(Wappen) Universität von Alicante
Fachbereich Bauingenieurwesen

FORSCHUNGSBERICHT ÜBER DEN WIDERSTAND GEGEN DAS DURCHDRINGEN DER CHLORID-IONEN IN ZEMENTMÖRTEL BEHANDELT MIT DEM PRODUKT KOMSOL CONTROLL INNERSEAL

Prof. Miguel A. Climent
(E.Mail: ma.climent@ua.es)
Fachbereich Bauingenieurwesen

Universität von Alicante

November 2014

Tel. 96 590 3707 – Fax 96 590 3678
Campus de Sant Vicent del Raspeig
Ap. 99 E-03080 Alicante
E.Mail: dic@ua.es
web: http://dic.ua.es

Vorstehende Übersetzung aus der spanischen in die deutsche Sprache, vollständig und treugemäss der vorliegende Unterlage, ist von mir gefertigt worden in meiner Eigenschaft als staatlich anerkannter Übersetzer durch das Land Nordrhein-Westfalen (BRD), laut Prüfungsurkunde vom 23. Mai 2002.

FEDERICO TER HART
Deutsch - Spanisch
Staatlich anerkannter
ÜBERSETZER
in NRW - BRD

1 ZIEL DER FORSCHUNG

Ziel der Forschung war es die relative Frist über die Einleitung einer Stahlkorrosion durch Chloride einzuschätzen, um die Lebensdauer von Stahlbeton in Umgebungen mit hohen Gehalt an Chloriden, durch den Einsatz des Produkts Komsol Controll Innerseal, zu erhöhen.

2 EXPERIMENTELLE BEHANDLUNG

Die Normanalysen verwenden zur Auswertung von Widerstand gegen das Durchdringen von Chloriden die natürliche Verbreitung in stationären Zustand [1, 2]. Auf Grund der langen Bearbeitungszeit dieser Analysen [3], wurde für diese Studie eine beschleunigte Methode zur Migration der Chloride auf der Basis eines elektrischen Feld angewendet, Nordic Standart NT Build 492 [4]. Außerdem, wegen Zeitmangel wurde beschloßen, in dieser vorbereitende Untersuchung mit einem Portland-Zement Mörtel als vereinfachtes Material, um das Verhalten des Betons zu vertreten, zu arbeiten. Die Zusammensetzung der getesteten Zement-Mörtel wird in Tabelle 1 beschrieben..

Zusammensetzung des Zement-Mörtel	
Portland-Zement (g) CEM I/42,5 R (Laut Euro Norm EN-197-1)	350
Standard Quarzsand (g)	1350
Verhältniss Wasser/ Zement	0,5

Tabelle 1. Zusammensetzung der Mörtel für Probekörper

Die Probekörper wurden wie folgt vorbereitet:

- Der Mörtel wurde in zylindrische Formen (10 cm Durchmesser und 20 cm Höhe) gegoßen und mechanisch verdichtet. Die Mörtelzylinder wurden für 7 Tage in einer kontrollierte Feuchtekammer, bei 20° C und einer relativen Feuchtigkeit (HR) von 95%, ausgehärtet.
- Nach der Aushärtungsperiode wurden kleinere Probekörper durch sägen vorbereitet (Zylinder mit 10 cm Durchmesser und 5 cm Höhe).

(Es folgen zwei nicht lesbare Unterschriften)

Vorstehende Übersetzung aus der spanischen in die deutsche Sprache, vollständig und treugemäss der vorliegende Unterlage, ist von mir gefertigt worden in meiner Eigenschaft als staatlich anerkannter Übersetzer durch das Land Nordrhein-Westfalen (BRD), laut Prüfungsurkunde vom 23. Mai 2002.

FEDERICO TER HART
Deutsch - Spanisch
Staatlich anerkannter
ÜBERSETZER
in NRW - BRD

Hier wurde eine Diamantsäge mit Wasser gekühlt benutzt. Vom großem Originalzylinder wurden zwei Teile entfernt, einmal auf der Oberseite und einmal auf der Unterseite(Jeweils 1,5 cm an jedem Ende). Insgesamt wurden acht Probekörper für den Test benutzt.

- Die Mörtelprobekörper wurden in einen Ofen bei 105° C bei konstanter Masse getrocknet. Dieser Schritt wurde eingeführt, auf Grund von Terminplanung, um die Absorption vom Produkt Komsol Controll Innerseal nach dem Aufbringen zu beschleunigen.
- Ein Teil der Probekörper wurde auf der Fläche einer der Seiten mit dem Produkt Komsol Controll Innerseal behandelt, während der Rest der Muster unbehandelt blieben (um als Referenzmuster in der Kalkulation des relativen Vergleich zu nutzen). Nach der Behandlung mit dem besagten Produkt, alle Probekörper vom Test (behandelt und unbehandelt) wurden unter Laborunweltbedingungen (ca T 25° C & HR 50 – 60 %) bis zumTermin der entsprechenden Test gehalten, welche 7 und 28 Tage nach der Auftragung des Produkts durchgeführt wurden.
- Vor der Testdurchführung wurden die Muster Vakuum gesätigt, laut den Empfehlungen der Norm ASTM C-1202-97 [5]. Die Test wurden nach den Angaben der Norm Nordic NT Build 492 [4] durchgeführt.

3 MATHEMATISCHES MODELL ZUR BEWERTUNG DES ANSTIEG DER NUTZUNGSDAUER

In Betracht das die Forschung sich nur auf eine relative Bewertung der Haltbarkeitseigenschaften (Verhältnisse zwischen behandelten und unbehandelten Mörtel), werden wir den Koeffizient der Chlorid-Migration als eine erste Annäherung zur Grundlegende Parameter der Ionentransport durch den Beton, welcher der Koeffizient der Diffusion D ist.

Der zweite Hauptsatz von Fick für halb unendliche unidirektionale Übertragungen in einem homogenen Medium, ohne Rücksicht auf die mögliche Festsetzung der erstreckten Arten, wird durch folgenden Ausdruck definiert

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \qquad (1)$$

In welcher C die erstreckte Art ist, D ist der Diffusionskoeffizient, t ist die Zeit und x ist die Entfernung vom Punkt aus dem die Difussion beginnt (im Fall von Betone die einer Unwelt mit eine hohen Chlorid- Konzentration ausgestellt sind, wird diese Entfernung von den freiliegenden Flächen gemessen)

(Es folgen zwei nicht lesbare Unterschriften)

Vorstehende Übersetzung aus der spanischen in die deutsche Sprache, vollständig und treugemäss der vorliegende Unterlage, ist von mir gefertigt worden in meiner Eigenschaft als staatlich anerkannter Übersetzer durch das Land Nordrhein-Westfalen (BRD), laut Prüfungsurkunde vom 23. Mai 2002.

FEDERICO TER HART
Deutsch - Spanisch
Staatlich anerkannter
ÜBERSETZER
in NRW - BRD

Die Lösung der Differentialgleichung (1) für den besonderen Fall der gleichhaltigen Konzentration für Arten, die sich auf der Oberfläche des Betons *(C_s)* verbreiten, und die Konstante des Diffusionskoeffizienten ist folgende:

$$C = C_S\left(1 - erf\frac{x}{\sqrt{Dt}}\right) \qquad (2)$$

In welcher *erf* die mathematische Funktion die als Fehlerfunktion aufgerufen wird.

Korrosion durch Chloride bei Stählen beginnt, wenn eine hohe Konzentration von Chloriden erreicht ist, so genannte kritische Korrosion (Cc), im Bereich des Kontakt mit dem Stahlstangen, d. h. bis zu einer Tiefe, welche die Stahl-Beschichtung entspricht *(x=e)*. Somit der Zeitpunkt des Auftretens der Korrosion, welcher als einen konservativen Ansatz zur Lebensdauer dient, kann man wie folgt ausdrücken:

$$t = \frac{1}{D}\left(\frac{e}{inverf\left(1 - \frac{C_C}{C_S}\right)}\right)^2 \qquad (3)$$

In welcher *inverf* die mathematische Funktion die als umgekehrten Fehlerfunktion aufgerufen wird.

Wenn sich durch die Anwendung des Produkts Controll Innerseal auf den Mörtel den Ausmaß des Diffusionskoeffizient von einem Wert D_o (Referenzmörtel ohne Produkt Behandlung) gegenüber ein niedrigerer Wert D_{CI} (Mörtel mit dem Produkt Controll Innerseal behandelt) reduziert, dann kann der relative Anstieg der Nutzungsdauer in Verhältnis der Korrosion durch Chloride in der Rüstung, nach folgenden Ausdruck berechnet werden:

$$\frac{t_{CI}}{t_0} = \frac{D_0}{D_{CI}} \qquad (4)$$

4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Die Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der durchgeführten Tests von Chloride-Migratation zusammen mit den berechneten Werten der Erhöhung der Lebensdauer (Ausdruck 4) in Verhältnis der Korrosion durch Chloride in der Rüstung, durch die Behandlung mit dem Produkt Komsol Controll Innerseal.

(Es folgen zwei nicht lesbare Unterschriften)

Vorstehende Übersetzung aus der spanischen in die deutsche Sprache, vollständig und treugemäss der vorliegende Unterlage, ist von mir gefertigt worden in meiner Eigenschaft als staatlich anerkannter Übersetzer durch das Land Nordrhein-Westfalen (BRD), laut Prüfungsurkunde vom 23. Mai 2002.

FEDERICO TER HART
Deutsch - Spanisch
Staatlich anerkannter
ÜBERSETZER
in NRW - BRD

Zeit seit der Auftragung des Produkt	Referenz-Mörtel Nicht behandelt		Mörtel behandelt mit Komsol Controll Innerseal		Relative Erhöhung der Lebensdauer
Tage	Do (x 10^{-12} m^2/s)	Durchschnitt-Wert Do (x 10-12m2/s)	DCl (x 10^{-12} m^2/s)	Durchschnitt-Wert DCl (x 12 m2/s)	tCl/to
7	155.6	163.0	61.0	62.5	2.6
	170.4		64.0		
28	122.6	122.2	40.4	40.9	3.0
	121.8		41.3		

Tabelle 2. Ergebnisse der durchgeführten Tests von Chloride-Migration zusammen mit den berechneten Werten der Erhöhung der Lebensdauer (Ausdruck 4) in Verhältnis der Korrosion durch Chloride in der Rüstung, durch die Behandlung mit dem Produkt Komsol Controll Innerseal.

Die Tabelle 2 zeigt erhöhte Werte des Difusionskoefficient gegenüber Werte die in handelsübliche Betone für Bau und öffentliche Arbeiten zu finden sind [7]. Diese Tatsache ist jedoch zumutbar weil, aus Zeitgründe, wurden die Probekörper aus Mörtel vor dem Test getrocknet. Es ist bekannt das diese aggresive Behandlung der Trocknung (105° C) die Porosität steigert und die Verteilung der Porengröße der zementhaltigen Materialien verändern kann, und dadurch seine Eigenschaften von Massenverkehrs-mitteln wesentlich ändern kann [8].

Die wichtigste Sclußfolgerung der Tabelle 2 ist, dass die Anwendung des Produkts Komsol Controll Innerseal zu einer beträchtlichen Erhöhung des Widerstandes gegen das Durchdringen von Chlorid-Ionen im zementären Material führt, wie der deutliche Rückgang der Werte des Chlorid-Migration-Koeffizienten darstellt. In der Tat, multipliziert sich die berechnete Lebensdauer in Beziehung mit der Einleitung der Korrosion durch Chloride auf die Stahlrüstung, um einen Faktor zwischen 2,6 und 3.

5 Schlussfolgerungen

Durch die Anwendung des Produkt Komsol Controll Innerseal auf der Oberfläche hat der Widerstand gegen das Eindringen von Chlorid in Zementmörtel stark zugenommen, so wie es die deutliche Verringerung des Chlorid-Migration-Koeffizienten darstellt. Basierend auf den erhaltenen Daten, die berechnete Lebensdauer in Bezug auf die Einleitung von Chlorid-Korrosion auf die Rüstung aus Stahl, kann mit einem Faktor zwischen 2,6 und 3 multipliziert werden.

(Es folgen zwei nicht lesbare Unterschriften)

Vorstehende Übersetzung aus der spanischen in die deutsche Sprache, vollständig und treugemäss der vorliegende Unterlage, ist von mir gefertigt worden in meiner Eigenschaft als staatlich anerkannter Übersetzer durch das Land Nordrhein-Westfalen (BRD) laut Prüfungsurkunde vom 23. Mai 2002.

FEDERICO TER HART
Deutsch - Spanisch
Staatlich anerkannter
ÜBERSETZER
in NRW - BRD

6 Referenzen

[1] CEN/TC 104 (2009). Testing hardened concrete-determination of the chloride resistance of concrete, unidirectional diffusion. Final draft prCEN/TS 12390-11. (European technical specification).

2] ASTM (2004). Standard test method for determining the apparent chloride diffusion coefficient of cementitious mixtures by bulk diffusion, C1556-03. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.

[3] M.A. Climent, G. de Vera, J.F. López, E. Viqueira, C. Andrade (2002). A test method for measuring chloride diffusion coefficients through nonsaturated concrete. Part 1. The instantaneous plane source diffusion case. Cement and Concrete Research, 32(7):1113-1123.

[4] Nordtest (1999). NT Build 492. Concrete, mortar and cement-based repair materials: chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments. Espoo, Finland.

[5] ASTM (1997). Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration, C1202-97. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania.

[6] J. Crank (1975). The Mathematics of Oiffusion, 2nd edition. Oxford University Press, Oxford, UK.

[7] A. Boddy, E. Bentz, M.O.A. Thomas, R.O. Hooton (1999). An overview and sensitivity study of a multimechanistic chloride transport model, Cement and Concrete Research, 29 (6) (1999) 827-837.

[8] T.e. Powers, LE. Copeland, J.e. Hayes, H.M. Mann (1955). Permeability of Portland cement paste. Portland Cement Association Bulletin 53, pp. 285-298, Chicago, USA.

Alicante, den 27.November 2014

Runder Stempel mit Wappen
Fachbereich Bauingenieurwesen

(Unetrschrift)
Miguel Ángel Climent Lorca
Professor an der Universität

(Unterschrift)
Carlos Antón Gil
Eingestellter Forscher

Vorstehende Übersetzung aus der spanischen in die deutsche Sprache, vollständig und treugemäss der vorliegende Unterlage, ist von mir gefertigt worden in meiner Eigenschaft als staatlich anerkannter Übersetzer durch das Land Nordrhein-Westfalen (BRD), laut Prüfungsurkunde vom 23. Mai 2002.

FEDERICO TER HART
Deutsch - Spanisch
Staatlich anerkannter
ÜBERSETZER
in NRW - BRD