

Carbonatisierung des Betons

Einflüsse und Auswirkungen auf den Korrosionsschutz der Bewehrung

Vorwort

Der Korrosionsschutz der Bewehrung war bereits in früheren Jahrzehnten Gegenstand der Forschung und gewann Anfang der 60er Jahre – ausgelöst durch einige Schadensfälle an Spannbetonfertigteilen – erneut an Bedeutung. Obwohl es sich hierbei zunächst ausschließlich um Bauteile aus Tonerdeschmelzzement handelte, gab die dadurch erneut und verstärkt aufgeworfene Frage nach der Sicherheit auch von mit anderen Zementarten hergestellten Betonbauten Anlaß zu neuer, intensiver Forschung und zu umfangreichen Erhebungen an alten Bauwerken. Hieran waren das Laboratorium der Westfälischen Zementindustrie in Beckum und das Forschungsinstitut für Hochofenschlacke in Rheinhausen sowie in geringerem Umfang auch das Forschungsinstitut des Vereins Deutscher Zementwerke (VDZ) in Düsseldorf beteiligt. Besondere Bedeutung wurde dabei der Carbonatisierung des Betons beigemessen.

Die an alten Betonbauwerken von den Laboratorien in Beckum und Rheinhausen festgestellten Werte wurden in Heft 170 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (1965) veröffentlicht. Die Auswertungen dieser Versuche und auch von Versuchen an anderen Stellen führten zu der gemeinsamen Auffassung, daß die Carbonatisierung des Betons von mehreren, unterschiedlich starken Einflußgrößen bestimmt wird, die zum Teil auch noch voneinander abhängig sind. Während darüber Einigkeit bestand, daß der Wasserzementwert eine der dominierenden Einflußgrößen ist und daß z. B. auch den Umweltbedingungen eine besondere Vorrangstellung zukommt, wichen die Auffassungen, in welchem Maße die Zementart von Bedeutung ist, voneinander ab. Daher wurden die Auswertungen der Laboratorien in Beckum und Rheinhausen in Heft 182 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (1967) getrennt veröffentlicht.

Zur Vertiefung der Erkenntnisse über die Carbonatisierung des Betons und den Korrosionsschutz wurde vom VDZ bereits 1963 der Arbeitskreis „Spannstahlkorrosion“ gebildet, der auch ein ge-

meinschaftliches Versuchsprogramm mehrerer Laboratorien des VDZ betreut. Darüber hinaus beauftragte der VDZ das Materialprüfungsamt der Technischen Hochschule München mit einem umfangreichen Beton-Langzeitprogramm an 17 Zementen, von dem bis jetzt Ergebnisse der ersten 7 Jahre vorliegen.

Da auch in der jüngeren Zeit von einigen Seiten Ergebnisse von Untersuchungen über Probleme der Carbonatisierung veröffentlicht worden sind, die hinsichtlich des Einflusses der Zementart unterschiedliche Auffassungen erkennen ließen, hat der Vorstand des VDZ die Kommission „Carbonatisierung“ gebildet mit dem Ziel, den Stand der Erkenntnisse über die Carbonatisierung und eine einheitliche Deutung der bisherigen Versuchsergebnisse zusammenfassend darzustellen. Als Ergebnis der Beratungen der Kommission „Carbonatisierung“ wird der nachstehende Bericht vorgelegt, an dem folgende Herren mitgearbeitet haben: Prof. Dr.-Ing. G. Blunk, Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Rheinhausen; Prof. Dr.-Ing. L. von Bogdandy, Thyssen Niederrhein AG, Oberhausen; Dr.-Ing. Chr. Hummel, Dyckerhoff Zementwerke AG, Wiesbaden; Dipl.-Ing. E. Krumm, Prof. Dr. F. W. Locher und Dr.-Ing. W. Manns, Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf; Prof. Dr.-Ing. A. Meyer, Portland-Zementwerke Heidelberg AG, Leimen; Dr.-Ing. H.-G. Smolczyk, Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Rheinhausen; Priv.-Doz. Dr.-Ing. H.-J. Wierig, Zement- und Beton-Laboratorium Beckum GmbH und Co. KG, Beckum; Prof. Dr.-Ing. G. Wischers (Leiter der Kommission), Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf.

1. Allgemeines

Kurz nach dem Anmachen des Betons nimmt das Anmachwasser einen sehr hohen pH-Wert über 12,5 an, weil Alkalien in Lösung gehen und eine an Kalk gesättigte Lösung entsteht. Das Calciumhydroxid wird in erster Linie bei der Hydratation des Tricalciumsilicats freigesetzt. An diesem Zustand ändert sich mit fortschreitender Hydratation praktisch nichts, so daß auch das Wasser in den Poren des Zementsteins stets den hohen pH-Wert einer gesättigten Calciumhydroxidlösung aufweist. Mit zunehmendem CaO-Gehalt des Zements spalten sich bei der Hydratation größere Mengen freies Calciumhydroxid ab, die aus der dadurch übersättigten Kalklösung ausfallen und im Zementstein als Calciumhydroxidkristalle eingebettet sind.

Trocknet der erhärtete Beton aus, so kann die Kohlensäure der Luft von außen in die sehr feinen Poren des Zementsteins eindiffundieren und dort mit dem im Calciumhydroxid und in den anderen Hydratationsprodukten des Zements enthaltenen CaO zu Calciumcarbonat reagieren. Dadurch sinkt der pH-Wert der Lösung in den Poren des Zementsteins, und zwar stellt sich ein pH-Wert in Abhängigkeit vom CO₂-Gehalt der Luft ein. Bei dem unter natürlichen Verhältnissen vorliegenden CO₂-Gehalt der Luft

von 0,03 Vol.-% sinkt der pH-Wert auf etwas unter 9. Bei höheren CO₂-Konzentrationen, wie sie z. B. bei Zeitrafferversuchen verwendet werden, ist der pH-Wert deutlich kleiner. Die Lösung in den Poren ist bei einem CO₂-Gehalt von rd. 1,0 Vol.-% neutral (pH ≈ 7,0), bei noch höheren CO₂-Gehalten ist sie sauer.

Diesen von außen in das Innere des Betons fortschreitenden Vorgang bezeichnet man als Carbonatisierung und die äußere Schicht, in der diese Reaktion stattgefunden hat, als carbonatisierte Schicht. In Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Betons und von den Umweltbedingungen wird die Dicke dieser Schicht auch im Verlauf von Jahrzehnten nur langsam größer.

Es gibt verschiedene Methoden, die Tiefe (Dicke) der carbonatisierten Schicht zu bestimmen. Am einfachsten und dennoch hinreichend genau ist das Besprühen einer frischen Betonbruchfläche mit einem Farbindikator, z. B. Phenolphthalein, das bei pH-Werten unter 9,0 farblos bleibt und bei höheren pH-Werten rot einfärbt. Untersuchungen haben ergeben, daß auch in der so bestimmten carbonatisierten Schicht noch Reste nichthydratisierter Zementkörner mit bei Wasserzutritt stark basischer Reaktion vorhanden sind, die jedoch anscheinend für die Lösung in den mit der Umwelt in Verbindung stehenden Poren nicht wirksam werden.

Der Korrosionsschutz der Bewehrung wird in sehr hohem Maße vom pH-Wert des ihn umgebenden Mediums bestimmt. Bei einem pH-Wert über 10 bildet sich auf Stahl eine sogenannte Passivschicht, die ihn auch bei ausreichendem Feuchtigkeits- und Sauerstoffangebot vor einer normalen abtragenden Korrosion schützt. Chloridionen können auch unter diesen Umweltbedingungen lokale Korrosion (Lochfraß) bewirken. Sinkt der pH-Wert infolge Carbonatisierung unter 9, so bleibt die Passivschicht nicht stabil, d. h. es kann normale abtragende Korrosion auftreten, wenn die allgemein für eine Korrosion des Stahls notwendigen Voraussetzungen gegeben sind.

Die Carbonatisierung wird von mehreren, unterschiedlich starken Einflußgrößen bestimmt, die zudem zum Teil voneinander abhängig sind. Über die meisten Einflußgrößen und deren Wertigkeit besteht weitgehende Übereinstimmung, z. B. daß der Wasserelementwert und die Umweltbedingungen einen besonders starken Einfluß haben. Dagegen sind die Auffassungen, in welchem Maße die Zementart die Carbonatisierung beeinflusst, zum Teil auseinandergegangen. Aufschluß hierüber ist von dem Langzeit-Forschungsvorhaben „München II“ über den Einfluß der Zementart auf die Korrosion des Spannstahls zu erwarten, in das 17 verschiedene Zemente einbezogen wurden. Die Versuche laufen jetzt rd. 8 Jahre.

Mit Hilfe einer elektronischen Datenverarbeitungsanlage sind jetzt verschiedene multiple lineare Regressionen zur Ermittlung und Wertung der verschiedenen Einflußgrößen auf die Carbonatisierung des Betons durchgeführt worden, für die H.-G. Smolczyk, Rheinhausen, und H.-J. Wierig, Beckum, mathematische Ansätze aufgrund unterschiedlicher Modellvorstellungen zur Verfügung stellten. Dabei wurden zunächst nur die in Rheinhausen im Freien unter Dach gelagerten Probekörper des Programms „München II“ berücksichtigt. Für den Zeitraum bis zu 7 Jahren geben beide

Regressionsformeln¹⁾ diese Versuchsergebnisse mit einem Bestimmtheitsmaß von rund 94 % wieder.

Nachfolgend soll der derzeitige Stand der Erkenntnisse kurz umrissen und auch eine vorläufige Antwort auf die Frage des Einflusses der Zementart gegeben werden. Dabei wurden gewisse Verallgemeinerungen und Vereinfachungen getroffen.

2. Einflüsse auf die Carbonatisierung

Die Carbonatisierung ist eine Phasengrenzreaktion, deren Geschwindigkeit maßgebend von der Nachlieferung der gasförmigen Phase bestimmt ist, die ihrerseits wiederum von der Porenstruktur und der Porosität des Feststoffs abhängt. Auf die Porenstruktur und die Porosität üben die Betonzusammensetzung sowie die Behandlung und Lagerung einen maßgeblichen Einfluß aus. Die Carbonatisierung des Betons wird darüber hinaus von den Umweltbedingungen bestimmt.

Obwohl alle diese Einflußgrößen nicht ganz voneinander unabhängig sind, kann man doch in einer ersten, hinreichend genauen Näherung die Carbonatisierung als allein von den nachfolgend genannten vier Haupteinflußgrößen abhängig betrachten:

- a) Umweltbedingungen,
- b) Betonzusammensetzung,
- c) Nachbehandlung (Vorlagerung) und
- d) Zeit.

Diese Einflußgrößen sind keine absoluten und auch keine direkt regelbaren Größen, sondern sie hängen ihrerseits von weiteren Variablen ab, von denen bei der nachfolgenden Erörterung der

¹⁾ Die Formel von H.-G. Smolczyk lautet:

$$x(t) = 7,00 \left(\frac{10 W/Z}{\sqrt{N_T}} - 0,175 \right) \sqrt{t} - 0,50; \quad \left(\text{für } \frac{dx}{dt} \geq 0 \right);$$

wobei $x(t)$ = Carbonatisierungstiefe in mm,

t = Betonalter in Monaten,

N_T = Normdruckfestigkeit des Zements in kp/cm^2 nach T Tagen,

$$T = 5 + 0,003 \frac{N_5 - 100}{10 W/Z} t,$$

N_5 = Normdruckfestigkeit des Zements in kp/cm^2 nach 5 Tagen.

Die Formel von H.-J. Wierig lautet:

$$x(t) = (84,62 \frac{W/Z}{\sqrt{N_7}} - 0,64 \frac{W}{Z} - 1,63) \sqrt{t} + 0,95;$$

wobei N_7 = Normdruckfestigkeit des Zements in kp/cm^2 nach 7 Tagen,

$x(t)$ und t wie oben.

N_5 , N_7 und N_T können nach G. Sadran und R. Delyes (Revue des Matériaux de Construction Nr. 606/1566 S. 93/106) berechnet werden, wenn die Normdruckfestigkeiten zu zwei beliebigen Terminen zwischen 1 und 28 Tagen bekannt sind.

Haupteinflußgrößen nur die anscheinend dominierenden berücksichtigt werden. So werden bei den Umweltbedingungen nur die Feuchtigkeit (und nicht die Temperatur), bei der Betonzusammensetzung nur die wichtigsten Ausgangsstoffe Zement nach DIN 1164, Wasser und Normalzuschlag (und z. B. nicht Zusatzmittel oder -stoffe) und bei der Nachbehandlung nur die Dauer der sich unmittelbar an die Herstellung anschließenden Feuchtlagerung bei Normaltemperatur (und nicht eine Wärmebehandlung oder niedrigere Lagerungstemperaturen) berücksichtigt.

2.1 Umweltbedingungen

Die Aufnahme von Kohlensäure ist stark vom Feuchtigkeitszustand des Betons abhängig. Wassergesättigte Körper nehmen praktisch kein CO_2 auf. Auch vollständig getrocknete Betonkörper carbonatisieren nicht weiter, weil ein gewisser Feuchtigkeitsfilm Voraussetzung für den Ablauf der chemischen Reaktion ist. So niedrige Luftfeuchtigkeiten, daß der für ein Carbonatisieren nötige Wasserfilm in den Poren des Zementsteins nicht mehr vorhanden ist (unter 30 % rel. F.), treten in Mitteleuropa praktisch nicht auf.

Körper, die im Freien dem Niederschlag ausgesetzt sind, carbonatisieren wesentlich langsamer als gleiche Körper, die ebenfalls im Freien, jedoch vor Niederschlag geschützt unter Dach lagern, weil das bei Niederschlag aufgenommene Wasser vor einem weiteren Carbonatisieren des Betons erst verdunsten muß. Die im Freien ausgelagerten Versuchskörper des Langzeitprogramms carbonatisierten in Rheinhausen, München und Norderney etwa gleich schnell. Die im Freien unter Dach gelagerten Körper wiesen in Rheinhausen und München größenordnungsmäßig doppelt so große Carbonatisierungstiefen auf wie die dem Niederschlag ausgesetzten Körper, die in Norderney gelagerten hingegen nur die etwa 1,3fache Tiefe.

Erhöhter CO_2 -Gehalt, wie er in der Praxis z. B. in Schornsteinen auftritt, beschleunigt naturgemäß die Carbonatisierung wesentlich. Zeitrafferversuche mit erhöhtem CO_2 -Gehalt können jedoch nur mit Vorbehalt auf die normale Praxis des Korrosionsschutzes übertragen werden, weil sich dabei ein niedrigerer pH-Wert in der Porenlösung des Zementsteins einstellt (siehe Abschnitt 1).

Zusammenfassend kann man feststellen, daß der Carbonatisierungsfortschritt bei konstanter Lagerung bei 50 bis 70 % rel. Feuchte am größten ist. Wesentlich niedrigere Luftfeuchtigkeiten kommen hierzulande über längere Zeiträume praktisch nicht vor. Bei höheren Luftfeuchtigkeiten verlangsamt sich der Carbonatisierungsfortschritt, bei 100 % rel. Feuchte oder Wasserlagerung ist er praktisch gleich Null.

2.2 Betonzusammensetzung und -eigenschaften

Jede Änderung der Betonzusammensetzung verändert gleichzeitig zahlreiche Betoneigenschaften, und zwar zum Teil gleichsinnig und zum Teil gegenläufig. Wird z. B. unter sonst gleichen Bedingungen nur der Zementgehalt erhöht (und damit der Wasserzementwert erniedrigt), so steigen die Festigkeit, der E-Modul sowie die Dichtigkeit, und es sinken die Porosität sowie die Car-

bonatisierungsgeschwindigkeit. Die gleiche Veränderung kann erzielt werden, wenn das Mischungsverhältnis (und damit auch der Wasserzementwert) konstant bleibt und nur Zement höherer Festigkeit verwendet wird.

Die verschiedenen Variablen korrelieren alle miteinander mehr oder weniger stark. Es besteht daher eine gewisse Freiheit, welche man als Einflußgröße zur Beschreibung der Zielgröße Carbonatisierungstiefe (in der Zeit) wählt.

H.-G. Smolczyk wählte hierzu zunächst die Betonfestigkeit, jedoch liefert die alleinige Kenntnis der Betonfestigkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt (z. B. nach 28 Tagen) nur einen guten Anhalt. Zur genaueren Bestimmung des zeitlichen Verlaufs ist es nötig, eine von mehreren anderen Variablen abhängige „repräsentative“ Festigkeit heranzuziehen, die sich entweder aus dem anfänglichen Erhärtungsverlauf des Betons oder dem Wasserzementwert, der Normfestigkeit des Zements zu zwei Prüfterminen und der Zeit errechnet.

H.-J. Wierig wählte zunächst als Einflußgrößen für die Carbonatisierung (in der Zeit) den Wasserzementwert sowie einen charakteristischen Beiwert des verwendeten Zements, der im wesentlichen von der Mahlfineinheit und dem CaO-Gehalt des Zements abhängt. Dieser charakteristische Beiwert kann vereinfachend durch die 7-Tage-Normfestigkeit des Zements ersetzt werden.

2.2.1 Wasserzementwert

Das Verhältnis der Carbonatisierungstiefen bei Wasserzementwerten 0,45, 0,60 und 0,80 kann man in erster Annäherung wie folgt angeben:

$$x_{0,45} : x_{0,60} : x_{0,80} = 0,4 : 1 : 2$$

Dieses mittlere Verhältnis hat sich im bisherigen Laufe der Versuche wenig verändert. Allerdings ist es bei Zementen mit höherer Normfestigkeit etwas größer, hingegen bei Zementen mit niedrigerer Normfestigkeit etwas kleiner geworden. Dadurch wirkt sich ein unterschiedlicher Wasserzementwert bei hoher Zementnormfestigkeit relativ stärker aus.

2.2.2 Zement

Die derzeit in Deutschland ausgelieferten Zemente werden nach DIN 1164 hinsichtlich Anfangs- und 28-Tage-Festigkeit in 6 Festigkeitsklassen unterteilt, deren gerundete Ist-Festigkeiten nach 2 und 28 Tagen in der nachfolgenden Tafel angegeben sind.

Zementfestigkeitsklasse	Ist-Festigkeit in kp/cm ² nach	
	2 Tagen	28 Tagen
550	400	635
450 F	275	550
450 L	175	550
350 F	200	450
350 L	125	450
250	75	350

Der Einfluß einer Größe läßt sich am einfachsten darstellen, wenn alle anderen Einflußgrößen konstantgehalten werden. Dies ist im vorliegenden Fall nicht möglich. Wenn z. B. das Mischungsverhältnis gleichgehalten wird, dann sind mit Sicherheit andere wesentliche Betoneigenschaften, wie z. B. die Festigkeit, wegen der unterschiedlichen Zementnormfestigkeit verschieden. Wenn die 28-Tage-Betondruckfestigkeit gleichgehalten wird, dann sind die Anfangsfestigkeit und das Mischungsverhältnis verschieden.

Im Schrifttum sind häufig Vergleiche mit gleichem Mischungsverhältnis durchgeführt worden. Da heute Betonmischungen jedoch überwiegend aufgrund der 28-Tage-Betondruckfestigkeit zusammengesetzt werden, sind in der nachfolgenden Tafel Anhaltswerte über den Einfluß der 6 Zementfestigkeitsklassen auf die Carbonatisierung von 7 Jahre altem Beton sowohl für ein gleiches Mischungsverhältnis (gleicher Wasserzementwert) als auch für eine gleiche Betonfestigkeitsklasse angegeben. Die Werte sind relativ und beziehen sich auf die Zementfestigkeitsklasse 350 F, die den mit Abstand größten Marktanteil hat. Sie gelten für Betone, die rd. 1 Woche feucht nachbehandelt worden sind.

Einfluß des Zements auf die Carbonatisierungstiefe von Beton nach 7 Jahren bei den Versuchen „München II“, Lagerung Rheinhäusen unter Dach:

Zementfestigkeitsklasse	550	450 F	450 L	350 F	350 L	250
Gleiches Mischungsverhältnis; W/Z = 0,60	0,4	0,7	0,9	1,0 (7 mm)	1,3	2,2
Gleiche Betonfestigkeit nach 28 Tagen; Bn 250 ²⁾	0,9	1,0	1,3	1,0 (7 mm)	1,3	1,4

Für die verschiedenen Betonfestigkeitsklassen errechneten sich bei den Versuchen „München II“, Lagerung Rheinhäusen unter Dach, nach 7 Jahren im ungünstigsten Fall die folgenden Carbonatisierungstiefen:

Betonfestigkeitsklasse	Carbonatisierungstiefe nach 7 Jahren
Bn 450	höchstens 2 mm
Bn 350	höchstens 6 mm
Bn 250	höchstens 10 mm
Bn 150	höchstens 18 mm

2.3 Nachbehandlung

Die Tafel über den Einfluß des Zements auf die Carbonatisierungstiefe gilt für Beton, der rd. 1 Woche feucht nachbehandelt

²⁾ Die dieser Betonfestigkeit zugrundeliegende Betonzusammensetzung wurde einem Diagramm von K. Walz entnommen (Walz, K.: Herstellung von Beton nach DIN 1045. Beton-Verlag, Düsseldorf 1971, S. 54). Nicht alle der im Versuchsprogramm „München II“ ermittelten Betonfestigkeiten entsprechen der Gesetzmäßigkeit dieses Diagramms.

wurde. Längere Nachbehandlungszeiten verbessern neben allen anderen Eigenschaften des Betons auch seinen Widerstand gegenüber der Carbonatisierung. Kürzere Nachbehandlungszeiten, wie sie in der Praxis nicht immer auszuschließen sind, beeinflussen das Verhalten des Betons ungünstig, insbesondere bei Verwendung langsam erhärtender Zemente. Bei orientierenden Versuchen an Mörtelprismen wurde der Widerstand gegen Carbonatisieren durch eine Verlängerung der Nachbehandlung von 3 auf 28 Tage auf das rd. 1,5fache erhöht.

2.4 Zeitlicher Verlauf der Carbonatisierung

In Räumen mit konstanter Temperatur und mittlerer Luftfeuchtigkeit ist der Carbonatisierungsfortschritt in erster Annäherung proportional der Quadratwurzel aus der Zeit, d. h. die Carbonatisierungsgeschwindigkeit wird mit zunehmender Zeitdauer geringer. In einer Umgebung mit wechselnder Feuchtigkeit weicht der Carbonatisierungsfortschritt erwartungsgemäß von diesem \sqrt{t} -Gesetz mehr oder weniger ab. Im allgemeinen verlangsamt er sich dann. Bei Beton, der dem Niederschlag ausgesetzt ist, tritt im Verlauf der Zeit praktisch ein Carbonatisierungsstillstand ein, der in um so geringerer Tiefe stattfindet, je größer der Widerstand des Betons gegen Carbonatisieren ist.

Die in Abschnitt 1 wiedergegebenen Regressionsformeln von H.-G. Smolczyk und H.-J. Wierig erfassen den Zeitraum bis zu 7 Jahren. Extrapolationen von Regressionen über die durch Versuche abgedeckten Bereiche hinaus sind grundsätzlich nicht zulässig. Da im vorliegenden Fall die Regressionsformeln jedoch hinsichtlich des zeitlichen Ablaufs auf physikalisch begründeten Modellen beruhen, wird eine orientierende Abschätzung für einen Zeitraum von 30 Jahren für vertretbar gehalten.

Unabhängig von Zement, Mischungsverhältnis und Betonfestigkeitsklasse liefern beide Formeln für diesen Zeitpunkt Carbonatisierungstiefen, die stets weniger als 5 mm vom Mittelwert aus den Ergebnissen beider Formeln abweichen. Legt man diesen Mittelwert weiteren Betrachtungen zugrunde, so entspricht der Einfluß des Zements auf die Carbonatisierungstiefe von Betonen mit gleichem Mischungsverhältnis (gleichem Wasserzementwert) in der Tendenz etwa den Ergebnissen nach 7 Jahren. Ob der nach 7 Jahren geringere Einfluß des Zements auf die Carbonatisierungstiefe von Betonen gleicher Festigkeitsklasse nach 30 Jahren noch vorhanden ist, läßt sich nicht zuverlässig beurteilen. Bei einer Lagerung, die der in Rheinhausen unter Dach entspricht, muß man – unabhängig vom Zement – für die verschiedenen Betonfestigkeitsklassen nach 30 Jahren mit den nachfolgenden Carbonatisierungstiefen rechnen:

Betonfestigkeitsklasse	Geschätzte Carbonatisierungstiefe nach 30 Jahren
Bn 450	bis zu 3 mm
Bn 350	bis zu 10 mm
Bn 250	bis zu 17 mm
Bn 150	bis zu 30 mm

3. Auswirkungen der Carbonatisierung auf die Korrosion der Bewehrung

Erreicht die Tiefe der carbonatisierten Schicht den Bewehrungsstahl, so geht der „aktive“ Korrosionsschutz des Stahls durch die Passivschicht verloren. Dies bedingt jedoch nicht in jedem Fall eine auf die Dauer die Standsicherheit gefährdende Korrosion von schlaffem Bewehrungsstahl. Wie die Erfahrung lehrt, liegen z. B. schlaffe Bewehrungsstäbe schon jahrzehntelang in carbonatisierten Bereichen von Wohn- und Bürogebäuden, ohne daß dies zu gravierenden Korrosionsschäden geführt hat. Andererseits ist unter korrosionsfördernden Umweltbedingungen auch schon starkes, die Betondeckung absprengendes Rosten beobachtet worden, wenn die carbonatisierte Schicht den Bewehrungsstahl erreichte. Meist handelte es sich dann jedoch entweder um Beton niedriger Festigkeit oder ungenügender Verdichtung und Nachbehandlung oder um eine zu geringe Überdeckung.

Spannstähle sind gegen Korrosion empfindlicher als schlaffer Bewehrungsstahl und dürfen auf keinen Fall in die carbonatisierte Schicht geraten.

4. Korrosionsschutzbestimmungen

Die überarbeiteten Stahlbetonbestimmungen tragen den heutigen Erkenntnissen Rechnung. Korrosionsschäden sind bei Beton der Festigkeitsklassen Bn 250 und höher mit großer Sicherheit nicht zu erwarten. Für Beton der Festigkeitsklasse Bn 150 sieht DIN 1045 in Tabelle 10 zwar eine 5 mm dickere Betondeckung als für Beton der Festigkeitsklassen Bn 250 und höher vor, jedoch ist aufgrund der Abschätzungen über die Carbonatisierungstiefe nach 30 Jahren die Sicherheit für den Korrosionsschutz nicht so groß, daß eine Korrosion der Bewehrung unter ungünstigen Verhältnissen stets ausgeschlossen werden kann.