

Abschätzung der Wahrscheinlichkeit tausalzinduzierter
Bewehrungskorrosion
Baustein eines Systems zum Lebenszyklusmanagement
von Stahlbetonbauwerken

von

Sascha Lay



1. Auflage 2007

Herausgeber:

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton DAfStb
Fachbereich 07 des NA Bau im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Problemstellung, Zielsetzung und Vorgehensweise3
1.1	Problemstellung3
1.1.1	Schäden an Ingenieurbauwerken infolge Bewehrungskorrosion3
1.1.2	Existierende Ansätze zum Lebenszyklusmanagement3
1.2	Zielsetzung.....4
1.3	Vorgehensweise5
2	Modell als Arbeitshypothese7
2.1	Stand des Wissens zur Chloridbelastung von Betonbauwerken durch Tausalze7
2.1.1	Einsatz von Tausalzen7
2.1.2	Chloridkonzentration in Tauwässern auf der Straße7
2.1.3	Verteilung von Tausalz in die Umwelt7
2.1.4	Fazit8
2.2	Stand des Wissens zur Modellierung des Chlorideintrags in Beton8
2.2.1	Vorgehensweise8
2.2.2	Chloridbindung9
2.2.3	Diffusion10
2.2.4	Ionogene Interaktion14
2.2.5	Huckepack-Transport18
2.3	Stand des Wissens zur Berechnung der Depassivierungswahrscheinlichkeit24
2.3.1	Berechnungsverfahren24
2.3.2	Reduktion von Unsicherheiten durch Abgleich nach Bayes27
2.4	Randbedingungen für die Modellkonzeption28
2.5	Modellkonzeption29
2.5.1	Vorüberlegungen zum Grundmodell29
2.5.2	Zeitabhängigkeit der Konvektionsgeschwindigkeit31
2.5.3	Zeitabhängigkeit des Diffusionskoeffizienten32
2.5.4	Formulierung des Gesamtmodells32
3	Genutzter Datenbestand zur Kalibrierung der Modellvariablen34
3.1	Genutzter Datenbestand zum scheinbaren Diffusionskoeffizienten34
3.2	Genutzter Datenbestand an Chloridprofilen und bisherige Auswertungsmethodik37
3.2.1	Das Chloridprofil als Antwort des Betons auf die Chloridbelastung37
3.2.2	Auswertung von Chloridprofilen gemäß dem Modellansatz37
3.2.3	Abschätzung des Einflusses der Profilqualität auf die Regressionsrechnung43
3.2.4	Kapillare Saugversuche mit Salzlösungen im Labor46
3.2.5	Auslagerungsversuche47
3.2.6	Bauwerksuntersuchungen54
3.2.7	Fazit zum Datenbestand an Chloridprofilen56
4	Eigene Untersuchungen58
4.1	Ziel und Vorgehensweise58
4.2	Migrationsversuche zum Einfluss der Zusammensetzung und des Alters von Beton59
4.2.1	Versuchsdurchführung59
4.2.2	Herleitung zur herkömmlichen Auswertungsformel61
4.2.3	Einfluss der Dispersion auf den Migrationskoeffizienten63
4.2.4	Versuchsumfang68
4.2.5	Einfluss des Bindemittelgehaltes68
4.2.6	Einfluss von Zuschlagsart und -form69
4.2.7	Einfluss künstlicher Luftporen69
4.2.8	Einfluss des Fließmittelgehaltes69
4.2.9	Einfluss des Wasser-Zement-Verhältnisses70
4.2.10	Einfluss des Bindemittels und des Betonalters70
4.3	Entwicklung eines Migrationsversuchs zur Anwendung auf chloridhaltigen Beton72
4.3.1	Entwicklungsbedarf72
4.3.2	Untersuchte Ionen und korrespondierende Indikatoren73
4.3.3	Vergleich der Eigenschaften von Chlorid und Jodid74
4.3.4	Migrationsversuche mit Chlorid und Jodid74
4.3.5	Chlorid- und Jodidprofile im Anschluss an Migrationsversuche75
4.3.6	Freie Jodidkonzentration am Farbumschlagpunkt76

4.3.7	Anwendung des entwickelten Farbindikators auf carbonatisierten Bauwerksbeton	77
4.3.8	Korrelation der Migrationskoeffizienten, bestimmt für Chlorid und Jodid	77
4.4	Einfluss der Chloridbelastung des Betons auf den scheinbaren Diffusionskoeffizienten	78
4.4.1	Migrationsversuche an Proben mit Chlorid im Anmachwasser	78
4.4.2	Migrationsversuche an Proben mit Chloridbelastung im erhärteten Zustand	79
4.4.3	Migrationsversuche an Bauwerksproben mit und ohne Chloridbelastung	80
4.4.4	Diffusionsversuche an chloridbelasteten Proben	81
4.5	Wiederholte Bestimmung von Chloridprofilen an Bauwerken	83
4.5.1	Auswahl von Bauwerken	83
4.5.2	Entnahme von Bohrmehl und Chloridanalyse	83
4.5.3	Ergebnisse	83
4.5.4	Folgerungen	87
5	Quantifizierung der Chloridbelastung	88
5.1	Quantifizierung des Grundchloridgehaltes c_i	88
5.2	Quantifizierung der Oberflächenkonzentration c_s	88
5.2.1	Zur Abhängigkeit von der Lage	88
5.2.2	Zur Abhängigkeit von der Betonzusammensetzung	95
5.2.3	Zur Abhängigkeit von der Zeit	96
6	Quantifizierung der Transportvariablen	96
6.1	Quantifizierung der Konvektionsgeschwindigkeit	96
6.1.1	Vorüberlegungen	96
6.1.2	Zur Abhängigkeit von der Betonzusammensetzung	99
6.1.3	Zur Abhängigkeit von der Lage und der Zeit	103
6.2	Quantifizierung der Dispersivität	104
6.2.1	Vorüberlegungen	104
6.2.2	Zur Abhängigkeit von der Betonzusammensetzung	107
6.3	Quantifizierung des scheinbaren Diffusionskoeffizienten	108
6.3.1	Zur Abhängigkeit vom Wasser-Bindemittel-Verhältnis	108
6.3.2	Zur Abhängigkeit vom Bindemittel und dem Alter	111
6.3.3	Zum Einfluss der Dispersion auf den Migrationskoeffizienten	113
6.3.4	Zum Einfluss des Wassersättigungsgrades	113
6.3.5	Zusammenfassung zur Quantifizierung des scheinbaren Diffusionskoeffizienten	116
7	Beispiel zur Abschätzung der Depassivierungswahrscheinlichkeit	116
7.1	Ausgangssituation	116
7.2	Eingangswerte für die Berechnungen	117
7.3	Berechnungsergebnisse	119
7.4	Signifikanzanalyse	121
7.5	Möglichkeiten zur Reduktion der Modellkomplexität	122
8	Ausblick	124
8.1	Reduktion von Unsicherheiten durch Abgleich nach Bayes	124
8.1.1	Untersuchungsergebnisse als Randbedingungen im Modell	124
8.1.2	Abnahmeprüfungen	124
8.1.3	Informationsgewinn durch den Chloridmigrationskoeffizienten in höherem Bauwerksalter	124
8.1.4	Informationsgewinn durch Chloridprofile	126
8.1.5	Informationsgewinn durch Korrosionssensoren	127
8.2	Integration des Modells in ein System zum Lebenszyklusmanagement	128
8.2.1	Definition von Zuständen	128
8.2.2	Die Markov-Kette als Bindeglied	131
8.3	Prognose als Werkzeug zur optimierten Instandsetzungsplanung	135
8.4	Weiterer Forschungsbedarf	137
8.4.1	Effekt einer teilweisen Wassersättigung auf den scheinbaren Diffusionskoeffizienten	137
8.4.2	Korrosionsphase	137
8.4.3	Effekt von Reparaturmaßnahmen	137
9	Zusammenfassung	138
10	Literatur	144