

Betonkarbonisierung und Dauerhaftigkeit

Autor(en): **B.M.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Cementbulletin**

Band (Jahr): **54-55 (1986-1987)**

Heft 13

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-153704>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

CEMENTBULLETIN

JANUAR 1987

JAHRGANG 55

NUMMER 13

Betonkarbonatisierung und Dauerhaftigkeit

Die Karbonatisierung. Auswirkung auf Beton- bzw. Stahlbetonbauten. Schadenverlauf. Vorbeugung bei Neubauten.

Seit einigen Jahren haben die Schäden an Betonoberflächen zugenommen und die Dauerhaftigkeit von Betonbauten beeinträchtigt. Wenn es dabei auch nicht um die Sicherheit von Menschenleben geht, so stehen doch die Reparaturkosten in keinem vernünftigen Verhältnis zum Mehraufwand für Neubauten, womit solche Schäden vermieden werden könnten. Schadenursache ist häufig die Betonkarbonatisierung, was inzwischen vielerorts bekannt ist. Trotzdem gibt es bei der TFB immer wieder Anfragen, bei deren Beantwortung auf die nachstehend erläuterten Zusammenhänge hingewiesen werden muss.

Was ist die Betonkarbonatisierung?

Während Jahren spielt sich an luftberührten Betonoberflächen ein chemischer Vorgang ab, der Karbonatisierung genannt wird. Bei dieser Reaktion werden Kalkhydrat und Kohlensäure zu Kalkstein und Wasser umgewandelt. Das Kalkhydrat ($\text{Ca}[\text{OH}]_2$) stammt aus dem Zementstein bzw. aus der Lösung in den Poren. Es reagiert mit der Kohlensäure aus der Luft (0,03 Vol.-% CO_2) und ergibt den Kalkstein (CaCO_3), der wasserunlöslich ist und sich in den Poren ablagert. Das dabei frei werdende Wasser (H_2O) löst wiederum Kalkhydrat aus dem Zementstein, so dass die Reaktion mit der Kohlensäure der Luft weiterhin ablaufen kann. Daraus ist ersichtlich, dass die Karbonatisierung in erster Linie vom Gefüge des Zement-

2

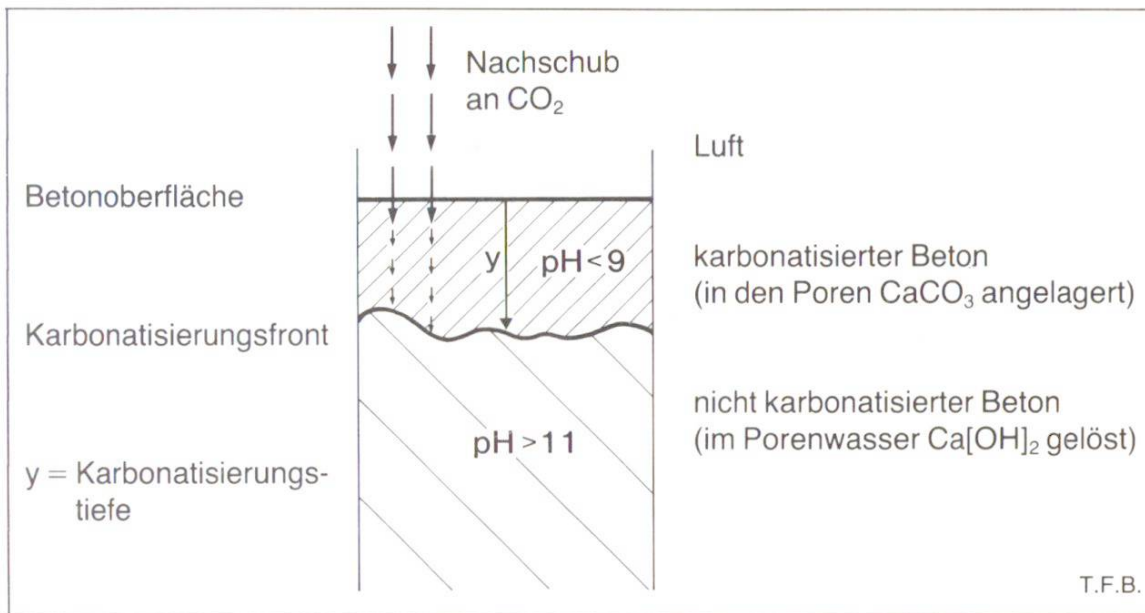


Abb. 1a Aus der Luft diffundiert CO_2 durch die Poren des Zementsteins bis zur Karbonatisierungsfront. Dort bildet sich an den Porenwänden Kalzit (Kalziumkarbonat), das die Poren teilweise füllt. Das Kalziumhydrat wird langsam aufgebraucht, so dass sich die Karbonatisierungsfront ins Betoninnere verschiebt.

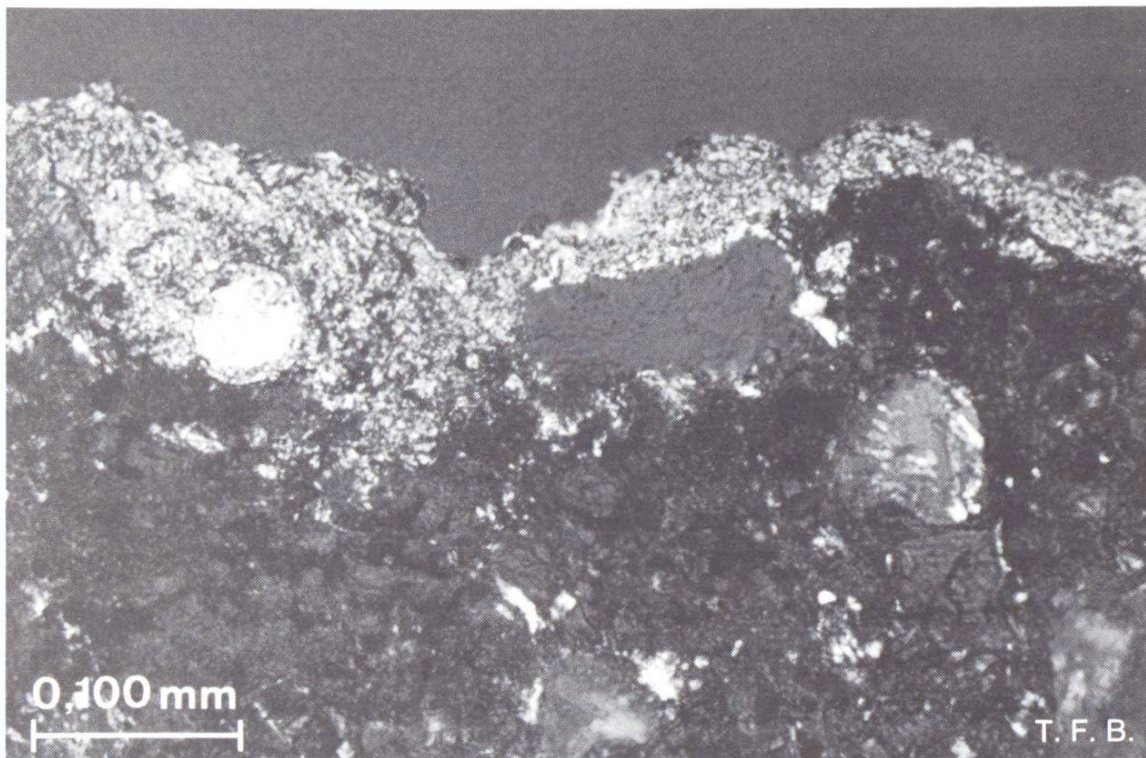


Abb. 1b Beginnende Karbonatisierung auf einer Betonoberfläche (im Mikroskop betrachtet). Die Kalzitschicht ist 50–150 μm dick. Im polarisierten Licht erscheint sie hell, während der alkalische Zementstein dunkel bleibt.

steins abhängt. Massgebend sind dessen Porenstruktur und der Wassergehalt, die beide den Luftzutritt beeinflussen.

Die äusserste Schicht einer Betonoberfläche karbonatisiert an der Luft sehr rasch, während das Innere des Betons unkarbonatisiert verbleibt. Beide Zonen sind klar abgrenzbar: Man spricht von der «Karbonatisierungsfront» und bezeichnet damit jene unregelmäs-

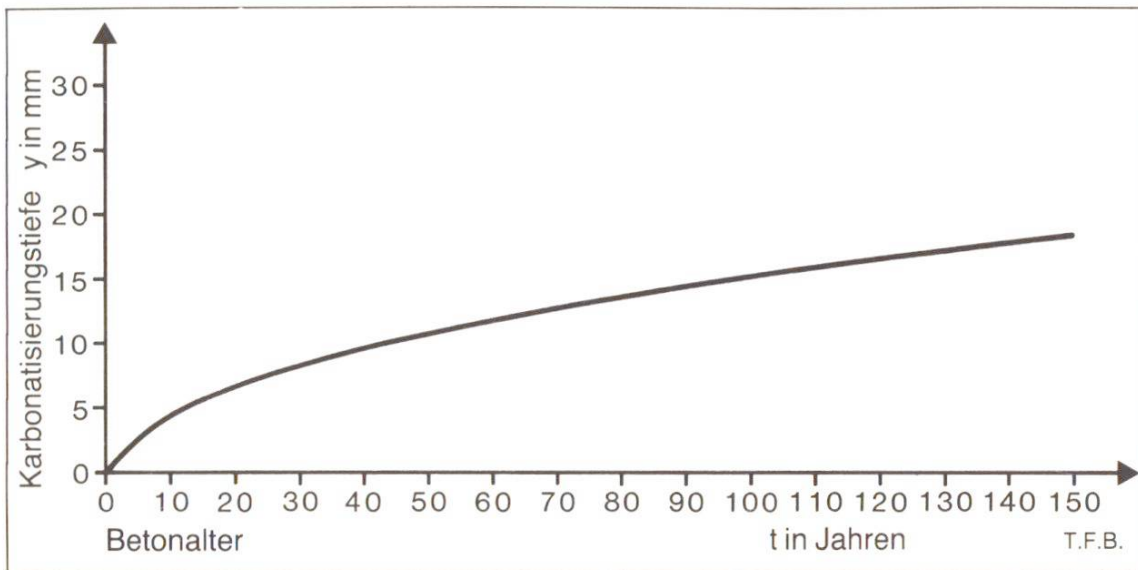


Abb. 2 Beispiel für den zeitlichen Verlauf der Karbonatisierungstiefe bei einem bestimmten Beton. Innerhalb der Nutzungsdauer wird die Karbonatisierung nicht bis zu den Stahleinlagen vordringen, sofern diese eine genügende Betonüberdeckung aufweisen ($d > 3$ cm).

sige Grenzfläche, die zwischen karbonatisiertem und nicht karbonatisiertem Beton verläuft (vgl. Abb. 1a und 1b).

Von technischer Bedeutung ist die «Karbonatisierungstiefe», d. h. der Abstand y zwischen der Betonoberfläche und der Karbonatisierungsfront. Sie variiert von Ort zu Ort und nimmt mit der Zeit zu [1]. Als Mass für die Karbonatisierungstiefe benützt man den pH-Wert des Porenwassers, den man mit chemischen Indikatoren ermitteln kann. Neutrales Wasser hat pH 7. Beim Mischen des Betons wird das Anmachwasser stark alkalisch, und sein pH-Wert steigt auf über 12 an. Karbonatisierter Beton hat einen pH-Wert von etwa 9, ist also noch nicht ganz neutralisiert. Als Indikator geeignet ist deshalb Phenolphthalein, dessen Umschlagsgebiet zwischen pH 8 (weiss) und pH 10 (rot) liegt. Der Ort, wo die Farbe von weiss zu rot umschlägt, gibt die Karbonatisierungstiefe an. – Untersucht man nun das Eindringen der Karbonatisierungsfront im Verlaufe der Zeit (Abb. 2), so zeigt sich näherungsweise der Zusammenhang

$$y = k \cdot \sqrt{t}$$

y = Karbonatisierungstiefe (in mm)

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

t = Zeit (Betonalter in Jahren)

Der Karbonatisierungskoeffizient variiert von Beton zu Beton und ist charakteristisch für den Zementstein. Kennt man das Betonalter und die zugehörige Karbonatisierungstiefe, so lässt er sich mit obiger Formel für einen gegebenen Beton bestimmen. Damit kann der künftige Verlauf der Karbonatisierung abgeschätzt werden. Die For-

4 mel zeigt aber auch, dass die Karbonatisierungstiefe anfänglich stark zunimmt und – bezogen auf die Gebrauchsdauer des Bauwerks – im günstigen Fall ein bestimmtes Mass nicht überschreitet. Chemisch gesehen liegt diese Tatsache darin begründet, dass der sich bildende Kalkstein die Poren verstopft, dadurch die Zufuhr von CO_2 behindert und die Reaktion immer mehr verlangsamt.

Einen wichtigen Einfluss hat die Luftfeuchtigkeit, da die Reaktion nicht ohne Wasser ablaufen kann. Trockene Luft ermöglicht wohl den besten Gasaustausch; es steht jedoch zu wenig Wasser zur Verfügung, um das Kalkhydrat zu lösen und die Karbonatisierungsreaktion zu ermöglichen. Wassergefüllte Poren behindern andererseits die Zufuhr von CO_2 aus der Luft. Optimale Bedingungen für die Karbonatisierung liegen also in der Mitte, d.h. bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50–70%. Daraus folgt: Beton unter Wasser karbonatisiert nicht. Regengeschützte Bauteile karbonatisieren rascher als solche, die immer wieder benetzt werden. Beheizte Innenräume mit Luftbefeuchtung sind beste Voraussetzung für die Karbonatisierung.

Auswirkungen auf Beton bzw. Stahlbeton

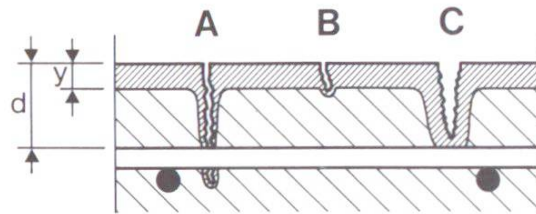
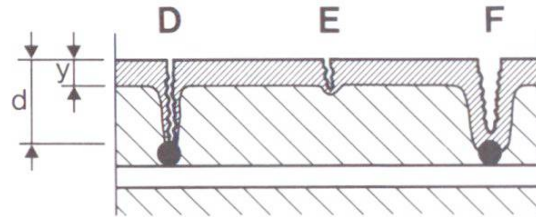
Auf den Beton selbst wirkt sich die Karbonatisierung sehr günstig aus. Sie macht ihn dichter und gibt ihm eine höhere Festigkeit, ohne dass das Volumen ändert. Eine karbonatisierte Betonoberfläche ist gewissermassen die natürliche Schutzschicht gegen eindringende Gase oder Lösungen, kann also bei unarmiertem Beton niemals Schäden verursachen.

Anders sieht es bei Stahlbeton aus, wo eine tief eindringende Karbonatisierung nicht auf die «sichere Seite» führt. Über diese Tatsache hatte man sich bereits Rechenschaft abgelegt, als der Eisenbeton seinen Aufschwung nahm. Damals wusste man, dass die Armierung durch den umhüllenden Beton vor Rost geschützt ist, und man war der Überzeugung, dass dies auch dauernd der Fall sei. Erst nach verschiedenen Schadenfällen wurde diese Ansicht fragwürdig, und man nahm zur Kenntnis, weshalb der Rostschutz zeitlich beschränkt sein kann.

Soll Stahlbeton dauerhaft sein, müssen die Stahleinlagen dauernd vor Rost geschützt werden. Andernfalls nimmt der Stahl wegen des Rostens an Volumen zu, sprengt zuerst seine Betonüberdeckung ab, rostet dann weiter und verliert dabei kontinuierlich an Tragfähigkeit.

Das Rosten der Stahleinlage wird bekanntlich durch das alkalische Milieu des umhüllenden Betons verhindert. Wie erwähnt hat nun die

5

Querrisse**Längsrisse**

Risse A und D: Armierung in direktem Kontakt mit der Atmosphäre. Korrosion unabhängig von der Karbonatisierung.

Risse B und E: Dünne Risse, die nicht tiefer sind als die Betonüberdeckung. Sie verursachen keine Korrosion.

Risse C und F: Breite Risse verursachen Korrosion, auch wenn sie nicht bis auf die Armierung gehen, da die Rissufer seitlich ebenso tief karbonatisieren, wie die Oberfläche.

T.F.B.

Abb. 3 Rissbild und Karbonatisierung zu einem bestimmten Zeitpunkt t . Die äussersten Millimeter sind karbonatisiert ($y < d$). Die Korrosion der Armierung ist von Rissbreite und Risstiefe abhängig.

Karbonatisierung zur Folge, dass der Beton an Alkalität verliert ($\text{pH} < 9$). Erreicht die karbonatisierte Zone den eingebetteten Armierungsstahl ($y > d$), beginnt die Rostbildung, sofern genügend Wasser und Sauerstoff zur Armierung gelangen. In vielen Fällen wird dies auch möglich sein.

Stahlbetonkonstruktionen haben mehr oder weniger grosse Risse, was ihre Dauerhaftigkeit beeinträchtigt. Tiefe Risse bringen den Stahl in direkten Kontakt mit Sauerstoff und Wasser aus der Atmosphäre und verursachen also die Korrosion unabhängig von der Karbonatisierung. Kleine Risse bleiben unwesentlich, da ihre Umgebung nicht tiefer karbonatisiert als der ungerissene Beton (Abb. 3). Generell kann man sagen: Werden die Risse für die Dauerhaftigkeit massgebend, so sind die normale Stahlkorrosion an der Atmosphäre und andere chemische Angriffe (namentlich der Chloridgehalt des Betons) sehr viel wichtiger als die Betonkarbonatisierung. Einzig bei breiten Rissen treten Karbonatisierungsspitzen auf, die örtlich zu einer gefährlichen (weil unsichtbaren) Korrosion führen können.



Abb. 4 Aufwölbung. Die Schadenursache ist hier von bloßem Auge noch nicht erkennbar.



Abb. 5 Aufwölbung und Abplatzung infolge Korrosion der Armierung.

Betonkarbonatisierung und Schadenverlauf

Die Betonkarbonatisierung verläuft langsam und unscheinbar. Von bloßem Auge lässt sie sich vorerst nicht beobachten. Dass sie trotzdem eine praktische Bedeutung hat, ist inzwischen durch Schäden bewiesen worden. Unarmierte Betonbauten erleiden infolge Karbonatisierung keine Schäden. Beeinträchtigt hingegen ist die Dauerhaftigkeit von Stahlbetonbauten (Abb. 4, 5 und 6). Dort ergeben sich Schadenbilder mit der nachstehenden Reihenfolge im Verlaufe der Zeit: intakte Oberfläche – Risse – Aufwölbungen – Abplatzungen – Stahl durchgerostet.

Wird nun der Baufachmann mit einem Schaden konfrontiert, beschreibt er zuerst das Schadenbild und stellt dann die Diagnose, indem er Schadenursache, Schädigungsgrad und Schadenumfang ermittelt. Unumgänglich ist dabei die visuelle Beurteilung vor Ort, auch wenn sie ohne Gerüst schwierig durchzuführen ist. Die schlüssige Beweisführung zwischen Schadenart und -ursache kann deshalb mit erheblichem Aufwand verbunden sein. Sie gehört aber zur vollständigen Diagnose, wenn man Folgeschäden vermeiden will.

7 Tabelle 1 Die Betonkarbonatisierung im Schadenfall

<p>An der Betonoberfläche ist ein Schaden festzustellen. Was für ein Schaden ist es? Zum Beispiel:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Ausblühungen – Risse – Wasseraustritt – Luftblasen – Kiesnester – Absanden – Verschmutzung, Algen – Farbänderungen – <i>Abplatzungen</i> – Auswaschen – mech. Beschädigung – Rostflecken 	Art
<p>Der Schaden besteht aus vereinzelt Abplatzungen. Weshalb ist es zu diesen Abplatzungen gekommen? Zum Beispiel:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Schläge (Hammer, Pickel) – Frost – Treiber – Kantenpressungen – <i>Rosten der Armierung</i> – vergessenes Holzstück <p>Die Abplatzungen sind auf das Rosten der Armierung zurückzuführen. Weshalb kann das Eisen im Beton rosten? Zum Beispiel:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Chloridangriff – <i>Betonkarbonatisierung</i> – elektrischer Strom – Risse mit Zutritt von Wasser und Sauerstoff 	Ursache
<p>Wie wird sich der Schaden im Verlaufe der Zeit weiterentwickeln?</p> <ul style="list-style-type: none"> – Beeinträchtigung der Gebrauchsfähigkeit (<i>Dauerhaftigkeit</i>, Funktionsfähigkeit, <i>Aussehen</i> des Betons) – Beeinträchtigung der Tragsicherheit 	Grad
<p>Welche Bauteile sind beschädigt?</p> <ul style="list-style-type: none"> – lokale Schadstellen – <i>kleinere Flächen</i> – einzelne Bauteile – einzelne Fassaden – die ganze Fassade – die Tragkonstruktion 	Umfang
<p>Bestehende Bauten</p> <ul style="list-style-type: none"> – Muss der Schaden behoben werden? – Wie kann der Schaden behoben werden? – Wie kann einem erneuten Auftreten vorgebeugt werden? <p>Neubauten</p> <ul style="list-style-type: none"> – Wie kann vorgebeugt werden? 	Vorbeugen / Beheben



Abb. 6 Rostschäden an Balkonbrüstung infolge fortgeschrittener Karbonatisierung.

Tab. 1 zeigt das Vorgehen im konkreten Schadenfall. Betonkarbonatisierung ist dann Schadenursache, wenn die Karbonatisierungsfrent die Stahleinlagen erreicht hat. Deshalb bestimmt man die Karbonatisierungstiefe y . Auf der Baustelle kann dies mit dem Phenolphthalein-Test an einer frischen Bruchstelle oder am Bohrmehl geschehen, das man mit einem kleinen Schlagbohrer erzeugt [2, 3]. Entnimmt man ohnehin Bohrkern, so kann man diesen Wert auch im Labor bestimmen lassen. Ebensovichtig ist die vorhandene Betonüberdeckung d , die auf der Baustelle zerstörungsfrei oder durch Aufspitzen gemessen werden kann. Mit diesen beiden Werten y und d , ermittelt an einer genügenden Anzahl Stellen und bezogen auf die Zeit, werden Schädigungsgrad und -umfang infolge Karbonatisierung abgeschätzt.

Die Betonkarbonatisierung beeinträchtigt meistens nur die Dauerhaftigkeit und das Aussehen eines Betons. Die Schäden kündigen sich an, verlaufen langsam und können behoben werden, bevor es zum Bruch des Tragwerks kommt. Katastrophale Auswirkungen sind nicht zu erwarten, sofern der Bauherr eine periodische Überwachung durchführt. Die Reparaturen können aber das Aussehen stark verändern, was besonders dann zu beachten ist, wenn der Bauherr Wert auf Imagepflege legt (Hinweise siehe [4]).

9 Vorbeugung bei Neubauten

Wie erwähnt hat die Karbonatisierung auf die Betonoberfläche selbst eine günstige Wirkung, sofern sie ein bestimmtes Mass nicht überschreitet. Will man Schäden an Stahlbeton vermeiden, so muss verhindert werden, dass die Karbonatisierungsfront während der Gebrauchsdauer bis zur Armierung gelangt. Messungen an bestehenden Bauten zeigen, dass man dies durchaus kann. Die Karbonatisierungstiefen liegen dort auch nach Jahrzehnten in Grenzen von 5–10 mm.

Folgende Punkte sind dabei zu beachten:

1. Dauerhafter Stahlbeton soll genügend Betonüberdeckung haben. Besondere Aufmerksamkeit verdient die Lage der Vorspannkabel.
2. Die Betonüberdeckung muss dicht sein. Man erreicht dies durch
 - gute Verarbeitbarkeit dank optimalem Gehalt an Feinstkorn,
 - ein Grösstkorn, das der gewählten Betonüberdeckung angepasst ist,
 - genügend Zementgehalt (bei Konstruktionsbeton in der Regel 300 kg/m^3 gemäss Norm SIA 162 [1968], Art. 2.05),
 - niedrigen W/Z-Wert,
 - ausreichende Nachbehandlung.
3. Bei erhöhter CO_2 -Belastung der Luft ist auch die Betonüberdeckung zu erhöhen.
4. Die Teilung der Armierung und ihr Durchmesser sollen aufeinander abgestimmt sein. Für das Einfüllen und Vibrieren des Betons sollen Lücken vorhanden sein.
5. Bei Ausschreibung und Offerteingabe ist zu berücksichtigen, dass nicht alle Bauteile dieselbe Qualität aufweisen müssen, was sich in abgestuften Preisen ausdrücken sollte.

Alle genannten Forderungen sind weder neu noch durch die Betonkarbonatisierung allein begründet. Sie gehören zu den anerkannten Regeln der Baukunde.

Oft wird beklagt, dass auf der Baustelle kein qualifiziertes Personal mehr zur Verfügung stehe. Dieses Argument geht an obigen Forderungen vorbei, sind es doch alles Massnahmen, die sich planen und vorschreiben lassen. Mit dem handwerklichen Können haben sie wenig zu tun. Sie sind eher eine Kostenfrage, bei der auch der Bauherr bereit sein muss, den Preis für die Qualität zu bezahlen. Technische Varianten werden zwar angeboten. Man denke an die beschichteten Armierungsstähle oder an nachträgliche Oberflächenbehandlungen. Ihr Preis (nicht nur in Franken gemessen) ist aber so hoch, dass sich eine abgestufte Betonqualität mit einem bezahlten Mehraufwand lohnt.

B. M.

10 Literatur

- [1] *Klopfer, H.*: «Die Carbonatisation von Sichtbeton und ihre Bekämpfung». Bautenschutz und Bausanierung, Heft 3, S. 86–97, 1978
- [2] *Merminod, Ch.*: «Die Gefahr der Betonkarbonatisation». SIA-Heft 24, S. 582–583, 1980
- [3] *Koelliker, E.*: «Zur Carbonatisierung von Beton». SIA-Heft 25, S. 636–640, 1985
- [4] Bundesverband der Deutschen Zementindustrie: «Instandsetzen von Betonoberflächen». Beton-Verlag, Düsseldorf, 1986
- [5] «Cementbulletin» mit ähnlichem Thema: Nr. 17/79, Nr. 7/80, Nr. 2/82, Nr. 13/85