Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 46-47 (1978-1979)
Heft: 17

Artikel: Über die Korrosionsgefahr der Armierung in Beton
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-153612

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: 08.12.2025

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

CEMENTBULLETIN

MAI 1979 JAHRGANG 47 NUMMER 17

Über die Korrosionsgefahr der Armierung in Beton

Chemische Vorgänge bei der Eisenkorrosion. Voraussetzungen für das Rosten im allgemeinen und für das Rosten der Betonbewehrung. Karbonatisierung. Endkarbonatisierungstiefe und ihre Abhängigkeit. Erhöhte Gefahr bei Rissen.

1. Vorgänge beim Rosten

An Stellen der Eisenoberfläche, die mit Feuchtigkeit in Berührung stehen, können stoffliche Umsetzungen stattfinden:

a) $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2\,e^{-}$

Diese chemische Formel beschreibt den primären Vorgang beim Rosten. Eisenatome Fe, aus welchen metallisches Eisen zusammengesetzt ist, spalten je zwei Elektronen, e^{-}, ab und wandeln sich dadurch zu positiv geladenen, wasserlöslichen Ionen Fe^{++}. Gleichzeitig geschieht an einem benachbarten Punkt der Eisenoberfläche eine Gegenreaktion, vorausgesetzt, dass das anschliessende Wasser gelösten Sauerstoff enthält:

b) $4\,e^{-} + O_2 + 2\,H_2O \rightarrow 4\,(OH)^{-}$

Ein Sauerstoff- und zwei Wassermoleküle nehmen aus dem metallischen Eisen 4 Elektronen auf und bilden 4 wasserlösliche, negativ geladene Hydroxidionen.

c) $Fe^{++} + 2\,(OH)^{-} \rightarrow Fe\,(OH)_2$

In der wässerigen Phase befinden sich nun Eisen- und Hydroxidionen, die sich zum Eisenhydroxid vereinigen. Durch weitere ähnliche Umwandlungen entsteht aus $Fe(OH)_2$ schliesslich das wasserunlösliche Eisenoxid Fe_2O_3, oder gemeinhin der Rost.

2 Die vereinfachte Reaktionsgleichung ohne Zwischenstufen formuliert sich mit:

d) $4\ Fe + 3\ O_2 \rightarrow 2\ Fe_2O_3$

Der Rauminhalt von Fe_2O_3 ist grösser als das Volumen des ursprünglichen metallischen Eisens. Deshalb entsteht durch das Rosten auch eine treibende Kraft.

Nach diesen Reaktionen sind die primären **Voraussetzungen für das Rosten:**

1. Berührung des Eisens mit flüssigem Wasser, wobei auch kleinere Bereiche mit dünnster Kondenswasserschicht genügen.
2. Anwesenheit von Sauerstoff an der Reaktionsstelle.

2. Schutzwirkung durch starke alkalische Reaktion

Wenn im angrenzenden Wasser zum voraus schon viele $(OH)^-$-Ionen gelöst sind, so können entsprechend der Reaktionsgleichung b) keine neuen mehr entstehen. Der Rostvorgang wird dadurch blockiert.
Beim Abbinden und Erhärten von Portlandzement entsteht ein grosser Anteil (25–30 %!) Calciumhydroxid, $Ca(OH)_2$, das als feine Kristalle im Zementstein eingelagert wird. In Wasser ist $Ca(OH)_2$ schwach löslich. Etwa 0,1 % des vorhandenen $Ca(OH)_2$ ist im Porenwasser des Zementsteins gelöst. Es findet sich dort in der Form von Ca^{++}- und $(OH)^-$-Ionen, wobei die letzteren eben die bedeutungsvolle Behinderung der Rostreaktion bewirken. Die sogenannte «alkalische Reaktion» wird durch den Überschuss an $(OH)^-$-Ionen bedingt.

Die **Voraussetzungen für diese Schutzwirkung** gegen die Korrosion von Armierungseisen sind demnach:

1. Die Anwendung von Portlandzement
2. Grosser Anteil an Calciumhydroxid im Zementstein.

3. Aufhebung der Schutzwirkung durch Kohlensäure

Kohlensäure, CO_2 ist ein Gas. In 1 m^3 Luft sind etwa 0,8 g CO_2 enthalten. Kohlensäure reagiert mit Calciumhydroxid, wobei die $(OH)^-$-Ionen verschwinden, d. h. neutralisiert werden:

$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$

Diese Reaktion nennt man «Karbonatisierung». Sie hebt die Schutzwirkung gegen die Eisenkorrosion auf. Das entstehende

Calciumkarbonat, $CaCO_3$, ist die gleiche Substanz wie der Kalkstein. Da es in Wasser nicht löslich ist, setzt es sich am Ort der Karbonatisierung ab und füllt den Porenraum zunehmend aus.

Voraussetzungen für die Karbonatisierung sind:

1. Zudringen von CO_2 zur Reaktionsstelle
2. Vorhandensein von Wasser, wenn auch nur in sehr kleinen Mengen.

4. Fortschritt der Karbonatisierung, Karbonatisierungstiefe

Bewehrungskorrosion tritt ein, wenn die Karbonatisierung im Zementstein bis zum Eisen vordringt, d. h. wenn die Karbonatisierungstiefe gleich der Eisenüberdeckung wird. Wesentlich ist damit der zeitliche Fortschritt der Karbonatisierung in den Betonkörper hinein.
Nach den Diffusionsgesetzen (CO_2 muss in den Beton hineindiffundieren) ist die Karbonatisierungstiefe x zunächst proportional zum Wurzelwert der Zeit t,

$$x = K \cdot \sqrt{t}$$

wobei in der Konstanten K u. a. Diffusionsvermögen sowie das Konzentrationsgefälle enthalten sind. Der Karbonatisierungsfortschritt wird damit immer langsamer.

Massgebende Grösse in unserem Falle ist der Diffusionswiderstand des Betons gegenüber dem eindringenden CO_2. Dieser nimmt mit der Karbonatisierungstiefe zu und bewirkt eine noch stärkere Hemmung als sie das $\sqrt{t}$-Gesetz vorgibt. Je tiefer die Karbonatisierungsfront vordringt, desto geringer wird der Nachschub an CO_2, während andererseits die Nachlieferung von $Ca(OH)_2$ von der Innenseite her keine Reduktion erfährt. Dies bewirkt, dass die Karbonatisierungstiefe einem Endwert zustrebt, was bei günstigen Bedingungen den Korrosionsschutz auf unbestimmt lange Zeit gewährleistet.

5. Einflüsse auf die maximale Karbonatisierungstiefe

Die Endkarbonatisierungstiefe ist in erster Linie abhängig von der Diffusionskonstante für CO_2 in Beton, die ihrerseits von der Betonqualität (= Porosität = Betonfestigkeit) und vom Feuchtigkeitsgehalt des Porenraumes abhängt. Die Karbonatisierungsgrenze liegt um so tiefer, je trockener die Betonoberfläche und je geringer die Betonfestigkeit sind, s. Abb. 1.

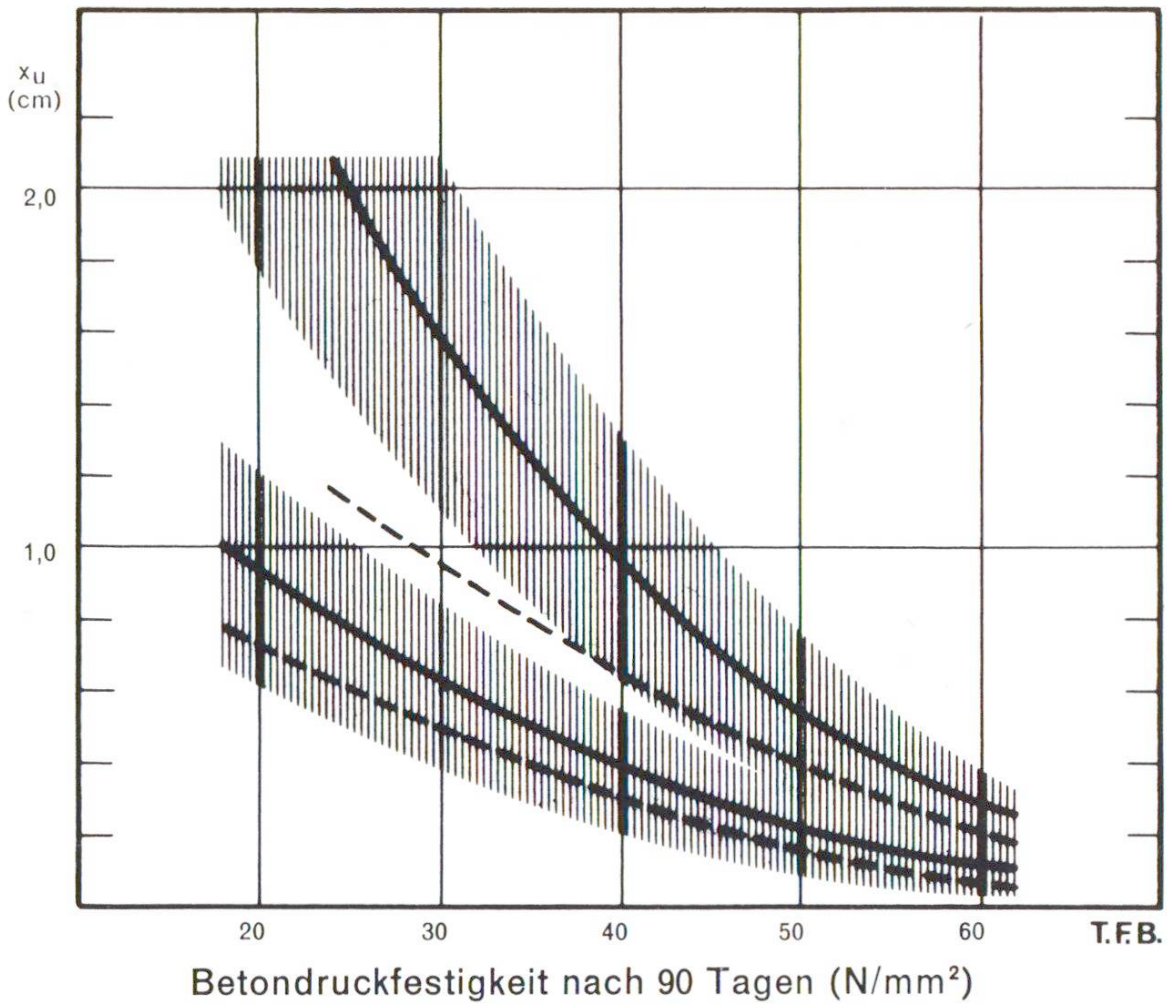

Abb. 1 Mittlere Endkarbonatisierungstiefe x_u in Abhängigkeit von der Betonfestigkeit. Oben: Beton im Freien, unter Dach. Unten: Beton im Freien, ungeschützt. Schraffiert: Streuungsbereich 84 % der Einzelfälle. Gestrichelt: Mittelwerte aus Messungen nach 7 Jahren. (nach Schiessl)

6. Karbonatisierungstiefe bei Rissen

Bei Rissen stellt sich ebenfalls eine Endkarbonatisierungstiefe ein, die naturgemäss tiefer liegt als bei unbeschädigtem Beton. Sie ist in erster Linie abhängig vom Diffusionswiderstand für CO_2 im Freiraum des Risses, der seinerseits von der Risseweite bestimmt wird. Die Qualität des Betons und der Feuchtigkeitsgehalt spielen in diesem Fall keine grosse Rolle mehr, s. Abb. 3.

7. Zusammenfassung und ergänzende Bemerkungen

1. Die anzunehmenden Endkarbonatisierungstiefen sind abhängig vom durchschnittlichen Feuchtigkeitsgehalt und von der Betonqualität im allgemeinen, und von der Risseweite bei gerissenem Beton. Es zeigt sich, dass mit der heute üblichen Betonqualität und bei normengemässen Eisenüberdeckungen eine Korrosionsverhinderung auf unbestimmt lange Zeit gewährleistet werden kann.
   Da der Beton ein heterogenes Material ist, besteht eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass es dennoch zu lokalen, punktförmigen

Rostangriffen kommen kann, die aber sehr selten sein müssen und, sofern sie schädlich sind, als Einzelfälle leicht repariert werden können. In Abb. 1 sind diese Wahrscheinlichkeiten angedeutet.

2. Bei Rissen kann allenfalls eine punktuelle Korrosion mit etwas grösserer Wahrscheinlichkeit auftreten. Es ist wichtig zu wissen, dass diese Gefahr bei Risseweiten von über 0,1 mm erwägt werden muss. Risse können sich mit Schmutz und ausgeschiedenem Calciumkarbonat ausfüllen, was die Endkarbonatisierungstiefe um 30–50 % reduzieren kann.
3. Die maximale Karbonatisierungstiefe wird annähernd erst nach vielen Jahren erreicht. Bei einem Qualitätsbeton P 300 bis P 400 sind 90 % des Endwertes erreicht:
   - nach ca. 20 Jahren bei Beton im Freien, geschützt und
   - nach ca. 10 Jahren bei Beton im Freien, ungeschützt.

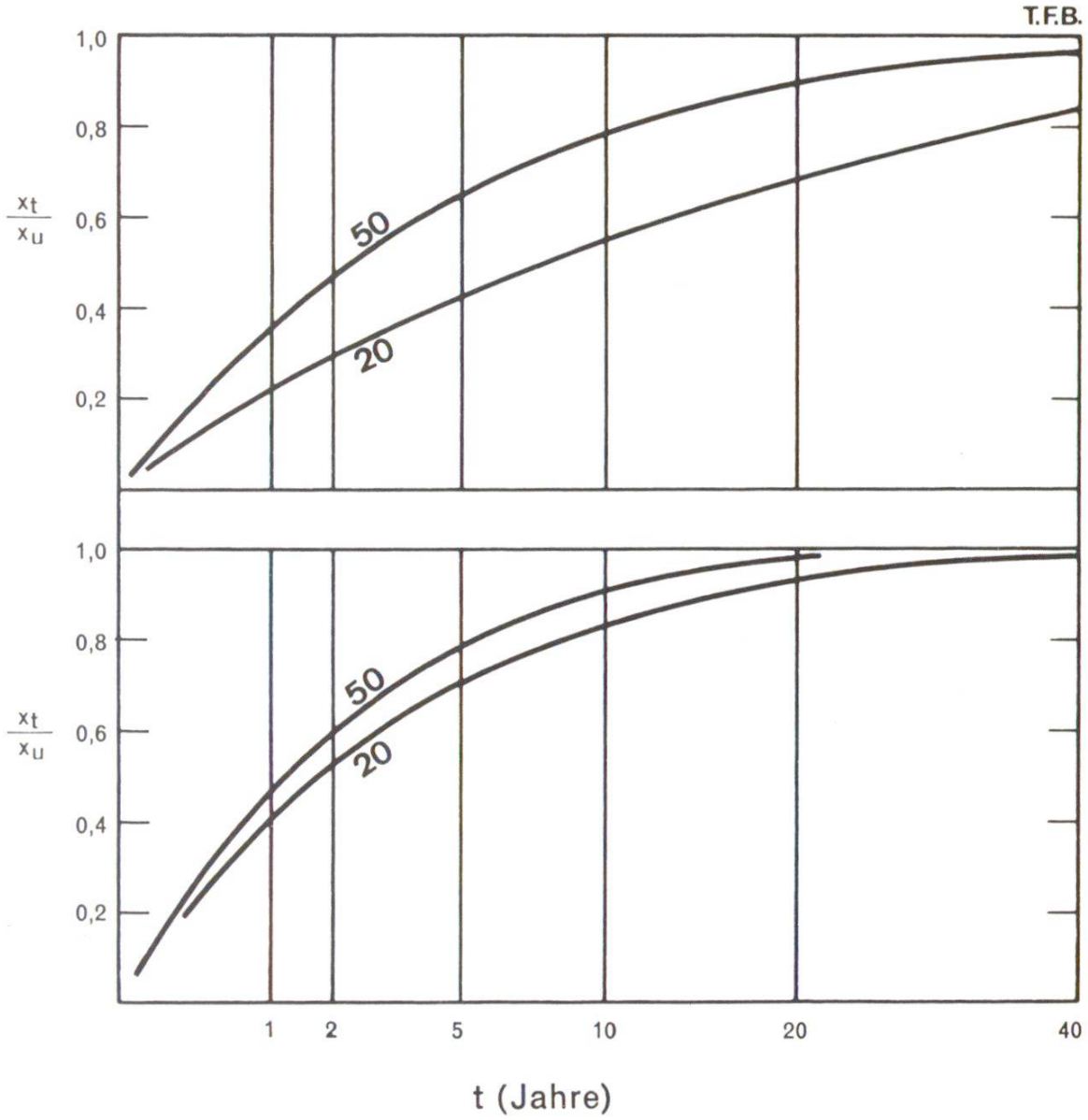

Abb. 2 Zunahme der Karbonatisierungstiefe x_t mit der Zeit bei Betondruckfestigkeiten von 20 und 50 N/mm². x_u = Endkarbonatisierungstiefe. Oben: Beton im Freien, unter Dach. Unten: Beton im Freien, ungeschützt. (nach Schiessl)

4. Der Feuchtigkeitsgehalt des Betons nimmt auf die Gefahr der Armierungskorrosion einen kontroversen Einfluss. Ein hoher Feuchtigkeitsgehalt hemmt einerseits das Eindringen von CO_2 und O_2 und verkleinert die Endkarbonatisierungstiefe, und andererseits wird dadurch der Rostvorgang selber gefördert.

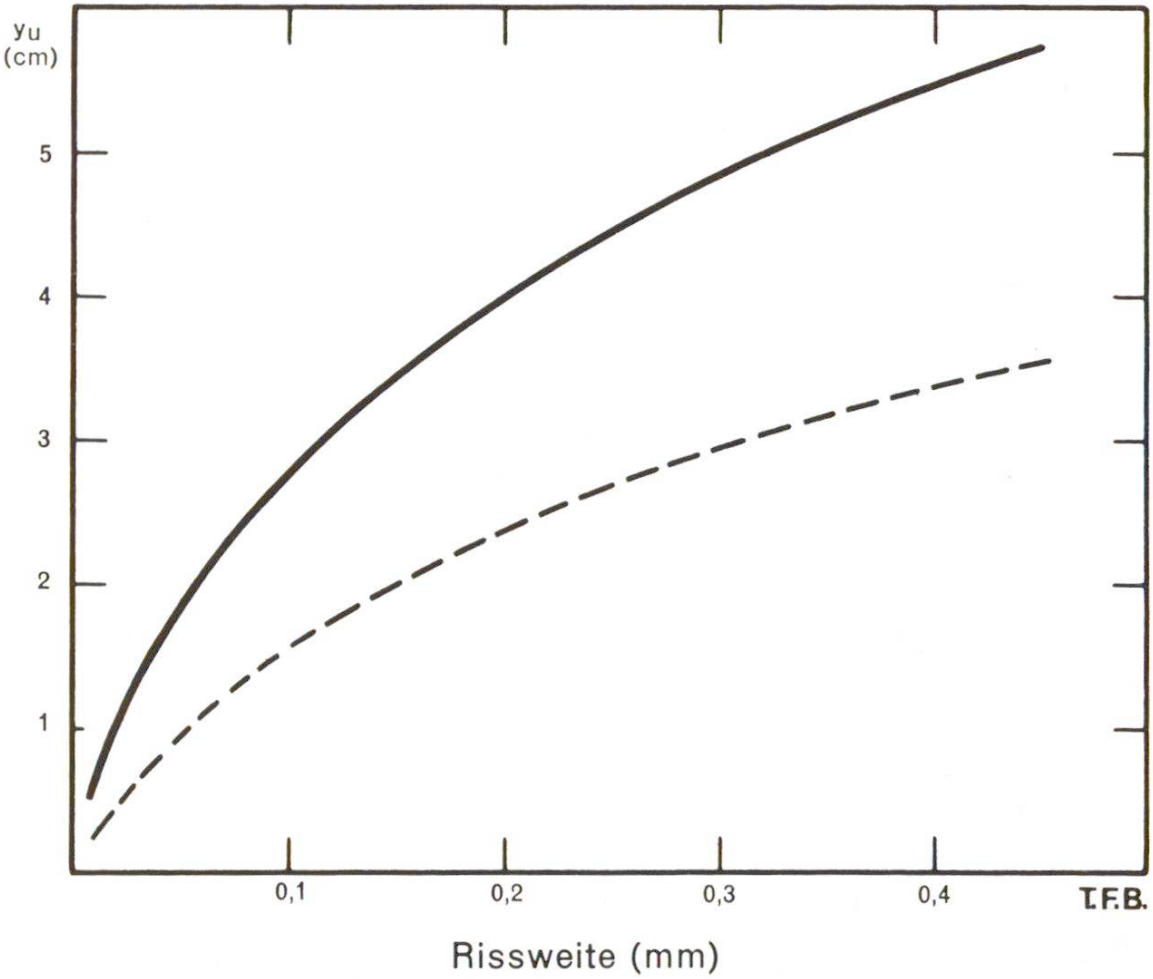

Abb. 3 Endkarbonatisierungstiefe y_u bei Rissen als Funktion der Rissweite. Berechnete Werte für Beton mit einer Druckfestigkeit von 30–40 N/mm². Mit höherer Betonfestigkeit wird y_u grösser und zwar bis 60 N/mm² ungefähr + 0,6 cm. Gestrichelt: y_u-Werte bei starker Karbonatablagerung und Verschmutzung im Riss. (nach Schiessl)

Literaturangaben

Peter Schiessl, Zur Frage der zulässigen Rissbreite und der erforderlichen Betondeckung im Stahlbetonbau unter besonderer Berücksichtigung der Karbonatisierung des Betons. Heft No. 255, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin, 1976

Kyösti Tuutti, Cracks and Corrosion, Heft 6: 78, CBI – Schwedisches Zement- und Betoninstitut, Stockholm, 1978.

TFB

Zu jeder weiteren Auskunft steht zur Verfügung die
TECHNISCHE FORSCHUNGS- UND BERATUNGSSTELLE
DER SCHWEIZERISCHEN ZEMENTINDUSTRIE
5103 Wildegg Postfach Telephon (064) 53 17 71