

Schnellverfahren zur Bestimmung von Chloriddiffusionskoeffizienten für Beton

Rapid Method for the Determination of Chloride Diffusion Coefficients of Concrete

U. Wiens

1 EINLEITUNG

Ein wichtiger Aspekt bei der Wahl der Betonüberdeckung von Stahl- und Spannbetonbauteilen, die einer Chloridbeanspruchung ausgesetzt sind, ist die Kenntnis der Eindringgeschwindigkeit von Chloriden in den Beton. Ein für das Eindringen von Chloridionen maßgeblicher Transportmechanismus ist die Diffusion. Zur Charakterisierung des Diffusionswiderstandes von Beton gegenüber Chlorid werden i. d. R. Betonprüfkörper in Chloridlösungen bestimmter Konzentration eingelagert, nach einer entsprechenden Beaufschlagungsdauer Bohrmehlproben entnommen und der Gesamtchloridgehalt bestimmt. Anhand der auf diese Weise gewonnenen Chloridprofile werden Diffusionskoeffizienten ermittelt, die ein Maß für die Geschwindigkeit des Chloridtransportes infolge Diffusion darstellen. Die Bestimmung solcher Diffusionskoeffizienten für Beton mit Hilfe von Einlagerungsversuchen dauert oft monatelang. Eine erhebliche Verkürzung der Versuchsdauer bei vergleichsweise einfacher Handhabung und einfacher Ermittlung der Diffusionskoeffizienten ist durch das vorgestellte Schnellverfahren möglich.

2 BESCHREIBUNG DES VERFAHRENS

Das Grundprinzip des Schnellverfahrens, das von Tang und Nilsson entwickelt /1/ wurde, basiert auf der Beschleunigung des Ionentransports durch das Anlegen eines elektrischen Feldes (sog. Migrationsversuch). Bild 1 zeigt die zur Realisierung des Verfahrens im ibac entwickelte Migrationszelle. In der Kathodenkammer befindet sich eine 3%ige NaCl-Lösung (in 0,2 molarer KOH), in die Anodenkammer wird 0,2 molare KOH eingefüllt. Die angelegte Spannung und die entsprechende Versuchsdauer ist auf den zu erwartenden Diffusionswiderstand abzustimmen. Die Spannungen liegen i. d. R. im Bereich zwischen 30 und 40 V, die Versuchsdauer beträgt zwischen rd. 12 Stunden und 7 Tagen. Nach Beendigung des Migrationsversuches wird der Prüfkörper parallel zu der Mantelfläche gespalten und

die Eindringfront des Chlorids durch Aufsprühen einer Indikator- (Fluoreszin in Ethanol) und AgNO₃-Lösung bestimmt.

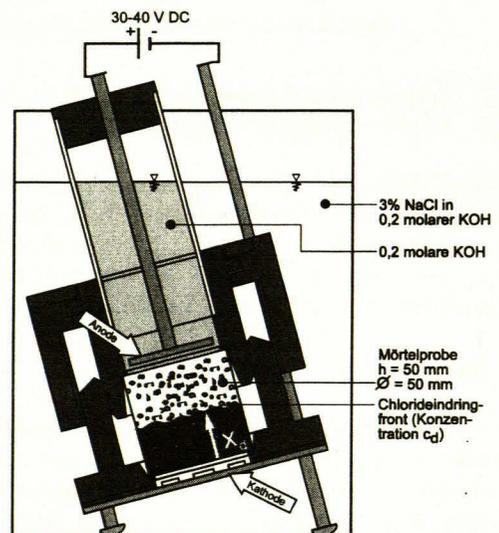


Bild 1: Migrationszelle

Fig. 1: Migration cell

Zusätzlich zur Diffusion infolge des Konzentrationsgefälles ist bei der Formulierung des Transportgesetzes für eine Migrationszelle der Ionentransport, der durch das angelegte elektrische Feld verursacht wird, zu berücksichtigen. Für den instationären Zustand ergibt sich die Transportgleichung nach /1/ zu:

$$\frac{dc}{dt} = D_{Cl,M} \cdot \left(\frac{d^2c}{dx^2} - \frac{z \cdot F \cdot E}{R \cdot T} \cdot \frac{dc}{dx} \right) \quad (1)$$

mit:

$D_{Cl,M}$ = Migrationskoeffizient

c = Chloridkonzentration an der Stelle x zum Zeitpunkt t

z = Ladungszahl (für Chlorid: -1)

F = Faraday'sche Konstante

E = U/h (angelegte Spannung/Prüfkörperhöhe)

R = universelle Gaskonstante

T = Temperatur

Wird keine Spannung angelegt, so ergibt sich das für die Modellierung der natürlichen Diffusion bekannte 2. Fick'sche Gesetz. Eine analytische Lösung der Gleichung (1) wird in /1/ vorgestellt. Bedingt durch die Tatsache, daß bei der gewählten Spannung der Ionen-transport über das elektrische Feld maßgebend ist, ergibt sich ein im Vergleich zu Einlagerungsversuchen sehr scharfes Chloridprofil. Bild 2 zeigt ein mit Hilfe der analytischen Lösung von Gleichung (1) errechnetes theoretisches Chloridprofil (Herleitung s. /1/), das durch Bohrmehlentnahme und Bestimmung des Gesamtchloridgehaltes in Abhängigkeit von der Tiefe i. w. bestätigt werden konnte.

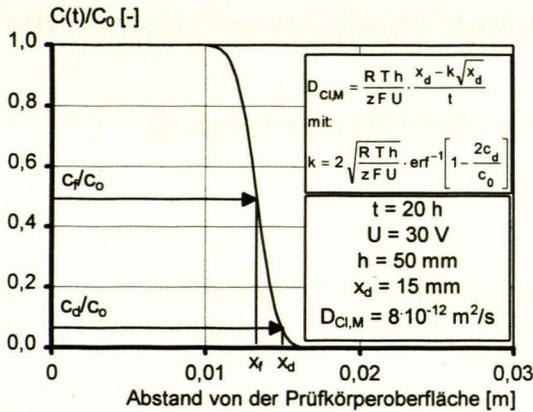


Bild 2: Chloridprofil aus einem Migrationstest
Fig. 2: Chloride profile from the migration test

Über die funktionale Beziehung zwischen dem Wendepunkt x_f des Profils und der Eindringtiefe x_d , die sich unter vereinfachenden Annahmen aus der analytischen Lösung von Gleichung (1) ergibt, läßt sich der Migrationskoeffizient $D_{Cl,M}$ ermitteln (s. Bild 2 und /2/).

3 ERGEBNISSE

Bild 3 zeigt die zeitliche Entwicklung des Migrationskoeffizienten $D_{Cl,M}$ für Mörtel mit Portland- und Hochofenzement (Z1 bzw. Z2) ohne und mit Steinkohlengas (FA). Während $D_{Cl,M}$ für die gasfreie Portlandzementmischung über den dargestellten Zeitraum von 365 Tagen nahezu konstant bleibt, verringern sich die Migrationskoeffizienten der gashaltigen Mischungen mit zunehmender Zeit und zunehmendem Gasgehalt deutlich. Dieses prinzipielle Verhalten wird durch zahlreiche Literaturergebnisse bestätigt. Durch die langsame Reaktion der Gasphase bzw. des Hüttensandes wird der für den Chloridtransport maßgebliche Kapillarporenraum auch über Jahre hinweg noch verdichtet.

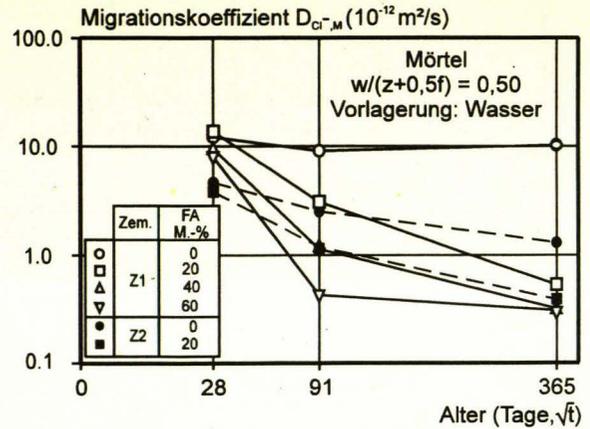


Bild 3: Migrationskoeffizienten für Mörtel mit Zuschlag- und Zusatzstoffen

Fig. 3: Migration coefficients of mortar with different concrete additions

Dies wird durch parallel an den Mörtelmischungen durchgeführte Porenstrukturuntersuchungen bestätigt. Die absoluten Werte für $D_{Cl,M}$ liegen in Größenordnungen, die auch in Versuchen ohne elektrisches Feld gefunden werden.

Aus der Zeitabhängigkeit des Diffusionswiderstandes wird die Überlegenheit des Migrationstests gegenüber herkömmlichen Diffusionsversuchen deutlich: wegen der langen Versuchsdauer kann mit dem Einlagerungsversuch weder die Zeitabhängigkeit erfaßt, noch der Diffusionswiderstand in einem bestimmten Betonalter ermittelt werden.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Der vorgestellte Migrationstest bietet eine einfache und schnelle Möglichkeit, Chloriddiffusionskoeffizienten von Mörtel und Beton zu bestimmen. Der Einfluß der zeitlichen Änderung der Porenstruktur durch die Zugabe von Zusatz- und Zuschlagstoffen auf den Diffusionskoeffizienten wird dabei realistisch abgebildet.

5 LITERATUR

- /1/ Tang, L.; Nilsson, L.-O.: Rapid Determination of the Chloride Diffusivity in Concrete by Applying an Electrical Field. In: ACI Materials Journal 89 (1992), No. 1, pp. 49-53
- /2/ Tang, L.: On Chloride Diffusion Coefficients Obtained by Using the Electrically Accelerated Methods. In: RILEM International Workshop on Chloride Penetration into Concrete, Saint-Remy-Les-Chevreuse, October 15-18, 1995

Forschungsförderer: Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF)

Herausgeber:

Institut für Bauforschung Aachen
 Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule

Postanschrift: 52056 Aachen
 Lieferanschrift: Schinkelstr. 3, 52062 Aachen
 Tel. (0241) 80-5100, FAX (0241) 8888-139
 Telex 832704 thac d



Direktoren:
 Prof. Dr.-Ing. H. R. Sasse
 Prof. Dr.-Ing. P. Schießl