

Ds/Fk

1. Ausfertigung

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

**Postadresse:**  
Institut für Baustoffforschung Aachen  
Bauwerkserhaltung · Polymerkomposite  
RWTH Aachen  
52056 Aachen

**Hausadresse:**  
Institut für Baustoffforschung 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](mailto:driessen@ibac.rwth-aachen.de)

[www.ibac-aachen.de](http://www.ibac-aachen.de)

## THEMA

Untersuchungen zur Eignung von  
Disbocret 715 als Anodeneinbettungs-  
und Reparaturmörtel für KKS-Flächen

**Prüfbericht Nr.**

M 2523  
vom 21.02.2019

M-2523-Ds.docx

**Projektbearbeitung**

Dipl.-Ing. C. Helm

C. Driessen-Ohlenforst, M. Sc.

**Auftraggeber/  
Förderer**

DAW SE  
Roßdörfer Str. 50  
64372 Ober-Ramstadt

**Auftragsdatum**

20.02.2019

**Aktenzeichen**

-

**Konten der Hochschulkasse**

RWTH Aachen  
Verwendungszweck: Für 311 310

SPARKASSE AACHEN  
IBAN: DE53 390 500 00 0000 0000 18  
SWIFT-BIC: AACSDE33

USt-IdNr. DE121689807

Dieser Bericht umfasst 16 Seiten, davon 6 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

Das Institut für Bauforschung Aachen (ibac) wurde von der DAW SE mit Untersuchungen zur Eignung eines Systems bestehend aus dem PCC Disbocret 715 als Reparatur- und Anodeneinbettungsmaterial sowie dem Produkt Disbocret 713 für die Anwendung beim kathodischen Korrosionsschutz (KKS) der Bewehrung mit Titanmischoxid (MMO) beschichteten Netzanoden beauftragt. 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 Polarisierung der Bewehrung nach verschiedenen Trocknungszyklen untersucht.

## 2 DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN

Im Rahmen dieser Materialprüfung wurden insgesamt vier verschiedene KKS-Systemprüfkörper unter Verwendung des Disbocret 715 als Reparaturmörtel und Disbocret 713 als 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 Widerstände infolge der Trocknung von Beton und PCC im System mittels Multiring-Elektroden an separaten Prüfkörpern mit identischem Systemaufbau.

## 3 BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHUNGSMETHODEN

### 3.1 Prüfkörper

#### 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 513-Mattenabschnitte 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 Beton aller vier Prüfkörper 4 M.-% Chlorid in Form von NaCl, bezogen auf den Zementgehalt, zugegeben. Für das Füllen des Reparaturbereichs sowie für die Einbettung des Anodenmaterials wurde Disbocret 715 eingesetzt. Die Anodeneinbettung erfolgte dabei in zwei Schritten. Es wurde zunächst eine ca. 15 mm dicke Ausgleichsschicht aufgetragen, auf die das Titan-Mischoxidnetz 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 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 nicht nutzbar 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 06.11.2008. Vor der Reprofilierung wurden die Prüfkörperoberflächen gestrahlt. Die Reprofilierung der nachgestellten Reparaturstellen erfolgte am 22.12.2008 im ibac durch eigene Mitarbeiter gemäß der Herstellerangaben. Hierbei wurde zunächst Disbocret 713 als Haftbrücke aufgetragen und dann frisch in frisch der Reperaturmörtel in den Reparaturbereich eingebracht (siehe 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 des Reperaturmörtels aufgebracht. Daraufhin wurde die Oberfläche wiederum gestrahlt. Auf diesem Untergrund wurde das Titan-Mischoxidgitter befestigt und dann erneut die Haftbrücke und weitere 15 mm Reperaturmörtel aufgetragen.

### 3.2 Versuchsdurchführung

Am 25.03.2009 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  $20 \text{ mA/m}^2$ , bezogen auf die Bewehrungsoberfläche, zwischen Anode und Bewehrung für mindestens 24 Stunden und Aufzeichnen des Schutzstromes zum jeweiligen Bewehrungsbereich
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 °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 °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<sup>2</sup>, bezogen auf die Bewehrungsfläche, zu erzeugen, sind 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 Shunt von 1 Ω, die Widerstandsmessung an den Multiring-Elektroden erfolgte bei einer Wechselstromfrequenz von 10,8 Hz.

#### 4 DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE

Bild B9, Seite B5, zeigt 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.

Die Institutsleitung

i. A.

Dipl.-Ing. C. Helm



Der Sachbearbeiter

i. A.

C. Driessen-Ohlenforst, M. Sc.



Tabelle A1: Betonentwürfe der Varianten der Systemprüfkörper

Variante	Zementart	w/z	Zementgehalt	Sieblinie	$f_{c,cube}$
-	-	-	kg/m <sup>3</sup>	-	N/mm <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6
CI-45	CEM I 42,5 R	0,45	375	AB16	43,7
CI-65	CEM I 32,5	0,65	275		26,0

Tabelle A2: Klimabedingungen und Dauer der Trocknungsschritte

Trocknungsschritt	Temperatur	relative Feuchte	Dauer
-	°C	%	d
1	2	3	4
1	44	15	16
2	44	15	22

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	-	$\Omega$		
1	2	3	4	5	6	7
CEM I	0,45	50	Original	100	264	1235
			Reparatur	151	278	1232
		15	Original	77	242	1163
			Reparatur	104	236	1098
	0,65	50	Original	76	204	576
			Reparatur	125	231	623
		15	Original	66	208	750
			Reparatur	90	225	785



**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		$\Omega m$		
1	2	3	4	5
0	7	1330	2670	6910
	12	835,6	1320	3640
	17	557,6	673,6	1110
	22	461,6	536,4	622,9
	27	409,5	463,1	563,5
	32	391,3	432,4	527,6
	37	379,6	418,2	509
26	7	635,4	1350	3910
	12	547,4	1010	2040
	17	493,3	824,7	1390
	22	431,8	641	947,9
	27	1320	2130	3930
	32	1490	2370	4470
	37	558,7	644,4	889,2
61	7	776,9	1600	3990
	12	818,2	1520	2880
	17	843,2	1480	2420
	22	858,5	1460	2250
	27	863,9	1500	2240
	32	757,8	1310	1950
	37	529,4	815,6	1170

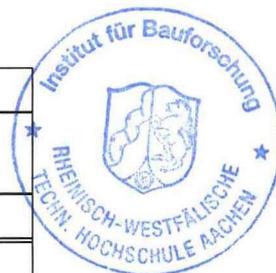




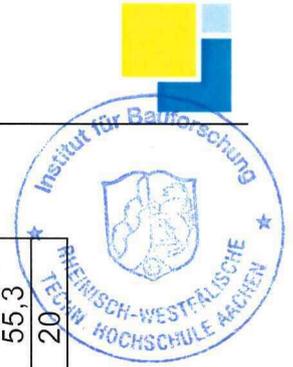
Tabelle A5: Tabellarische Zusammenstellung der mittels der Multiring-Elektroden ermittelten spezifischen Betonwiderstände unterhalb der Anodeneinbettung für die Grundbetonvariante CEM I, w/z = 0,65 bei verschiedenen Schichtaufbauten ( vgl. Bild B4, Seite B2)

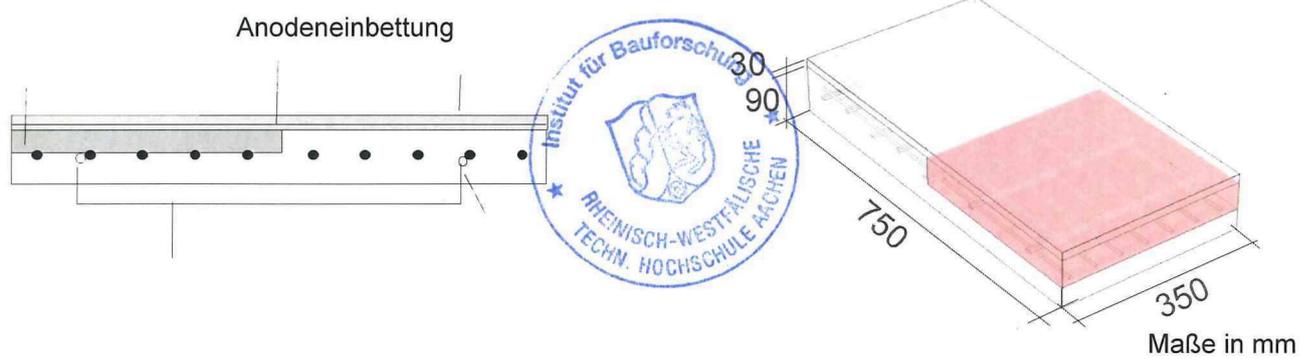
Deckung	Tiefe	spezifischer Widerstand		
		vor 1. Trocknung	nach 1. Trocknung	nach 2. Trocknung
mm		Ωm		
1	2	3	4	5
0	7	847,1	1560	2660
	12	765,4	1230	2150
	17	482,6	590,3	888,3
	22	372,4	423,3	570,8
	27	313,1	362	464,5
	32	299,3	344,6	435,5
	37	300,8	357,4	450,8
26	7	837,1	2000	4460
	12	832,7	1940	3620
	17	722,3	1530	2610
	22	503,2	824,6	1220
	27	688,6	1080	1700
	32	794,5	1230	1970
	37	469,5	584,3	837,7
61	7	651	1280	2560
	12	724,7	1390	2410
	17	683,9	1260	2040
	22	656,2	1170	1800
	27	641,7	1150	1720
	32	616,1	1090	1630
	37	582,3	993,9	1460



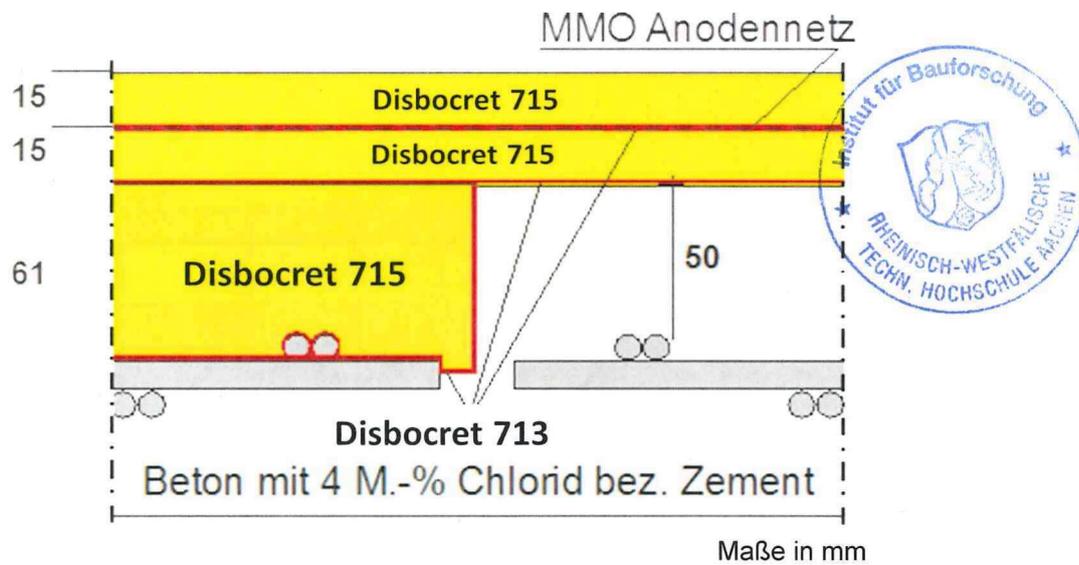
Tabelle A6: Tabellarische Übersicht über die Messergebnisse der Polarisationsversuche

Bindemittel	w/z	c	Bereich	Treibspannung mV	Trocknungen	Stromdichte bezogen auf die Bewehrungsoberfläche mA/m <sup>2</sup>	Inst.off. Pot			Depolarisation
							24 h	9	10	
-	-	cm	-	mV	-	mA/m <sup>2</sup>	mV			
CEM I 42,5 R	0,45	3	4	1347	0	19,85	8	-667,7	-537,8	129,9
			Original							
		Reparatur	1,5	2480	1	16,70	-641,5	-509,7	131,8	
		Original								
		Reparatur	2	8740	2	14,96	-592,4	-463,8	128,6	
		Original								
	Reparatur	0	1499	0	25,65	-512,8	-434,7	78,1		
	Original									
	Reparatur	1	2760	1	24,88	-654,1	-547,0	107,1		
	Original									
	Reparatur	2	20910	2	15,22	-631,5	-523,4	108,1		
	Original									
Reparatur	0	1306	0	23,53	-651,5	-548,4	103,1			
Original										
Reparatur	1,5	2330	1	16,50	-651,8	-501,9	149,9			
Original										
Reparatur	2	5960	2	24,36	-630,2	-500,4	129,8			
Original										
Reparatur	0	1364	0	16,27	-643,4	-450,6	192,8			
Original										
CEM I 32,5	0,65	3	4	2220	1	22,55	-621,3	-551,4	69,9	
			Original							
		Reparatur	1,5	5960	2	17,53	-622,6	-591,6	31	
		Original								
		Reparatur	2	1364	2	23,17	-597,4	-530,6	66,8	
		Original								
	Reparatur	0	4710	2	16,01	-623,1	-595,9	27,2		
	Original									
	Reparatur	1	2220	1	23,69	-584,5	-514,8	69,7		
	Original									
	Reparatur	5	5960	2	16,54	-615,7	-592,6	23,1		
	Original									
Reparatur	0	1364	0	22,91	-677,0	-598,4	78,6			
Original										
Reparatur	1	2220	1	17,20	-593,4	-559,2	34,2			
Original										
Reparatur	2	4710	2	24,90	-618,8	-567,2	51,6			
Original										
Reparatur	5	5960	2	14,26	-558,4	-539,5	18,9			
Original										
Reparatur	0	1364	0	25,26	-559,4	-504,1	55,3			
Original										
Reparatur	1	2220	1	14,18	-538,6	-518,6	20			
Original										
Reparatur	2	4710	2	25,26	-559,4	-504,1	55,3			
Original										
Reparatur	5	5960	2	14,18	-538,6	-518,6	20			
Original										

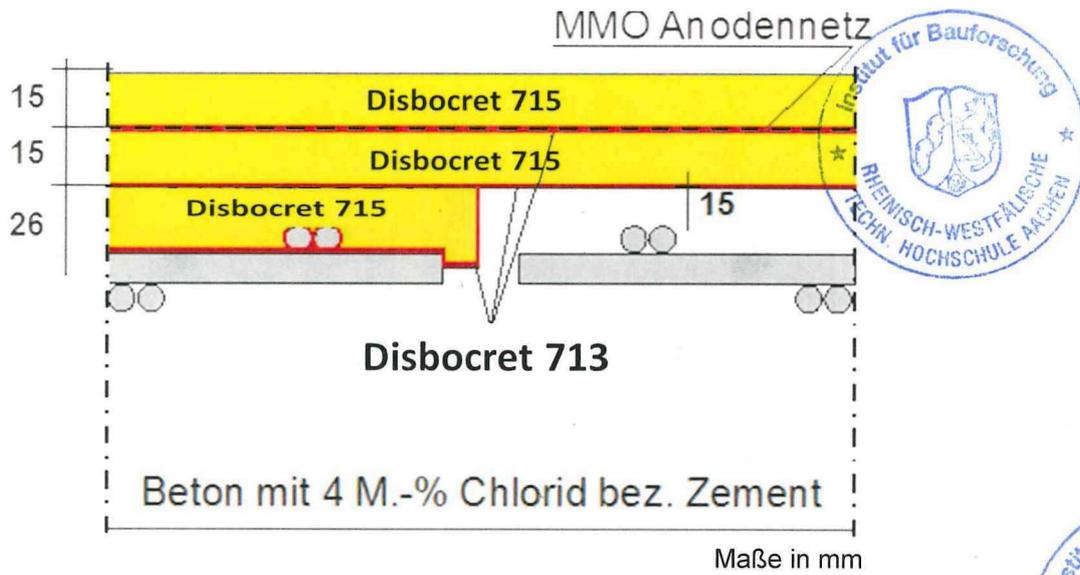




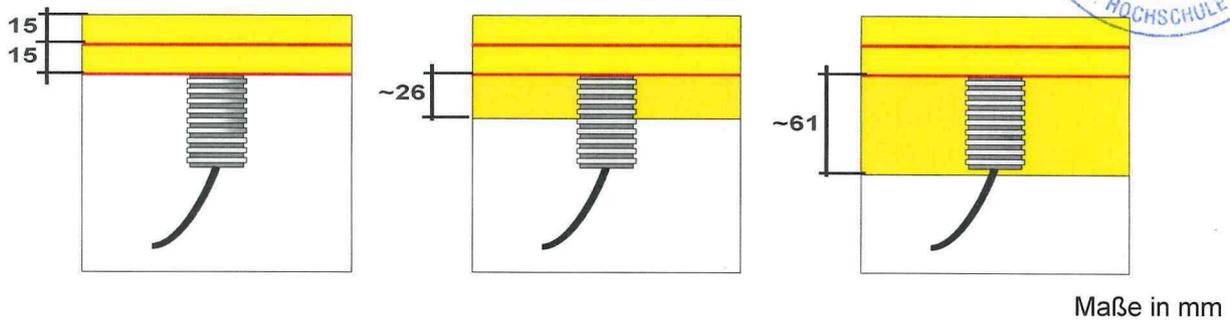
**Bild B1:** Prinzipieller Prüfkörperaufbau  
(Grundplatte: 35 · 70 · 9 cm<sup>3</sup>, Bewehrung 2 · Q 513 Mattenabschnitte)



**Bild B2:** Prüfkörperaufbau mit einer Betondeckung von 5 cm



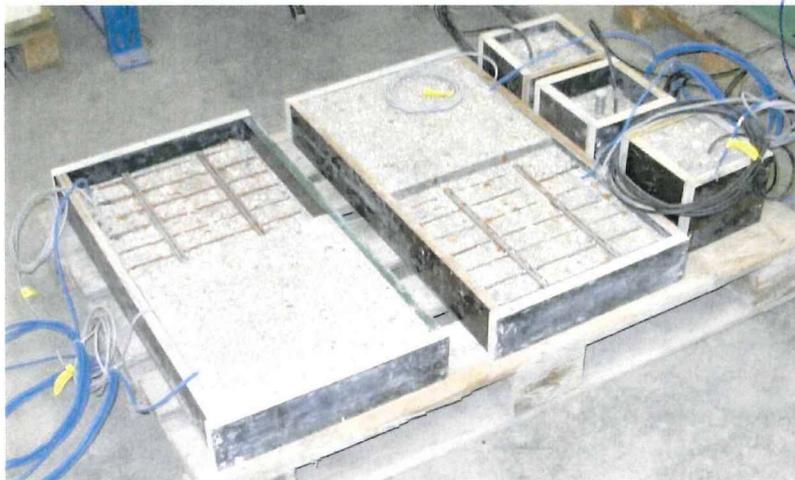
**Bild B3:** Prüfkörperaufbau mit einer Betondeckung von 1,5 cm



**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 715 und Disbocret 713



**Bild B8:** Versuchsaufbau und Potentiostaten



### CEM I 0,45 Disbocret 715

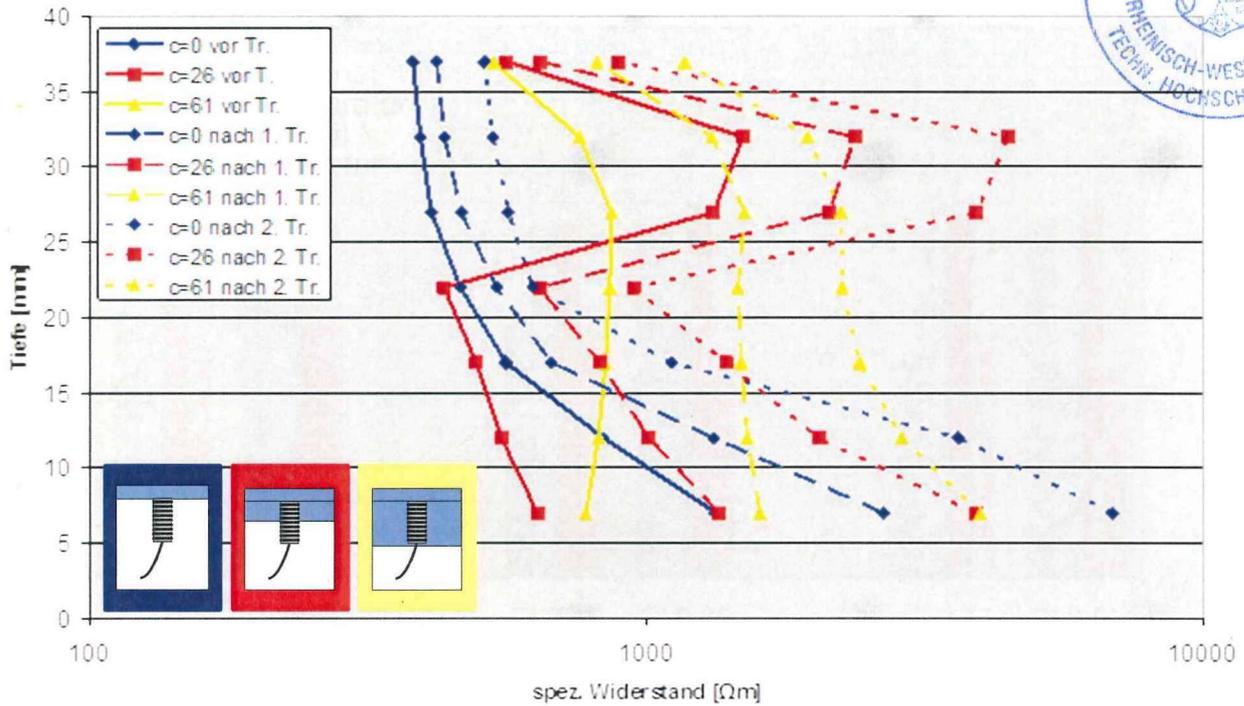


Bild B9: Spezifische Widerstände der Referenzkörper mit CEM I,  $w/z = 0,45$

### CEM I 0,65 Disbocret 715

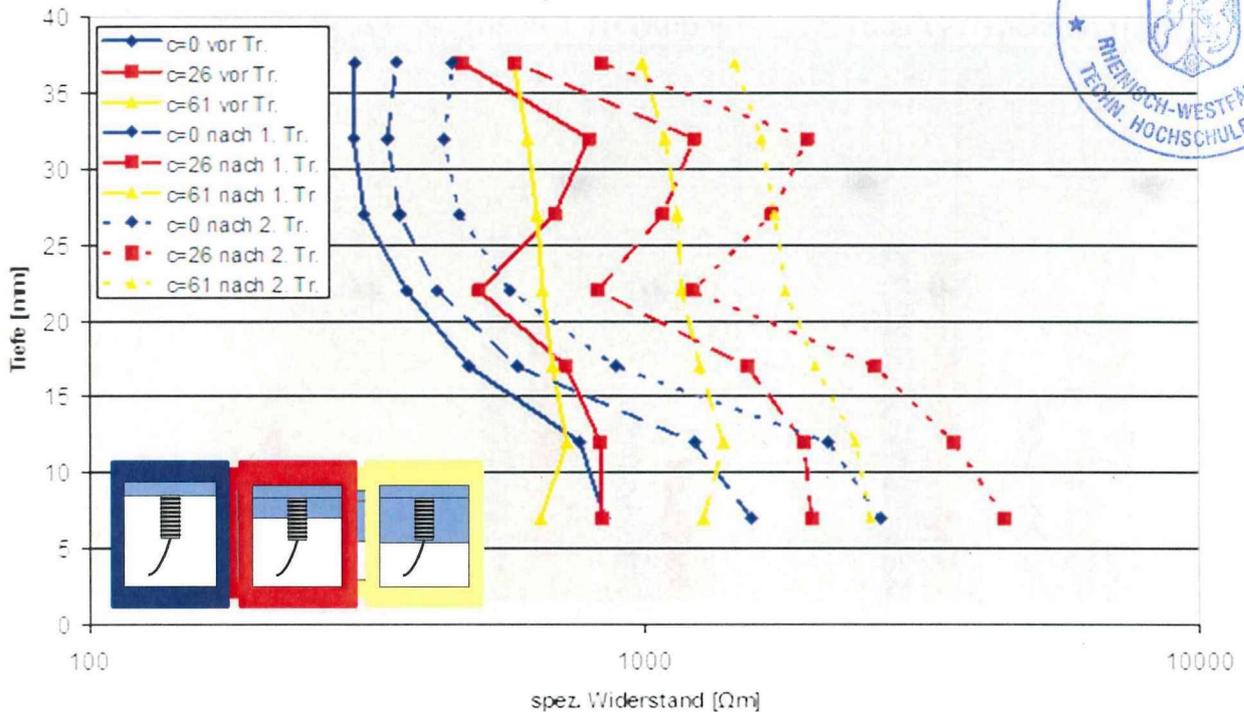


Bild B10: Spezifische Widerstände der Referenzkörper mit CEM I,  $w/z = 0,65$

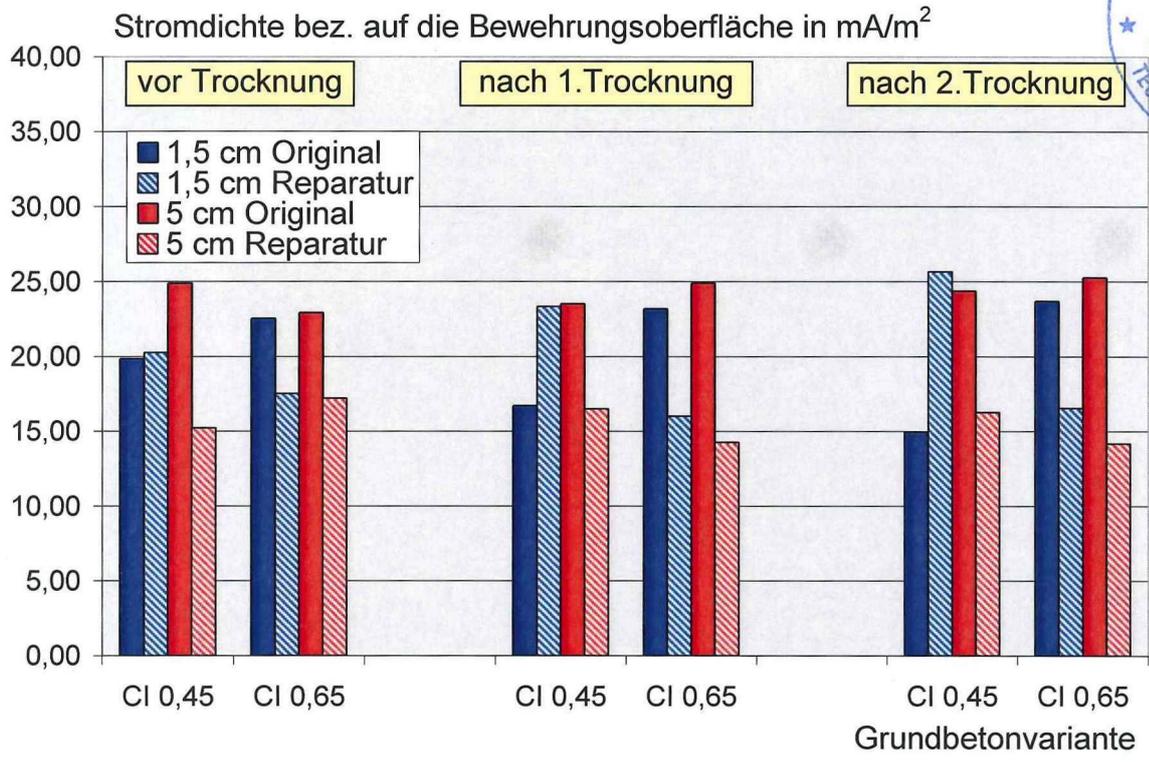


Bild B11: Schutzstromverteilung aller Prüfkörpervarianten

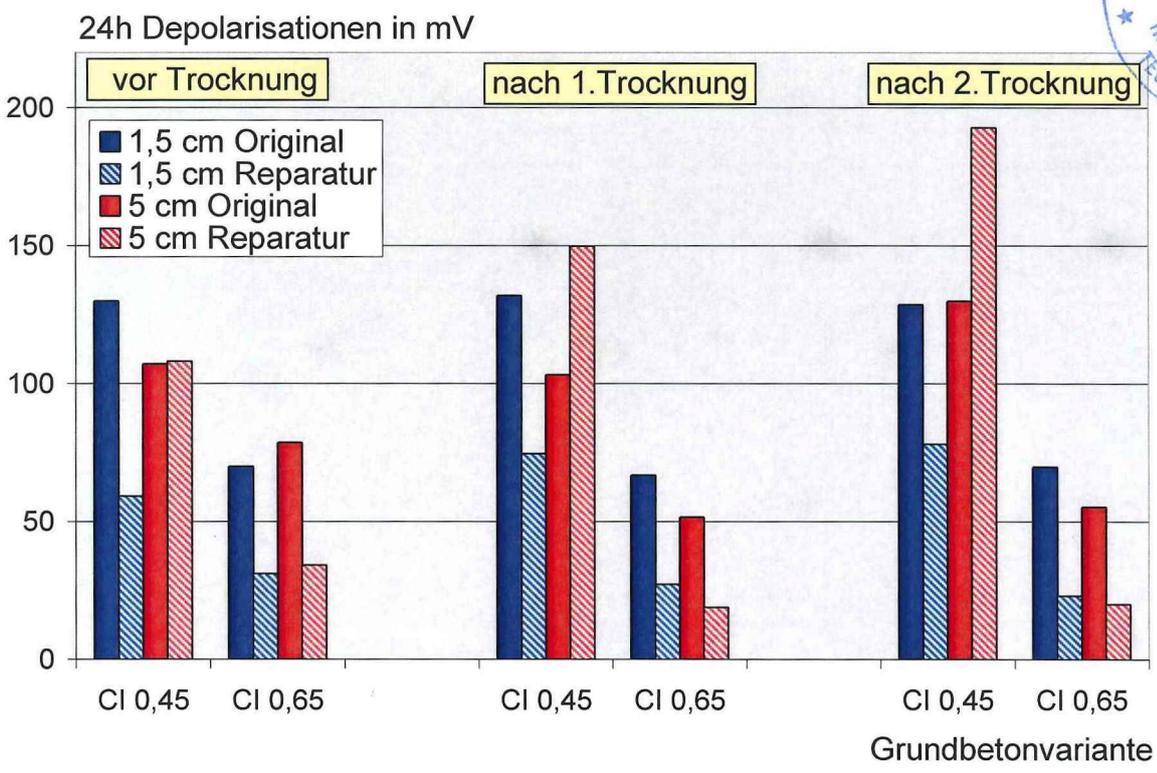


Bild B12: Erreichte 24 h-Depolarisation aller Prüfkörper