektiven Zeit in Jahren (x-Achse) aufgezeichnet und eine lineare Regression wird durch die

Punkte grafisch dargestellt. Für $t = 0$, muss d_k mit Null angerechnet werden. Die Regressionssteigung ist die Karbonatisierungsgeschwindigkeit in mm/ $\sqrt{\text{Jahre}}$.

Alternativ darf die Karbonatisierungsgeschwindigkeit bei jedem Prüfalter ausgehend von folgendem Wert bestimmt werden:

$$\text{Durchschnittliche gemessene Karbonatisierungstiefe in mm} = k_c \sqrt{t}$$

Dabei ist:

k_c die Karbonatisierungsgeschwindigkeit in mm/Jahr^{0,5};

t die effektive Zeitdauer in Jahren.

8 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss folgende Angaben enthalten:

- a) ob eine Kammerprüfung oder eine Prüfung an einem Standort mit natürlichen Lagerungsbedingungen durchgeführt wurde;
- b) bei Nutzung eines Standorts mit natürlichen Lagerungsbedingungen die Lage des Standorts, die durchschnittliche monatliche Kohlenstoffdioxid-Konzentration, die relative Luftfeuchte und die Temperatur während der Prüfperiode;
- c) Betonsorte;
- d) Datum, an dem die Probekörper hergestellt wurden, Dauer der Konditionierung, Datum, an dem die Probekörper der Karbonatisierung ausgesetzt wurden, Dauer der Prüfung sowie Art und Anzahl der Probekörper;
- e) ob ein anderer Indikator mit Farbveränderung im pH-Bereich anstelle der Phenolphthaleinlösung verwendet wurde;
- f) bei jedem Prüfalter und für jeden Probekörper:
 - das Prüfalter;
 - die an jeder Fläche gemessene Karbonatisierungstiefe;
 - ob Messpunkte aufgrund der Abrundung der Karbonatisierungsfront verschoben wurden;
 - die durchschnittlichen Karbonatisierungstiefen aller Probekörper;
 - die Anzahl der Messpunkte;
- g) Anzahl und Größenordnung der Werte für Δd_k , die nicht in der Berechnung des Mittelwertes berücksichtigt wurden, sofern dies zutrifft;
- h) Darstellung der durchschnittlichen Karbonatisierungstiefen gegenüber der Quadratwurzel der Zeit in Jahren sowie die lineare Regression und Bestimmung der Karbonatisierungsgeschwindigkeit und des Korrelationskoeffizienten (R^2);
- i) durchschnittliche Karbonatisierungsgeschwindigkeit in mm/ $\sqrt{\text{Jahre}}$ für die Expositionsdauer;

- j) jede Abweichung von den festgelegten Prüfbedingungen, z. B. jede Abweichung von der geforderten Kohlenstoffdioxid-Konzentration unter Angabe der Dauer der Abweichung.

Der Prüfbericht darf ebenfalls folgende Angaben enthalten:

- k) Einzelheiten der Betonmischungen; Referenzbeton (falls verwendet);
- l) gemessene Konsistenz (sofern gemessen);
- m) durchschnittliche Druckfestigkeit über 28 Tage sowie früher gemessene Festigkeiten und Prüfalter, sofern zutreffend, und die angenommene Referenzfestigkeit bei 28 Tagen (sofern gemessen);
- n) Einzelergebnisse der Prüfungen;
- o) einzelne Messungen der Karbonatisierungstiefe bei jedem Prüfalter;
- p) alle zusätzlichen Bemerkungen oder Beobachtungen;
- q) jede Akkreditierung für das Prüfverfahren;
- r) Bilder der natürlichen Lagerungsbedingungen.

9 Präzision

In Tabelle 1 ist die geschätzte Präzision der Konditionierungskammerprüfung angegeben.

Tabelle 1 — Schätzungen der Präzision der Karbonatisierungsprüfung

Bezugsgröße	Stufe	Wiederholpräzision		Vergleichpräzision	
		s_r mm	$r = 2,8 s_r$ mm	s_R mm	$R = 2,8 s_R$ mm
Karbonatisierungsgeschwindigkeit (k_c) an externem geschütztem Expositionsstandort	0,5 bis 7,0 (mm/Jahr ^{0,5})	0,29	0,80	0,71	2,00
Karbonatisierungsgeschwindigkeit (k_c) in Kammerprüfung	0,5 bis 7,0 (mm/Jahr ^{0,5})	0,60	1,68	0,85	2,38
Präzision ausgedrückt als Variationskoeffizient		CV_r (%)	r (%)	CV_R (%)	R (%)
Karbonatisierungsgeschwindigkeit (k_c) an Standort mit natürlichen Lagerungsbedingungen		10	29	25	71
Karbonatisierungsgeschwindigkeit (k_c) in der Kammerprüfung		22	60	31	85
Diese basieren auf einer im Jahr 2014 durchgeführten Präzisionsübung [3] mit Betonmustern unter Einhaltung der Grenzwerte für die Betonzusammensetzung nach EN 206-1 [4]. Die Karbonatisierungsgeschwindigkeit für Standorte mit natürlichen Lagerungsbedingungen stammt aus fünf Laboratorien, die die Betonarten CEM II/A-LL 42,5R und CEM II/B-V 32,5R sowie W/Z-Werte von 0,5 s und 0,6 s (vier Variablen) verwendet haben. Die Karbonatisierungsgeschwindigkeit in den Kammerprüfungen entstammt vier Laboratorien, die zwei Betonmuster verwendet haben. Die Werte gelten für die zwei in dieser Norm beschriebenen Prüfverfahren (Prüfung an Standort mit natürlichen Lagerungsbedingungen und Kammerprüfung) für eine Prüfdauer von 1 Jahr.					