

Ds/Fk

1. Ausfertigung

THEMA

Untersuchungen zur Eignung des
Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtels als
Anodeneinbettungs- und Reparatur-
mörtel für KKS-Flächen

Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Raupach
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. O. Weichold

Postadresse:
Institut für Bauforschung Aachen
Bauwerkserhaltung · Polymerkomposite
RWTH Aachen
52056 Aachen

Hausadresse:
Institut für Bauforschung Aachen
Schinkelstraße 3
52062 Aachen

Sekretariat +49 241 80-95126
Durchwahl +49 241 80-95125
Telefax +49 241 80-92139

E-Mail driessen@ibac.rwth-aachen.de

www.ibac.rwth-aachen.de

M-1913-Ds.docx

Prüfbericht Nr.

M 1913
vom 11.03.2014

Prüfstellenleiter

Dipl.-Ing. C. Helm

C. Driessen, M. Sc.

**Auftraggeber/
Förderer**

DAW SE
Geschäftsbereich Disbon
Roßdörfer Straße 50
64372 Ober-Ramstadt

Auftragsdatum

07.03.2014

Aktenzeichen

-

Konten der Hochschulkasse

RWTH Aachen
SPARKASSE AACHEN
BLZ 390 500 00
Konto-Nr. 18

Verwendungszweck: Für 311 320

IBAN: DE53 390 500 00 0000 0000 18
SWIFT-BIC: AACSD33

Umsatzsteuer Nr. 201/5930/5005
Umsatzsteuer-Identnummer
(EG/EC/CE-Tax Nr.): DE121689807

Dieser Bericht umfasst 25 Seiten, davon 10 Textseiten.

Soweit Versuchsmaterial nicht verbraucht ist, wird es nach 4 Wochen vernichtet. Eine längere Aufbewahrung bedarf einer schriftlichen Vereinbarung. Die auszugsweise Veröffentlichung dieses Berichtes, seine Verwendung für Werbezwecke sowie die inhaltliche Übernahme in Literaturdatenbanken bedürfen der Genehmigung des ibac.

1 ALLGEMEINES

Am 24.08.2010 beauftragten die DAW SE Geschäftsbereich Disbon das Institut für Bauforschung Aachen (ibac) mit Untersuchungen zur Eignung eines Systems bestehend aus dem Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtel als Reparatur- und Anodeneinbettungsmaterial sowie der Haftbrücke Disbocret 713 PCC-Haftbrücke für die Anwendung beim kathodischen Korrosionsschutz (KKS) der Bewehrung mit Titanmischoxid (MMO) beschichteten Netzanoden. Insbesondere sollte untersucht werden, wie sich eine Trocknung des Einbett- und Reparaturmaterials auf die Stromverteilung zwischen reparierten und nicht reparierten Bereichen auswirkt. Zu diesem Zweck wurden insgesamt vier Systemprüfkörper mit simulierten Reparaturstellen hergestellt. An den Prüfkörpern wurde in KKS-Versuchen die Stromverteilung auf die reparierten und nicht reparierten Bereiche sowie die Polarisation der Bewehrung nach verschiedenen Trocknungszyklen untersucht. Zusätzlich wurden eine Feuchte-Widerstandsbeziehung sowie Sorptionsisothermen für den Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtel experimentell bestimmt.

2 DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN

Im Rahmen dieser Materialprüfung wurden insgesamt vier verschiedene KKS-Systemprüfkörper unter Verwendung des Systems Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtel und Haftbrücke Disbocret 713 PCC-Haftbrücke hergestellt und untersucht. An diesen Prüfkörpern wurden die folgenden Untersuchungen durchgeführt:

- Trocknung der Systemprüfkörper in zwei Phasen
- Messung der Schutzstromverteilung und Bewehrungspolarisation sowie -depolarisation vor der ersten Trocknung sowie nach zwei Trocknungsphasen
- Messung der Änderungen der spezifischen Elektrolytwiderstände infolge der Trocknung von Beton und PCC im System mittels Multiring-Elektroden an separaten Prüfkörpern mit identischem Systemaufbau.
 - Bestimmung einer Feuchte-Widerstandsbeziehung für den Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtel
 - Bestimmung von Sorptionsisothermen für den Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtel.

3 BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHUNGSMETHODEN

3.1 KKS-Systemprüfung

3.1.1 Prüfkörperaufbau

Bild B1, Seite B1, zeigt den prinzipiellen Aufbau der plattenförmigen Systemprüfkörper mit simulierter Reparaturstelle, die im Rahmen dieser Materialprüfung verwendet wurden. Als Bewehrung wurden in beide Prüfkörperbereiche je zwei Q 636 A Mattenabschnitte mit zusätzlich fünf Stäben B 500 A $\varnothing = 10$ mm eingelegt, die jeweils für beide Prüfkörperbereiche (nachgestellter Reparaturbereich, übriger Prüfkörperbereich) mit einem separaten elektrischen Anschluss versehen wurden. Um den Strom zur Bewehrung in den beiden Bereichen getrennt voneinander erfassen zu können, waren die Bewehrungen beider Bereiche elektrisch nicht verbunden. Weiterhin wurde in beiden Prüfkörperbereichen eine Mangandioxid-Referenzelektrode des Herstellers Force in der Mitte der Bewehrungslage angeordnet. Um ein deutliches aktives Korrodieren der Bewehrung zu erreichen, wurden dem Frischbeton aller vier Prüfkörper 4 M.-% Chlorid – bezogen auf den Zementgehalt – in Form von NaCl zugegeben. Für das Füllen des Reparaturbereichs sowie für die Einbettung des Anodenmaterials wurde Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtel eingesetzt. Die Anodeneinbettung erfolgte dabei in zwei Schritten. Es wurde zunächst eine ca. 15 mm dicke Ausgleichsschicht aufgetragen, auf die das Titanmischoxid-Netz nach dem Aushärten appliziert wurde. Danach wurde eine zweite Einbettmörtelschicht aufgetragen. Die Dicke betrug dabei erneut ca. 15 mm. Als Basis für die Beurteilung der Eignung des Systems für den Einsatz beim KKS als Reparatur- und Einbettmaterial wurden insgesamt vier Varianten des in Bild B1, Seite B1, skizzierten Prüfkörperaufbaus mit je einem Prüfkörper untersucht. Der Aufbau wurde dabei im Hinblick auf die Betondeckung (1,5 und 5 cm) und die Betonzusammensetzung bzw. den spez. Betonwiderstand variiert. Eine Übersicht über die verwendeten Betone gibt Tabelle A1, Seite A1. Der Aufbau der Prüfkörper für beide untersuchten Betondeckungen ist in den Bildern B2 und B3, Seiten B1 und B2, für den mittleren Prüfkörperabschnitt dargestellt. Für die tiefengestaffelte Messung der spezifischen Elektrolytwiderstände des PCC und der Betone vor und nach den Trocknungsphasen wurden parallel unbewehrte Würfel mit einer Kantenlänge von 150 mm mit gleichem Schichtaufbau und eingebetteten Multiring-Elektroden hergestellt. Ihren schematischen Aufbau zeigt Bild B4, Seite B2. Multiring-Elektroden bestehen aus neun übereinander angeordneten Edelstahlringen mit einer Dicke von 2,5 mm mit jeweils zwischen den Ringen angeordneten Distanzstücken, die ebenfalls eine Dicke von 2,5 mm besitzen. Über die Messung des Wechselstromwiderstandes (Impedanz) zwischen jeweils zwei benachbarten Ringen und der Berücksichtigung des Zellfaktors von 0,1 für die Geometrie der

Multiring-Elektrode ist so die Bestimmung des spezifischen Widerstandes tiefengestaffelt in Schritten von 5 mm möglich. Bei der hier verwendeten Form der Multiring-Elektrode ist zusätzlich ein Temperatursensor (pt 1000) eingebaut, weshalb der unterste der neun Ringe bei den Sensoren nicht vorhanden ist.

3.1.2 Herstellung der Prüfkörper

Die Schalungs- und Bewehrungsarbeiten sowie die Installation der verwendeten Messtechnik, die Betonagen der Grundprüfkörper sowie die Vorbereitung der Betonoberflächen durch Strahlen wurden im ibac durchgeführt. Bild B5, Seite B3, zeigt die vorbereiteten Schalungen eines Grundprüfkörpers für die Systemprüfung kurz vor dem Betonieren. Eine fertige Prüfkörperserie vor dem Reprofilieren zeigt Bild B6, Seite B3.

Die Betonage der Grundprüfkörper erfolgte am 21.09.2010. Vor der Reprofilierung wurden die Prüfkörperoberflächen gestrahlt. Die Reprofilierung der nachgestellten Reparaturstellen erfolgte am 11.11.2010 im ibac durch eigene Mitarbeiter gemäß den Herstellerangaben. Hierbei wurde zunächst die Haftbrücke Disbocret 713 PCC-Haftbrücke aufgetragen und dann frisch der Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtel in den Reparaturbereich eingebracht (s. Bild B7, Seite B4). Im nächsten Arbeitsgang wurde einige Tage später die Oberfläche erneut gestrahlt und dann nach erneutem Aufbringen der Haftbrücke eine ca. 15 mm dicke Schicht Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtel aufgebracht. Daraufhin wurde die Oberfläche wiederum gestrahlt. Auf diesem Untergrund wurde das Titanmischoxid-Gitter befestigt und dann erneut die Haftbrücke und weitere 15 mm Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtel aufgetragen.

3.2 Versuchsdurchführung

Am 18.01.2011 wurden die ersten KKS-Versuche an den vier Prüfkörpern durchgeführt.

Der Ablauf der KKS-Versuche folgte dabei dem folgenden Schema:

1. Messung des absoluten Wechselstromwiderstandes zwischen der Anode und den beiden Bewehrungsbereichen
2. Anlegen eines konstanten Schutzstromes vom 20 mA/m^2 , bezogen auf die Bewehrungsoberfläche, zwischen Anode und Bewehrung für mindestens 24 Stunden und Aufzeichnen des Schutzstromes des jeweiligen Bewehrungsbereichs
3. Ausschalten und Ermittlung des Ausschaltpotentials
4. Durchführung einer Depolarisationsmessung über 24 Stunden
5. Trocknung der Systemprüfkörper und der MRE-Prüfkörper in einer Klimakammer
6. Wiederholung der Schritte 1 bis 5.

Insgesamt wurden drei Zyklen dieses Versuchsablaufs mit dementsprechend zwei Trocknungsphasen durchgeführt. Die Klimabedingungen und die Dauer der jeweiligen Trocknungsphasen sind in Tabelle A2, Seite A1, dargestellt. Während der übrigen Versuchszeit lagerten die Proben bei einem Klima von ca. $20 \text{ }^\circ\text{C}$ und 65 \% r. F. Die Widerstandsänderungen durch die Trocknung wurden durch Messung der Multiring-Elektroden in den gesondert hergestellten Würfeln unmittelbar vor den jeweiligen KKS-Versuchen, d. h. nach Abkühlung der Prüfkörper auf die Umgebungstemperatur von ca. $20 \text{ }^\circ\text{C}$, bestimmt.

Für die Applikation der Treibspannungen zwischen der Bewehrung und der Anode wurde ein Potentiostat (Model MP87, Wenking) verwendet (s. Bild B8, Seite B4). Die Treibspannungen, die vor bzw. nach den einzelnen Trocknungsschritten an die jeweiligen Prüfkörper angelegt werden mussten, um einen Schutzstrom von 20 mA/m^2 , bezogen auf die Bewehrungsoberfläche, zu erzeugen, sind der Tabelle A6, Seite A4, zu entnehmen.

Sowohl für die Stromerfassung zu den Bewehrungsbereichen wie auch für die Messung der Multiring-Elektroden wurde im ibac entwickelte Messtechnik verwendet. Die Strommessung erfolgt dabei über einen Shuntwiderstand von $1 \text{ } \Omega$, die Widerstandsmessung an den Multiring-Elektroden erfolgte bei einer Wechselstromfrequenz von $10,8 \text{ Hz}$.

3.3 Darstellung der Ergebnisse

Bild B9, Seite B5, zeigte die Entwicklung der spezifischen Widerstände für die drei untersuchten Schichtaufbauten des hier untersuchten Systems für die Prüfkörper mit der Grundbetonvariante CEM I, $w/z = 0,45$. Bild B10, Seite B5, zeigt die Entwicklung der spezifischen Widerstände für die Grundbetonvariante CEM I, $w/z = 0,65$. Die jeweils auf der

Ordinate angegebene Tiefe ist der Abstand zwischen der Grenzfläche Anodeneinbettung/Beton bzw. Reparaturbereich und der jeweiligen Lage der Messstelle. Die zugehörigen Messdaten sind in den Tabellen A4 und A5, Seiten A2 und A3, gegeben. Die Entwicklung der Absolutwiderstände zwischen der Anode und den beiden Bewehrungsbereichen ist in Tabelle A3, Seite A1, dargestellt.

Die Aufteilung des angelegten Schutzstromes auf den Originalbereich sowie den Bereich der simulierten Reparaturstelle für beide untersuchten Betone vor sowie nach den Trocknungsschritten ist in Bild B11, Seite B6, angegeben. Die zugehörigen Depolarisationen über einen Zeitraum von 24 Stunden zeigt Bild B12, Seite B6. Ein Anspruch an die Erfüllung des 100-mV-Kriteriums zur Beurteilung der Wirksamkeit des KKS wurde für die vorliegenden Untersuchungen nicht gestellt, da dazu die gewählten Polarisationszeiten zu kurz sind.

Die detaillierten Ergebnisse aller Polarisationsversuche sind in Tabelle A6, Seite A4, gegeben.

4 FEUCHTE-WIDERSTANDSBEZIEHUNG

4.1 Prüfkörperaufbau

Die Untersuchungen zur Bestimmung der Feuchte-Widerstandsbeziehungen wurden an Zylinderscheiben mittels Zweielektrodenmessung durchgeführt. Das angewandte Messprinzip ist in Bild B13, Seite B7, dargestellt.

4.2 Prüfkörperherstellung

Zunächst wurden Zylinderschalungen ($d = 100 \text{ mm}$, $h = 300 \text{ mm}$) mit Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtel gefüllt und unter Verwendung eines Außenrüttlers verdichtet. Die Zylinder wurden am folgenden Tag ausgeschalt und bis zu einem Alter von 28 Tagen durch Lagerung bei 100 % relativer Luftfeuchtigkeit und 20 °C nachbehandelt. Anschließend wurden daraus Zylinderscheiben präpariert. Eine Übersicht über die Bezeichnungen und Massen der Prüfkörper ist Tabelle A7, Seite A5, zu entnehmen.

4.2.1 Versuchsdurchführung

Die Prüfkörper wurden nach der Herstellung wassergelagert, bis sich über die Zeit konstante Widerstände einstellten. Diese wurden protokolliert und die Prüfkörper gewogen. Im Anschluss daran wurden die Prüfkörper bei einer Temperatur von 70 °C ofengetrocknet, um einen geringen Wassergehalt zu erreichen. Von diesem ausgehend wurden unterschiedliche Wassergehalte durch abgestufte Wasserzugaben eingestellt. Um eine homogene Verteilung der Feuchtigkeit in den Prüfkörpern zu erreichen, wurde diese in mehrere Schichten dampfdichter Materialien verpackt und anschließend vakuumiert.

Während der Lagerung wurden die Verpackungen in regelmäßigen Abständen makroskopisch auf ihre Dichtigkeit hin überprüft. Nach einer Liegezeit von zwei Wochen wurden die Prüfkörper ausgepackt, gewogen und der Wechselstromwiderstand mittels Zweielektrodenmessung bei einer Frequenz von 1000 Hz ermittelt. Abschließend wurden die Prüfkörper bei 105 °C im Ofen bis zur Massenkonstanz getrocknet und erneut gewogen. Aus den so erhaltenen Daten kann eine Feuchte-Widerstandsbeziehung berechnet werden. Die absoluten gemessenen Wechselstromwiderstände R werden mit Hilfe der systemtypischen Zellkonstanten k in den baustoffspezifischen Widerstand ρ umgerechnet. Dies geschieht nach folgender Gleichung:

$$\rho = k \cdot R \quad [\Omega\text{m}] \quad (1)$$

mit:

- ρ : Spezifischer Elektrolytwiderstand in Ωm
- k : Zellkonstante in [m]
- R : Gemessener Absolutwiderstand in Ω

Die Zellkonstante k kann bei einfachen geometrischen Verhältnissen rechnerisch ermittelt werden. Nimmt man an, dass das elektrische Feld zwischen den Elektroden weitestgehend geradlinig verläuft, die stromdurchflossene Fläche A also annähernd gleich bleibend ist, ergibt sich die Konstante bei bekanntem Elektrodenabstand l zu:

$$k = \frac{A}{l} \quad [\text{m}] \quad (2)$$

mit:

- k : Spezifische Zellkonstante in [m]
- A : Vom elektrischen Feld durchdrungene Fläche in $[\text{m}^2]$
- l : Abstand der Elektroden zueinander in [m]

Eine Aufstellung der Messwerte gibt Tabelle A7, Seite A5.

4.3 Bestimmung der Feuchte-Widerstandsbeziehung mittels Regressionsanalyse

Anhand der bestimmten spezifischen Widerstände und der zugehörigen Wassergehalte wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt. Es wurde folgende Regressionsfunktion /1/ zugrunde gelegt:

$$u = \frac{A}{\ln(B \cdot \rho + C) - D} + E \quad (3)$$

mit: u: Wassergehalt in M.-%
ρ: spezifischer Elektrolytwiderstand in Ωm
A-E: Regressionsparameter

Die durch Regressionsanalyse erhaltenen Parameter zeigen die Tabellen A8, Seite A5. Eine graphische Darstellung der erhaltenen Regressionsfunktion sowie der Messwerte ist ebenfalls Bild B14, Seite B7, zu entnehmen.

5 BESTIMMUNG DER SORPTIONSISOTHERMEN

5.1 Prüfkörperaufbau

Die Untersuchungen zur Bestimmung der Sorptionsisothermen wurden an Bruchstücken von Betonscheiben, vgl. Abschnitt 4.2, durchgeführt. Diese wurden zunächst wassergelagert.

5.2 Einlagerung der Prüfkörper

Der Grad der Sättigung wurde fortlaufend gravimetrisch überwacht. Die Prüfkörper zur Ermittlung der Adsorptionsisothermen wurden anschließend bei 70 °C im Trockenschrank bis zur Massekonstanz konditioniert. Anschließend wurden je drei Prüfkörper bei 23 °C in Exsikkatoren mit konstanten relativen Luftfeuchtigkeiten (22, 41, 74, 82 und 100 % r. F.) eingelagert. Die Prüfkörper zur Ermittlung der Desorptionsisothermen wurden wassergesättigt, ohne vorherige Konditionierung, direkt in die Exsikkatoren eingelagert.

5.3 Bestimmung der Wassergehalte

Während der Lagerung wurden die Prüfkörper in regelmäßigen Abständen gewogen, um das Erreichen der Ausgleichsfeuchte zu kontrollieren. Nach Erreichen der Ausgleichsfeuchte wurden die Prüfkörper entnommen und ihre Massen bestimmt. Anschließend erfolgte ein Darren bis zur Massenkonstanz bei 105 °C. Die erhaltenen Messwerte sowie die daraus resultierenden Wassergehalte geben die Tabellen A9 und A11, Seiten A6 und A7, wieder.

5.4 Bestimmung der Sorptionsisothermen mittels Regressionsanalyse

Anhand der bestimmten Wassergehalte, welche durch Exposition in den gewählten Klimaten erreicht wurden, wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt. Es wurde folgende Regressionsfunktion /2/ zugrunde gelegt:

$$u = A + B \cdot r.F.^C \quad (3)$$

mit: u: Wassergehalt in M.-%
r. F.: Relative Luftfeuchtigkeit in %
A-C: Regressionsparameter

Die durch Regressionsanalyse erhaltenen Parameter zeigen die Tabellen A10 und A12, Seiten A6 und A7. Eine graphische Darstellung der erhaltenen Regressionsfunktion sowie der Messwerte geben die Bilder B15 bis B16, Seiten B8, wieder.

Die Institutsleitung

i. A.



Dipl.-Ing. C. Helm



Die Sachbearbeiterin

i. A.



C. Driessen, M. Sc.

LITERATUR

- /1/ Harnisch, J.: Untersuchungen zum nachträglichen Einbau von Multiring-Elektroden im Beton: Investigations on Subsequently Embedded Multi-Ring-Electrodes in Concrete. Aachen, Technische Hochschule, Fachbereich 3, Institut für Bauforschung, Diplomarbeit, 2003
- /2/ Raupach, M. ; Harnisch, J.: Messsystem für die tiefengestaffelte, kontinuierliche Feuchtemessung in historischem und neuzeitlichem Mauerwerk. Aachen: Institut für Bauforschung, 2006. - Forschungsbericht Nr. F 919



Tabelle A1: Betonrezepturen der Systemprüfkörper

Variante	Zementart	w/z	Zementgehalt	Sieblinie	$f_{c,cube}$
	-		kg/m ³	-	N/mm ²
1	2	3	4	5	6
CI-45	CEM I 42,5 R	0,45	375	AB16	44,9
CI-65	CEM I 32,5	0,65	275		25,7

Tabelle A2: Klimabedingungen und Dauer der Trocknungsschritte

Trocknungsschritt	Temperatur	relative Feuchte	Dauer
-	°C	%	d
1	2	3	4
1	45	10	22
2	45	10	21

Tabelle A3: Absolutwiderstände zwischen Anode und dem jeweiligen Bewehrungsbereich vor und nach den Trocknungsphasen

Prüfkörper			Bereich	Wechselstromwiderstand zwischen Anode und Bewehrung bei 1000 Hz		
Bindemittel	w/z-Wert	Deckung		vor 1. Trocknung	nach 1. Trocknung	nach 2. Trocknung
-		mm	-	Ω		
1	2	3	4	5	6	7
CEM I	0,45	50	Original	90	191	493
			Reparatur	112	295	430
		15	Original	74	164	263
			Reparatur	86	203	300
	0,65	50	Original	72	181	315
			Reparatur	112	283	427
		15	Original	55	139	226
			Reparatur	73	181	275



Tabelle A4: Tabellarische Zusammenstellung der mittels der Multiring-Elektroden ermittelten spezifischen Betonwiderstände unterhalb der Anodeneinbettung für die Grundbetonvariante CEM I, $w/z = 0,45$ bei verschiedenen Schichtaufbauten (vgl. Bild B4, Seite B2)

Dicke der Reprofilierung	Tiefe	spezifischer Widerstand		
		vor 1. Trocknung	nach 1. Trocknung	nach 2. Trocknung
mm		Ωm		
1	2	3	4	5
0	7	468,1	692,5	854,6
	12	442,3	577,3	642,7
	17	404,9	510,1	549,8
	22	411,7	510,1	551,1
	27	437,8	538,3	603,6
	32	446,2	545,5	613,2
	37	465,6	569,9	637,3
26	7	530,9	1060,0	1230,0
	12	539,8	1110,0	1290,0
	17	565,0	1190,0	1390,0
	22	548,0	1150,0	1340,0
	27	534,2	1110,0	1290,0
	32	556,3	1160,0	1360,0
	37	592,7	1230,0	1450,0
61	7	531,7	1010,0	1270,0
	12	584,1	1090,0	1350,0
	17	563,7	1050,0	1280,0
	22	547,4	1040,0	1270,0
	27	513,7	981,6	1200,0
	32	491,2	924,0	1130,0
	37	516,5	958,9	1210,0



Tabelle A5: Tabellarische Zusammenstellung der mittels der Multirig-Elektroden ermittelten spezifischen Betonwiderstände unterhalb der Anodeneinbettung für die Grundbetonvariante CEM I, $w/z = 0,65$ bei verschiedenen Schichtaufbauten (vgl. Bild B4, Seite B2)

Deckung	Tiefe	spezifischer Widerstand		
		vor 1. Trocknung	nach 1. Trocknung	nach 2. Trocknung
mm		Ωm		
1	2	3	4	5
0	7	362,2	630,7	845,1
	12	299,3	388,2	438,2
	17	280,1	356,2	395,2
	22	277,4	343,5	375,8
	27	279,6	336,6	368,3
	32	283,0	338,5	374,1
	37	272,1	325,3	360,7
26	7	480,9	955,4	1210,0
	12	563,0	1180,0	1480,0
	17	553,0	1130,0	1400,0
	22	522,0	1040,0	1280,0
	27	507,1	1000,0	1240,0
	32	460,3	907,9	1120,0
	37	348,1	639,7	778,7
61	7	596,2	1240,0	1560,0
	12	597,3	1220,0	1510,0
	17	574,8	1160,0	1440,0
	22	575,9	1170,0	1460,0
	27	565,7	1170,0	1450,0
	32	544,1	1150,0	1440,0
	37	517,4	1100,0	1370,0



Tabelle A6: Tabellarische Übersicht über die Messergebnisse der Polarisationsversuche

Bindemittel	w/z	c	Bereich	Treibspannung	Trocknungen	Stromdichte ¹⁾	Inst.off. Pot	24h	Depolarisation
-	-	cm	-	mV	-	mA/m ²	mV		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CEM I	0,45	1,5	Original	1,515	0	20,72	-631,6	-456,1	175,5
			Reparatur			19,04	-646,0	-512,5	133,5
			Original	2,185	1	21,86	-642,2	-487,4	154,8
			Reparatur			18,42	-596,2	-468,2	128,0
			Original	2,815	2	21,13	-582,3	-466,9	115,4
			Reparatur			19,02	-560,6	-458,7	101,9
		Original	1,623	0	23,08	-650,2	-435,7	214,5	
		Reparatur			17,75	-692,1	-535,6	156,5	
		Original	2,363	1	24,99	-656,1	-477,1	179,0	
		Reparatur			15,07	-620,7	-475,4	145,3	
		Original	3,004	2	24,97	-606,7	-461,0	145,7	
		Reparatur			15,16	-571,1	-447,6	123,5	
	0,65	1,5	Original	1,505	0	23,46	-679,8	-595,9	83,9
			Reparatur			16,70	-657,1	-590,5	66,6
			Original	2,148	1	24,14	-667,1	-568,6	98,5
			Reparatur			15,88	-627,2	-532,9	94,3
			Original	2,752	2	23,65	-633,5	-539,5	94,0
			Reparatur			16,35	-594,5	-524,5	70,0
		Original	1,587	0	24,03	-666,0	-587,0	79,0	
		Reparatur			15,85	-646,9	-587,9	59,0	
		Original	2,552	1	25,42	-623,8	-564,3	59,5	
		Reparatur			14,59	-593,0	-544,0	49,0	
		Original	3,349	2	23,75	-588,5	-553,5	35,0	
		Reparatur			16,28	-539,9	-484,9	55,0	

1) bezogen auf die Bewehrungsfläche



Tabelle A7: Tabellarische Übersicht über die Messergebnisse der Bestimmung der Feuchte-Widerstandsbeziehung

Prüfkörper	Masse		berechneter Wassergehalt	spezifischer Widerstand
	bei Widerstandsmessung	nach Darren		
-	g		M.-%	Ωm
1	2	3	4	5
1	349,7	346,8	0,84	2143552
2	347,5	342,9	1,35	194018
3	339,6	333,7	1,79	38379
4	335,1	327,6	2,30	5300
5	350,8	341,3	2,77	2300
6	347,3	336,2	3,29	1308
7	353,9	341,0	3,79	748
8	358,5	344,0	4,21	459
9	363,3	347,0	4,69	319
10	352,4	336,2	4,83	264



Tabelle A8: Regressionsparameter für die Feuchte-Widerstandsbeziehung des Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtels

Parameter	Wert	Einheit
1	2	3
A	17,75046	M.-%
B	0,00985	1/ Ωm
C	0,84201	-
D	-2,02362	-
E	-0,56525	M.-%



Tabelle A9: Ergebnisse der Untersuchungen zur Bestimmung der Adsorptionsisotherme für den Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtel

Relative Feuchte	Probekörper	Masse		Wassergehalt	
		nach Lagerung	nach Darren	einzel	mittel
%	-	g		M.-%	
1	2	3	4	5	6
22	A1	77,64	76,94	0,91	0,95
	A2	83,58	82,78	0,97	
	A3	83,64	82,83	0,98	
41	A4	77,65	76,82	1,08	1,09
	A5	78,17	77,34	1,07	
	A6	80,77	79,89	1,10	
74	A7	80,92	79,41	1,90	1,88
	A8	79,67	78,22	1,85	
	A9	79,74	78,26	1,89	
82	A10	76,23	74,45	2,39	2,52
	A11	77,90	75,99	2,51	
	A12	72,31	70,43	2,67	
100	A13	78,50	75,18	4,42	4,26
	A14	79,84	76,56	4,28	
	A15	80,86	77,70	4,07	



Tabelle A10: Regressionsparameter für die Adsorptionsisotherme des Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtels

Parameter	Wert	Einheit
1	2	3
A	0,95857	M.-%
B	$3,61155 \cdot 10^{-8}$	
C	3,98078	-



Tabelle A11: Ergebnisse der Untersuchungen zur Bestimmung der Desorptionsisotherme für den Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtel

Relative Feuchte	Probekörper	Masse		Wassergehalt	
		nach Lagerung	nach Darren	einzel	mittel
%	-	g		M.-%	
1	2	3	4	5	6
22	D1	77,29	75,94	1,78	1,82
	D2	77,81	76,42	1,82	
	D3	73,80	72,45	1,86	
41	D4	79,87	78,10	2,27	2,23
	D5	84,83	82,98	2,23	
	D6	80,49	78,77	2,18	
74	D7	78,02	75,30	3,61	3,63
	D8	85,95	82,88	3,70	
	D9	79,17	76,43	3,58	
82	D10	82,27	79,23	3,84	3,93
	D11	83,36	80,15	4,00	
	D12	83,96	80,77	3,95	
100	D13	86,32	82,55	4,57	4,66
	D14	81,57	77,80	4,85	
	D15	81,13	77,59	4,56	



Tabelle A12: Regressionsparameter für die Desorptionsisotherme des Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtels

Parameter	Wert	Einheit
1	2	3
A	1,35229	M.-%
B	0,0056	
C	1,37719	-



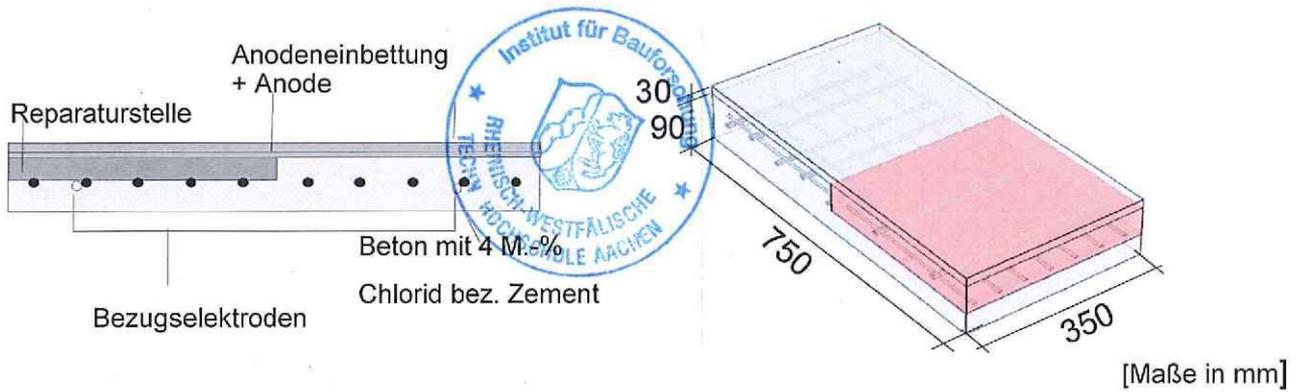


Bild B1: Prinzipieller Prüfkörperaufbau (Grundplatte: $35 \cdot 70 \cdot 9 \text{ cm}^3$, Bewehrung 2 · Q 636 Mattenabschnitte mit je 5 d=10 mm Zulagen)

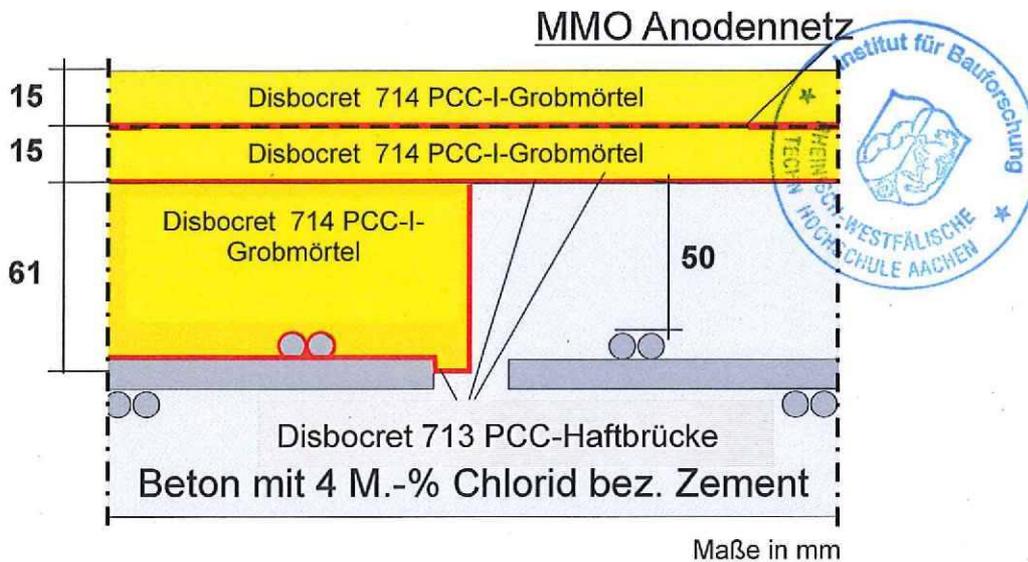


Bild B2: Prüfkörperaufbau mit einer Betondeckung von 5 cm

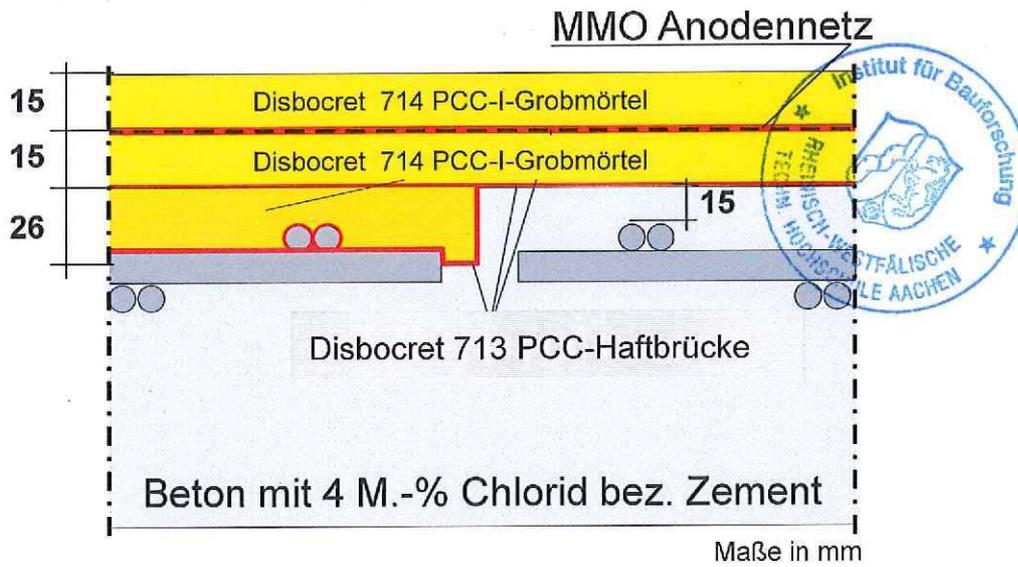


Bild B3: Prüfkörperaufbau mit einer Betondeckung von 1,5 cm

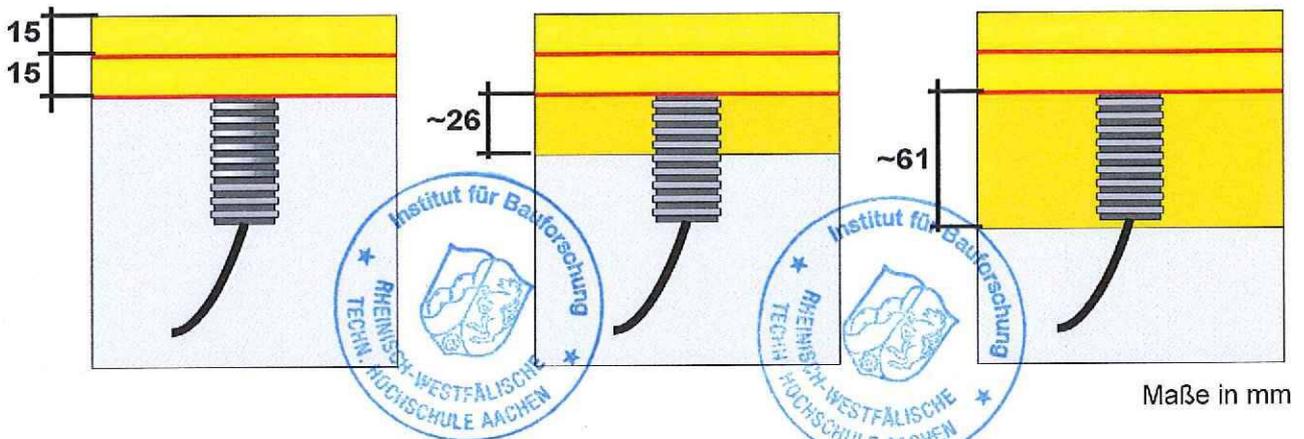


Bild B4: Prüfkörperaufbau der unbewehrten Prüfkörper zur Widerstandsbestimmung



Bild B5: Schalung eines Systemprüfkörpers mit Bewehrungsanschlüssen und Referenzelektroden



Bild B6: Fertiggestellte Prüfkörper einer Betonvariante, wie sie bei den durchgeführten Untersuchungen eingesetzt wurden

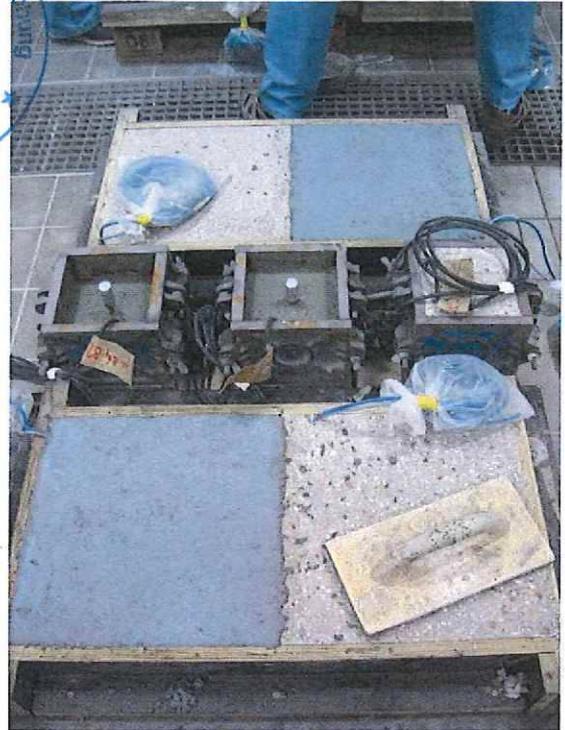


Bild B7: Reprofilierung der simulierten Reparaturstellen mit Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtel und Disbocret 713 PCC-Haftbrücke

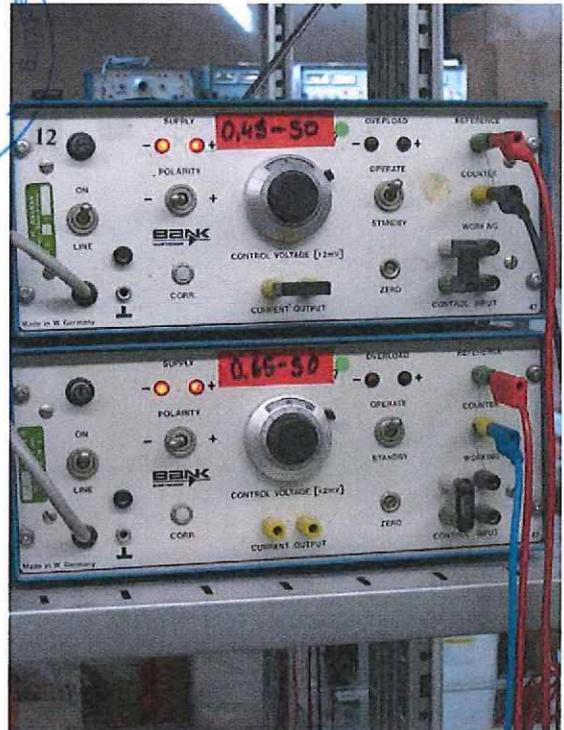


Bild B8: Versuchsaufbau und Potentiostaten

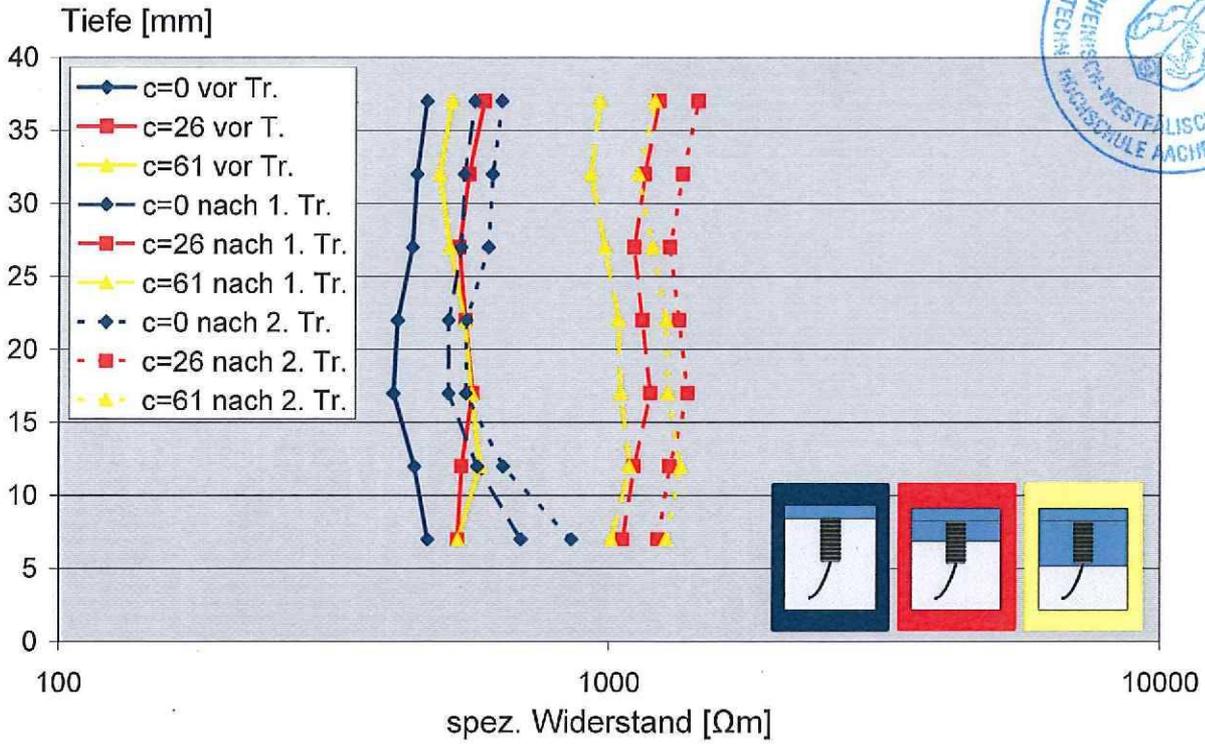


Bild B9: Spezifische Widerstände der Referenzkörper mit CEM I, $w/z = 0,45$

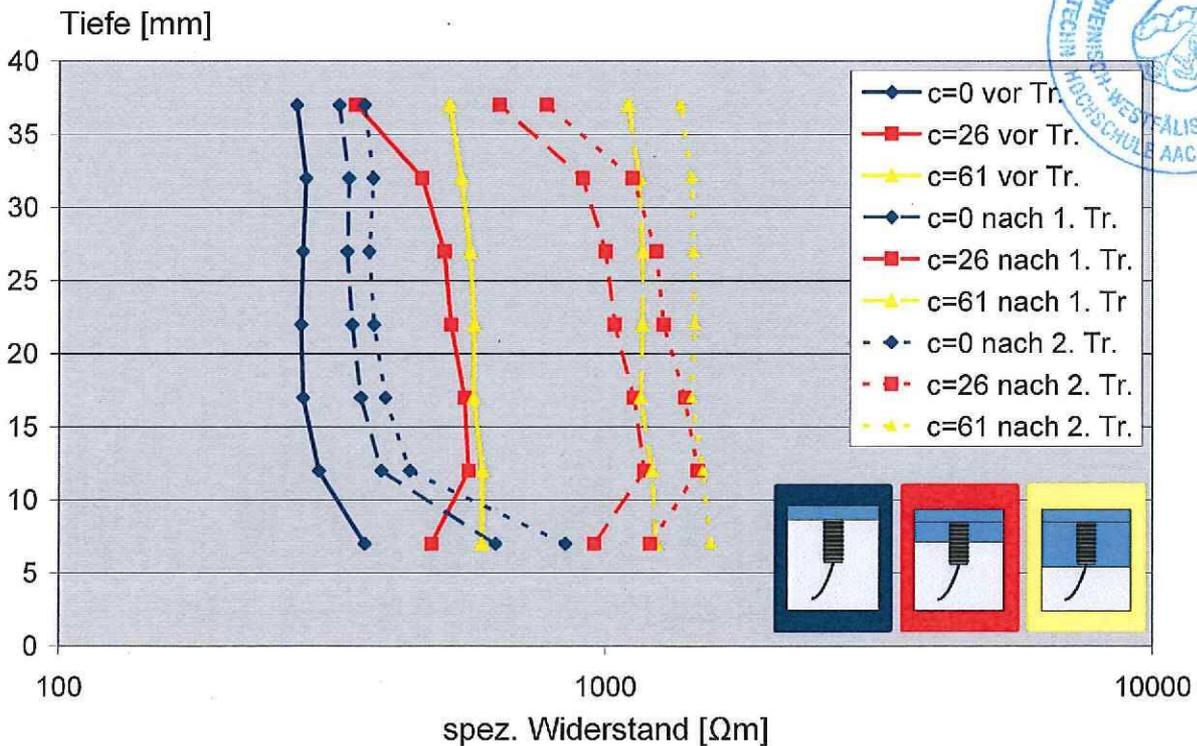
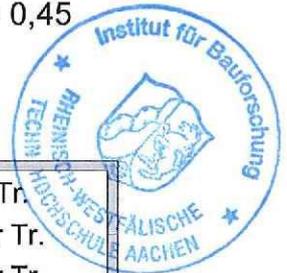


Bild B10: Spezifische Widerstände der Referenzkörper mit CEM I, $w/z = 0,65$

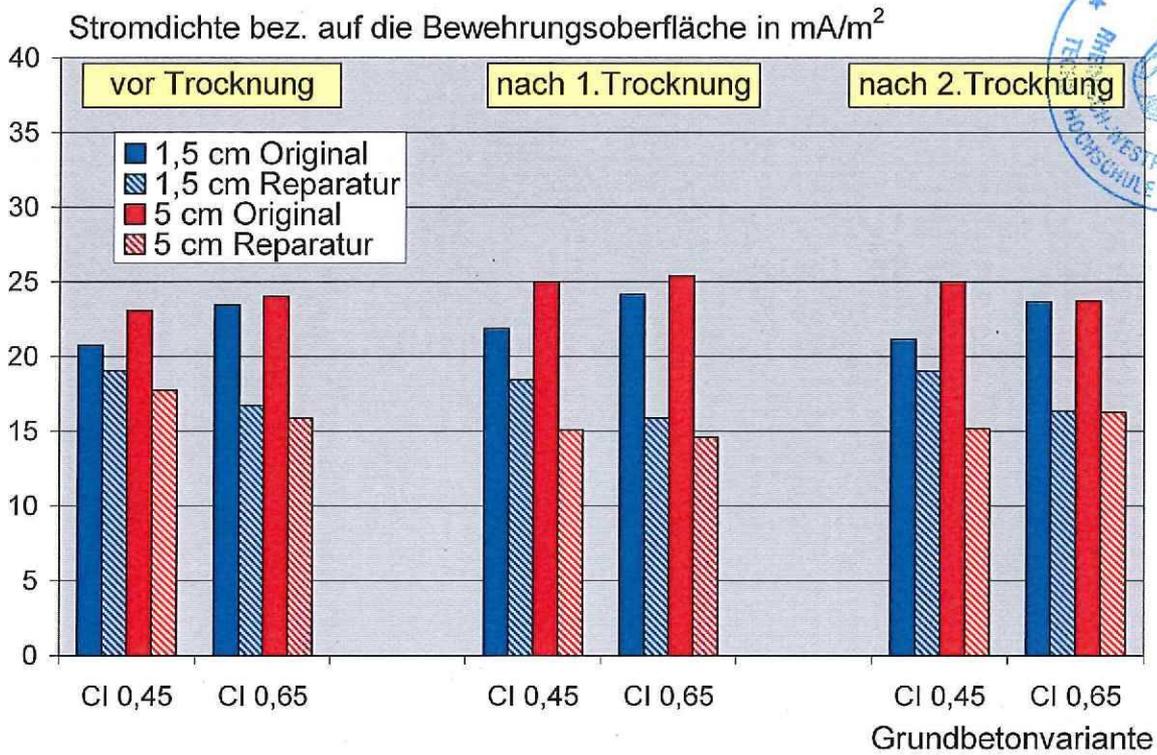


Bild B11: Schutzstromverteilung aller Prüfkörpervarianten

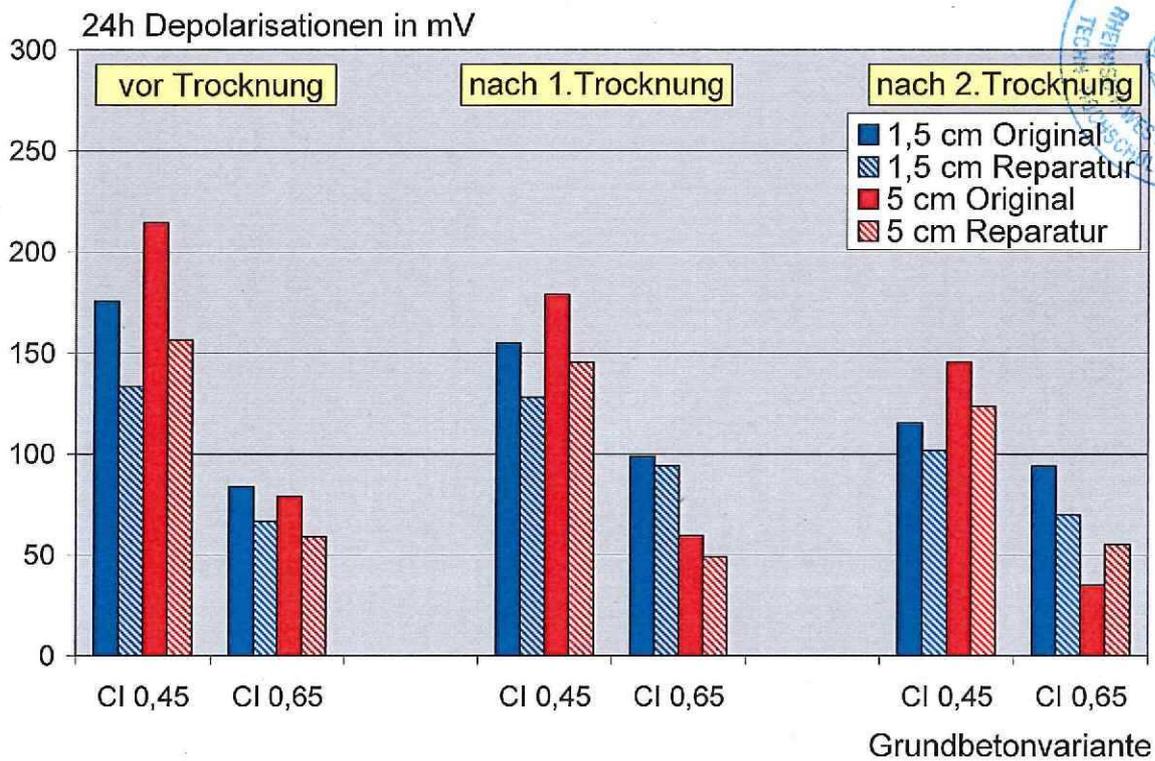


Bild B12: Erreichte 24-h-Depolarisation aller Prüfkörper



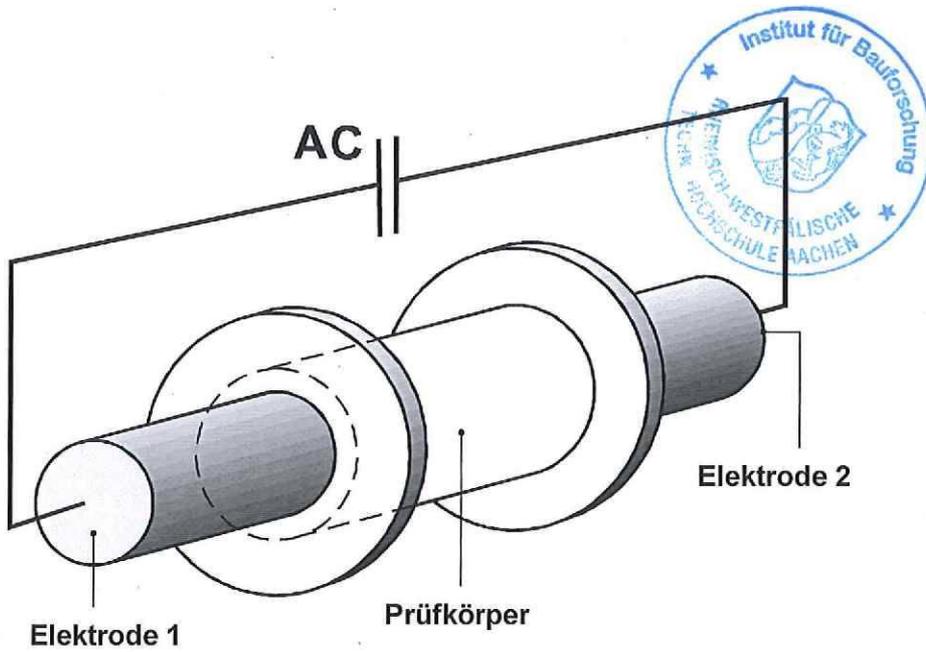


Bild B13: Schematische Darstellung einer Wechselstromwiderstandsmessung nach dem Zweielektrodenprinzip

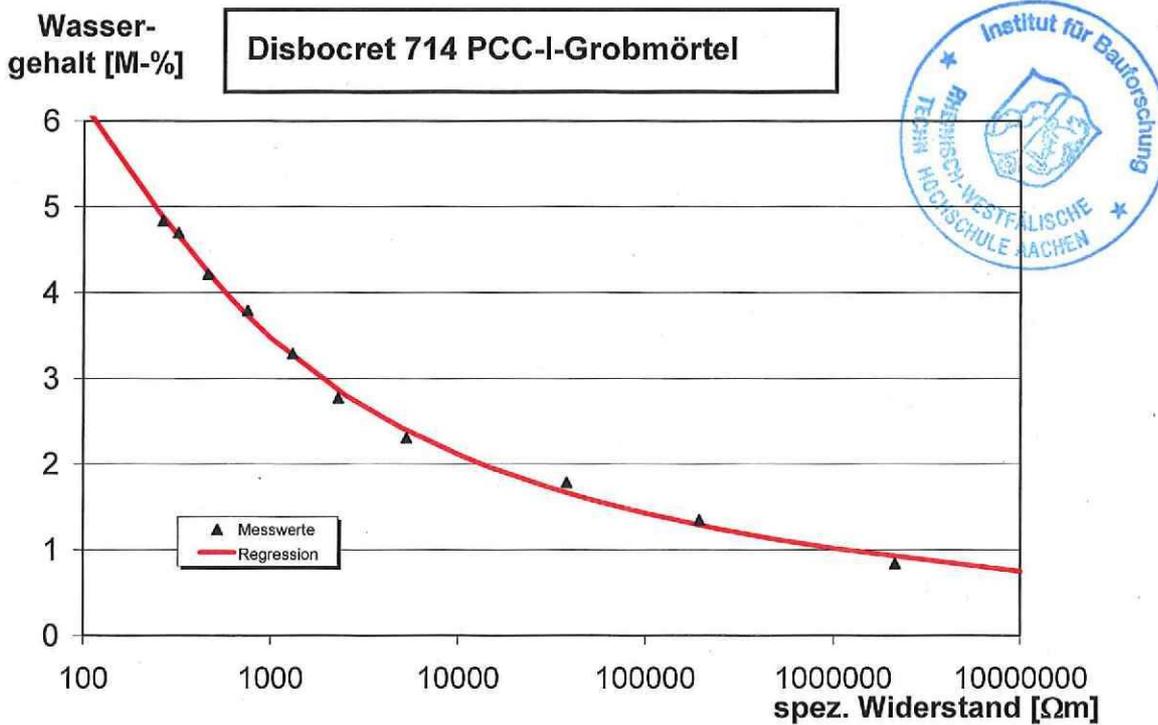


Bild B14: Feuchte-Widerstandsbeziehung sowie Regression für Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtel

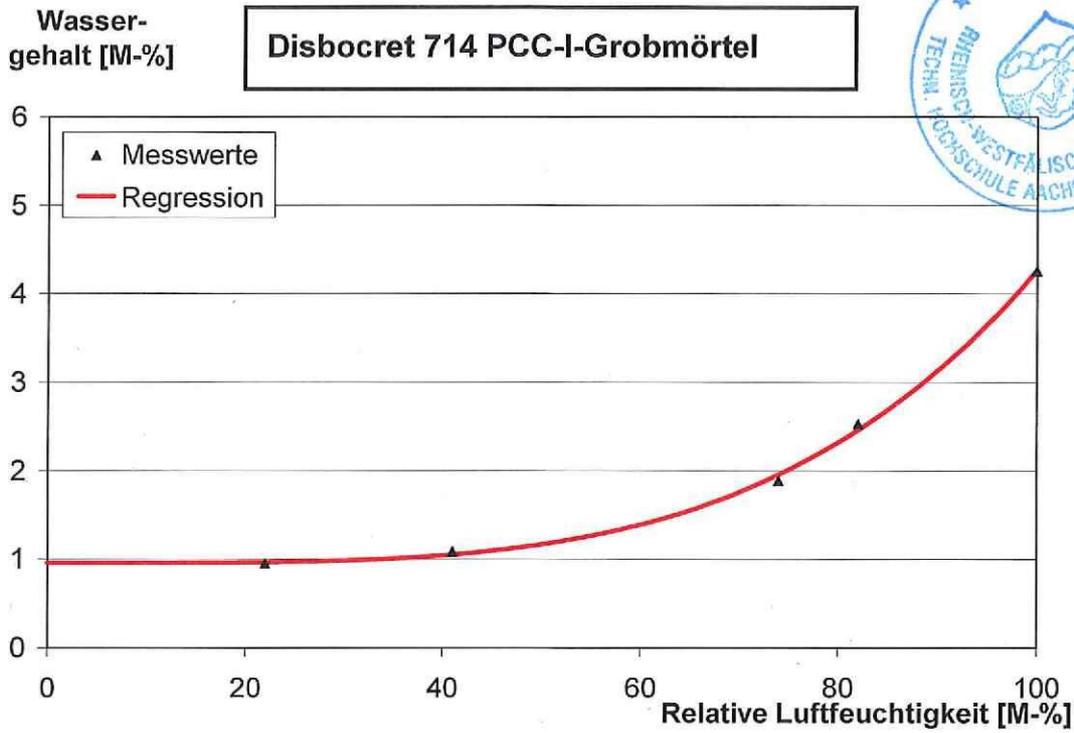


Bild B15: Adsorptionsisotherme und Regression für Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtel

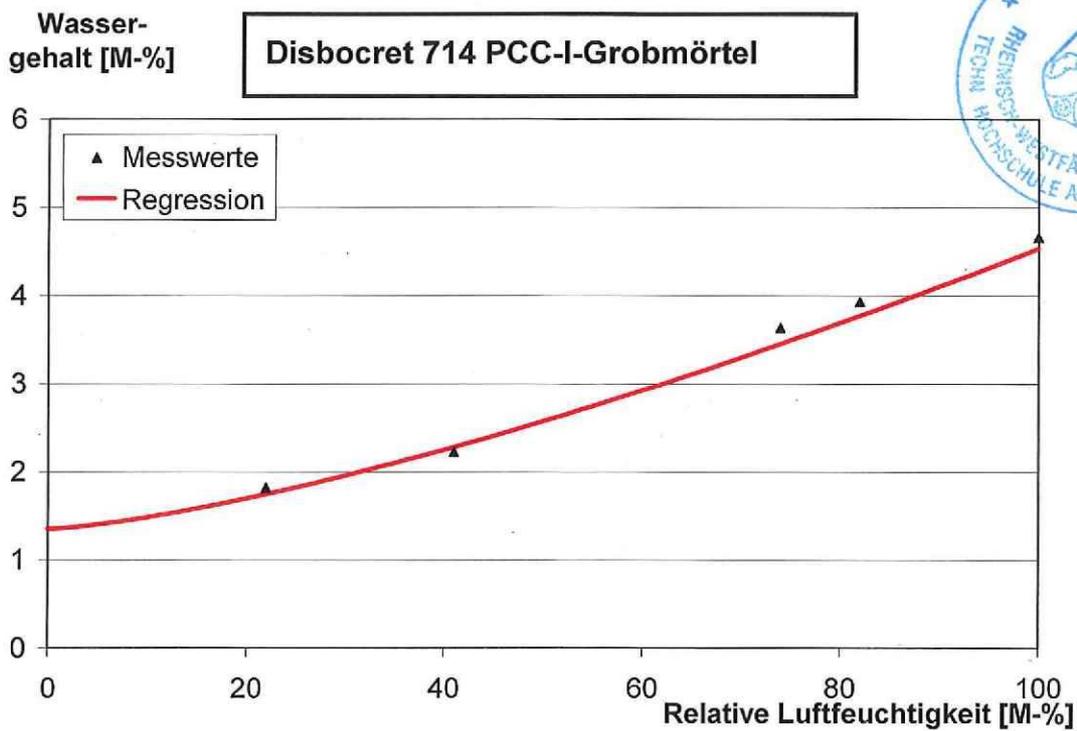


Bild B16: Desorptionsisotherme und Regression für Disbocret 714 PCC-I-Grobmörtel