

**Überprüfung des Nennmaßes der Beton-  
deckung im Falle von chloridinduzierter  
Korrosion mit Hilfe einer Dauerhaftig-  
keitsbemessung**

**T 2967**

T 2967

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2001, ISBN 3-8167-5990-4

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail [info@irb.fhg.de](mailto:info@irb.fhg.de)

URL <http://www.IRBbuch.de>

**Institut für  
Baustoffe und  
Konstruktion**

**MPA Bau**

Lehrstuhl für Massivbau  
Univ.-Prof.  
Dr.-Ing. K. Zilch

Arbeitsgruppe:

**Betonkennwerte**

**Bericht**  
**Überprüfung des Nennmaßes der Betondeckung im Falle von**  
**chloridinduzierter Korrosion mit Hilfe einer**  
**Dauerhaftigkeitsbemessung**

**Bericht Nr.:** sl-2 301 210

**vom:** 13.09.2001

**Auftraggeber:** Deutsches Institut für Bautechnik  
Kolonnenstraße 30 L  
10820 Berlin

Der Untersuchungsbericht umfasst 15 Textseiten

Der Bericht darf nur ungekürzt veröffentlicht werden.  
Die gekürzte oder auszugsweise Veröffentlichung bedarf der vorherigen Genehmigung des Lehrstuhls

## Inhalt

<b>KURZFASSUNG, ABSTRACT, RESUME .....</b>	<b>3</b>
<b>1. EINLEITUNG.....</b>	<b>4</b>
<b>2. BESCHREIBUNG DES SCHÄDIGUNGSMODELLS UND DER PROBABILISTISCHEN DAUERHAFTIGKEITSBEMESSUNG.....</b>	<b>5</b>
2.1. DAS SCHÄDIGUNGSMODELL FÜR CHLORIDINDUZIERTE KORROSION .....	5
2.2. PROBABILISTISCHE DAUERHAFTIGKEITSBEMESSUNG .....	6
2.2.1. <i>Sicherheitskonzept</i> .....	6
2.2.2. <i>Anforderungen an das Zuverlässigkeitsniveau</i> .....	8
<b>3. PARAMETERSTUDIE.....</b>	<b>9</b>
3.1. UMGEBUNGSKLASSE XS3.....	10
<b>4. ERHÖHUNG DER BETONDECKUNG FÜR EINE LEBENSDAUER VON 100 JAHREN .....</b>	<b>12</b>
<b>5. ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>13</b>
<b>6. LITERATUR .....</b>	<b>15</b>

## **Überprüfung der Betondeckung bei chloridinduzierter Korrosion mit Hilfe einer Dauerhaftigkeitsbemessung**

**Konrad Zilch, Angelika Schießl**

**Kurzfassung:** *Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird eine Dauerhaftigkeitsbemessung für chloridinduzierte Korrosion durchgeführt. Unter Berücksichtigung des w/z Wertes, der Zementart und des Klimas wird der Sicherheitsindex für eine Lebensdauer von 50 Jahren in Abhängigkeit der Betondeckung bestimmt. Die Ergebnisse werden mit den in verschiedenen Normen (DIN 1045-1, prEN 1992-1) vorgeschriebenen Betondeckungen verglichen. Außerdem wird die Betondeckung für eine Lebensdauer von 100 Jahren bestimmt und eine Empfehlung für eine entsprechende Normenformulierung gegeben.*

**Abstract:** *In this study a probability based durability design for chloride induced corrosion is performed. The reliability index for different concrete covers is determined as a function of w/c value, type of cement and climate for a life time of 50 years. The results are compared with the values required in different design codes (DIN 1045-1, prEN 1992-1). In addition the concrete cover is determined for a life time of 100 years and a respective recommendation for a practical standard formulation is given.*

### **Résumé:**

*Dans le cadre de ce projet de recherche on examine le dimensionnement pour une bonne durabilité en fonction de la corrosion de chlorure. Pour une durée de vie de 50 ans, l'index de sécurité pour différents enrobages est déterminé en fonction du rapport eau/ciment, du type de ciment et du climat. Les résultats des calculs sont comparés avec des valeurs données dans les normes de dimensionnement (DIN 1045-1, prEN 1992-1). Finalement l'enrobage est déterminé pour une durée de vie de 100 ans et une formulation pour un code de dimensionnement est donnée.*

## 1. Einleitung

In einem europäischen Forschungsprojekt wurde ein umfassendes Konzept für eine probabilistische Lebensdauerbemessung von Stahlbetonbauwerken entwickelt z.B. [1], [2], [3]. Das Ziel war, ein vom Prinzip her ähnliches Bemessungskonzept wie in der Tragwerksplanung auszuarbeiten, in dem der Widerstand eines Bauwerkes mit den Einwirkungen verglichen wird. Auf die Problematik der Bewehrungskorrosion übertragen, wird der Widerstand eines Bauwerkes aus Stahlbeton im wesentlichen durch das Maß und die Qualität der Betondeckung bestimmt. Im Moment sind die in den Normen angegebenen Regeln für die Sicherstellung der Dauerhaftigkeit Konstruktionsregeln, die hauptsächlich aus Erfahrungswerten entstanden sind, jedoch keinen wissenschaftlichen Hintergrund haben.

Nach der europäischen Bemessungsnorm für Stahlbetonbauwerke prEN 1992-1 (Juli 1999) setzt sich die nominale Betondeckung aus einer Mindestbetondeckung (abhängig von der Umweltklasse) und einem Vorhaltemaß (für XC0 u. XC1 10 mm, für alle anderen Umgebungs-klassen 15 mm) zusammen. In der ersten Fassung des prEN 1992-1 (Juli 1999) entsprachen die Werte für die Mindestbetondeckung und für das Vorhaltemaß den Werten, die in der letzten Fassung der DIN 1045-1 (09/2000) zu finden sind.

Jedoch wurde auf europäischer Ebene beschlossen, dass zukünftig in prEN 1992-1 auf Werte oder Regeln, die in anderen Normen festgelegt sind, nur mehr verwiesen wird. Das Vorhaltemaß wird in der Ausführungsnorm prEN 13670 für Bauteile aus Stahlbeton zu 10 mm bestimmt, also 5 mm weniger als der ursprüngliche Wert. Wenn dieser Wert künftig auch für prEN 1992-1 gilt, entspricht dies einer Verminderung des Nennmaßes der Betondeckung von 5 mm.<sup>1</sup>

Aus deutscher Sicht soll nun mit Hilfe einer Dauerhaftigkeitsbemessung untersucht werden, ob diese Verminderung der Betondeckung Auswirkungen auf die Sicherheit gegen chloridinduzierte Stahlkorrosion hat. Dazu wurde für verschiedene Betonzusammensetzungen und verschiedene Betondeckungen der Zuverlässigkeitsindex  $\beta$  bestimmt und bewertet. Die Betonzusammensetzungen wurden nach den Anforderungen der prEN 206<sup>2</sup> gewählt – der Mindestzementgehalt und der w/z Wert wurden nach der Umgebungs-klasse bestimmt.

---

<sup>1</sup> Für alle Umgebungs-klassen außer XC0.

<sup>2</sup> Inzwischen EN 206 ohne wesentliche Änderung im Hinblick auf die hier untersuchte Fragestellung.

Des weiteren wurde untersucht, um wie viel man die Betondeckung für 50 Jahre vergrößern muss, um eine ausreichende Dauerhaftigkeit für 100 Jahre zu gewährleisten.

## 2. Beschreibung des Schädigungsmodells und der probabilistischen Dauerhaftigkeitsbemessung

Dieses Kapitel stellt lediglich eine kurze Übersicht dar, da das Schädigungsmodell für die chloridinduzierte Bewehrungskorrosion und das Sicherheitskonzept für die Dauerhaftigkeitsbemessung in der Literatur bereits ausführlich beschrieben wurden.

### 2.1. Das Schädigungsmodell für chloridinduzierte Korrosion

Der chloridinduzierte Korrosionsprozess kann in zwei Zeitperioden eingeteilt werden: Die *Einleitungsphase* beschreibt den Zeitraum, bis auf Höhe der Bewehrung durch das Eindringen von Chloriden ein kritischer Chloridgehalt erreicht wird.

Wenn genügend Sauerstoff und Feuchtigkeit zur Verfügung stehen, beginnt nach Erreichen des kritischen Chloridgehaltes die Korrosion. Als Folge von Bewehrungskorrosion kann es zu einer Verringerung des Stahlquerschnitts, Rissbildung oder Abplatzen des Betons kommen. Dieses Zeitintervall wird mit *Zerstörungsphase* bezeichnet.

Nach dem heutigen Stand des Wissens ist es für chloridinduzierte Korrosion möglich [3], den zeitlichen Verlauf des Schädigungsprozesses in der Einleitungsphase stochastisch zu beschreiben. Die Prozesse, die sich in der Zerstörungsphase abspielen, sind sehr viel komplexer und bisher existieren keine international anerkannten Modelle.

In den Gleichungen (2.1) – (2.3) wird ein im Rahmen des europäischen Forschungsprojekt DURACRETE entwickeltes Modell beschrieben [3], [4], mit dem der zeitabhängige Verlauf des Eindringens von Chloriden beschrieben werden kann:

$$x(t) = 2C_{(\text{crit})} \sqrt{k_t D_{\text{RCM},0} k_c \left(\frac{t_0}{t}\right)^n t} \quad (2.1)$$

$$k_t D_{\text{RCM},0} = D_0 \quad (2.2)$$

$$C_{(\text{crit})} = \text{erf}^{-1} \left( 1 - \frac{C_{\text{crit}}}{C_{\text{SN}}} \right) \quad (2.3)$$

dabei sind:

$x(t)$	Tiefe mit einem korrespondierenden Chloridgehalt (hier $C_{(crit)}$ ) zur Zeit (t) in [m]
$D_0$	Effektiver Chloriddiffusionskoeffizient bei definierten Verdichtungs-, Nachbehandlungs- und Umweltbedingungen, gemessen zur Zeit $t_0$ in [ $10^{-12}m^2/s$ ]
$D_{RCM,0}$	Chloridmigrationskoeffizient bei definierten Verdichtungs-, Nachbehandlungs- und Umweltbedingungen, gemessen zur Zeit $t_0$ in [ $10^{-12}m^2/s$ ]
$C_{crit}$	Grenzwert des Chloridgehaltes in [M.-%/z]
n	Faktor, der den Einfluss des Alters auf die Materialeigenschaften berücksichtigt [-]
$k_t$	Konstante, die den gemessenen Chloridmigrationskoeffizienten in einen Chloriddiffusionskoeffizienten transformiert [-]
$k_e$	Konstante, die den Einfluss der Umwelt auf $D_0$ berücksichtigt [-]
$erf^{-1}$	Umkehrung der Error-Funktion
$C_{SN}$	Chloridgehalt an der Oberfläche [M.-%/z]
t	Betonalter in [s]
$t_0$	Referenzperiode in [s] (die Referenzperiode bezieht sich auf den Zeitpunkt der Ermittlung der Materialkennwerte - in der Regel 1 Jahr)

## 2.2. Probabilistische Dauerhaftigkeitsbemessung

### 2.2.1. Sicherheitskonzept

Für die Erläuterung der Vorgehensweise reicht es aus, zwei Variablen mit Normalverteilung (hier: eine Widerstandsvariable und eine Einwirkungsvariable) zu betrachten. Diese Art von Problemen können gelöst werden, in dem man die Differenz der beiden Variablen betrachtet:

$$Z=R-S \quad (2.4)$$

Dabei ist Z die Zuverlässigkeit eines Bauwerks, R der Widerstand und S die Einwirkung. Im betrachteten Fall sind beide Variablen mit entsprechenden Mittelwerten und Standardabweichungen normal verteilt. Z ist dann ebenfalls eine stochastische Variable (siehe Abbildung

2.1) die normal verteilt ist. Mittelwert  $\mu_z$  und Standardabweichung  $\sigma_z$  können nach den Gleichungen (2.5) und (2.6) bestimmt werden:

$$\mu_z = \mu_R - \mu_S \quad (2.5)$$

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \quad (2.6)$$

In diesem einfachen Fall mit zwei Variablen ist der Zuverlässigkeitsindex  $\beta$  ein Multipliktor, der Auskunft darüber gibt, um welchen Faktor die Standardabweichung der Variablen Z quantitativ vom Abstand zwischen Nullpunkt und Mittelwert um Z abweicht.

(siehe Gleichung 2.7, Abbildung 2.1):

$$p_f = \Phi\left(-\frac{\mu_z}{\sigma_z}\right) = \Phi(-\beta) \quad (2.7)$$

( $\Phi(\cdot)$  steht für eine Normalverteilung und  $p_f$  für die Versagenswahrscheinlichkeit.)

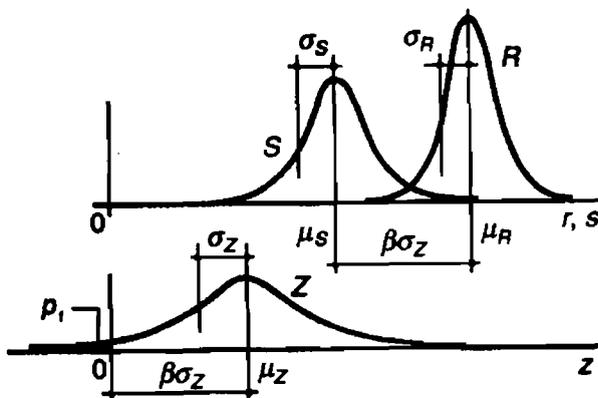


Abbildung 2.1: Widerstand, Einwirkung, Versagenswahrscheinlichkeit und Zuverlässigkeitsindex nach [4]

Die Einflüsse, die im Zusammenhang mit einer Dauerhaftigkeitsbemessung betrachtet werden, sind von zahlreichen Variablen abhängig, die wiederum unterschiedliche Verteilungen aufweisen. Da eine stochastische Auswertung mit der Hand nicht mehr durchführbar ist, wurde das kommerziell vertriebene Computerprogramm STRUREL [7] benutzt.

### 2.2.2. Anforderungen an das Zuverlässigkeitsniveau

Wie oben schon erwähnt, kann der Korrosionsprozess in zwei Zeitperioden unterteilt werden. Für beide Perioden können Grenzzustände definiert werden. Nach DURACRETE [3] kann man den Zustand der Depassivierung (entsprechend dem Ende der Einleitungsperiode) mit dem Erreichen des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit (SLS) gleichsetzen, da sich noch keine Beeinträchtigung der Sicherheit ergibt. Der tatsächliche Korrosionsprozess wird mit dem Erreichen des Grenzzustandes der Tragfähigkeit (ULS) gleichgesetzt, da dieser Prozess unter Umständen zu schwerwiegenden Konsequenzen führen kann (Sicherheitsverlust für Mensch und Bauwerk). Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird nur die Einleitungsphase betrachtet – es handelt sich also um eine Betrachtung des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit.

Bemessungsgrenzzustände werden nach heutiger Praxis anhand des Sicherheitsindex  $\beta$  definiert. Nach EC1 wird der Sicherheitsindex für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit mit  $\beta = 1,5$  festgelegt. In anderen Normen sind oft noch höhere Werte für den Zuverlässigkeitsindex gefordert.

Für die hier durchgeführte Dauerhaftigkeitsbemessung wird eine risikoorientierte Abstufung der geforderten Zuverlässigkeit vorgeschlagen. Da nur die Einleitungsperiode betrachtet wird, wird der eigentliche Korrosionsprozess bisher nicht in die Dauerhaftigkeitsbemessung eingebunden. Eine Möglichkeit, die unterschiedlichen Korrosionsrisiken in die Betrachtung mit einzubeziehen, besteht in der Anpassung des Zuverlässigkeitsindex an die Umgebungsklassen. Dementsprechend sollte der Korrosionsprozess in Umgebungen mit abwechselnder Befuchtung und Austrocknung (XD1, XD3, XS1, XS3) höhere Sicherheitsanforderungen als feuchte Umgebungen (XD2, XS2) erfüllen, in denen zur Korrosion der Sauerstoff fehlt. Aus dieser Überlegung und in Anlehnung an [5] wurden die Werte in Tabelle 2.1 vorgeschlagen.

Umgebungsklasse	Sicherheitsindex $\beta_{SLS,50}$
XD1, XS1, XD3, XS3	2,0
XD2, XS2	1,5

Table 2.1: Geforderter Zuverlässigkeitsindex  $\beta_{SLS,50}$  für eine Lebensdauer von 50 Jahren nach [5]

### 3. Parameterstudie

Die Berechnungen basieren auf dem Modell, das unter 2.1 angegeben ist. Alle Eingabewerte sind stochastische Variablen (Mittelwert, Standardabweichung, Verteilungstyp). Das Ergebnis der Berechnung ist der Zuverlässigkeitsindex  $\beta$  als Funktion des Lebensalters. In diesem Teil der Studie wird ein Lebensalter von 50 Jahren betrachtet.

Eine Vielzahl anderer Studien hat gezeigt, dass der Zementtyp einen starken Einfluss auf das Eindringen von Chloriden hat, z.B. [8]. Chloride werden zunächst durch das Porenwasser in den Beton transportiert. Diffusionsprozesse und ein weiterer Transport über das Wasser in den Kapillaren können zu einem kritischen Chloridgehalt führen. Die Dauer, bis dieser Chloridgehalt erreicht ist, wird zum großen Teil von der Porosität des Betons beeinflusst, die wiederum vom w/z-Wert und dem Zementtyp beeinflusst wird. Im Allgemeinen führt die Verwendung von Portlandzementen zu höheren Chloriddurchlässigkeiten des Betons als die Verwendung von Hüttensandzement oder Zement mit Flugasche.

In Rahmen dieser Studie wurde nur die Umgebungsklasse XS3 untersucht. Der w/z Werte der entsprechenden Betonzusammensetzung wurde nach prEN 206 zu 0,45 bestimmt und der äquivalente Zementgehalt betrug 320 kg/m<sup>3</sup>. Es wurden zwei unterschiedliche Betonzusammensetzungen mit verschiedenen Zementtypen untersucht (günstig und ungünstig). Die Materialwiderstände, die für die Berechnung benötigt werden (siehe 2.1), wurden unter Laborbedingungen ermittelt (siehe [5]).

	Umgebungsklasse XS3	
	CEM I 42,5 R	CEM I 42,5 R + Steinkohleflugasche
w/z- Wert [-]	0,45	0,45
Zementgehalt [kg/m <sup>3</sup> ]	288	320
Flugaschegehalt [kg]	64	-
Festigkeitsklasse [N/mm <sup>2</sup> ] CEM I 42,5 R	54,8	57,4

*Tabelle 3.1: Materialkennwerte für die untersuchten Mischungen*

Die klimatischen Bedingungen wurden nach den Angaben von den entsprechenden Wetterstationen zusammengestellt. Genauere Angaben sind in [5] und [9] zu finden. Die Berechnungen wurden für ein moderates und ein heißes europäisches Klima (Standorte Oslo, Norwegen;

Barcelona, Spanien) durchgeführt, um den Temperatureinfluss auf die chloridinduzierte Korrosion zu zeigen.

### 3.1. Umgebungsklasse XS3

Das Nennmaß der Betondeckung beträgt nach DIN 1045-1 (09/2000) für alle Umgebungsklassen, in denen chloridinduzierte Bewehrungskorrosion auftreten kann (XD1-3, XS1-3), 55 mm. Wenn nach prEN 1992-1 das Vorhaltemaß von 15 mm auf 10 mm reduziert wird, ergäbe sich eine Verringerung des Nennmaßes der Betondeckung auf 50 mm.

Die Berechnung wurde deshalb nur für die Umgebungsklasse mit dem größten Korrosionsrisiko mit den beiden Zementen nach Tabelle 3.1 durchgeführt. Die Ergebnisse für den CEM I 42,5 R mit Steinkohleflugasche sind in Abbildung 3.1 zu sehen. Es zeigt sich, dass ein heißes Klima erwartungsgemäß zu schnellerem Eindringen von Chloriden und zum Erreichen des kritischen Chloridgehaltes führt als ein gemäßigtes Klima. Der geforderte Sicherheitsindex von 2,0 kann für die Umgebungsklasse XS 3 nicht erreicht werden.

Für die Berechnung mit dem Portlandzement lag der Sicherheitsindex  $\beta$  für eine Lebensdauer von 50 Jahren unter 0, das heißt, dass das Korrosionsrisiko größer als 50 % ist. Beispiele haben gezeigt, dass die Verwendung von Portland Zement in Tidebereichen (zum Beispiel Kai-mauern in Hafenanlagen) schon nach 10 Jahren zu einer Schädigung (Rissbildung) als Folge von Chloridkorrosion geführt hat [10]. An diesem Beispiel ist gut sichtbar, dass die Zementart einen noch größeren Einfluss als bei der carbonatisierungsinduzierten Korrosion hat und dass die Verwendung eines ungeeigneten Zementes zu katastrophalen Folgen führen kann. Der Einfluss des w/z Wertes wurde im Rahmen dieser Berechnung nicht untersucht, es ist aber davon auszugehen, dass dieser ebenfalls einen Einfluss hat.

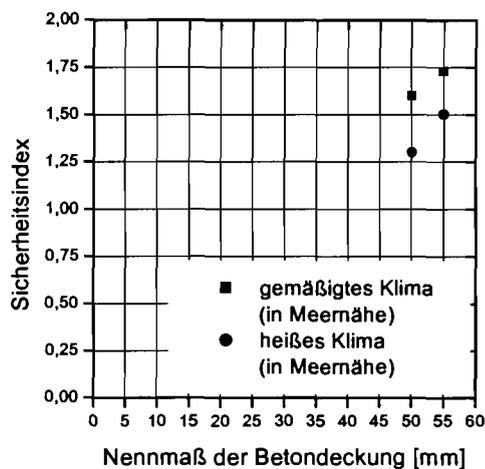


Abbildung 3.1: Zuverlässigkeitsindex in Abhängigkeit der Betondeckung für die Umgebungs-klasse XS3 ( $w/z$ -Wert = 0,45, Lebensdauer 50 Jahre), für CEM I 42,5 R + Steinkohleflugasche

Der beachtliche Unterschied des Zuverlässigkeitsindex in Abhängigkeit des verwendeten Zementtyps zeigt, dass die im Moment geltenden Regelungen zur Bestimmung der Betondeckung für chloridinduzierte Bewehrungskorrosion nicht alle wichtigen Parameter beinhaltet.

Eine Verringerung des Nennmaßes der Betondeckung, wie sie sich durch eine Reduzierung des Vorhaltemaßes bei gleichbleibender Mindestbetondeckung ergeben würde, ergibt eine weitere Abnahme der Zuverlässigkeit. Da die berechneten Zuverlässigkeitsindices unter dem geforderten Sicherheitsindex liegen, ist aus deutscher Sicht von einer solchen Änderung der Betondeckung abzuraten.

Um bei einer Verringerung des Vorhaltemaßes weiterhin auf ein Nennmaß der Betondeckung zu kommen, mit dem man zwar teilweise unter dem in 2.2.2 geforderten Zuverlässigkeitsniveau liegt, welches sich aber aus deutscher Sicht in der Praxis bewährt hat, werden für die zukünftige prEN 1992-1 zur Sicherstellung einer Dauerhaftigkeit von 50 Jahren die Werte der nachfolgenden Tabelle 3.2 vorgeschlagen.

	XS1-XS3	XD1-XD3
$c_{min}$	45	45
$\Delta c$ gemäß prEN13670	10	10
$c_{nom}$	55	55

*Tabelle 3.2: Mindestbetondeckung ( $c_{min}$ ), Vorhaltemaß ( $\Delta c$ ) und Nennmaß der Betondeckung für chloridinduzierte Korrosion gemäß prEN 1992-1(12/2000) (Werte gelten zur Sicherstellung einer Dauerhaftigkeit von 50 Jahren)*

#### **4. Erhöhung der Betondeckung für eine Lebensdauer von 100 Jahren**

Die Angaben zur Betondeckung, die jetzt in der DIN 1045-1 (09/2000) bzw. in prEN 1992-1 zu finden sind, beziehen sich auf eine Lebensdauer von 50 Jahren. Da die zukünftige Fassung des EN 1992-1 auch allgemeine Regeln für Brücken enthalten soll, wurde hier die Frage untersucht, wie sich eine Erhöhung des Lebensalters auf 100 Jahre auf die Betondeckung auswirkt.

In den vorgehenden Kapiteln wurde der Zuverlässigkeitsindex für ein Lebensalter von 50 Jahren bestimmt und bewertet. Für die Berechnung des Zuverlässigkeitsindexes waren die Eingabegrößen die Dicke der Betondeckung, die Materialkenngrößen der verschiedenen Betonzusammensetzungen und die Umweltbedingungen. Für die Bestimmung der Betondeckung für ein Lebensalter von 100 Jahren wurden alle Eingabewerte außer der Dicke der Betondeckung konstant gehalten. Die Betondeckung wurde solange variiert, bis der selbe Zuverlässigkeitsindex erreicht wurde wie für ein Lebensalter von 50 Jahren. Die Ergebnisse der Berechnung sind in Tabelle 4.1 dargestellt. Es ist noch einmal hinzuzufügen, dass die berechneten Zuverlässigkeitsindizes niedriger sind, als in Kapitel 2.2.2 festgelegt. Aber solange es in den Normen keine genaueres Nachweiskonzept zur Bestimmung der Betondeckung gibt und die Betondeckung nur über die Umgebungsklasse und den w/z Wert gesteuert wird, scheint die hier gewählte Methode ausreichend präzise zu sein.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass der zeitliche Verlauf der Chloridpenetration keiner reinen  $\sqrt{t}$  Beziehung entspricht, sondern dass sich durch alterungsbedingte Einflüsse Abweichungen ergeben. Hier sei noch einmal auf [5] verwiesen.

Man sieht, dass der Unterschied des Nennmaßes der Betondeckung für eine Lebensdauer von 50 und 100 Jahren 8 beträgt. Vergleichen mit den Untersuchungen für carbonatisierungsinduzierte Korrosion, sieht man, dass sich Schwankungen zwischen 8 und 13 mm ergeben.

	$c_{\text{nom}, 50}$ [mm]	Gemäßigtes Klima $c_{\text{nom}, 100}$ (Zuverlässigkeitsindex $\beta$ ) [mm]	Heißes Klima $c'_{\text{nom}, 100}$ (Zuverlässigkeitsindex $\beta$ ) [mm]
XS3-CEM I +Flugasche	55	63,0 (1,7)	63,5 (1,5)

*Tabelle 4.1: Nennmaß der Betondeckung für ein Lebensalter von 100 Jahren mit dem selben Zuverlässigkeitsindex wie für 50 Jahren*

Als einheitliche Normenformulierung für beide Korrosionsarten für eine Lebensdauer von 100 Jahren wird eine Erhöhung des Nennmaßes der Betondeckung von 10 mm für alle Umgebungsklassen vorgeschlagen.

## 5. Zusammenfassung

Die Berechnungen, die in dieser Forschungsarbeit durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass die Bestimmung der Betondeckung in Abhängigkeit von der Umgebungsklasse, so wie sie in den geltenden Bemessungsnormen (z.B. DIN 1045-1, prEN 1992-1) vorgeschrieben ist, nicht alle wichtigen Einflussgrößen erfasst. Zusätzlich zu den Umgebungsklassen wird die Dauerhaftigkeit von Stahlbetonbauwerken von der Zementart, der Betonqualität (über den w/z Wert steuerbar) und dem lokalen Umgebungsklima (Temperatur, relative Luftfeuchte) beeinflusst. Zum w/z Wert werden zwar Angaben in der Materialnorm prEN 206 gemacht, jedoch fehlen Angaben zur Zementart und zu den lokalen klimatischen Bedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit). Wenn diese fehlenden Einflussgrößen im Rahmen einer Dauerhaftigkeitsbemessung berücksichtigt werden, kommt es zu extrem unterschiedlichen Ergebnissen innerhalb einer Umweltklasse.

Die Berechnungen haben auch gezeigt, dass durch die vorgeschriebenen Betondeckungen, wie sie in DIN 1045-1 definiert sind, nicht immer der Zuverlässigkeitsindex erreicht werden kann, der hinsichtlich des Korrosionsrisikos festgelegt wurde. Eine weitere Verringerung des Nennmaßes der Betondeckung würde zu noch niedrigeren Zuverlässigkeitsindices und einer kürzeren Lebensdauer führen. Deshalb wird vorgeschlagen, bei einer Verringerung des Vorhaltemaßes gemäß prEN 13670 die Mindestbetondeckung entsprechend zu erhöhen, so dass

sich das Nennmaß der Betondeckung verglichen mit den früheren Bestimmungen nicht ändert. Jedoch sollte in den Normen darauf hingewiesen werden, dass die Bestimmung der Betondeckung auch durch eine geeignete Berechnung erfolgen kann (zum Beispiel eine Dauerhaftigkeitsbemessung) und bei zweckmäßiger Betonzusammensetzung unter den in der Norm vorgeschriebenen Werten liegen kann.

Bei der Bestimmung des Nennmaßes der Betondeckung für 100 Jahre hat sich gezeigt, dass sich eine Erhöhung von ca. 8,5 mm gegenüber den Werten für 50 Jahre ergibt. Als Normenformulierung für eine Lebensdauer von 100 Jahren wird hier eine einheitliche Erhöhung von 10 mm für alle Umweltklassen gegenüber den jetzt angegebenen Werten der Mindestbetondeckung vorgeschlagen.



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Konrad Zilch



Dipl.-Ing. A. Schießl

## 6. Literatur

- [1] Faber M.H.; Sloth. M.; Edvardsen, C.; Siemes, T.; Vrouwenfelder, T. and van Manen S.: Design Framework. Brussels: European Union – Brite EURam,1997–CT95-0132, Project BE95-1347, Document BE95-1347/R1, March 1997
- [2] Faber M.H.; Siemes, T. and Vrouwenfelder, T.: Probabilistic Methods for Durability Design. Brussels: European Union – Brite EURam,1999–CT95-0132, Project BE95-1347, Document BE95-1347/R0,1999
- [3] Alisa, M.; Andrade, C.; Gehlen, C.; Rodriguez, J. and Vogels R.: Modelling of Degradation. Brussels: European Union – Brite EURam,1998–CT95-0132, Project BE95-1347, Document BE95-1347/R4-5,1998
- [4] Gehlen C. und Schießl P.: Probability-based design for the Western Scheldt Tunnel. In Structural Concrete, Journal of the fib, Volume P1, Number 2, pp 1-8, June 1999
- [5] Gehlen C.: Probabilistische Lebensdauerbemessung von Stahlbetonbauwerken – Zuverlässigkeitsbetrachtungen zur wirksamen Vermeidung von Bewehrungskorrosion. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 510, Beuth Verlag, Berlin 2000
- [6] New Approach to Durability Design. An example for carbonation induced corrosion. CEB Bulletin 238, May 1997
- [7] RCP Consulting: STRUREL, A Structural Reliability Analysis Program System. RCP Consulting, München 1995
- [8] Schießl, P. and Raupach, M.: Influence of Concrete Compositopn and Microclimate on the Critical Chloride Content in Concrete. In: Corrosion of reinforcement in concrete, International Symposium, Wishaw, Warwickshire, UK, 1990
- [9] Lindvall, A.; Nilsson, L. O.; Högberg, A.; Rodhe, M.; Andersen A. and Taesler R.: Models for Environmental Actions on Concrete Structures. Brussels: European Union – Brite EURam,1999–CT95-0132, Project BE95-1347, Document BE95-1347/R3,1999
- [10] GjØrv, O.E. and Kashimo N.: Durability of a 60-Year-Old Reinforced Concrete Pier in Oslo Harbour. In: Materials Performance 25 (1986), No. , pp. 18-26.