

**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. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 14.03.2025

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

# CEMENTBULLETIN

MAI 1979

JAHRGANG 47

NUMMER 17

## Über die Korrosionsgefahr der Armierung in Beton

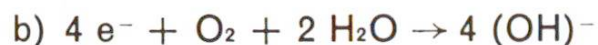
**Chemische Vorgänge bei der Eisenkorrosion. Voraussetzungen für das Rosten im allgemeinen und für das Rosten der Betonbewehrung. Karbonatisierung. Endkarbonatisierungstiefe und ihre Abhängigkeit. Erhöhte Gefahr bei Rissen.**

### 1. Vorgänge beim Rosten

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



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



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



In der wässrigen Phase befinden sich nun Eisen- und Hydroxidionen, die sich zum Eisenhydroxid vereinigen. Durch weitere ähnliche Umwandlungen entsteht aus  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  schliesslich das wasserunlösliche Eisenoxid  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , oder gemeinhin der Rost.

2 Die vereinfachte Reaktionsgleichung ohne Zwischenstufen formuliert sich mit:



Der Rauminhalt von  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  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  $(\text{OH})^-$ -Ionen gelöst sind, so können entsprechend der Reaktionsgleichung b) keine neuen mehr entstehen. Der Rostvorgang wird dadurch blockiert.

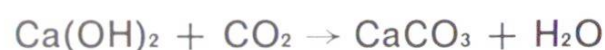
Beim Abbinden und Erhärten von Portlandzement entsteht ein grosser Anteil (25–30 %!) Calciumhydroxid,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , das als feine Kristalle im Zementstein eingelagert wird. In Wasser ist  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  schwach löslich. Etwa 0,1 % des vorhandenen  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ist im Porenwasser des Zementsteins gelöst. Es findet sich dort in der Form von  $\text{Ca}^{++}$ - und  $(\text{OH})^-$ -Ionen, wobei die letzteren eben die bedeutungsvolle Behinderung der Rostreaktion bewirken. Die sogenannte «alkalische Reaktion» wird durch den Überschuss an  $(\text{OH})^-$ -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,  $\text{CO}_2$  ist ein Gas. In  $1 \text{ m}^3$  Luft sind etwa 0,8 g  $\text{CO}_2$  enthalten. Kohlensäure reagiert mit Calciumhydroxid, wobei die  $(\text{OH})^-$ -Ionen verschwinden, d. h. neutralisiert werden:



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

- 3 Calciumkarbonat,  $\text{CaCO}_3$ , 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. Zutreten von  $\text{CO}_2$  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 ( $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$ . 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  $\text{CO}_2$ , während andererseits die Nachlieferung von  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  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  $\text{CO}_2$  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.

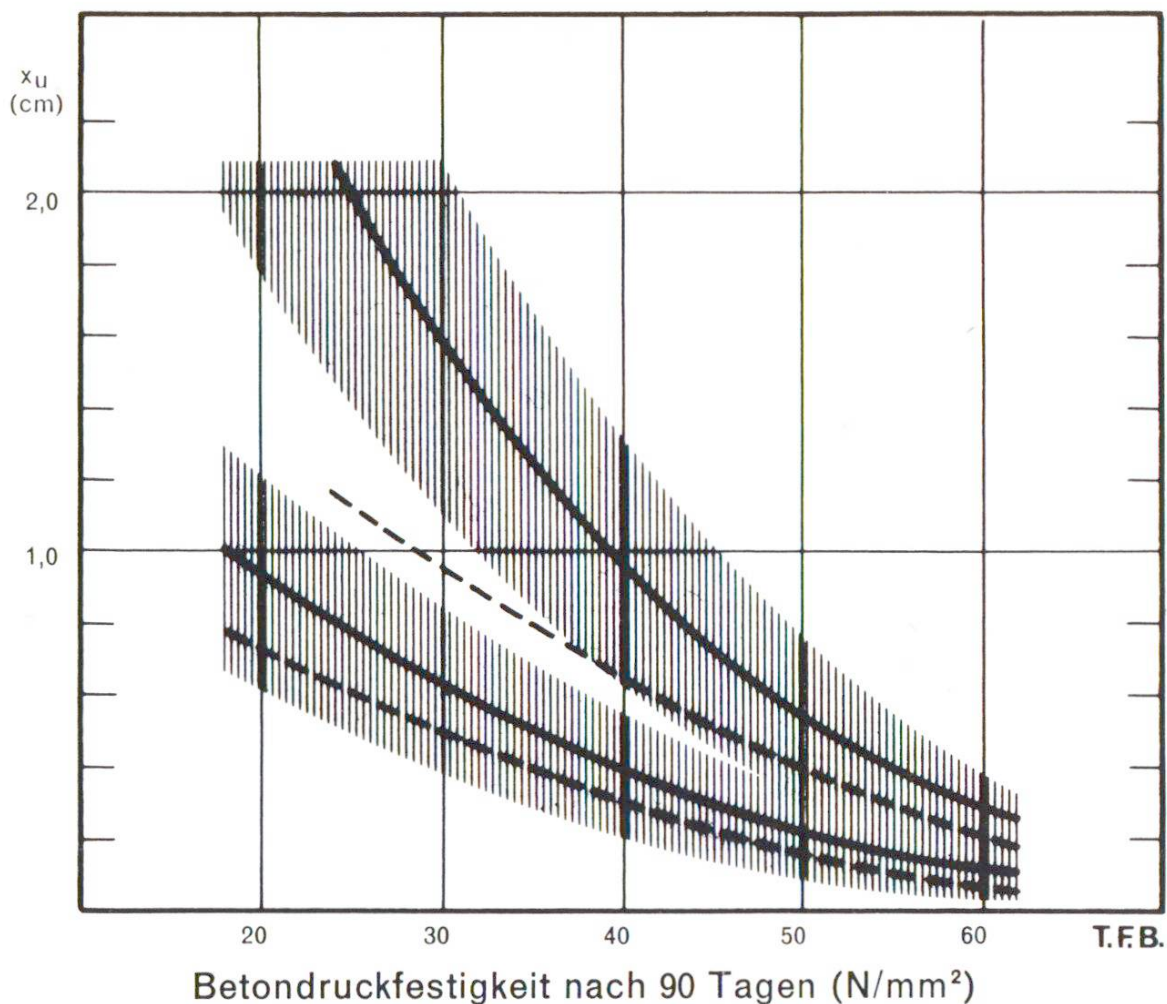


Abb. 1 Mittlere Endkarbonisierungstiefe  $x_u$  in Abhängigkeit von der Betonfestigkeit. Oben: Beton im Freien, unter Dach. Unten: Beton im Freien, ungeschützt. Schraffiert: Streubereich 84 % der Einzelfälle. Gestrichelt: Mittelwerte aus Messungen nach 7 Jahren. (nach Schiessl)

## 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  $\text{CO}_2$  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

5 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.

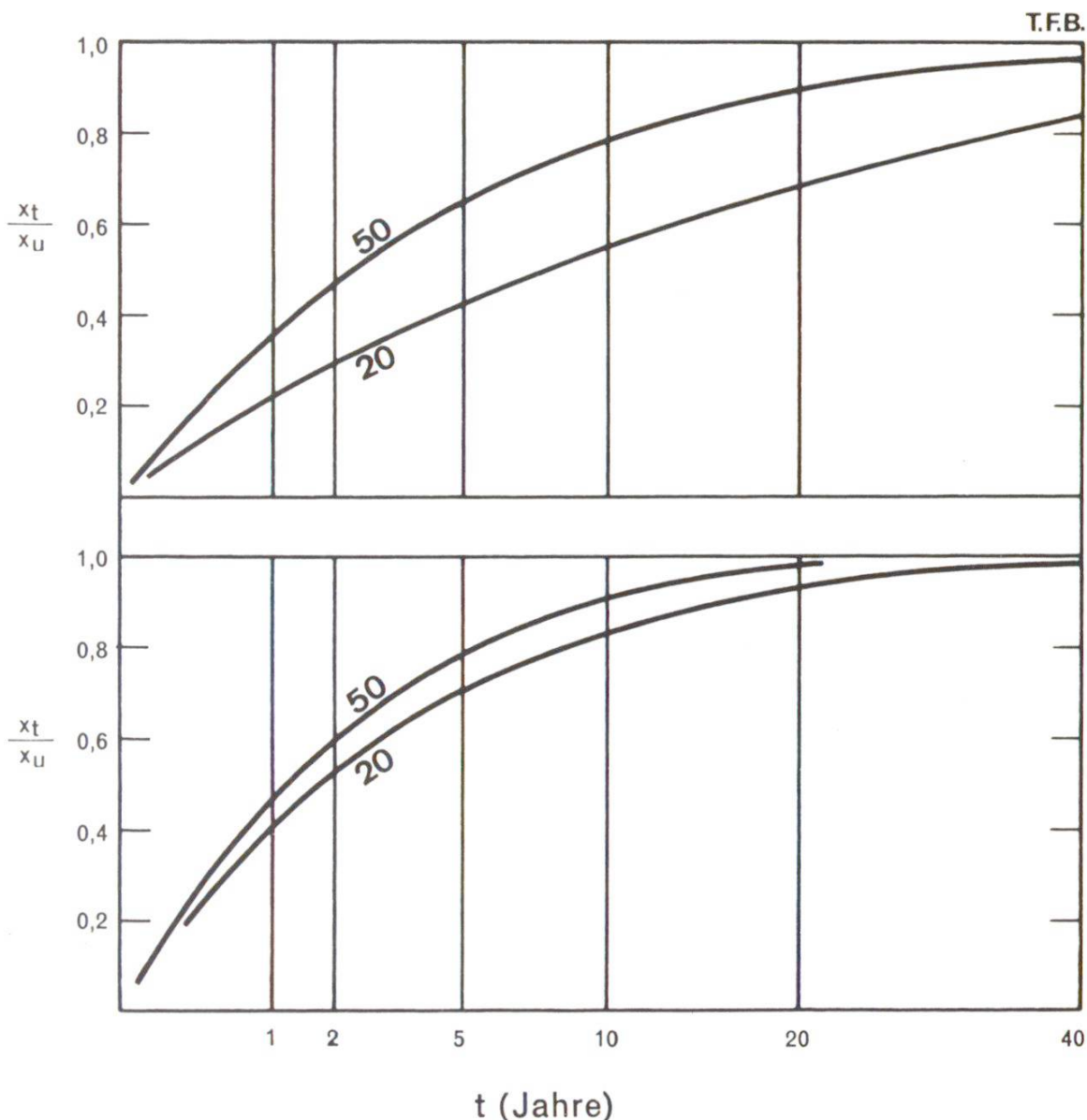


Abb. 2 Zunahme der Karbonisierungstiefe  $x_t$  mit der Zeit bei Betondruckfestigkeiten von 20 und 50 N/mm<sup>2</sup>.  $x_u$  = Endkarbonisierungstiefe. Oben: Beton im Freien, unter Dach. Unten: Beton im Freien, ungeschützt. (nach Schiessl)

- 6 4. Der Feuchtigkeitsgehalt des Betons nimmt auf die Gefahr der Armierungskorrosion einen kontroversen Einfluss. Ein hoher Feuchtigkeitsgehalt hemmt einerseits das Eindringen von  $\text{CO}_2$  und  $\text{O}_2$  und verkleinert die Endkarbonatisierungstiefe, und andererseits wird dadurch der Rostvorgang selber gefördert.

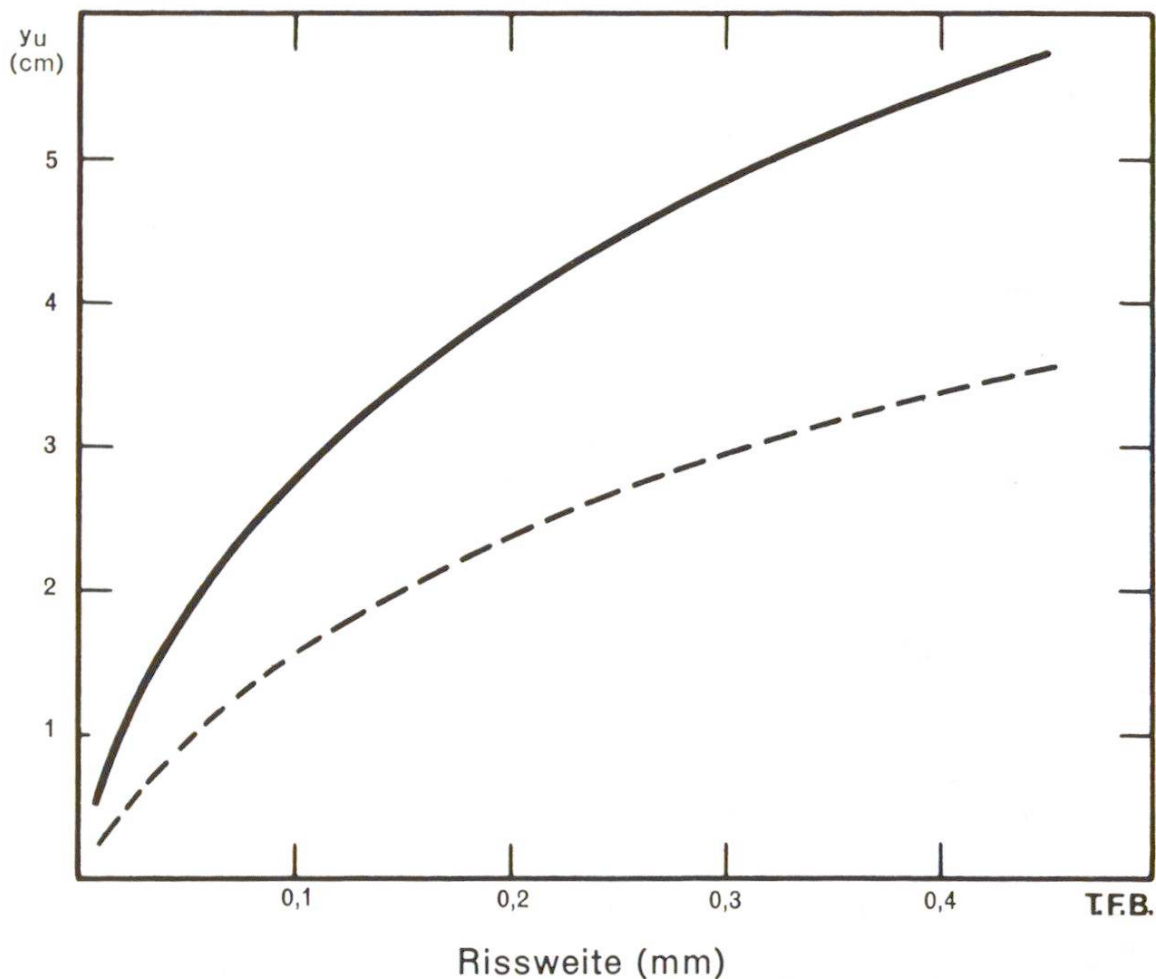


Abb. 3 Endkarbonatisierungstiefe  $y_u$  bei Rissen als Funktion der Rissweite. Berechnete Werte für Beton mit einer Druckfestigkeit von 30–40 N/mm<sup>2</sup>. Mit höherer Betonfestigkeit wird  $y_u$  grösser und zwar bis 60 N/mm<sup>2</sup> ungefähr + 0,6 cm. Gestrichelt:  $y_u$ -Werte bei starker 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.