

Einfluß von Temperatur und Feuchte auf die Druckdauerstandfestigkeit von PCC

T 2828

T 2828

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

1999, ISBN 3-8167-5517-8

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 irb@irb.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>

RWTH Aachen
Institut für Bauforschung

Einfluß von Temperatur und Feuchte
auf die Druckdauerstand-festigkeit von PCC

1	HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG	1
2	INSTANDSETZUNGSMÖRTEL.....	1
2.1	Auswahl der Mörtel	1
2.2	Zusammensetzung der Mörtel.....	1
3	WÄRMESTANDFESTIGKEIT	1
3.1	Herstellung und Lagerung der Probekörper.....	1
3.2	Durchführung der Versuche	4
3.3	Versuchsergebnisse.....	4
3.4	Empfehlung für das Prüfverfahren.....	7
4	HAFTZUGZEITSTANDFESTIGKEIT	7
4.1	Herstellung und Lagerung der Probekörper.....	7
4.2	Durchführung der Versuche	7
4.3	Versuchsergebnisse.....	7
4.4	Empfehlung für das Prüfverfahren.....	7
5	KRIECHEN	8
5.1	Herstellung und Lagerung der Probekörper.....	8
5.2	Durchführung der Versuche	8
5.3	Versuchsergebnisse.....	8
5.4	Empfehlung für das Prüfverfahren.....	10
6	PUFFERKAPAZITÄT GEGENÜBER EINDRINGEN- DEN CHLORIDIONEN	10
6.1	Literatursichtung	10
6.1.1	Chloridbindung und kritischer Chloridgehalt	10
6.1.2	Mechanismen des Chlorideintrags	10
6.1.3	Chloriddiffusionswiderstand von Beton.....	11
6.1.3.1	Methoden zur Ermittlung des Diffusionswider- standes von Beton	11
6.1.3.1.1	Auswertung von Konzentrationsprofilen (Ein- tauchversuch)	11
6.1.3.1.2	Diffusionszellenversuch	11
6.1.3.1.3	Beschleunigte Diffusionsversuche (Migrations- versuche).....	11
6.2	Auswertung der Literatursichtung hinsichtlich der Auswahl eines Prüfverfahrens.....	12
6.3	Herstellung und Lagerung der Probekörper.....	12
6.3.1	Vergleichsbeton	12
6.3.2	Instandsetzungsmörtel	13
6.4	Durchführung der Versuche	13
6.5	Versuchsergebnisse.....	13
6.6	Empfehlung für das Prüfverfahren.....	19
7	LITERATUR.....	20

1 HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG

Seit 1993 liegt der Teil 4 der Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Rili SIB) /9/ vor. Damit sind im Prinzip die Voraussetzungen gegeben, um die grundsätzliche Eignung der verschiedenen Stoffe bzw. Stoffsysteme für den Schutz und die Instandsetzung von Betonbauteilen nachzuweisen. Probleme ergeben sich in der praktischen Durchführung allerdings dort, wo zur Zeit noch keine Prüfverfahren festgelegt sind. Für die Mörtel fehlen Angaben hinsichtlich folgender Prüfgesichtspunkte (in Klammern sind jeweils die betreffenden Mörteltypen und die Beanspruchungsklassen genannt):

- 1 Pufferkapazität gegenüber eindringenden Cl^- -Ionen (Zementmörtel, PCC; M2, M3, M4)
- 2 Kriechen (Zementmörtel, PCC; M3)
- 3 Brandverhalten (Zementmörtel, PCC; M3)
- 4 Wärmestandfestigkeit (PCC; M3)
- 5 Haftzugzeitstandfestigkeit bei erhöhter Temperatur (Zementmörtel, PCC; M3)

Ziel des Forschungsprojektes war es, die Lücke im Teil 4 der Rili SIB hinsichtlich der o.g. Punkte, mit Ausnahme des Punktes 3, zu schließen. Hierzu sollten konkrete Vorschläge hinsichtlich geeigneter Prüfverfahren gemacht werden.

Das Forschungsvorhaben wurde von einer Betreuergruppe begleitet, der folgende Herren angehörten:

- Dipl.-Ing. Manleitner, DIBt, Berlin;
- Dr.-Ing. Siebel, VDZ, Düsseldorf;
- Min.Rat Standfuß, BMV, Bonn.

Das Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des DAfStb gefördert. In Ergänzung zu Punkt 4 wurden Versuche bei zwei weiteren Prüfklimaten durchgeführt. Diese Versuche wurden vom DIBt finanziert und zusätzlich von Herrn Dr.-Ing. Maultzsch, BAM, Berlin, betreut.

2 INSTANDSETZUNGSMÖRTEL

2.1 Auswahl der Mörtel

Die Untersuchungen wurden mit 2 PCC und einem kunststofffreien Zementmörtel ("unmodifizierter Mörtel") durchgeführt. Zum einen wurde ein marktgängiger PCC aus der Liste der geprüften Stoffe und Stoffsysteme des Bundesministers für Verkehr gewählt. Es handelt sich um einen mit Vinylacetat-Ethylen (VAE) modifizierten Mörtel, der als PCC I-III nach ZTV-SIB // zugelassen ist. Mit Blick auf die statische Wirksamkeit wurde ein Mörtel gewählt, dessen Druckfestigkeit am oberen Rand des Spektrums der gelisteten Mörtel liegt (61,3 MPa nach 28tägiger Lagerung B nach //). Der zweite PCC wurde so zusammengesetzt, daß sein Kunststoffgehalt in der Nähe des oberen Grenzwertes nach Rili SIB (Feststoffgehalt = 10 % bezogen auf den Zement) lag. Verwendet wurde eine als Betonzusatzstoff zugelassene Styrolacrylat-Dispersion (SAy-Dispersion).

2.2 Zusammensetzung der Mörtel

Der unmodifizierte Mörtel wurde mit PZ 45 F und Normsand nach DIN EN 196 Teil 1 zusammengesetzt. Für den SAy-modifizierten Mörtel wurde dieser Ausgangsmischung Kunststoff in

Form einer wäßrigen Styrolacrylatdispersion (Feststoffgehalt: 50 M.-%) zugegeben. Mischungsgröße und Mischungszusammensetzung sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Der unmodifizierte und der SAy-modifizierte Mörtel sind so zusammengesetzt, daß das Bindemittelleimvolumen (Zement, Kunststoff und Wasser) gleich ist.

Beim VAE-modifizierten Mörtel ist der pulverförmige Kunststoffzusatz bereits im Werkrockenmörtel enthalten. Der Mörtel wurde mit der maximalen Wasserzugabe lt. Herstellerangabe angemischt, s. Tabelle 1.

Tabelle 1: Mischungszusammensetzung der Instandsetzungsmörtel

Table 1: Mix composition of repair mortars

Mörtel	Mischungszusammensetzung				w/z	k/z
	Normsand	Zement	Dispersion	Wasser		
-	Massetelle				-	-
1	2	3	4	5	7	8
un-modifiziert	10	3,79	-	1,52	0,40	-
SAy-modifiziert	10	3,41	0,58	1,08	0,40	0,09
VAE-modifiziert	10 ¹⁾		-	1,15	0,55	0,12

1) Werkrockenmörtel

3 WÄRMESTANDFESTIGKEIT

3.1 Herstellung und Lagerung der Probekörper

Die Mörtel wurden mit einem Zwangsmischer (Fa. Herbst) mit einem Mischgefäß-Volumen von 15 l gemischt und sofort nach Beenden des Mischvorgangs verarbeitet. Es wurden Mörtelzylinder h = 150 mm, Ø = 50 mm hergestellt. Ursprünglich war vorgesehen, für diese Versuche Standardmörtelprismen 4 · 4 · 16 cm³ in Prismenlängsrichtung zu belasten. Dieser Probekörpertyp wurde aber nach Vorversuchen zur Wärmestandfestigkeit wegen zu großen Biegeeinflusses verworfen, s. Zwischenbericht.

Die Zylinder wurden bis zum Alter von 1 d feucht bei 23 °C gelagert. Nach dem Ausschalen im Alter von 1 d wurden die Zylinder in Aluminiumfolie eingepackt und anschließend bei der Prüftemperatur von 40 °C bzw. 23 °C gelagert.

Durch das Einpacken in Aluminiumfolie konnte ein Austrocknen der Probekörper weitestgehend unterbunden werden (Masseänderung nach 28 d kleiner 1 % bezogen auf die Masse unmittelbar nach dem Einpacken).

Es wurden auch im Normklima DIN 50 014-23/50-2 gelagerte Zylinder in die Untersuchungen einbezogen. Somit konnte der Einfluß der Prüftemperatur und der erhöhten Probenfeuchte (bei 23 °C) separat untersucht werden.

Je Mischung wurden i. d. R. jeweils ein Satz Standardmörtelprismen zur Ermittlung von Kontrollfestigkeiten im Prüfklima und im Normklima DIN 50 014 - 23/50-2 gelagert.

Die Kontrollwerte der Mischungen sind in den Tabellen 2 (Frischmörtel) und 3 (Festmörtel) zusammengestellt.

Tabelle 2.1: Mischungskontrollwerte (Frischmörtel)
Mörteltyp: unmodifiziert

Table 2.1: Mix control values (fresh mortar)
Type of mortar: unmodified

Mischung Nr.	Ausbreitmaß	Rohdichte	Luftgehalt
-	cm	kg/dm ³	Vol.-%
1	2	3	4
/1	12,5	2,254	4,8
/2	12,3	2,255	5,0
/3	13,5	2,254	5,0
/4	13,0	2,255	5,6
/5	13,0	2,262	4,7
/6	12,1	2,260	4,8
/7	13,2	2,262	5,0
/8	12,8	2,264	4,7
/9	12,3	2,256	4,9
/10	12,6	2,253	5,2
/11	11,9	2,255	4,8
/12	12,9	2,248	5,2
/13	12,1	2,246	5,3
/14	12,1	2,253	5,0
/15	12,3	2,247	5,4
MW	12,6	2,255	5,0
s	0,47	0,0054	0,27
v in %	3,7	0,2	5,4

MW: Mittelwert
s: Standardabweichung
v: Variationskoeffizient

Tabelle 2.2: Mischungskontrollwerte (Frischmörtel)
Mörteltyp: VAE-modifiziert

Table 2.2: Mix control values (fresh mortar)
Type of mortar: VAE-modified

Mischung Nr.	Ausbreitmaß	Rohdichte	Luftgehalt
-	cm	kg/dm ³	Vol.-%
1	2	3	4
/1	12,6	2,116	7,4
/2	12,4	2,142	6,1
/3	13,3	2,155	6,5
/4	13,6	2,161	5,2
/5	13,4	2,143	5,8
/6	12,5	2,097	7,8
/7	12,8	2,093	8,0
/8	13,4	2,089	7,8
/9	11,5	2,125	7,5
/10	13,5	2,050	10,2
/11	13,0	2,180	4,4
/12	10,7	2,179	4,5
/13	13,3	2,179	4,6
/14	11,9	2,169	5,0
/15	12,8	2,153	5,0
/16	12,4	2,160	5,3
/17	12,9	2,160	5,0
MW	12,7	2,138	6,2
s	0,77	0,0376	1,63
v in %	6,1	1,8	26,3

MW: Mittelwert
s: Standardabweichung
v: Variationskoeffizient

Tabelle 2.3: Mischungskontrollwerte (Frischmörtel)
Mörteltyp: SAy-modifiziert

Table 2.3: Mix control values (fresh mortar)
Type of mortar: SAy-modified

Mischung Nr.	Ausbreitmaß	Rohdichte	Luftgehalt
-	cm	kg/dm ³	Vol.-%
1	2	3	4
/1	18,9	2,199	5,4
/2	19,3	2,179	6,1
/3	19,4	2,230	4,0
/4	19,2	2,243	3,5
/5	19,4	2,195	5,4
/6	19,5	2,184	5,0
/7	20,2	2,088	10,0
/8	18,5	2,203	5,4
/9	18,5	2,226	4,6
/10	19,4	2,244	3,3
/11	19,0	2,254	3,3
/12	18,6	2,260	2,8
/13	19,3	2,236	3,7
/14	18,5	2,206	5,2
/15	18,2	2,179	6,2
/16	18,4	2,170	6,5
/17	18,8	2,209	4,5
/18	18,5	2,243	3,6
MW	19,0	2,208	4,9
s	0,52	0,0410	1,68
v in %	2,7	1,9	34,3

MW: Mittelwert
s: Standardabweichung
v: Variationskoeffizient

Tabelle 3.1: Mischungskontrollwerte (Festmörtel)
Mörteltyp: unmodifiziert
Table 3.1: Mix control values (hardened mortar)
Type of mortar: unmodified

Mischung Nr.	Lagerung	Rohdichte	Biegezugfestigkeit		Druckfestigkeit	
		Prismen	Zylinder	Prismen	Zylinder	
-	-	kg/dm ³	MPa			
1	2	3	4	5	6	
/1	B	2,21	8,3	58,4	-	
/2		2,21	7,8	56,5	-	
/3		2,19	7,9	53,6	-	
/4		2,21	8,1	55,2	-	
/5		2,19	7,9	56,8	-	
/7		2,21	8,0	59,2	-	
/8		2,22	7,8	59,6	-	
/9		2,20	8,0	58,2	-	
/10		2,21	8,1	59,7	-	
/11		2,28	7,7	60,8	-	
/12		2,21	7,3	58,9	-	
/13		2,20	8,7	61,0	50,8	
/14		2,21	7,9	58,8	54,1	
/15		2,19	7,8	52,9	51,3	
M			2,21	7,9	57,8	52,0
s		0,020	0,31	2,51	1,79	
v in %		0,9	4,0	4,3	3,4	
/1	W	2,27	7,8	64,0	53,1	
/3		2,25	7,6	63,4	53,3	
/5		2,28	6,8	67,7	54,2	
/6		2,27	6,6	65,2	54,9	
M		2,27	7,2	65,1	53,9	
s		0,012	0,56	1,91	0,86	
v in %		0,5	7,8	2,9	1,6	
/8	C	2,27	7,8	67,2	51,7	
/9		2,27	7,1	67,5	56,1	
/10		2,26	7,7	67,0	58,0	
/11		2,27	6,8	65,3	51,1	
/12		2,27	7,1	67,7	60,0	
M		2,27	7,3	66,9	55,4	
s		0,005	0,43	0,93	3,89	
v in %		0,2	5,9	1,4	7,0	

MW: Mittelwert
s: Standardabweichung
v: Variationskoeffizient
B: 1 d feucht, dann bei 23 °C u. 50 % rel. Feuchte
C: 1 d feucht, dann mit Aluminiumfolie versiegelt und bei 23 °C gelagert
W: 1 d feucht, dann mit Aluminiumfolie versiegelt und bei 40 °C gelagert

Tabelle 3.2: Mischungskontrollwerte (Festmörtel)
Mörteltyp: SAY-modifiziert
Table 3.2: Mix control values (hardened mortar)
Type of mortar: SAY-modified

Mischung-Nr.	Lagerung	Rohdichte	Biegezugfestigkeit		Druckfestigkeit	
		Prismen	Zylinder	Prismen	Zylinder	
-	-	kg/dm ³	MPa			
1	2	3	4	5	6	
/1	B	2,13	12,3	54,0	-	
/2		2,14	12,1	53,1	-	
/3		2,18	12,6	54,2	-	
/4		2,17	12,7	54,9	-	
/5		2,15	11,5	53,3	-	
/6		2,16	12,0	53,5	-	
/7		2,09	10,4	47,2	-	
/9		2,16	11,5	55,0	-	
/10		2,19	11,4	57,6	-	
/11		2,20	11,9	57,3	-	
/12		2,19	12,2	57,5	-	
/13		2,20	12,0	56,6	-	
/14		2,16	11,8	56,7	-	
/15		2,12	10,6	52,2	-	
/16		2,16	12,5	56,2	50,6	
/17		2,17	12,7	55,9	51,2	
/18		2,16	12,3	55,8	50,5	
M:			2,16	11,9	54,8	50,8
s:		0,028	0,66	2,56	0,34	
v in %		1,3	5,6	4,7	0,7	
/1	W	2,17	7,4	53,4	47,8	
/3		2,21	8,0	50,5	48,8	
/5		2,20	6,8	45,6	48,7	
/6		2,21	7,6	52,0	48,6	
/7		2,13	6,2	44,3	45,8	
/8		2,23	7,5	53,7	45,6	
/9	2,21	7,2	51,6	-		
M:		2,20	7,2	50,2	47,5	
s:		0,035	0,59	3,73	1,64	
v in %		1,6	8,1	7,4	3,5	
/11	C	2,26	8,3	52,5	52,5	
/12		2,25	8,5	57,4	53,9	
/13		2,25	8,4	54,4	53,7	
/14		2,22	8,3	53,1	49,7	
/15		2,17	8,8	50,3	46,3	
M:		2,23	8,5	53,5	51,2	
s:		0,036	0,23	2,64	3,21	
v in %		1,6	2,7	4,9	6,3	

MW: Mittelwert
s: Standardabweichung
v: Variationskoeffizient
B: 1 d feucht, dann mit Aluminiumfolie versiegelt bei 23 °C u. 50 % rel. Feuchte
C: 1 d feucht, dann mit Aluminiumfolie versiegelt und bei 23 °C gelagert
W: 1 d feucht, dann versiegelt und bei 40 °C gelagert

Tabelle 3.3: Mischungskontrollwerte (Festmörtel)
Mörteltyp: VAE-modifiziert
Table 3.3: Mix control values (hardened mortar)
Type of mortar: VAE-modified

Mischung-Nr.	Lagerung	Biegezugfestigkeit		Druckfestigkeit	
		Prismen	Zylinder	Prismen	Zylinder
-	-	kg/dm ³		MPa	
1	2	3	4	5	6
/1		2,09	9,2	56,8	
/2		2,09	9,9	54,5	
/3		2,10	9,6	56,9	
/4		2,11	9,8	55,4	
/5		2,11	8,0	56,6	
/6		2,04	8,6	50,9	
/7		2,06	8,8	53,5	
/8	B	2,06	8,5	50,1	-
/10		1,99	8,2	44,0	
/11		2,14	9,6	62,0	
/12		2,13	8,5	58,9	
/13		2,13	8,8	61,5	
/14		2,14	8,8	61,5	
/15		2,13	9,1	59,6	52,3
/16		2,12	9,4	61,4	53,4
/17		2,14	9,4	63,3	54,9
M:		2,10	9,0	56,7	53,5
s:		0,042	0,57	5,23	1,27
v: in %		2,0	6,3	9,2	2,4
/1		2,12	7,3	56,3	47,1
/3		2,15	7,2	58,4	53,2
/6	W	2,11	6,5	55,1	52,1
/7		2,14	7,0	58,1	48,0
/8		2,12	6,8	51,2	47,3
/9		2,16	6,4	54,5	-
M:		2,13	6,9	55,6	49,5
s:		0,020	0,35	2,67	2,89
v: in %		0,9	5,0	4,8	5,8
/11		2,20	7,4	61,9	54,4
/12		2,17	8,1	61,8	57,2
/13		2,19	7,2	60,7	54,5
/14	C	2,19	7,1	61,1	49,1
M:		2,19	7,4	61,4	53,8
s:		0,012	0,44	0,60	3,39
v: in %		0,6	5,9	1,0	6,3

MW: Mittelwert

s: Standardabweichung

v: Variationskoeffizient

B: 1 d feucht, dann mit Aluminiumfolie versiegelt bei 23 °C u. 50 % rel. Feuchte

C: 1 d feucht, dann mit Aluminiumfolie versiegelt und bei 23 °C gelagert

W: 1 d feucht, dann versiegelt und bei 40 °C gelagert

3.2 Durchführung der Versuche

Die Versuche zur Wärmestandfestigkeit wurden als Dauerstanddruckversuch in einer begehbaren, auf 40 °C temperierten Prüfkammer bzw. in einem Raum mit Normalklima DIN 50 014-23/50-2 durchgeführt. Die Prüfkraft wird in einem Druckzylinder erzeugt. Die obere Druckplatte ist über eine Kalotte mit dem Querschnitt verbunden, so daß eine momentenfreie Belastung der Probekörper gewährleistet ist. Die Prüfstände wurden mit Hilfe einer geeichten Kraftmeßdose kalibriert.

Die Zylinder wurden stehend im Alter von 28 d in die Prüfstände eingebaut. Die Prüflast wurde mit einer Pumpe innerhalb eines Zeitraums von rd. 2 min aufgebracht. Nach dem Abklemmen der Pumpe sorgte ein Druckluftspeicher für die Konstanz der Prüflast. Die Zylinder verblieben während der gesamten Versuchsdauer in der Aluminiumfolie. Die Standzeit wurde mit einem Betriebsstundenzähler registriert.

Die Lastniveaus wurden auf die im Alter von 28 d ermittelte Kurzzeitdruckfestigkeit der jeweiligen Mischung bezogen. Die Kurzzeitdruckfestigkeiten sind in Tabelle 3 aufgelistet. Je Lastniveau wurden 3 Zylinder geprüft. Die Kurzzeitdruckfestigkeit wurde ebenfalls an 3 Zylindern mit einer Prüfmaschine (Genauigkeitsklasse 1) lastgeregelt bei einer Belastungsgeschwindigkeit von 0,5 MPa/s ermittelt. Dabei ergab sich so eine Versuchszeit von rd. 2 min.

3.3 Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 4 aufgelistet und in den Bildern 1 bis 9 graphisch dargestellt. Bei 40 °C und versiegelten Proben beträgt die Druckdauerstandfestigkeit der polymermodifizierten Mörtel unabhängig von der Art des Polymers lediglich rund 60 % der jeweiligen Kurzzeitdruckfestigkeit, Bilder 4 und 7. Die Druckdauerstandfestigkeit der beiden polymermodifizierten Mörtel liegt demnach deutlich unter der für Zementbeton üblicherweise angesetzten Grenze von 80 %. Die Dauerstandfestigkeit für den unmodifizierten Mörtel erreicht diesen Wert mit rd. 70 % allerdings auch nicht ganz, Bild 1. Wie die Bilder 2 und 3 zeigen, ist dies aber nicht auf die Versuchsrandbedingungen 40 °C und Versiegelung zurückzuführen. Zwar ergibt sich bei 23 °C an unversiegelten Proben eine um 5 % höhere Dauerstandgrenze als an den versiegelten Proben bei 40 °C und 23 °C, aber dieser Unterschied ist angesichts der Streuungen der Druckfestigkeiten im Kurzzeitversuch, die teilweise ähnliche Größen erreichen, als nicht signifikant anzusehen. Beim SAY-modifizierten Mörtel sind Temperatur und Feuchte ohne Einfluß auf die Dauerstandgrenze, s. Bilder 4, 5 und 6. Beim VAE-modifizierten Mörtel deutet sich dagegen ein Temperatureinfluß an, da bei 23 °C und versiegelten Proben auch Durchläufer auf dem 70%-Niveau zu beobachten sind, Bild 8. Der Einfluß der Feuchte ist dagegen unter Berücksichtigung der Streuungen im Kurzzeitversuch nicht signifikant, vgl. Bilder 8 und 9. Zusammenfassend ist festzustellen, daß abhängig vom Polymertyp ein schwacher Temperatureinfluß feststellbar ist. Die Feuchte beeinflusst die Dauerstandgrenze jedoch nach den vorliegenden Versuchsergebnissen nicht signifikant.

Tabelle 4: Ergebnisse der Druckdauerstandversuche
Table 4: Results of the compressive fatigue tests

Mörtel	Last-niveau:	Standzeit		
		Lage-rung W	Lage-rung C	Lage-rung B
-	%	h		
1	2	3	4	5
un-modifiziert	70	> 11112,0 > 11112,0 > 11088,0	> 4368,0 > 4368,0 > 7741,0	-
	75	> 3528,0 85,7 101,0	4,0 1,3 0,50	> 2870,0 > 2870,0 > 3441,0
	80	11,3 11,4 18,0	0,43 1,1 1,3	29,7 0,69 1,1
	85	-	0,05 0,16 0,12	1,2 0,63 2,4
	90	0,03 0,02 0,10	0,05 0,03 0,02	1,0 1,1 0,75
	95	-	-	0,03 0,01 0,01
SAy-modifiziert	60	> 11280,0 > 11280,0 > 11232,0	> 6709,0 > 1800,0 > 1800,0	> 2462,0 > 2462,0 -
	65	11,6 16,3 22,6	3,4 5,2 7,0	7,9 4,0 -
	70	7,9 1,0 6,7	2,3 4,2 1,5	1,7 0,80 -
	75	0,8 1,0 0,5	0,40 0,30 0,21	4,0 1,5 1,9
	80	0,3 0,4 0,03	0,07 0,07 0,03	0,53 0,18 0,16
	85	-	-	0,06 0,05 0,08
VAE-modifiziert	60	> 12072,0 > 12072,0 > 11112,0	-	-
	65	69,7 69,7 1944,5	> 5893,0 > 5893,0 > 2640,0	> 2462,0 > 2462,0 > 2627,0
	70	6,1 1,8 7,4	> 6014,0 > 6014,0 > 2520,0	100,4 119,3 89,2
	75	7,7 3,4 1,2	7,0 0,87 2,1	4,5 1,5 3,6
	80	0,3 4,2 0,5	0,48 0,77 0,25	0,50 0,55 0,80
	85	-	-	0,11 0,28 0,24
90	-	-	0,15 0,02 0,01	

B: 1 d feucht, dann mit Aluminiumfolie versiegelt bei 23 °C u. 50 % rel. Feuchte gelagert
 C: 1 d feucht, dann mit Aluminiumfolie versiegelt und bei 23 °C gelagert
 W: 1 d feucht, dann versiegelt und bei 40 °C gelagert

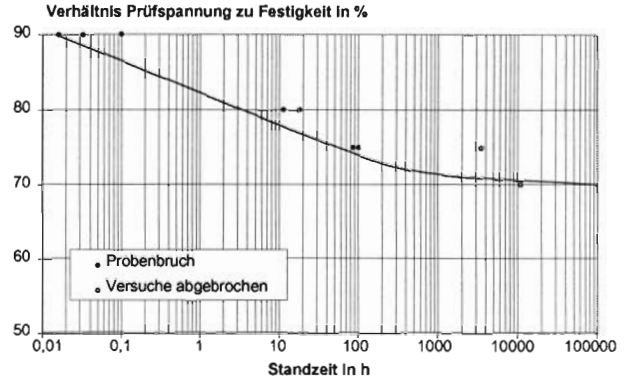


Bild 1: Ergebnisse der Druckdauerstandversuche für den unmodifizierten Mörtel; 40 °C, versiegelte Proben
Fig. 1: Results of compressive fatigue tests of the unmodified mortar; 40 °C, specimens sealed

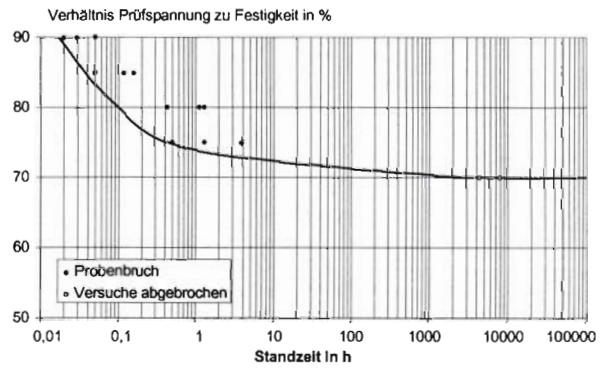


Bild 2: Ergebnisse der Druckdauerstandversuche für den unmodifizierten Mörtel; 23 °C, versiegelte Proben
Fig. 2: Results of compressive fatigue tests of the unmodified mortar; 23 °C, specimens sealed

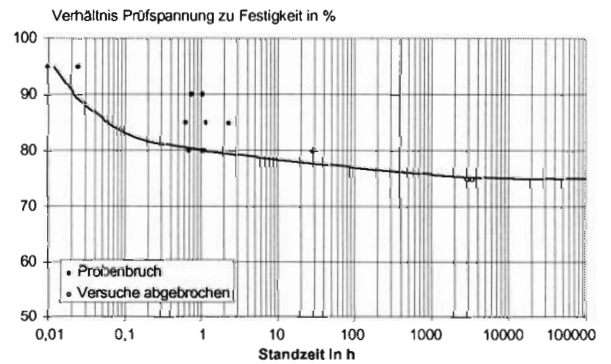


Bild 3: Ergebnisse der Druckdauerstandversuche für den unmodifizierten Mörtel; 23 °C, unversiegelte Proben
Fig. 3: Results of compressive fatigue tests of the unmodified mortar; 23 °C, specimens unsealed

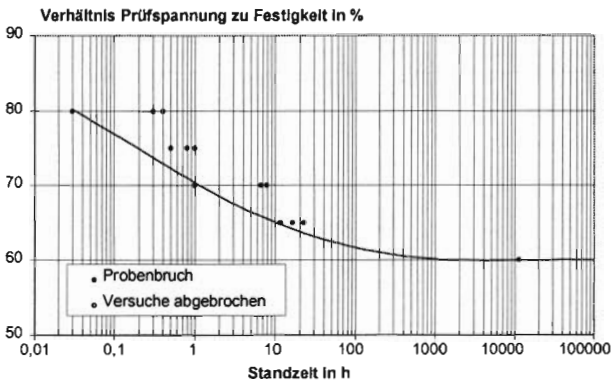


Bild 4: Ergebnisse der Druckdauerstandversuche für den SAy-modifizierten Mörtel; 40 °C, versiegelte Proben

Fig. 4: Results of compressive fatigue tests of the SAy-modified mortar; 40 °C, specimens sealed

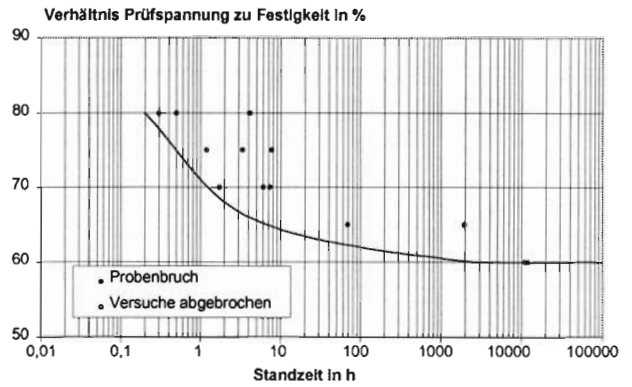


Bild 7: Ergebnisse der Druckdauerstandversuche für den VAE-modifizierten Mörtel; 40 °C, versiegelte Proben

Fig. 7: Results of compressive fatigue tests of the VAE-modified mortar; 40 °C, specimens sealed

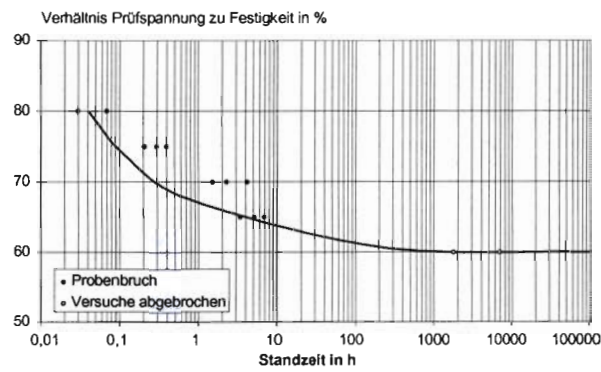


Bild 5: Ergebnisse der Druckdauerstandversuche für den SAy-modifizierten Mörtel; 23 °C, versiegelte Proben

Fig. 5: Results of compressive fatigue tests of the SAy-modified mortar; 23 °C, specimens sealed

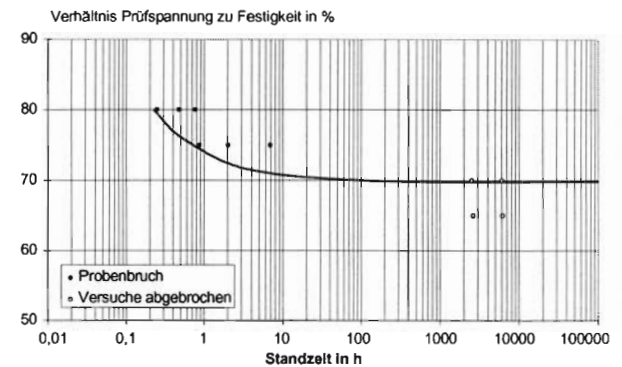


Bild 8: Ergebnisse der Druckdauerstandversuche für den VAE-modifizierten Mörtel; 23 °C, versiegelte Proben

Fig. 8: Results of compressive fatigue tests of the VAE-modified mortar; 23 °C, specimens sealed

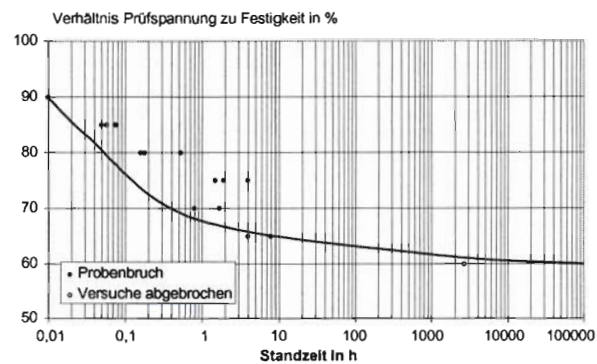


Bild 6: Ergebnisse der Druckdauerstandversuche für den SAy-modifizierten Mörtel; 23 °C, unversiegelte Proben

Fig. 6: Results of compressive fatigue tests of the SAy-modified mortar; 23 °C, specimens unsealed

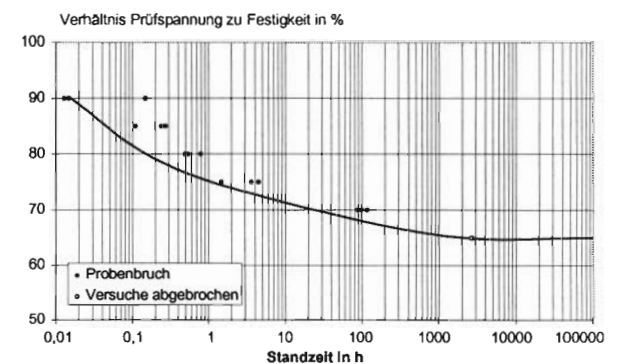


Bild 9: Ergebnisse der Druckdauerstandversuche für den VAE-modifizierten Mörtel; 23 °C, unversiegelte Proben

Fig. 9: Results of compressive fatigue tests of the VAE-modified mortar; 23 °C, specimens unsealed

3.4 Empfehlung für das Prüfverfahren

Die Prüftemperatur hat nach den vorliegenden Versuchsergebnissen abhängig vom Polymertyp einen Einfluß auf die Dauerstandgrenze. Um den Einfluß des Polymers besser abschätzen zu können, sollten weitere Versuche mit anderen, bei Instandsetzungsmörteln üblichen Polymertypen, durchgeführt werden.

Unabhängig davon erscheint es jedoch möglich, auf eine individuelle Prüfung der Druckdauerstandfestigkeit im Rahmen der Eignungsprüfung zu verzichten und statt dessen mit einer globalen Festigkeitsreduktion auf 60 % der Kurzzeitfestigkeit zur Berücksichtigung des Dauerlasteinflusses zu operieren.

4 HAFTZUGZEITSTANDFESTIGKEIT

4.1 Herstellung und Lagerung der Probekörper

Die Mörtel wurden mit einem Zwangsmischer (Fa. Herbst) mit einem Mischgefäß-Volumen von 15 l gemischt und sofort nach Beenden des Mischvorgangs verarbeitet. Für die Haftzugzeitstandfestigkeitsuntersuchungen wurden Betonplattengrundkörper (30 · 30 · 10 cm³) entsprechend /B/ in einer Dicke von 2 cm beschichtet. Für den VAE-modifizierte Mörtel wurde hierfür die zum Instandsetzungssystem gehörende Haftbrücke verwendet. Für den unmodifizierte und den SAy-modifizierte Mörtel wurde eine Haftschlämme aus dem jeweiligen Mörtel hergestellt. Die Mörtel wurden auf die nasse Haftbrücke aufgetragen.

Die Verbundkörper lagerten ebenfalls bis zum Alter von 1 d bei 23 °C und waren während dieser Zeit mit feuchten Tüchern und PE-Folie abgedeckt. Im Alter von 1 d wurden die Verbundkörper vollständig in Aluminiumfolie eingepackt und anschließend bei der Prüftemperatur von 40 °C gelagert. Im Beschichtungsalter von 21 d wurden aus den Verbundkörpern je 9 Zylinder mit einem Durchmesser von 50 mm für die Haftzuguntersuchungen herausgebohrt. Nachdem auf die Stirnflächen der Zylinder Stahlstempel aufgeklebt worden waren, wurden sie einzeln in Aluminiumfolie eingepackt.

4.2 Durchführung der Versuche

Die aus den Verbundkörpern herausgebohrten Zylinder wurden in Totlastzugkriechständen belastet. Die Zugkraft wurde über einen Hebelarm, der eine rd. 10fache Verstärkung der Totlast bewirkt, in die Zylinder eingeleitet. Die Versuchsstände wurden mit einer geeichten Kraftmeßdose kalibriert. Die Versuchsstände befanden sich ebenfalls in der begehbaren, auf 40 °C temperierten Prüfkammer. Die Standzeit wurde mit einem Betriebsstundenzähler registriert.

Die Lastniveaus wurden ebenfalls in Abhängigkeit von der an 3 Zylindern der jeweiligen Verbundplatte im Beschichtungsalter von 28 d ermittelten Kurzzeitzugfestigkeit gewählt. Je Lastniveau wurden 3 Zylinder geprüft. Die Kurzzeitzugfestigkeit wurde mit einer Prüfmaschine (Genauigkeitsklasse 1) lastgeregelt bei einer Belastungsgeschwindigkeit von 0,05 MPa/s ermittelt. Es ergab sich so eine Versuchszeit von rd. 2 min.

Die Zylinder für die Zeitstandversuche wurden ebenfalls im Beschichtungsalter von 28 d belastet.

4.3 Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 5 mit den Bezugsfestigkeiten zusammengestellt. Auf dem 80%-Lastniveau wurde an dem unmodifizierten und dem SAy-modifizierten Mörtel bis zu einer Standzeit von rd. 8 bis 9 Monaten kein Probenbruch beobachtet. Bei dem VAE-modifizierten Mörtel wurde ein Versagen auf dem 80%-Lastniveau nach rund 2 Wochen und auf dem 70%-Lastniveau nach rd. 3 bis 4 Monaten beobachtet.

Tabelle 5: Ergebnisse der Haftzugzeitstandfestigkeitsversuche

Table 5: Results of the adhesion fatigue tests

Mörtel	Kurzzeitfestigkeit	Lastniveau	Standzeit	Bruchform
-	MPa	%	h	-
1	2	3	4	5
un-modifiziert	3,97	80	> 6048,0	1)
			> 6048,0	
			> 6000,0	
SAy-modifiziert	4,35	80	> 6216,0	1)
			> 6216,0	
			> 6216,0	
VAE-modifiziert	3,99	80	364,4	100 % B
			(364,4)	50 % B/50 % K
			217,4	90 % B/10 % ABE
	4,04	70	> 4656,0	-
			2803,6	100 % BE
			2268,4	100 % BE

1) Versuche abgebrochen

B: Versagen im Beton

BE: Versagen im Mörtel

ABE: Versagen in der Bindeebene Mörtel/Beton

K: Versagen im Kleber

Bei den Dauerstandbrüchen handelt es sich fast ausschließlich um Kohäsionsbrüche im Mörtel bzw. im Untergrundbeton. Auch bei der Bestimmung der Kurzzeitzugfestigkeit, die als Referenz zur Festlegung der Lastniveaus herangezogen wurde, trat in der überwiegenden Zahl der Fälle kein Versagen in der Bindeebene auf. Für den Abfall der Adhäsionsfestigkeit unter Dauerlast läßt sich daher aus den Versuchsergebnissen insgesamt für die polymermodifizierten und den unmodifizierten Mörtel nur folgern, daß die Adhäsionsfestigkeit unter Dauerlast stets größer als die Kohäsionsfestigkeit bleibt, wenn dies auch im Kurzzeitverhalten der Fall war. Für den Fall, daß im Kurzzeitversuch Adhäsionsversagen auftritt, ist keine Aussage möglich. Diese Versagensart sollte jedoch bei Instandsetzungsmörteln der Gruppe M3 ausgeschlossen werden.

4.4 Empfehlung für das Prüfverfahren

Das erprobte Prüfverfahren sollte sich möglichst nah an dem allgemein zur Charakterisierung des Verbundverhaltens akzeptierten Verfahren der Abreißfestigkeitsprüfung orientieren und möglichst einfach durchzuführen sein. Die ursprüngliche Erwartung, daß sich hierbei die Adhäsion mit zunehmender Standzeit als schwächstes Glied des Verbundkörpers erweisen würde, hat sich nicht erfüllt. Das Prüfverfahren kann daher für die Eignungsprüfung nicht empfohlen werden.

Quantitative Aussagen über den Abfall der Adhäsionsfestigkeit unter Dauerlast wären mit dem hier beschriebenen Zugversuch an Verbundzylindern nur möglich, wenn bei Erhöhung der

Probekörperzahl Klassen nach Bruchbildern mit hinreichender Besetzungszahl gebildet und statistische Aussagen getroffen werden könnten. Es ist nach den vorliegenden Versuchsergebnissen jedoch fraglich, ob eine hinreichende Anzahl von Adhäsionsbrüchen sowohl im Kurzzeit- als auch im Dauerstandversuch auftreten würde. Darüber hinaus ist ein derartiger Aufwand im Rahmen einer Eignungsprüfung nicht vertretbar.

Nach den vorliegenden Versuchsergebnissen ist zumindest zweifelhaft, ob die Reduktion der Adhäsionsfestigkeit unter Dauerlast tatsächlich ein Problem darstellt. Um Gewißheit darüber zu erlangen, ob dieser Prüfgesichtspunkt aus der Eignungsprüfung tatsächlich ausgeklammert werden kann, wofür die bisher erzielten Versuchsergebnisse sprechen, sind jedoch weitere Untersuchungen durchzuführen. Geeigneter hierzu wären Versuche, die die Wahrscheinlichkeit für einen Bruch in der Bindeebene wesentlich vergrößern, z. B. der modifizierte Spaltzugversuch /17/ oder der Schub-Druckversuch /23/. Die Erprobung dieser Versuche war im Finanzrahmen dieses Forschungsvorhabens jedoch nicht mehr durchführbar.

5 KRIECHEN

5.1 Herstellung und Lagerung der Probekörper

Die Probekörper wurden entsprechend Abschnitt 3.1 hergestellt und gelagert. Die Kontrollwerte der Mischungen sind in Tabelle 2 (Frischmörtel) und Tabelle 3 (Festmörtel) enthalten.

5.2 Durchführung der Versuche

Die Kriechversuche wurden entsprechend Abschnitt 3.2 durchgeführt, mit dem Unterschied, daß die Last auf ein Drittel der Kurzzeitdruckfestigkeit begrenzt wurde. Zur Verformungsmessung wurden 3 Meßuhren mit einer Ablesegenauigkeit von 10 µm im gleichen Abstand zueinander über dem Umfang der Zylinder angeordnet. Die Verformungsmessung erfolgte zwischen den Druckplatten.

5.3 Versuchsergebnisse

Der zeitliche Verlauf der reinen Kriechdehnungen (d. h. der Gesamtdehnung abzüglich der elastischen Dehnung) ist in Bild 10 für alle drei Mörteltypen dargestellt. Zusätzlich sind die Zahlenwerte in Tabelle 6 zusammengestellt. Man erkennt, daß die Kriechdehnungen der polymermodifizierten Mörtel ähnlich groß sind und diejenigen des unmodifizierten Mörtels deutlich überschreiten. Die Kriechgeschwindigkeit (Steigung der Kurve) am Ende des Versuchszeitraums ist bei den polymermodifizierten Mörteln geringer als bei dem unmodifizierten Mörtel. Nach der Versuchsdauer von rd. 11 Monaten haben jedoch alle Kurven immer noch eine steigende Tendenz, so daß ein Endkriechmaß nicht zuverlässig abgelesen werden kann.

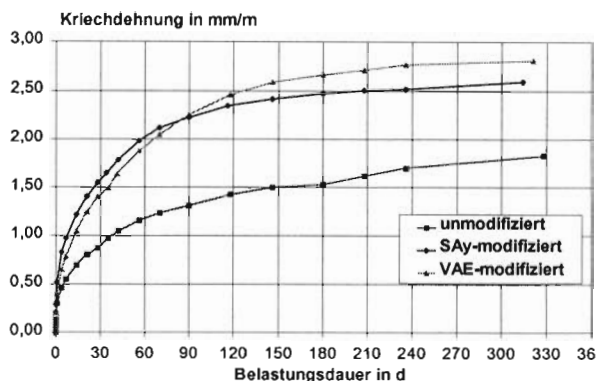


Bild 10: Kriechdehnungen der Instandsetzungsmörtel
Fig. 10: Creep strain of the repair mortars

Tabelle 6: Ergebnisse der Kriechversuche
Table 6: Results of the creep tests

Belastungsdauer	Kriechdehnungen			Kriechzahlen		
	Mörtel					
	un-modifiziert	SAY-modifiziert	VAE-modifiziert	un-modifiziert	SAY-modifiziert	VAE-modifiziert
d	mm/m			-		
1	2	3	4	5	6	7
0,01	0,06	0,12	0,06	0,10	0,19	0,10
0,04	0,09	0,21	0,13	0,16	0,34	0,21
0,13	0,13	0,29	0,20	0,22	0,47	0,32
1	0,30	0,52	0,40	0,52	0,84	0,63
4	0,46	0,83	0,65	0,79	1,34	1,03
7	0,55	0,98	0,79	0,95	1,58	1,25
14	0,70	1,22	1,05	1,21	1,97	1,67
21	0,81	1,41	1,25	1,40	2,27	1,98
28	0,87	1,55	1,41	1,50	2,50	2,24
34	-	1,65	-	-	2,66	-
35	0,97	-	1,50	1,67	-	2,38
41	-	-	1,64	-	-	2,60
42	1,05	1,79	-	1,81	2,89	-
56	1,16	1,99	1,88	2,00	3,21	2,98
70	1,24	2,12	2,05	2,14	3,42	3,25
90	1,31	2,23	2,26	2,26	3,60	3,59
116	-	2,35	-	-	3,79	-
118	1,42	-	2,46	2,45	-	3,90
146	1,50	2,42	2,59	2,59	3,90	4,11
180	1,53	2,47	2,66	2,64	3,98	4,22
208	1,62	2,51	2,71	2,79	4,05	4,30
236	1,70	2,52	2,77	2,93	4,06	4,40
314	-	2,59	-	-	4,18	-
321	-	-	2,81	-	-	4,46
328	1,83	-	-	3,16	-	-

zusätzliche Angaben zu den Kriechversuchen			
Prüfgröße	Mörtel		
	un-modifiziert	SAY-modifiziert	VAE-modifiziert
Kurzzeitfestigkeit in MPa	55,0	45,4	48,8
Kriechspannung in MPa	18,3	15,1	16,3
elastische Dehnung in mm/m	0,58	0,62	0,63
E-Modul in GPa	31,8	24,5	25,9

Es soll daher im folgenden nach einer geeigneten Zeitfunktion gesucht werden, um aus einer gegebenen Meßreihe die Kriechdehnung für große Belastungszeiten abzuschätzen. Dazu werden die vier in /30/ genannten Ansätze auf ihre Brauchbarkeit für die Beschreibung der vorliegenden Meßdaten überprüft:

$$\epsilon_K = \frac{a \cdot t}{b + t} \quad (1)$$

$$\epsilon_K = a(1 - e^{-bt}) \quad (2)$$

$$\epsilon_K = b \cdot \ln(1 + t) \quad (3)$$

$$\epsilon_K = a \cdot t^b \quad (4)$$

mit t: Zeit
a, b: Kurvenparameter
 ϵ_K : Kriechdehnung

Die ersten beiden Ansätze streben asymptotisch einem Endkriechwert zu, während die beiden letzten Ansätze für $t \rightarrow \infty$ keine endliche Kriechdehnung ergeben.

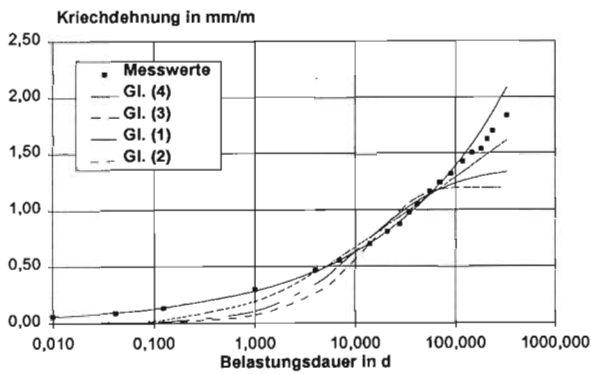


Bild 11: Vergleich der Kriechdehnung des unmodifizierten Mörtels mit 4 Kriechmodellen (Anpassung auf der Basis der Meßwerte bis einschl. 90 d)

Fig. 11: Comparison of creep strain of the unmodified mortar with 4 creep models

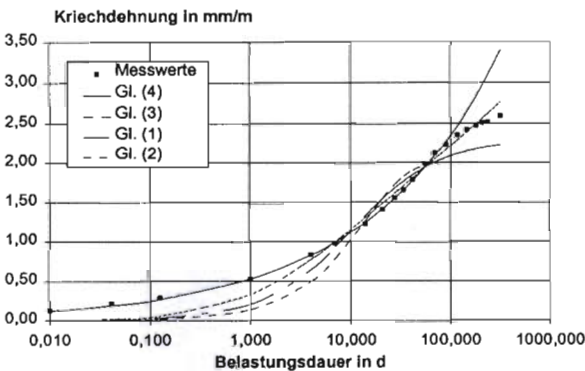


Bild 12: Vergleich der Kriechdehnung des SAY-modifizierten Mörtels mit 4 Kriechmodellen (Anpassung auf der Basis der Meßwerte bis einschl. 90 d)

Fig. 12: Comparison of creep strain of the SAY-modified mortar with 4 creep models

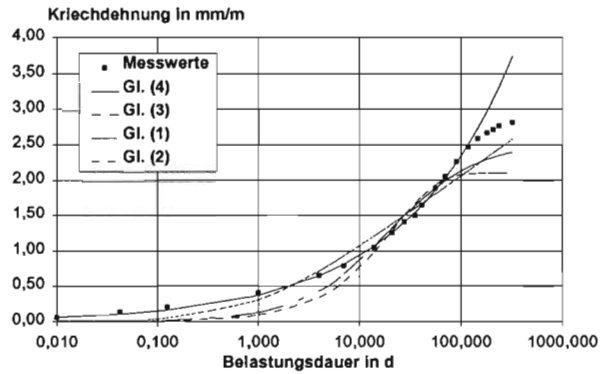


Bild 13: Vergleich der Kriechdehnung des VAE-modifizierten Mörtels mit 4 Kriechmodellen (Anpassung auf der Basis der Meßwerte bis einschl. 90 d)

Fig. 13: Comparison of creep strain of the VAE-modified mortar with 4 creep models

Die Kriechmodelle werden nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate an die Meßwerte angepaßt. In den Bildern 11 bis 13 werden die Kriechmodelle mit den Meßwerten verglichen. Basis für die Anpassung sind die Meßwerte bis zu einer Belastungsdauer von einschließlich 90 d. Die nach den Kriechmodellen berechneten Kriechdehnungen für größere Belastungsdauern stellen somit eine Extrapolation auf den jeweiligen Zeitpunkt dar.

Man erkennt zunächst, daß die Potenzfunktion nach (4) die Versuchsdaten über den gesamten, der Anpassung zugrunde liegenden Versuchszeitraum am besten beschreibt, während die anderen Ansätze vor allem bei kleinen Belastungsdauern recht große Abweichungen ergeben.

Es ist weiter zu sehen, daß die Extrapolation nach (4) mit zunehmender Belastungsdauer schlechter wird, was bei den polymermodifizierten Mörteln besonders ausgeprägt ist, Bilder 12 und 13. Dieser Sachverhalt ist aus der Auswertung von Kriechversuchen an Beton bekannt, wobei ebenfalls festgestellt wurde, daß eine Potenzfunktion die Kriechverformung bei großen Belastungsdauern erheblich überschätzt /18/.

Die abnehmende Kriechgeschwindigkeit bei großen Belastungsdauern läßt einen Ansatz mit einer endlichen Kriechverformung geeigneter erscheinen. Hierzu wird (1) herangezogen. Zur Abschätzung des Endkriechmaßes trägt man den Quotienten von Belastungsdauer und Kriechdehnung über der Belastungsdauer auf. Bei Gültigkeit des hyperbolischen Zusammenhangs nach (1) ergibt sich bei dieser Vorgehensweise ein linearer Verlauf, und das Endkriechmaß kann als Reziprokwert der Steigung dieser Geraden ermittelt werden. In den Bildern 14 bis 16 ist zu erkennen, daß (1) die gemessenen Kriechdehnung oberhalb einer Belastungsdauer von 90 d gut beschreibt. Die aus der Steigung der Ausgleichsgeraden auf der Basis dieser Meßwerte (weiß dargestellt in den Bildern 14 bis 16) errechneten Endkriechzahlen liegen bei 3,8 (unmodifiziert), 4,5 (SAY-modifiziert) und 4,9 (VAE-modifiziert).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß eine Abschätzung der Kriechdehnung für große Belastungsdauern auf der Basis einer kurzen Meßreihe nach den vorliegenden Versuchsergebnissen nicht möglich ist. Die Belastungsdauer sollte daher mindestens 180 d, besser 1 Jahr betragen.

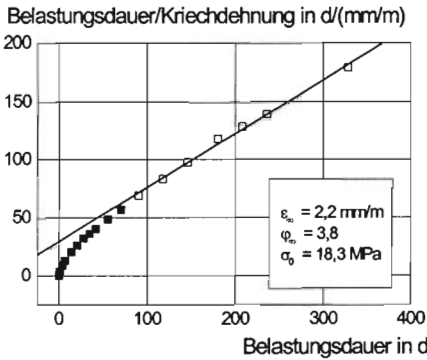


Bild 14: Abschätzung des Endkriechmaßes mit Hilfe von (1) für den unmodifizierten Mörtel

Fig. 14: Estimation of final creep strain by means of (1) for the unmodified mortar

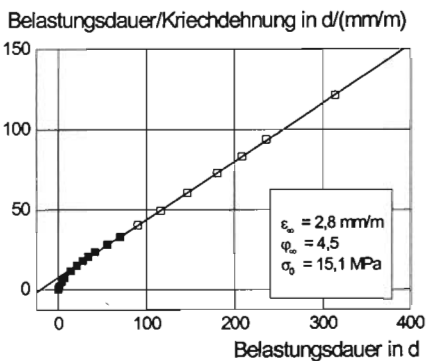


Bild 15: Abschätzung des Endkriechmaßes mit Hilfe von (1) für den SAy-modifizierten Mörtel

Fig. 15: Estimation of final creep strain by means of (1) for the SAy-modified mortar

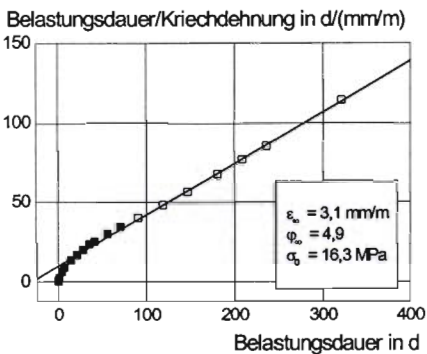


Bild 16: Abschätzung des Endkriechmaßes mit Hilfe von (1) für den VAE-modifizierten Mörtel

Fig. 16: Estimation of final creep strain by means of (1) for the VAE-modified mortar

5.4 Empfehlung für das Prüfverfahren

Das Prüfverfahren kann wie beschrieben für die Eignungsprüfung empfohlen werden. Die Belastungsdauer sollte aus den oben dargelegten Gründen mindestens 180 d betragen.

Die Qualität der Extrapolation der Kriechdehnung mit Hilfe von (1) kann nicht abschließend beurteilt werden, da der Kenntnisstand zum Kriechverhalten von polymermodifizierten Mörteln bei Belastungsdauern > 1 Jahr gering ist. Diese Kenntnislücke sollte daher unbedingt geschlossen werden. In den wenigen

verfügbaren Veröffentlichungen, z. B. /5/ und /13/ mit Belastungsdauern von 5 bzw. 3 Jahren, wird die Extrapolation nach (1) allerdings ebenfalls als geeignet angesehen.

6 PUFFERKAPAZITÄT GEGENÜBER EINDRINGENDEN CHLORIDIONEN

6.1 Literatursichtung

6.1.1 Chloridbindung und kritischer Chloridgehalt

Das gesamte im Beton vorhandene Chlorid kann in chemisch gebundenes, physikalisch angelagertes und freies Chlorid in der Porenlösung unterteilt werden /20/. Lediglich das freie Chlorid greift die sich im alkalischen Milieu des Zementsteins ausbildende schützende Oxidschicht auf der Stahloberfläche an und ist somit korrosionsauslösend /21/.

Die Hydratphasen des Zementsteins sind jedoch in der Lage, in der Porenlösung vorhandenes Chlorid fest und dauerhaft zu binden und damit korrosionsunwirksam zu machen /21/. Unter Pufferkapazität eines Mörtels gegenüber eindringenden Chloridionen ist das Chloridbindevermögen des Zementsteins zu verstehen. Während für die Bestimmung des Gesamtchloridgehaltes von Beton Standardmethoden existieren z. B. /27/, muß für die Beurteilung des Chloridbindevermögens nach der Formel „Gesamtchlorid = gebundenes Chlorid + freies Chlorid“ zusätzlich entweder das freie oder das gebundene Chlorid bestimmt werden. Die dabei angewandten experimentellen Methoden sind wesentlich aufwendiger und ihr Anwendungsbereich ist auf die Grundlagenforschung beschränkt /2/.

Das Chloridbindevermögen von Zementsteinen unterschiedlicher Zemente sowie auch von synthetisch hergestellten Klinkerphasen wurde bereits vielfach untersucht /21, 15, 16, 28/. Nach den Ergebnissen dieser Untersuchungen ist davon auszugehen, daß 0,4 M.-% Gesamtchlorid (bezogen auf den Zement) /21/, nach neueren Untersuchungen sogar 0,6 bis 1,0 M.-% ohne signifikanten Einfluß der Zementart /25/, korrosionsunwirksam im Zementstein gebunden werden können. Chloridgehalte unterhalb dieser kritischen Chloridgehalte sind also hinsichtlich der Korrosion als unschädlich einzustufen. Für kunststoffmodifizierte Zementsteine sind in der Literatur keine Angaben zum Chloridbindevermögen bzw. zu kritischen Chloridgehalten zu finden.

Neben dem Chloridbindevermögen spielt die Chlorideindringrate, d. h. der zeitliche Ablauf des je nach äußerer Randbedingung relevanten Chlorideintragsmechanismus, eine mindestens ebenso wichtige Rolle bei der Abschätzung der Korrosionsgefahr durch eindringende Chloridionen in Betonbauteilen.

6.1.2 Mechanismen des Chlorideintrags

Abhängig von den Umgebungsbedingungen können Chloride durch Diffusion, durch Permeation (Transport im Druckgefälle) und durch kapillares Saugen in den Beton eindringen. Das kapillare Saugen ist der dominante Transportmechanismus in der porösen Randzone des Betons, die nicht ständig wassergesättigt ist. Bei Wassersättigung des Porensystem und Abwesenheit hoher hydraulischer Gradienten, die eine Strömung des

Porenwassers treiben können, dominiert die Diffusion der Chloridionen in den wassergefüllten Poren /14/.

Die experimentellen Untersuchungen zum Chlorideintrag in Beton konzentrieren sich auf den Diffusionsvorgang.

6.1.3 Chloriddiffusionswiderstand von Beton

6.1.3.1 Methoden zur Ermittlung des Diffusionswiderstandes von Beton

6.1.3.1.1 Auswertung von Konzentrationsprofilen (Eintauchversuch)

Der meist würfel- oder prismenförmige Probekörper wird für eine bestimmte Zeit vollständig in eine chloridhaltige Salzlösung eingetaucht. Anschließend werden parallel zu einer Beaufschlagungsfläche dünne Scheiben abgetrennt und fein aufgemahlen. An dem Pulver wird der Chloridgehalt bestimmt. Aus den Meßwerten für die unterschiedlichen Tiefen unter der Beaufschlagungsfläche wird das Chloridprofil konstruiert.

Theoretisch läßt sich die Chloriddiffusion in ein halbunendliches Bauteil (Halbraum $x > 0$) bei anfänglich im Innern verschwindender Chloridkonzentration beschreiben durch

$$c(x,t) = c_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{4Dt}} \right) \right]; \operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-y^2} dy \quad (5)$$

mit D: Diffusionskoeffizient
 x: Abstand von der Bauteiloberfläche
 t: Zeit
 c_0 : Chloridkonzentration an der Oberfläche
 $c(x,t)$: Chloridkonzentration in der Tiefe x zur Zeit t

wobei die Chloridbindung, die eine verzögernde Wirkung auf das Eindringen der Chloridfront hat, außer acht gelassen wurde.

Durch Vergleich des experimentell ermittelten Chloridprofils mit dem theoretischen Profil nach (5) kann der Chloriddiffusionskoeffizient abgeleitet werden. Die Bestimmung des Chloriddiffusionskoeffizienten ist allerdings aus verschiedenen Gründen problematisch /6/: Der Beton unterliegt während der üblicherweise einige Monate dauernden Versuche zeitlichen Veränderungen u. a. infolge fortschreitender Hydratation. Diese Veränderungen betreffen das Porensystem und damit den Diffusionskoeffizienten. Der zu einer bestimmten Zeit aus dem Chloridprofil ermittelte Diffusionskoeffizient entspricht daher nicht unbedingt den Diffusionseigenschaften des Betons zu diesem Zeitpunkt, sondern ist ein mittlerer Wert, bezogen auf den gesamten Beaufschlagungszeitraum. Weiter läßt sich die Chloridkonzentration in der äußersten Randzone des Probekörpers meßtechnisch nicht genau bestimmen und muß z. B. durch Extrapolation des weiter innen gemessenen Chloridprofils geschätzt werden, was sich auf die Genauigkeit der Bestimmung des Diffusionskoeffizienten auswirkt. Eine prinzipielle Schwäche des Verfahrens liegt darin, daß das gemessene Chloridprofil durch die Chloridbindung beeinflusst ist, während dieser Einfluß in (5) vernachlässigt wurde.

Für eine relative Beurteilung von Mörteln unterschiedlicher Zusammensetzung hinsichtlich des Chlorideindringwiderstandes kann die aufwendige Bestimmung des Diffusionskoeffizienten entfallen. Hierzu genügt die einfache visuelle Bestimmung der Chlorideindringtiefe, die z. B. durch Besprühen einer Bruchfläche des Probekörpers mit Silbernitrat sichtbar gemacht werden kann /22/.

6.1.3.1.2 Diffusionszellenversuch

Bei diesem Versuch trennt eine dünne Scheibe des zu untersuchenden Mörtels zwei Behälter, die Chloridlösungen deutlich unterschiedlicher Konzentration enthalten. Der einsetzende Diffusionsstrom ist einerseits proportional zur Konzentrationszunahme der niedriger konzentrierten Lösung und andererseits nach dem 1. Fick'schen Gesetz proportional zum Konzentrationsgradienten

$$J = \gamma \cdot \frac{dc_b}{dt} = \frac{D}{d} (c_a - c_b) \quad (6)$$

mit J: Diffusionsstromdichte
 c_a, c_b : Konzentration der Lösungen
 γ : Geometriefaktor der Diffusionszelle
 D: Diffusionskoeffizient
 d: Dicke der Mörtelscheibe,

so daß aus der Beobachtung der Konzentrationszunahme auf den Diffusionskoeffizienten geschlossen werden kann.

Der Auswertung liegt die Annahme eindimensionaler Diffusion zugrunde, die aber im Randbereich der Mörtelscheibe verletzt ist, so daß die Ermittlung des Diffusionskoeffizienten fehlerhaft ist /6/. Wegen der geringen Dicke der Mörtelscheibe wird das Versuchsergebnis stark von Oberflächeneffekten, z. B. Auskristallisation schwerlöslicher Salze, beeinflusst /6/. Entscheidender Schwachpunkt ist aber auch hier die Nichtberücksichtigung der zeitlichen Veränderung der Porenstruktur und der Chloridbindung.

6.1.3.1.3 Beschleunigte Diffusionsversuche (Migrationsversuche)

Ein großer Nachteil der Diffusionszellenversuche ist die lange Versuchsdauer. Es wurde daher bereits vor längerer Zeit versucht, den Diffusionsvorgang durch Anlegen eines elektrischen Feldes parallel zur Diffusionsrichtung zu beschleunigen /12/. Dabei wurde jedoch die transportierte Gesamtladung, zu der alle in der Porenlösung enthaltenen Ionen beitragen, gemessen, so daß keine ionenspezifischen Aussagen möglich waren. Eine Verbesserung des Verfahrens, das die Ableitung eines Chloriddiffusionskoeffizienten gestattet, wurde in neuerer Zeit vorgeschlagen /29/. Das Verfahren basiert auf einer analytischen Lösung der eindimensionalen Diffusionsgleichung unter Berücksichtigung der zusätzlich zum Konzentrationsgradienten wirkenden Kraft infolge des elektrischen Feldes. Das so für den Halbraum $x > 0$ und anfänglich im Innern verschwindender Chloridkonzentration berechnete Konzentrationsprofil

$$c(x) = \frac{c_0}{2} \cdot \left[e^{ax} \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x+aDt}{2\sqrt{Dt}}\right) + \operatorname{erfc}\left(\frac{x-aDt}{2\sqrt{Dt}}\right) \right]$$

$$a = z \cdot F \cdot E / R \cdot T \quad ; \quad \operatorname{erfc}(z) = 1 - \operatorname{erf}(z) \quad (7)$$

mit: F: Faraday-Konstante
 E: elektrische Feldstärke
 R: universelle Gaskonstante
 T: absolute Temperatur
 z: Ionenwertigkeit

weist im Vergleich zu den asymptotisch auslaufenden Profilen (5) eine wesentlich besser definierte, nahezu scharfe Eindringtiefe auf. Der Chloriddiffusionskoeffizient kann daher durch Vergleich der an Bruchflächen durch Aufsprühen von Silbernitratlösung sichtbar gemachten und der theoretischen Eindringtiefe nach (7) berechnet werden /29/. Die Versuchsdauer liegt zwischen rd. 24 h und 7 d. Ein anderes Verfahren nutzt eine theoretische Beziehung zwischen dem Diffusionskoeffizienten und der experimentell bestimmten stationären Migrationsstromdichte der Chloridionen /31/.

Die Zuverlässigkeit der aus den Migrationsversuchen abgeleiteten Diffusionskoeffizienten wird derzeit noch kontrovers diskutiert. Nach Meinung verschiedener Autoren liegen den Verfahren zu stark vereinfachende Annahmen zugrunde. Insbesondere die Beeinflussung der Ionen untereinander und die komplizierten elektrochemischen Vorgänge an den Elektroden (Metallauflösung und Gasbildung) müssten berücksichtigt werden /14, 1/.

6.2 Auswertung der Literatursichtung hinsichtlich der Auswahl eines Prüfverfahrens

In Abschnitt 6.1.2 wurden die unterschiedlichen Prozesse des Chlorideintrags kurz angesprochen. Nach Meinung verschiedener Autoren kommt unter den genannten Prozessen der Diffusion die größte Bedeutung zu.

Technisch bedeutsam ist im Zusammenhang mit der Chloriddiffusion die Frage, nach welcher Zeit (kritische Zeit) sich in Tiefen üblicher Betondeckungen eine schädliche, d. h. korrosionsauslösende, Chloridkonzentration aufgebaut hat. Hierzu wurden auf der Basis von (5) Nomogramme entwickelt /3/ und für die praktische Abschätzung der Lebensdauer von chloridbeanspruchten Stahlbetonbauteilen vorgeschlagen.

Analytisch folgt für die kritische Zeit aus (5).

$$t_{\text{krit}} = \frac{d^2}{4D \cdot \left[\operatorname{erf}^{-1}\left(1 - c_{\text{krit}}/c_0\right) \right]^2} \quad (8)$$

mit d: Betondeckung
 c_{krit} : kritischer Chloridgehalt

Die kritische Zeit hängt bei gegebenen äußeren Randbedingungen (Betondeckung und Oberflächenbeaufschlagung) vom Diffusionskoeffizienten und vom kritischen Chloridgehalt, d. h. vom Chloridbindevermögen bzw. der Pufferkapazität, ab. Der kritische Chloridgehalt geht in (8) jedoch nur über die Umkehrung der Fehlerfunktion ein, er beeinflusst das Ergebnis in wesentlich geringerem Maße als der Diffusionskoeffizient¹⁾.

Selbst für den langsamen Chlorideintrag durch Diffusion kommt also dem Transportvorgang eine größere Bedeutung zu als der Chloridbindung. Dies gilt erst recht für den wesentlich schnelleren Chlorideintrag durch kapillares Saugen, der die unter üblichen Umgebungsbedingungen nicht ständig wassergesättigte, äußere Randzone des Betons betrifft.

Für vergleichende Untersuchungen an Mörteln und Betonen ist daher der Unterschied im Transportkoeffizienten (kapillares Saugen und Diffusion) hinsichtlich der Beurteilung der Korrosionsgefahr durch eindringende Chloridionen aussagekräftiger als der Unterschied im Chloridbindevermögen. Es wird daher vorgeschlagen, den Prüfgesichtspunkt der Rili SIB „Pufferkapazität gegen eindringende Chloridionen“ fallenzulassen, und statt dessen ein Prüfverfahren zur Bestimmung des Chlorideindringwiderstandes festzuschreiben.

Der einfachste denkbare Versuch in diesem Zusammenhang ist der Eintauchversuch (Abschn. 6.1.3.1.1, ohne Ermittlung des Transportkoeffizienten), der im folgenden in Anlehnung an /22/ erprobt wird. Dieser Versuch erlaubt die Charakterisierung der Mörtel anhand der Chlorideindringtiefen und umgeht die Probleme der Ableitung von Transportkoeffizienten aus gemessenen Chloridprofilen, die noch Gegenstand der aktuellen Forschung sind.

6.3 Herstellung und Lagerung der Probekörper

6.3.1 Vergleichsbeton

Da der Instandsetzungsmörtel stets im Verbund mit Altbeton eingesetzt wird und darüber hinaus meist nur auf einem Teilbereich der Bauteiloberfläche, ist es nicht gerechtfertigt, an den Instandsetzungsmörtel hinsichtlich des Chloriddiffusionswiderstandes höhere Anforderungen zu stellen als an den Altbeton. Im Sinne der Rili SIB darf der Chloriddiffusionswiderstand des Instandsetzungsmörtels lediglich nicht schlechter sein als derjenige eines „guten“ Altbetons (Vergleichsbeton).

1) Für $0,002 < c_{\text{krit}}/c_0 < 0,2$ gilt etwa $2,2 > \operatorname{erf}^{-1}(1 - c_{\text{krit}}/c_0) > 0,9$ (die Umkehrung der Fehlerfunktion kann z. B. mit Hilfe der in Microsoft Excel implementierten Funktion GAUSSFEHLER bewerkstelligt werden).

Der Vergleichsbeton wird in Anlehnung an E DIN EN 1766 /10/ mit Blick auf die Auswertbarkeit der Messungen der Chlorideindringtiefe als Feinbeton MC (0,45) mit einem Größtkorn von 8 mm zusammengesetzt. Es wurde der Zement Nr. 6 (CEM I 42,5 R) der Teutonia Zementwerk AG, Hannover, aus der Liste der Prüfzemente für Betonzusatzmittel des DIBt ausgewählt. Das Mischungsverhältnis lautet: Zement : Zuschlag : Wasser = 1 : 4,3 : 0,45 mit einem Zementgehalt von 410 kg/m³. Der Zuschlag war nach der Sieblinie AB 8 zusammengesetzt.

Der Beton wurde mit einem Tellermischer (Fa. Dora) mit einem Mischgefäß-Volumen von 150 l gemischt und sofort nach Beenden des Mischvorgangs verarbeitet. Die Mischung wurde durch Zugabe von Betonverflüssiger auf das Ausbreitmaß eingestellt. Zur Bestimmung der Betondruckfestigkeit wurden 3 Würfel mit einer Kantenlänge von 15 cm hergestellt. Die Prüfung wurde nach einem Tag Feuchtlagerung und 27 d Lagerung unter Wasser im Alter von 28 d durchgeführt. Die Kennwerte des Vergleichsbetons sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

Tabelle 7: Kennwerte des Vergleichsbetons
Table 7: Characteristics of the reference concrete

Statistischer Kennwert	Rohdichte	Druckfestigkeit
-	kg/m ³	MPa
1	2	3
kEW	-	44,0
MW	2226	44,6
s	10,4	0,68
geforderter kEW ¹⁾	-	46
geforderter MW ¹⁾	-	54

kEW: kleinster Einzelwert
 MW: Mittelwert
 s: Standardabweichung
 1) Kriterien nach E DIN EN 206

Wie aus Tabelle 7 zu ersehen ist, verfehlt der Beton die Anforderungen der E DIN EN 206 /11/ zur Einordnung in die Festigkeitsklasse C 40/50 (MW ≥ 54 MPa und kEW ≥ 46 MPa), die nach E DIN EN 1766 zu erwarten wäre. Dieser Umstand ist aber für die hier durchzuführenden Versuche ohne Belang.

Zur Prüfung des Chlorideindringwiderstandes wurden 12 Würfel mit einer Kantenlänge von 10 cm hergestellt, bis zum Entschalen im Alter von einem Tag feucht und danach im Normalklima DIN 50 014 - 23/50-2 gelagert (Lagerung B der TP BE-PCC /8/).

6.3.2 Instandsetzungsmörtel

Die Mischungsherstellung erfolgte nach Abschnitt 3.1. Für jeden Instandsetzungsmörtel wurden 12 Würfel mit einer Kantenlänge von 10 cm hergestellt, bis zum Entschalen im Alter von einem Tag feucht und danach im Normalklima DIN 50 014 - 23/50-2 gelagert (Lagerung B der TP BE-PCC /8/). Diese Lagerung wurde gewählt, da die äußere Betonrandzone unter Praxisbedingungen meist einer Austrocknung unterliegt und nicht ständig wassergesättigt ist.

6.4 Durchführung der Versuche

Die Würfel wurden im Alter von rd. 21 d an vier Seiten mit einem gefüllten Epoxidharz beschichtet, so daß die Einfüllseite und die gegenüberliegende geschaltete Fläche unbeschichtet verblieben. Die Würfel wurden im Alter von 28 d auf einer der beschichteten Flächen stehend in eine 10%ige NaCl-Lösung (Chloridgehalt 60,7 g/l) und in künstliches Meerwasser nach DIN 50 905 Teil 4 (Chloridgehalt 18,5 g/l) mit rd. 10 mm Flüssigkeitsüberdeckung eingelagert. Nach Einlagerungszeiträumen von 28, 56 und 90 d wurden je Mörteltyp 2 Würfel senkrecht zu den nicht versiegelten Flächen in der Mitte zweier gegenüberliegender versiegelter Flächen einmal gespalten. Die Bruchflächen wurden mit Fluorescein (0,1 g/100 ml 70%igem Ethanol) besprüht, wodurch sie sich grünlich verfärbten. Nachdem die Bruchflächen leicht angetrocknet waren, wurde Silbernitratlösung (0,1 n AgNO₃) aufgesprüht. Die Lösungen reagieren unter UV-Licht mit Chlorid. Der chloridbeaufschlagte Bereich ist als rosa-violett gefärbte Fläche zu erkennen. Die Farbumschlagfront wurde an 5 Stellen entsprechend Bild 17 vermessen.

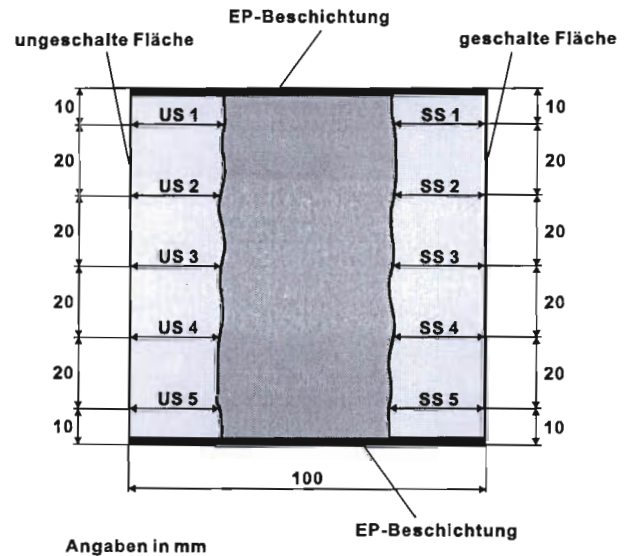


Bild 17: Vermessung der Chlorideindringtiefe von der ungeschalteten (US1-US5) und von der geschalteten Fläche (SS1-SS5)
Fig. 17: Measurement of chloride ion penetration depth

6.5 Versuchsergebnisse

Die Einzelwerte der Chlorideindringtiefen sind in den Tabellen 8 bis 15 zusammen mit den Masseänderungen der Würfel zusammengestellt.

Die zeitliche Entwicklung der Chlorideindringtiefe ist in den Bildern 18 bis 21 für die beiden Prüflösungen getrennt nach den beaufschlagten Flächen dargestellt. Aufgetragen sind die Mittelwerte der 20 Einzelwerte (5 Meßstellen, s. Bild 17, an 2 Bruchflächen und 2 Würfeln) mit der Standardabweichung als Maß für die Streuung der Meßwerte.

Die größte Trennschärfe zeigt sich bei der Einlagerung in die 10%ige NaCl-Lösung und Beaufschlagung der ungeschalteten Fläche, Bild 18. Hierbei sind die Chlorideindringtiefen des Ver-

gleichsbetons mehr als doppelt so groß wie bei den Instandsetzungsmörteln. Die polymermodifizierten Mörtel weisen im Mittel kleinere Eindringtiefen als der unmodifizierte Mörtel auf, wobei der Unterschied zum SAy-modifizierten Mörtel nicht signifikant ist (als vereinfachtes Kriterium für die unzureichende Signifikanz wurde hier das Überlappen der Streubereiche herangezogen). Bezüglich der geschalteten Würfelfläche, siehe Bild 19, sind die Chlorideindringtiefen tendenziell geringer als bzgl. der ungeschalteten Würfelfläche, s. Bild 12. Sehr ausgeprägt sind die Unterschiede beim Vergleichsbeton. Er zeigt auch bzgl. der geschalteten Oberfläche im Mittel die größten Eindringtiefen, jedoch sind die Unterschiede zu den Mörteln deutlich geringer und nicht immer signifikant.

Vergleicht man die Ergebnisse nach Einlagerung in künstliches Meerwasser, Bilder 20 und 21, mit den entsprechenden Ergebnissen nach Einlagerung in 10%ige NaCl-Lösung, so fällt bei der Beaufschlagung der ungeschalteten Flächen auf, daß die Mörtel ähnliche Chlorideindringtiefen aufweisen, während die Chlorideindringtiefen des Vergleichsbetons deutlich reduziert sind und sich mit zunehmender Einlagerungszeit von denen der Instandsetzungsmörtel unterscheiden. Dies trifft im wesentlichen auch auf die an geschalteten Flächen gemessenen Chlorideindringtiefen zu.

Die nach 28 d Einlagerungsdauer gemessenen Chlorideindringtiefen sind überwiegend auf den Vorgang des kapillaren Saugens zurückzuführen. Die Unterschiede in der Massenänderung der Prüfwürfel nach 56 und 90 d Einlagerungsdauer sind im Vergleich zu 28 d Einlagerungsdauer gering, so daß davon auszugehen ist, daß das kapillare Saugen spätestens nach 28 d Einlagerungsdauer abgeschlossen ist. Bei längeren Einlagerungszeiträumen ist demnach davon auszugehen, daß der Diffusionsvorgang den Chlorideindringungsprozeß steuert.

Die mittleren Chlorideindringtiefen zeigen fast durchgängig eine schwach steigende Tendenz mit zunehmender Einlagerungsdauer. Die zeitliche Zunahme der Chlorideindringtiefe ist aber nicht immer signifikant. Das Prüfverfahren ist also vermutlich erst bei Einlagerungszeiträumen deutlich oberhalb von 90 d hinreichend sensibel, um die langsame Zunahme der Chlorideindringtiefe infolge der Diffusion eindeutig nachweisen zu können. Zwar könnten mit einer genaueren Bestimmung des Chloridprofils, wie in Abschnitt 6.1.3.1.1 kurz angesprochen, sicherlich Verbesserungen gegenüber dem einfachen Indikatorverfahren erzielt werden. Jedoch ist diese Vorgehensweise für einen Eignungsversuch zu aufwendig.

Tabelle 8: Chlorideindringtiefen des unmodifizierten Mörtels (Lagerung in 10%iger NaCl-Lösung)
Table 8: Chloride ion penetration depth of the unmodified mortar (storage in 10%-NaCl-solution)

Einlage- rungs- dauer	Probenmassen				Stich- maß	Eindringtiefen							
	Würfel Nr.	m ₀	m _p	D _m		ungeschaltete Fläche				geschaltete Fläche			
						Würfel							
						1		2		1		2	
						Hälfte							
1	2	1	2	1	2	1	2						
d	-	g		M.-%	-	mm							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
28	1	2315,9	2337,1	0,9	1	8,4	9,0	9,2	10,2	12,4	14,0	8,7	14,1
	2	2289,9	2311,1	0,9	2	7,4	7,5	9,0	9,4	12,7	12,8	10,4	14,8
	-	-	-	-	3	7,4	10,2	9,3	10,2	7,0	9,0	8,9	12,6
	-	-	-	-	4	8,3	10,3	9,0	10,8	9,2	7,8	9,0	10,6
	-	-	-	-	5	8,6	9,6	10,6	10,1	10,8	9,0	12,8	14,2
	Mittelwert				0,9	-	9,2				11,0		
Standardabweichung				-	-	1,05				2,39			
56	1	2282,2	2296,6	0,6	1	7,8	9,1	9,2	7,9	9,3	9,2	7,2	8,6
	2	2316,2	2332,3	0,7	2	7,3	9,9	9,2	8,2	7,7	9,0	7,8	8,1
	-	-	-	-	3	7,9	9,4	8,6	7,0	8,8	8,6	8,0	7,3
	-	-	-	-	4	7,3	8,9	9,2	7,7	8,9	7,0	9,7	9,0
	-	-	-	-	5	7,9	9,7	8,3	7,6	9,7	7,8	9,4	9,8
	Mittelwert				0,7	-	8,4				8,5		
Standardabweichung				-	-	0,87				0,88			
90	1	2291,0	2308,4	0,8	1	11,1	9,8	10,5	10,0	8,1	7,1	12,1	18,0
	2	2286,8	2307,0	0,9	2	10,5	9,4	10,4	12,6	10,2	10,7	11,2	12,8
	-	-	-	-	3	10,3	9,6	11,1	11,3	11,2	10,4	11,3	12,6
	-	-	-	-	4	9,8	10,4	10,2	11,2	11,8	10,3	9,5	12,0
	-	-	-	-	5	11,9	11,7	11,2	12,4	11,8	10,0	8,8	11,4
	Mittelwert				0,8	-	10,8				11,1		
Standardabweichung				-	-	0,91				2,20			

m₀: Probenmasse vor dem Einlagern m_p: Probenmasse zum Prüfzeitpunkt Δ_m: Masseänderung in %

Tabelle 9: Chlorideindringtiefen des unmodifizierten Mörtels (Lagerung in künstlichem Meerwasser)
Table 9: Chloride ion penetration depth of the unmodified mortar (storage in artificial seawater)

Einlage- rungs- dauer	Probenmassen				Stich- maß	Eindringtiefen							
	Würfel Nr.	m ₀	m _p	D _m		ungeschaltete Fläche				geschaltete Fläche			
						Würfel							
						1		2		1		2	
						Hälfte							
1	2	1	2	1	2	1	2						
d	-	g		M.-%	-	mm							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
28	1	2281,4	2304,4	1,0	1	6,7	6,6	4,8	6,6	6,8	8,6	6,4	10,5
	2	2320,0	2341,9	0,9	2	6,3	6,9	6,4	6,9	6,5	8,7	6,6	7,0
	-	-	-	-	3	4,2	6,3	8,4	5,4	8,7	9,0	7,7	9,6
	-	-	-	-	4	4,1	6,7	6,8	6,2	9,2	8,5	6,7	6,6
	-	-	-	-	5	5,7	6,2	6,4	6,8	7,7	8,0	9,0	7,6
	Mittelwert				1,0	-	6,2				8,0		
Standardabweichung				-	-	0,99				1,19			
56	1	2285,8	2312,8	1,2	1	7,1	5,8	7,4	8,1	9,7	9,3	7,9	9,3
	2	2359,4	2380,0	0,9	2	6,8	7,4	8,1	8,0	11,1	9,0	8,6	8,0
	-	-	-	-	3	6,6	7,6	7,9	8,1	9,1	10,1	9,4	8,2
	-	-	-	-	4	5,9	6,3	8,1	9,0	10,0	10,8	7,8	8,2
	-	-	-	-	5	6,2	5,4	8,5	9,5	8,4	8,8	8,9	8,0
	Mittelwert				1,0	-	7,4				9,0		
Standardabweichung				-	-	1,11				0,95			
90	1	2277,5	2306,4	1,3	1	9,7	8,4	11,7	11,3	9,9	10,9	9,9	8,4
	2	2285,1	2310,3	1,1	2	9,5	8,1	10,9	9,8	10,0	9,1	10,3	10,6
	-	-	-	-	3	9,1	9,6	10,1	9,6	9,3	8,8	10,7	10,7
	-	-	-	-	4	9,5	9,4	10,4	9,6	11,2	9,6	10,2	9,7
	-	-	-	-	5	9,6	10,3	10,3	8,5	11,3	10,9	10,3	10,4
	Mittelwert				1,2	-	9,8				10,1		
Standardabweichung				-	-	0,90				0,79			

m₀: Probenmasse vor dem Einlagern m_p: Probenmasse zum Prüfzeitpunkt Δ_m: Masseänderung in %

Tabelle 10: Chlorideindringtiefen des SAy-modifizierten Mörtels (Lagerung in 10%iger NaCl-Lösung)
Table 10: Chloride ion penetration depth of the SAy-modified mortar (storage in 10%-NaCl-solution)

Einlage- rungs- dauer	Probenmassen				Eindringtiefen								
	Würfel Nr.	m ₀	m _p	D _m	Stich- maß	ungeschalte Fläche				geschalte Fläche			
						Würfel							
						1		2		1		2	
						Hälfte							
1	2	1	2	1	2	1	2						
d	-	g		M.-%	-	mm							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
28	1	2290,8	2306,0	0,7	1	9,5	9,1	6,4	6,6	5,7	6,3	6,5	6,6
	2	2288,7	2307,2	0,8	2	8,6	7,9	7,8	7,0	5,9	5,4	5,6	5,7
	-	-	-	-	3	8,8	8,5	6,7	6,8	6,0	5,7	6,0	5,6
	-	-	-	-	4	8,1	7,5	7,8	7,9	5,2	6,3	6,6	4,7
	-	-	-	-	5	7,8	7,2	7,8	7,6	5,9	6,1	5,7	6,7
	Mittelwert				0,7	-	7,8				5,9		
Standardabweichung				-	-	0,84				0,51			
56	1	2280,7	2298,4	0,8	1	6,8	7,3	7,4	6,9	6,5	7,2	5,2	5,9
	2	2326,1	2342,8	0,7	2	6,8	7,6	7,2	6,9	7,4	6,0	4,9	5,3
	-	-	-	-	3	7,7	7,7	6,2	5,9	6,3	7,0	5,8	4,3
	-	-	-	-	4	6,7	7,7	6,6	7,2	5,6	5,4	4,7	4,2
	-	-	-	-	5	7,4	6,9	6,8	7,8	5,4	7,2	4,2	5,0
	Mittelwert				0,7	-	7,1				5,7		
Standardabweichung				-	-	0,52				1,01			
90	1	2286,8	2304,9	0,8	1	9,1	9,6	8,4	8,8	11,1	9,4	7,4	8,8
	2	2300,5	2319,2	0,8	2	9,4	8,5	8,4	8,3	8,8	8,6	8,0	7,6
	-	-	-	-	3	9,6	9,6	8,7	9,1	9,5	8,9	9,5	7,9
	-	-	-	-	4	9,5	8,6	9,2	8,9	9,8	8,1	9,0	6,2
	-	-	-	-	5	12,0	10,0	10,7	9,5	9,3	8,7	9,4	8,1
	Mittelwert				0,8	-	9,3				8,7		
Standardabweichung				-	-	0,88				1,05			

m₀ : Probenmasse vor dem Einlagern m_p : Probenmasse zum Prüfzeitpunkt Δ_m : Masseänderung in %

Tabelle 11: Chlorideindringtiefen des SAy-modifizierten Mörtels (Lagerung in künstlichem Meerwasser)
Table 11: Chloride ion penetration depth of the SAy-modified mortar (storage in artificial seawater)

Einlage- rungs- dauer	Probenmassen				Eindringtiefen								
	Würfel Nr.	m ₀	m _p	D _m	Stich- maß	ungeschalte Fläche				geschalte Fläche			
						Würfel							
						1		2		1		2	
						Hälfte							
1	2	1	2	1	2	1	2						
d	-	g		M.-%	-	mm							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
28	1	2297,6	2318,0	0,9	1	7,7	7,3	9,1	8,2	8,9	8,8	10,1	7,3
	2	2319,2	2341,1	0,9	2	7,3	7,0	8,9	7,6	7,6	6,3	9,8	7,9
	-	-	-	-	3	6,6	7,9	9,9	7,7	8,3	7,6	7,6	7,3
	-	-	-	-	4	6,4	6,3	7,6	6,9	7,7	7,7	9,3	7,7
	-	-	-	-	5	7,2	6,2	9,4	8,3	8,0	8,6	9,7	7,2
	Mittelwert				0,9	-	7,7				8,2		
Standardabweichung				-	-	1,04				1,00			
56	1	2314,8	2337,9	1,0	1	9,9	9,9	12,6	10,2	8,3	8,3	9,5	10,0
	2	2299,7	2322,7	1,0	2	9,1	10,0	10,2	9,0	8,9	7,0	9,0	10,3
	-	-	-	-	3	9,0	10,4	7,8	7,1	9,0	9,6	9,3	9,9
	-	-	-	-	4	9,9	10,1	9,3	7,5	9,3	11,3	9,5	9,9
	-	-	-	-	5	11,7	8,8	8,0	7,2	9,6	9,3	9,3	8,4
	Mittelwert				1,0	-	9,4				9,3		
Standardabweichung				-	-	1,42				0,89			
90	1	2302,8	2331,9	1,3	1	15,7	16,5	13,7	13,5	10,7	10,4	10,1	12,0
	2	2315,2	2342,8	1,2	2	15,4	13,8	12,4	12,1	9,5	10,0	10,1	11,0
	-	-	-	-	3	13,1	13,5	12,1	12,0	9,0	10,8	10,9	10,1
	-	-	-	-	4	14,0	14,6	12,3	11,9	9,6	9,3	9,8	10,4
	-	-	-	-	5	14,5	13,9	14,0	15,2	9,4	9,8	10,9	11,7
	Mittelwert				1,2	-	13,7				10,3		
Standardabweichung				-	-	1,34				0,79			

m₀ : Probenmasse vor dem Einlagern m_p : Probenmasse zum Prüfzeitpunkt Δ_m : Masseänderung in %

Tabelle 12: Chlorideindringtiefen des VAE-modifizierten Mörtels (Lagerung in 10%iger NaCl-Lösung)
Table 12: Chloride ion penetration depth of the VAE-modified mortar (storage in 10%-NaCl-solution)

Einlage- rungs- dauer	Probenmassen				Stich- maß	Eindringtiefen							
	Würfel Nr.	m ₀	m _p	D _m		ungeschaltete Fläche				geschaltete Fläche			
						Würfel							
						1		2		1		2	
						Hälfte							
1	2	1	2	1	2	1	2						
d	-	g		M.-%	-	mm							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
28	1	2093,7	2105,0	0,5	1	4,6	5,1	4,5	5,4	4,5	4,9	5,0	4,5
	2	2066,0	2077,2	0,5	2	4,8	4,7	5,1	5,3	4,7	6,0	5,4	4,1
	-	-	-	-	3	5,0	4,5	5,2	5,5	4,2	4,9	5,2	4,6
	-	-	-	-	4	3,9	3,3	5,4	5,6	5,2	5,5	5,8	5,4
	-	-	-	-	5	4,9	3,9	4,5	5,5	4,0	3,7	6,4	6,4
	Mittelwert				0,5	-	4,8				5,0		
Standardabweichung				-	-	0,61				0,76			
56	1	2110,8	2123,1	0,6	1	5,8	4,3	5,8	5,5	4,2	5,3	4,0	4,7
	2	2133,3	2145,0	0,5	2	6,5	5,8	5,5	5,7	4,6	6,1	5,4	5,7
	-	-	-	-	3	5,1	5,4	4,0	4,8	5,8	7,0	6,8	6,9
	-	-	-	-	4	4,8	4,8	5,0	4,4	6,2	5,7	8,3	6,2
	-	-	-	-	5	5,0	4,8	4,2	5,1	4,8	6,3	5,4	5,4
	Mittelwert				0,6	-	5,1				5,7		
Standardabweichung				-	-	0,64				1,04			
90	1	2139,0	2152,6	0,6	1	5,7	6,5	5,5	4,5	7,0	7,6	7,4	7,2
	2	2149,1	2161,4	0,6	2	5,6	5,9	5,8	6,0	7,2	7,7	17,1	7,3
	-	-	-	-	3	6,6	7,0	6,0	5,3	7,6	7,5	20,8	22,9
	-	-	-	-	4	7,3	6,9	6,7	5,1	7,4	7,2	13,4	12,3
	-	-	-	-	5	6,5	5,7	7,3	5,0	7,6	8,2	8,0	7,7
	Mittelwert				0,6	-	6,0				10,0		
Standardabweichung				-	-	0,78				4,84			

m₀: Probenmasse vor dem Einlagern m_p: Probenmasse zum Prüfzeitpunkt Δ_m: Masseänderung in %

Tabelle 13: Chlorideindringtiefen des VAE-modifizierten Mörtels (Lagerung in künstlichem Meerwasser)
Table 13: Chloride ion penetration depth of the VAE-modified mortar (storage in artificial seawater)

Einlage- rungs- dauer	Probenmassen				Stich- maß	Eindringtiefen							
	Würfel Nr.	m ₀	m _p	D _m		ungeschaltete Fläche				geschaltete Fläche			
						Würfel							
						1		2		1		2	
						Hälfte							
1	2	1	2	1	2	1	2						
d	-	g		M.-%	-	mm							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
28	1	2113,5	2132,9	0,9	1	8,7	9,0	7,8	7,0	6,7	6,9	6,3	6,9
	2	2133,8	2153,2	0,9	2	8,4	7,7	7,6	7,6	6,6	6,6	7,1	6,4
	-	-	-	-	3	8,6	7,9	8,4	8,1	6,2	5,8	6,6	6,5
	-	-	-	-	4	8,1	7,4	8,4	7,4	6,3	6,8	6,7	7,0
	-	-	-	-	5	6,7	6,8	6,8	7,5	6,3	5,9	6,8	6,6
	Mittelwert				0,9	-	7,8				6,6		
Standardabweichung				-	-	0,67				0,34			
56	1	2121,0	2143,0	1,0	1	7,4	6,9	8,0	6,9	7,1	7,2	9,9	8,0
	2	2120,1	2142,8	1,1	2	9,0	8,2	8,0	7,9	7,1	7,5	9,2	8,0
	-	-	-	-	3	9,0	8,4	8,4	8,5	7,0	7,6	10,2	9,1
	-	-	-	-	4	8,3	8,5	10,2	7,8	7,0	6,9	8,2	7,5
	-	-	-	-	5	8,6	7,6	6,8	6,8	7,8	7,1	9,8	8,0
	Mittelwert				1,1	-	8,1				8,0		
Standardabweichung				-	-	0,86				1,06			
90	1	2099,0	2125,4	1,3	1	9,4	8,6	10,0	10,5	9,7	12,7	10,5	9,6
	2	2100,9	2127,6	1,3	2	9,1	9,5	10,1	9,9	9,2	9,9	10,6	9,9
	-	-	-	-	3	8,9	10,0	10,0	9,8	9,0	12,4	10,9	10,3
	-	-	-	-	4	9,2	10,5	10,1	10,5	10,2	11,0	10,5	9,9
	-	-	-	-	5	9,3	9,3	8,9	7,7	9,7	10,4	10,9	10,4
	Mittelwert				1,3	-	9,6				10,4		
Standardabweichung				-	-	0,72				0,92			

m₀: Probenmasse vor dem Einlagern m_p: Probenmasse zum Prüfzeitpunkt Δ_m: Masseänderung in %

Tabelle 14: Chlorideindringtiefen des Vergleichsbetons (Lagerung in 10%iger NaCl-Lösung)
Table 14: Chloride ion penetration depth of the reference concrete (storage in 10%-NaCl-solution)

Einlage- rungs- dauer	Probenmassen				Stich- maß	Eindringtiefen							
	Würfel Nr.	m ₀	m _p	D _m		ungeschälte Fläche				geschälte Fläche			
						Würfel							
						1		2		1		2	
						Hälfte							
1	2	1	2	1	2	1	2						
d	g			M.-%	mm								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
28	1	2266,4	2297,7	1,4	1	21,1	20,2	20,8	18,1	14,9	15,5	12,6	14,4
	2	2270,2	2300,3	1,3	2	21,9	19,6	19,9	20,7	11,1	13,0	10,8	12,3
	-	-	-	-	3	21,6	22,8	20,8	18,9	9,7	9,3	11,1	12,6
	-	-	-	-	4	20,1	19,3	21,1	22,1	12,2	11,2	10,9	9,9
	-	-	-	-	5	18,5	16,9	24,6	21,3	13,4	13,2	10,6	13,7
	Mittelwert				1,4	-	20,5				12,1		
Standardabweichung				-	-	1,74				1,75			
56	1	2311,8	2344,3	1,4	1	24,3	23,2	22,8	21,0	12,7	12,2	16,6	13,2
	2	2274,0	2304,2	1,3	2	27,8	20,4	19,5	18,0	11,5	11,3	13,8	11,0
	-	-	-	-	3	20,3	19,7	17,8	18,6	9,6	9,9	16,2	12,1
	-	-	-	-	4	22,5	19,3	20,1	22,0	9,2	12,5	16,5	16,6
	-	-	-	-	5	24,4	26,6	18,0	19,8	10,7	14,1	12,0	13,5
	Mittelwert				1,4	-	21,3				12,8		
Standardabweichung				-	-	2,84				2,32			
90	1	2313,6	2347,8	1,5	1	23,8	24,6	25,4	28,8	16,9	16,3	8,8	11,7
	2	2306,6	2338,0	1,4	2	21,9	21,6	25,1	23,1	20,4	18,3	12,5	12,2
	-	-	-	-	3	22,4	18,9	20,9	20,6	14,2	13,0	15,7	17,5
	-	-	-	-	4	21,8	21,1	19,7	19,6	12,7	11,8	16,8	15,0
	-	-	-	-	5	18,8	19,1	22,6	29,3	14,3	13,9	20,5	21,1
	Mittelwert				1,4	-	22,5				15,2		
Standardabweichung				-	-	3,01				3,30			

m₀: Probenmasse vor dem Einlagern m_p: Probenmasse zum Prüfzeitpunkt Δ_m: Masseänderung in %

Tabelle 15: Chlorideindringtiefen des Vergleichsbetons (Lagerung in künstlichem Meerwasser)
Table 15: Chloride ion penetration depth of the reference concrete (storage in artificial seawater)

Einlage- rungs- dauer	Probenmassen				Stich- maß	Eindringtiefen							
	Würfel Nr.	m ₀	m _p	D _m		ungeschälte Fläche				geschälte Fläche			
						Würfel							
						1		2		1		2	
						Hälfte							
1	2	1	2	1	2	1	2						
d	g			M.-%	mm								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
28	1	2279,8	2309,9	1,3	1	15,0	13,8	9,5	11,6	6,7	8,7	7,7	9,1
	2	2283,3	2316,1	1,4	2	10,6	10,3	9,7	13,0	7,1	9,3	7,9	7,1
	-	-	-	-	3	9,8	9,8	10,6	13,0	5,8	11,6	10,4	9,4
	-	-	-	-	4	14,3	11,3	11,5	12,6	7,4	9,1	6,9	10,2
	-	-	-	-	5	9,6	11,3	9,8	12,0	7,3	10,1	7,4	8,1
	Mittelwert				1,4	-	11,5				8,4		
Standardabweichung				-	-	1,69				1,50			
56	1	2258,0	2297,5	1,7	1	17,0	22,5	10,7	10,0	9,5	9,2	9,9	10,6
	2	2281,4	2314,5	1,5	2	15,0	13,7	11,3	9,8	9,4	9,4	8,8	11,3
	-	-	-	-	3	14,3	13,8	10,3	11,0	9,9	11,0	11,8	9,9
	-	-	-	-	4	14,1	11,9	10,3	10,4	8,8	10,4	11,4	10,2
	-	-	-	-	5	14,4	13,9	10,5	12,1	9,0	10,5	10,2	12,5
	Mittelwert				1,6	-	12,9				10,2		
Standardabweichung				-	-	3,06				1,02			
90	1	2306,9	2335,1	1,2	1	12,2	15,6	14,4	12,7	12,5	10,4	11,1	12,1
	2	2309,1	2342,6	1,5	2	11,6	11,1	10,1	9,9	12,9	14,5	10,9	11,6
	-	-	-	-	3	12,5	13,9	12,5	11,2	10,7	9,8	14,1	7,8
	-	-	-	-	4	12,7	13,8	11,2	10,8	12,7	10,8	11,4	10,4
	-	-	-	-	5	14,6	10,8	11,8	11,1	11,9	11,4	12,0	11,3
	Mittelwert				1,3	-	12,2				11,5		
Standardabweichung				-	-	1,57				1,48			

m₀: Probenmasse vor dem Einlagern m_p: Probenmasse zum Prüfzeitpunkt Δ_m: Masseänderung in %

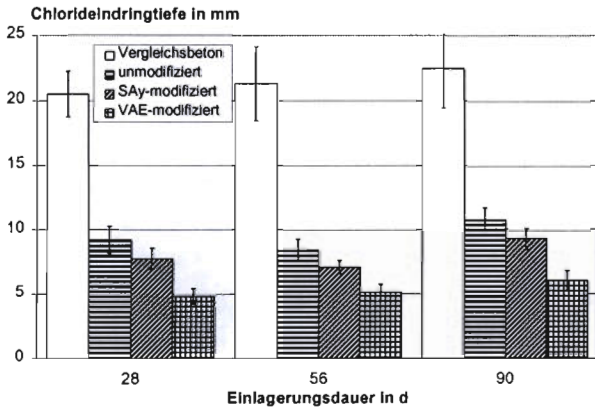


Bild 18: Chlorideindringtiefe in 10%iger NaCl-Lösung gemessen von der ungeschalteten Oberfläche
Fig. 18: Chloride ion penetration depth with 10 % NaCl-solution as measured from the unmoulded surface

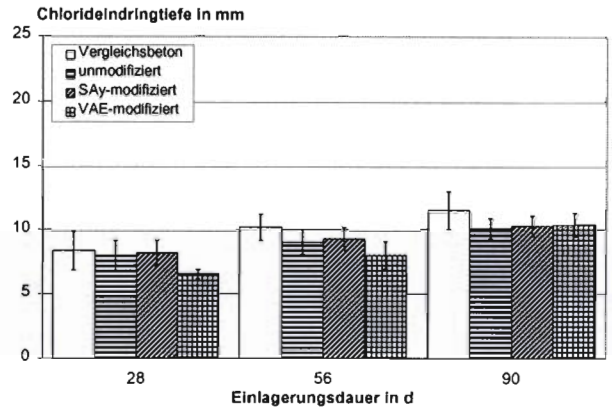


Bild 21: Chlorideindringtiefe in künstlichem Meerwasser gemessen von der geschalteten Oberfläche
Fig. 21: Chloride ion penetration depth with artificial seawater as measured from the moulded surface

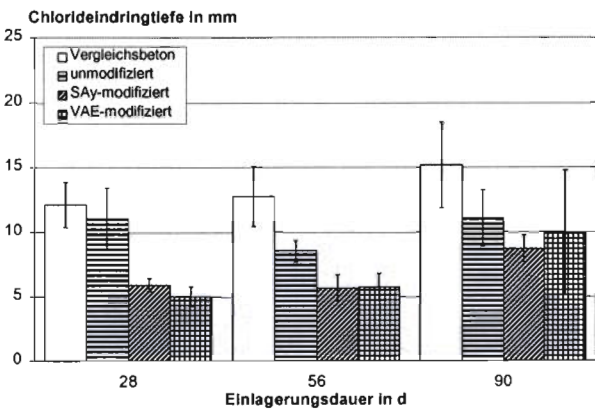


Bild 19: Chlorideindringtiefe in 10%iger NaCl-Lösung gemessen von der geschalteten Oberfläche
Fig. 19: Chloride ion penetration depth with 10 % NaCl-solution as measured from the moulded surface

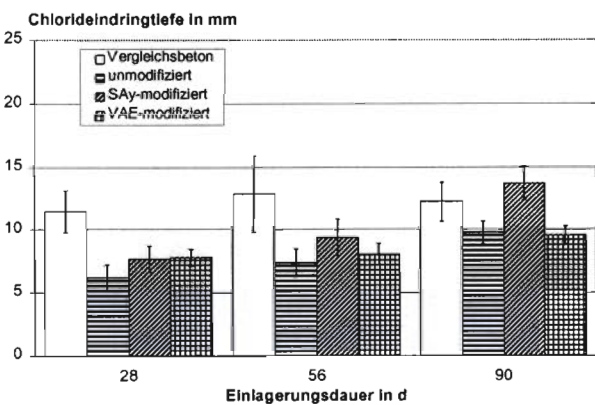


Bild 20: Chlorideindringtiefe in künstlichem Meerwasser gemessen von der ungeschalteten Oberfläche
Fig. 20: Chloride ion penetration depth with artificial seawater as measured from the unmoulded surface

6.6 Empfehlung für das Prüfverfahren

Die Versuchsergebnisse haben gezeigt, daß das Verfahren für die Charakterisierung des Chlorideindringwiderstandes von Instandsetzungsmörteln geeignet ist. Wegen der besseren Trennschärfe sollte als Prüflösung die 10%ige NaCl-Lösung benutzt werden und als Beaufschlagungsfläche sollte wegen der größeren Realitätsnähe die ungeschaltete Fläche des Probekörpers gewählt werden. Nachteilig ist, daß das Verfahren selbst bei einer Einlagerungsdauer von 90 d nur bedingt Aussagen über das Chlorideindringen infolge Diffusion ermöglicht. Es wird aber trotzdem vorgeschlagen, die Beurteilung der Mörtel nach 90 d Einlagerungsdauer vorzunehmen. Es sollten jedoch zusätzliche Probekörper weiter beaufschlagt und zu späteren Zeitpunkten geprüft werden.

Abschließend ist allerdings noch darauf hinzuweisen, daß die Charakterisierung der Instandsetzungsmörtel hinsichtlich der Korrosionsgefahr durch eindringende Chloridionen nur einen Teilaspekt berücksichtigt. Der Pufferkapazität kommt nämlich die entscheidende Bedeutung zu, wenn Chlorid bereits bis zur Bewehrung vorgedrungen ist, und der Beton, der einen korrosionsauslösenden Chloridgehalt aufweist, abgetragen und durch einen Instandsetzungsmörtel ersetzt wurde. Hier besteht dann eine Korrosionsgefahr, wenn der Instandsetzungsmörtel nicht in gleichem Maße wie der Altbeton in der Lage ist, Chlorid dauerhaft zu binden und damit korrosionsunschädlich zu machen. Dieser zweite Aspekt berührt die Frage nach einer möglichen Veränderung des Chloridbindevermögens durch die Kunststoffmodifikation des Zementsteins und ist nur in grundlegenden Untersuchungen zu klären. Im vorliegenden Projekt wurde der Aspekt herausgegriffen, dessen Untersuchung im Rahmen einer Eignungsprüfung praktikabel ist.

7 LITERATUR

- /1/ Andrade, C. ; Xu, A. ; Chandra, S.: Calculation of Chloride Diffusion Coefficients in Concrete from Ionic Migration Measurements. In: Cement and Concrete Research 23 (1993), Nr. 3, S. 724-742 Discussion: (Xu, A. ; Chandra, S.) Cement and Concrete Research 24 (1994), Nr. 2, S. 375-379 / Reply (Andrade, C.), S. 380-384
- /2/ Arya, C. ; Newman, J.B.: An Assessment of Four Methods of Determining the Free Chloride Content of Concrete. In: Materiaux et Constructions (RILEM) 23 (1990), Nr. 137, S. 319-330
- /3/ Bamforth, P.B.: Admitting that chlorides are admitted. In: Concrete (1994), Nr. November/ December, S. 18-21
- /4/ Bentur, A. ; Diab, H. ; Ben-Dor, L. ; Heitner-Wirguin, C.: The Effect of in Situ Polymerization on the Chloride Diffusion and Microstructure of Polymer-Portland Cement Pastes and Mortars. In: Advances in Cement Research 3 (1990), Nr. 9, S. 1-7
- /5/ Boue, A. ; Kwasny, R.: Polymermodifizierte Zementmörtel : Beeinflussung der Mörtelfestigkeit und Zementstruktur durch Zusatz von wasseremulgierbaren Epoxidharzen : Erfahrungen über das Langzeitverhalten. Darmstadt : Institut für Spanende Technik und Werkzeugmaschinen, 1984. - In: Tagungsband des 4. Internationalen Kongresses "Polymere und Beton", S. 375-380
- /6/ Buenfeld, N.R. ; Newmann, J.B.: Examination of Three Methods for Studying ion Diffusion in Cement Pastes, Mortars and Concrete. In: Materiaux et Constructions (RILEM) 20 (1987), Nr. 115, S. 3-10
- /7/ Bundesminister für Verkehr ; ZTV-SIB 90: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Dortmund : Verkehrsblatt, 1990
- /8/ Bundesminister für Verkehr ; ZTV-SIB 90 ; TL/TP BE-PCC: Technische Lieferbedingungen/prüfvorschriften für Betonersatzsysteme aus Zementmörtel/beton mit Kunststoffzusatz (PCC). Dortmund : Verkehrsblatt, 1990
- /9/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton ; DAfStb: Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen ; Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze ; Teil 2: Bauplanung und Bauausführung (August 1990) ; Teil 3: Qualitätssicherung der Bauausführung. (Februar 1991) ; Teil 4: Qualitätssicherung der Bauprodukte (November 1992). Berlin : Deutscher Ausschuss für Stahlbeton
- /10/ E DIN EN 1766 06.95. Produkte und Systeme für die Instandsetzung von Betontragwerken
- /11/ E DIN EN 206 05.97. Beton-Eigenschaften, Herstellung und Konformität
- /12/ Federal Highway Administration ; Whiting, D.: Rapid Determination of the Chloride Permeability of Concrete. Washington : Federal Highway Administration, Offices of Research & Development Materials Division, 1981. - Final Report Nr. FHWA/RD-81/119 (Catalog No. PB82-140724)
- /13/ Gierloff, M.: Die Wirkung von Zusatzstoffen auf der Basis von Polyacrylsäureestern auf Betoneigenschaften. Darmstadt : Institut für Spanende Technologie und Werkzeugmaschinen, 1984. - In: Tagungsband des 4. Internationalen Kongresses "Polymere und Beton", S. 73-78
- /14/ Gjorv, O.E. ; Sakai, K.: Testing of Chloride Diffusivity for Concrete. London : E & FN Spon, 1995. - In: Proceedings of the International Conference on Concrete Under Severe Conditions Environment and Loading, CONSEC '95, Sapporo, Japan, 2-4 August 1995, (Sakai, K. ; et al(Ed.)), Vol. I, S. 655-666
- /15/ Gunkel, P.: Die Zusammensetzung der flüssigen Phase erstarrender und erhärtender Zemente. In: Beton-Information 23 (1983), Nr. 1, S. 3-8
- /16/ Gunkel, P.: Die Bindung von Chlorid im Zementstein und die Zusammensetzung chloridhaltiger Porenlösungen. Duisburg : Forschungsgemeinschaft Eisenhütten-schlacken. - In: Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Eisenhütten-schlacken (1991), Nr. 1, S. 64-88 In: Beton-Informationen 29 (1989), Nr. 1, S. 3-11
- /17/ Haardt, P. ; Hilsdorf, H.K. ; Institut für Massivbau und Baustofftechnologie: Einfluß von Haftbrücken auf die Haltbarkeit von Ausbesserungen mit Zementmörtel (Feldversuche). Karlsruhe : Universität Karlsruhe, Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, Abteilung Baustofftechnologie, 1988. - Forschungsbericht
- /18/ Müller, H.S.: Zur Vorhersage des Kriechens von Konstruktionsbeton. Karlsruhe, Technische Hochschule, Fakultät für Bauingenieurwesen, Dissertation 1986
- /19/ Nechvatal, D. ; Stöckl, S. ; Kupfer, H.: Kriechen, Rückkriechen und Dauerstandfestigkeit von Beton bei unterschiedlichem Feuchtegehalt und Verwendung von Portlandzement bzw. Portlandkalksteinzement. Berlin : Beuth. - In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (1994), Nr. 442, S. 55-99
- /20/ Neroth, G.: Zur Bindung von Chlorid im Zementstein. Wiesbaden : Bauverlag, 1985 - In: Baustoffe '85, S. 140-147
- /21/ Richartz, W.: Die Bindung von Chlorid bei der Zementerhärtung. In: Zement Kalk Gips 58 (1969), Nr. 10, S. 447-456
- /22/ RILEM PCM-16: Method of test for chloride ion penetration of polymer-modified mortar. Leuven : Katholieke Universiteit, 1995. - In: Properties and Test Methods for Concrete-Polymer Composites, Proceedings of the RILEM TC 113 International Symposium, Oostende Belgium, July 6, 1995, S. 203-204
- /23/ RILEM ; RAC-52 ; Technical Committee 52-RAC: Recommended Tests to Measure the Adhesion Properties Between Resin Based Materials and Concrete. Draft Test Recommendations, 09.1986, Technical Committee 52-RAC Resin Adherence to Concrete

- /24/ Rüsçh, H. ; Sell, R. ; Rasch, Ch. ; Grasser, E. ; Hummel, A. ; Wesche, K.: Festigkeit und Verformung von unbewehrtem Beton unter konstanter Dauerlast. Berlin : Ernst & Sohn. - In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (1968), Nr. 198
- /25/ Smolczyk, H.-G.: Flüssigkeit in den Poren des Betons - Zusammensetzung und Transportvorgänge in der flüssigen Phase des Zementsteins. In: Beton-Information 24 (1984), Nr. 1, S. 3-11
- /26/ Smolczyk, H.-G.: Stand der Kenntnis über Chloriddiffusion im Beton. In: Betonwerk und Fertigteil-Technik 50 (1984), Nr. 12, S. 837-843
- /27/ Springenschmid, R. ; Arbeitskreis "Prüfverfahren Chlorideindringtiefe": Anleitung zur Bestimmung des Chloridgehaltes von Beton. Berlin : Beuth. - In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (1989), Nr. 401, S. 7-43
- /28/ Tang, L. ; Nilsson, L.-O.: Chloride Binding Capacity and Binding Isotherms of OPC Pastes and Mortars. In: Cement and Concrete Research 23 (1993), Nr. 2, S. 247-253
- /29/ Tang, L. ; Nilsson, L.-O.: Rapid Determination of the Chloride Diffusivity in Concrete by Applying an Electrical Field. In: ACI Materials Journal 89 (1992), Nr. 1, S. 49-53
- /30/ Wittmann, F.H. ; Setzer, M.J.: Vergleich einiger Kriechfunktionen mit Versuchsergebnissen. In: Cement and Concrete Research 1 (1971), S. 679-690
- /31/ Zhang, T. ; Gjorv, O.E.: An Electrochemical Method for Accelerated Testing of Chloride Diffusivity in Concrete. In: RILEM International Workshop on Chloride Penetration into Concrete, Saint-Remy-Les-Chevreuse, October 15-18, 1995, 10 Seiten

31.03.1998 Rr/Fo (f-forsch/dafstb/hd/f568/f568.doc)