

Korrosionsgefährdung von Bewehrungsstahl bei Kontakt mit Acrylatgel

Projektleiter

Prof. Dr.-Ing.
Rainer Hohmann

Förderung

Fachhochschule
Dortmund
Forschungsbudget

Kontakt

Prof. Dr.-Ing.
Rainer Hohmann
Fachbereich Architektur
Fachhochschule
Dortmund
Emil-Figge-Straße 40
44227 Dortmund
Tel.: (0231) 755-4414
E-Mail: rainer.hohmann
@fh-dortmund.de

1 Einleitung und Problemstellung

Zur Abdichtung von Arbeitsfugen in wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton werden oftmals Injektionsschlauchsysteme eingesetzt, über die Füllstoffe als Abdichtung in die Arbeitsfuge injiziert werden. Neben Polyurethanharzen und zementgebundenen Injektionsstoffen werden in der Baupraxis häufig auch Acrylatgele eingesetzt. Bei diesen stellt sich aber die Frage, ob und inwieweit Acrylatgele eine korrosionsfördernde Wirkung auf den Bewehrungsstahl der Betonbauteile haben. Da der Bewehrungsstahl im Stahlbeton die Aufgabe hat, die Zugkräfte aufzunehmen, dürfen nur Füllstoffe zum Einsatz kommen, die keine korrosionsfördernde Wirkung zeigen. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt, um die Korrosionsgefährdung von Bewehrungsstahl bei Kontakt mit ausgewählten Füllstoffen auf Acrylatbasis zu bewerten.

2 Acrylatgele als Füllstoff

Acrylatgele gehören nach DIN EN 1504-5 [2] zu den Hydrostrukturgelen und sind aus untereinander vernetzten Polymeren aufgebaut. An den Außenflächen dieser dreidimensionalen Molekülstrukturen befinden sich die hydrophilen Makromoleküle in Form von Seitenketten, die von ihren chemischen Eigenschaften her wasserlöslich sind. Kommt dieses Makromolekül mit Wasser in Berührung, lösen sich nur die Seitenketten im Wasser, nicht das gesamte Molekül. Das Material nimmt Wasser auf und quillt. Die Abdichtwirkung basiert auf dem dadurch hervorgerufenen Quelldruck. Der Quellvorgang ist reversibel.

Bei Acrylatgelen handelt es sich um mehrkomponentige Füllstoffe, die erst unmittelbar vor der Verarbeitung gemischt werden. In der Regel bestehen sie aus den folgenden Komponenten:

- A 1: Flüssiger Bestandteil
- A 2: Aktivator, Katalysator oder Beschleuniger
- B: Härter (i.d.R. Natriumperoxid oder Ammoniumperoxidsulfat)

In der DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ [1] haben Acrylatgele bislang keinen Eingang gefunden, da noch nicht in ausreichendem Maße geklärt ist, ob Acrylatgele sich korrosionsfördernd auf die Bewehrung im Stahlbeton auswirken und damit u. U. die Standicherheit des Bauwerks negativ beeinflussen. Dennoch werden derzeit häufig auch Acrylatgele zur Abdichtung eingesetzt.

3 Versuchsdurchführung

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen der Anwendung von Acrylatgel in Arbeitsfugen und Bewehrungskorrosion zu untersuchen, wurden im Rahmen des Forschungsprojektes Untersuchungen an ausgewählten Acrylatgelen sowohl im nichtinjizierten als auch im injizierten Zustand durchgeführt. Im Einzelnen wurden Stahloberflächen nach Kontakt mit Acrylatgel unter verschiedenen Versuchsrandbedingungen untersucht. Folgende Versuche wurden durchgeführt:

- Stahlstiftversuche, bei denen blanke Stahlstifte zur Hälfte in Acrylatgel eingegossen wurden
- Versuche an Zementprismen mit einer 10 mm Fuge, in deren Bereich ein in den Probekörper eingelegter blanker Bewehrungsstahl mit Acrylatgel vergossen wurde
- Betonprüfkörper, bei denen eine risskreuzende Bewehrung mit Acrylatgel durch Verpressen des Risses in Kontakt gebracht wurde

Die Beurteilung der Reaktion beider Stoffe wurde in unterschiedlichen Zeitabständen visuell vorgenommen. An den Betonprüfkörper wurden Potentialmessungen durchgeführt.

3.1 Korrosionsuntersuchung der Kombination Bewehrungsstahl / Füllgut (Stahlstiftversuche)

Um die Auswirkung von Acrylatgel in Kontakt mit Stahl zu untersuchen, wurden blanke Stahlstifte zur Hälfte in Acrylatgel eingegossen. Der Wasserzutritt wurde durch unterschiedliche Lagerungsarten hervorgerufen (siehe auch Tabelle 1):

- Lagerung des Prüfkörpers bis zur Hälfte der Acrylatgelummantelung in Leitungswasser
- Lagerung auf Filterpapier, das mit Leitungswasser benässt wurde

Während des Versuches wurden in regelmäßigen Zeitabständen die sichtbaren Flächen der Stahlstifte hinsichtlich Korrosion visuell untersucht. Der Versuchsaufbau wird durch die Bilder in Tabelle 1 verdeutlicht. Typische Ergebnisse sind in Tabelle 2 angegeben.

Beim Versuchsaufbau B wurden die z.T. im Acrylatgel eingebetteten Stahlstifte auf benäßigtem Filterpapier so gelagert, dass der Kopf des Stahlstiftes einen direkten und flächenhaften Kontakt zum Filter und damit zum Wasser hatte. Insgesamt wurden sieben Produkte von zwei verschiedenen Herstellern untersucht, davon fünf Acrylatgele (Produkt A – E), ein Hybridpolymer (Produkt F) und ein Polyurethanfüllstoff (Produkt G).

Da der Korrosionsschutz des Bewehrungsstahls im Beton durch die Alkalität des Betons erfolgt, kommt der Bedeutung des pH-Wertes im Umfeld des Bewehrungsstahles besondere Bedeutung zu. Daher wurden im Rahmen des Versuches die pH-Werte der Acrylatgele und deren einzelne Komponenten gemessen. Die Ergebnisse dieser Messung sind in Tabelle 2 angegeben. Es zeigt sich, dass die Acrylatgele zum Teil pH-Werte besitzen, die deutlich unter 2 liegen. Dadurch kann eine

bereichsweise Aufhebung der hohen Alkalität des Betons ($\text{pH} > 12$) und damit des Korrosionsschutzes des Bewehrungsstahls verbunden sein. Bei keinem der untersuchten Acrylatgele wurde ein pH -Wert > 7 festgestellt.

Bei der visuellen Beurteilung konnten zunächst nur die sichtbaren Flächen der Stahlstifte beurteilt werden. Unterschiede gab es bei den vollflächigen Proben auf Filter, da beim Acrylatgel B durch starkes Quellen nicht mehr durch die Probe durchge-

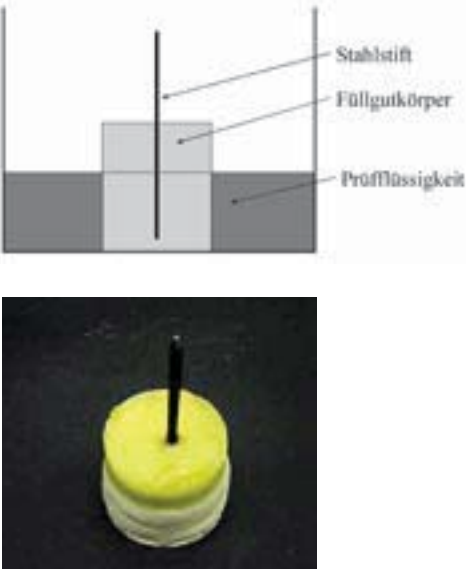
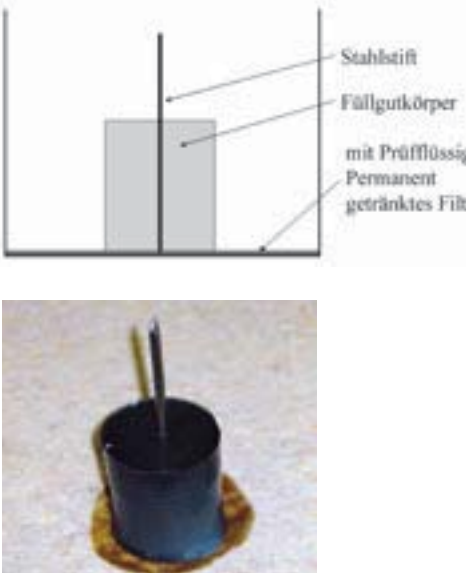
Versuchsaufbau und Prüfkörper	Anmerkung
<p>A</p> 	<p>Der Kopf des Stahlstiftes ist vollständig in Acrylatgel eingegossen. Er hat keinen direkten Kontakt zur Prüfflüssigkeit.</p>
<p>B</p> 	<p>Der Kopf des Stahlstiftes hat über das flüssigkeitsgetränkte Filtervlies direkten Kontakt mit der Prüfflüssigkeit.</p>

Tabelle 1: Probekörpervarianten und deren Lagerung







Material		pH-Wert	Beurteilung
F 	Komp. A	6,7	Korrosion am Nagelkopf
	Komp. B	5,6	
	Komp. A + B	5 - 6	
B und C  	Stammkomp.	5,4	Korrosion am ganzen Nagel stärkere Korrosion bei C als bei B
	Hydrocat	2,4	
	Leitungswasser + Salz (C)	6,8	
	Gemisch mit (C)	6 - 7	
	Leitungswasser + Salz (B)	7,3	
	Gemisch mit (B)	6 - 7	
D 	Komp. A	6,6	Korrosion am Nagelkopf
	Komp. B	1,7	
	Komp. A + B	5 - 6	
A 	Komp. A1	5,7	keine Korrosion erkennbar
	Komp. B1	7,6	
	Komp. A2	9,3	
	Komp. B2	5,9	
	Komp. A3	11,3	
	Gemisch A1 - A3	5,9	
G 	Komp. A	6	Korrosion am Nagelkopf

Tabelle 2: pH-Wert und Ergebnis der visuellen Beurteilung

schauf werden konnte. Hier wurde lediglich noch Korrosion an der Acrylatgeloberfläche erkannt. Beim Füllstoff C wurde die Verfärbung nicht ganz so groß, so dass Korrosion am ganzen Stahlstift erkennbar war. Bei den halbflächigen und vollflächigen Prüfkörpern im Wasser stellte sich derselbe Effekt ein. Acrylatgel C zeigte am Ende ein stärkeres Korrosionsverhalten als Acrylatgel B. Es wurde bei beiden Produkten pH-Werte um 6 gemessen.



Bild 1: Korrosion an den eingegossenen Stahlstiften, bei denen der Wasserzutritt über das Filterpapier erfolgte (a: Füllgut B, b: Füllgut C)

3.2 Prismenversuche

In Zementprismen mit den Abmessungen 4 cm x 4 cm x 16 cm wurde handelsüblicher Bewehrungsstahl (blank) unter Freilassen einer 1 cm breiten Fuge mittig eingegossen. Nach Erhärten des Probekörpers wurde die Fuge mit Acrylatgel vergossen, sodass der Bewehrungsstahl im Bereich der Fuge vollständig von Gel ummantelt war. Ein Beispiel zeigt Bild 2.

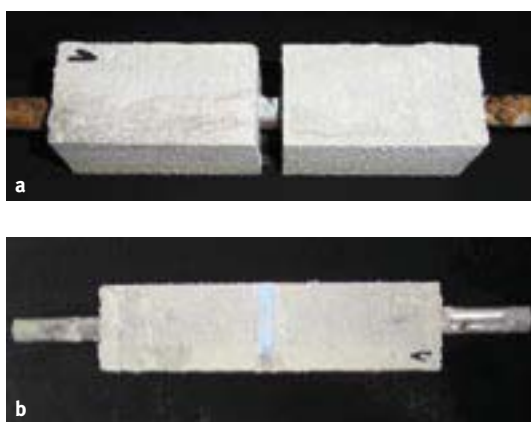


Bild 2: Mörtelprismen (a: nichtgefüllte Fuge, b: vergossene Fuge)

Die Prüfkörper wurden unterschiedlichen Lagerungen ausgesetzt; Einlagerung bei einer relativen Luftfeuchte von 95 %, in Wasser, bei Raumklima

(20 °C, 60 % r. LF.) und bei Wechsel-lage-rung Wasser / Raumklima (20 °C, 60 % r. LF.). Die Oberfläche der Bewehrung in der Fuge wurde visuell kontrolliert. Hierfür wurde aus der entsprechenden Prüfsérie in festgelegten Zeitabständen jeweils das Gel bei einem Probekörper entfernt. Die Stahloberfläche in der Fuge wurde visuell auf Korrosionsspuren untersucht.

Bei den Prismenversuchen wurde ein Acrylatgel mit drei unterschiedlichen Beschleunigern betrachtet. Nach drei Wochen Lagerung wurde der Bewehrungsstahl der ersten Prüfkörper visuell untersucht. Ein typisches Beispiel zeigt Bild 3. In Tabelle 3 sind exemplarisch einige der Beurteilungen angegeben. Die Probekörper, die mit dem Füllgut A vergossen wurden, zeigen im Vergleich zu den anderen Probekörpern deutlich schwächere Korrosionserscheinungen. Im Vergleich zu Tabelle 3, in der ausgewählte Beispiele nach dreiwöchiger Lagerung zu sehen sind, werden in Tabelle 4 Ergebnisse nach achtwöchiger Lagerung gezeigt.

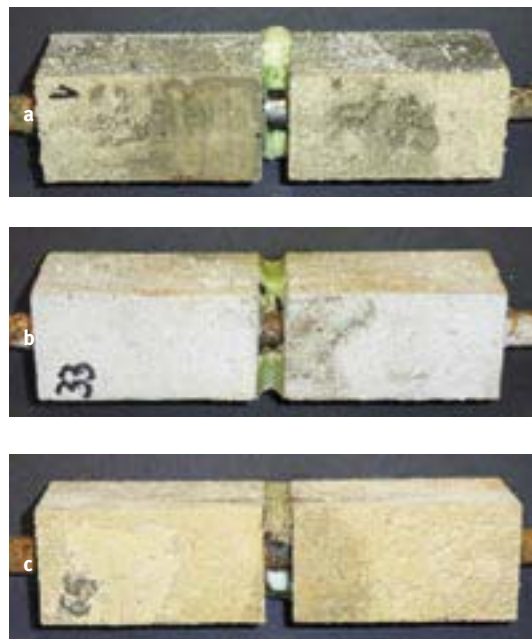


Bild 3: Prismen, an denen nach drei Wochen Lagerung das Füllgut entfernt wurde (a: Wasserlagerung, b: Luftlagerung, c: Wechsellaagerung)

Die Ergebnisse der verschiedenen Acrylatgele unterscheiden sich z. T. deutlich, wenn auch bei nahezu allen Probekörpern Korrosion festzustellen war. Das Korrosionsverhalten ist neben der Art

Füllgut / Prismen	Einlagerung	Korrosionsbeurteilung
Beschleuniger A		
	nass	keine Korrosion
	trocken	geringe Korrosion
	wechselnd	keine Korrosion
Beschleuniger B		
	nass	keine Korrosion
	trocken	geringe Korrosion
	wechselnd	geringe Korrosion
Beschleuniger C		
	nass	deutliche Korrosionsspuren
	trocken	starke Korrosion
	wechselnd	deutliche Korrosion

Tabelle 3: Beurteilung der Bewehrungsstähle nach drei Wochen

Füllgut / Prismen	Einlagerung	Korrosionsbeurteilung
Beschleuniger A		
	nass	deutliche Korrosion
	trocken	starke Korrosion
	wechselnd	starke Korrosion
Beschleuniger B		
	nass	starke Korrosion
	trocken	starke Korrosion
	wechselnd	starke Korrosion
Beschleuniger C		
	nass	starke Korrosion
	trocken	starke Korrosion
	wechselnd	sehr starke Korrosion

Tabelle 4: Beurteilung der Bewehrungsstähle nach acht Wochen

der Lagerung auch von dem Faktor Zeit abhängig. Nach einer 8-wöchigen Lagerung ist bei allen Probekörpern Korrosion am Bewehrungsstahl, z. T. in unterschiedlicher Ausprägung, festzustellen. In dem unten gezeigten Bild 4 wird der Korrosionsfortschritt nach acht Wochen Lagerung erkennbar.

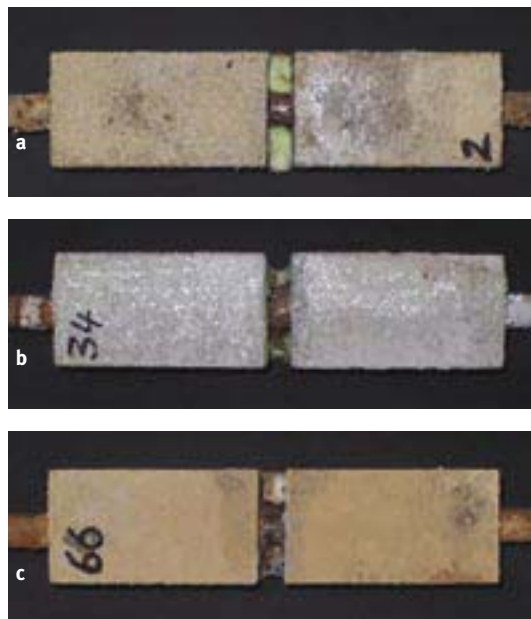


Bild 4: Prismen nach acht Wochen Lagerung mit freigelegtem Bewehrungsstahl (a: Wasserlagerung, b: Luftlagerung, c: Wechsellagerung)

Jedoch verursachten die Prismen mit dem Füllgut B und C eine stärkere Korrosion der Bewehrung. Im Gegensatz dazu wiesen die Prismen mit dem Füllgut A geringere Korrosionsspuren auf. Bei der Untersuchung zeigte sich, dass die Konzentration des Startersalzes sowie die Lagerungsbedingungen einen wesentlichen Einfluss auf die Korrosion des Bewehrungsstahls haben.

3.3 Korrosionsuntersuchung von Betonprüfkörpern

Für die Untersuchung mittels Potentialmessung wurden Probekörper (150 mm x 150 mm x 300 mm) aus WU-Beton hergestellt, die nach Aushärtung in der Probekörpermitte mittels Spaltzug gerissen wurden. Die zu beurteilende Bewehrung kreuzt den Riss. Der Riss wurde mit Acrylatgel verpresst, wodurch die Bewehrung mit dem Gel in Kontakt kam. Bild 5 und 6 zeigen den Versuchsaufbau. Die Probekörper wurden im klimatisierten Raum bis kurz unterhalb der Unterkante der

unteren Bewehrungslage in destilliertem Wasser gelagert, sodass davon auszugehen ist, dass alle Probekörper zum Zeitpunkt der Prüfung annähernd den gleichen Feuchtezustand hatten.

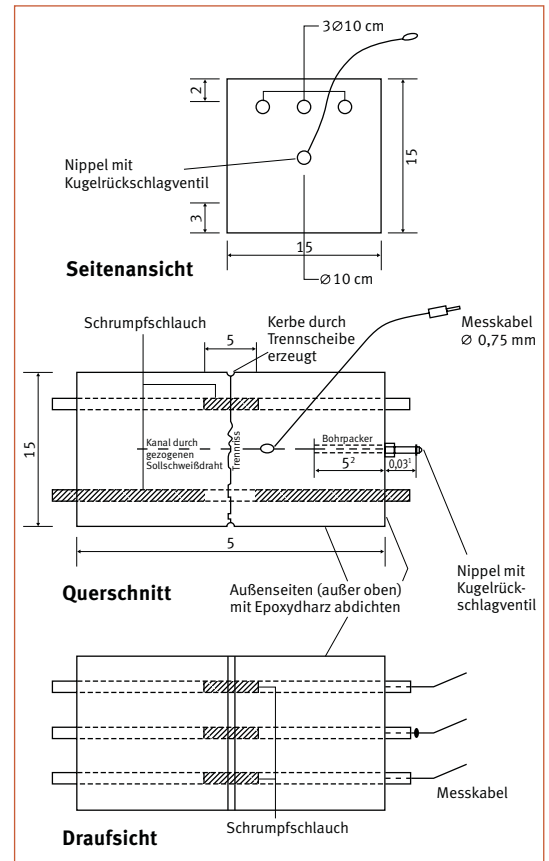


Bild 5: Schematische Darstellung des Probekörpers

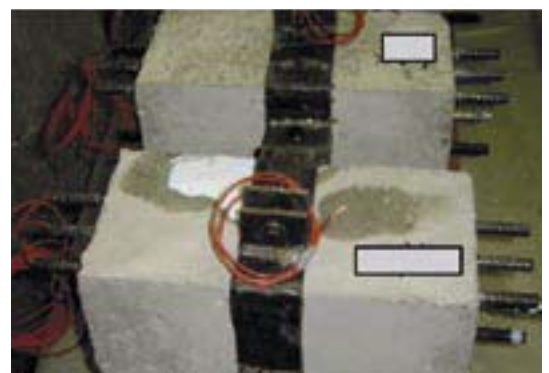


Bild 6: Prüfkörper für die Korrosionsuntersuchung

Bei dieser Untersuchung wurden 24 Probekörper mit verschiedenen Materialien injiziert. Zwei wurden gebrochen, aber nicht injiziert und

einer wurde unversehrt gelassen. Die drei nicht injizierten Probekörper dienten als Referenz, um eine Aussage über das Korrosionsverhalten der Stahlbetonproben mit und ohne Füllstoff geben zu können. Es wurden insgesamt drei verschiedene Acrylatgele verwendet, wobei bei dem letzten der Anteil der Komponente B (Härter) variiert wurde (0,2 Gew.-%, 0,5 Gew.-%, 2,0 Gew.-%). Parallel zu der Untersuchung an der FH Dortmund wurden analoge Versuche am Institut für Massivbau an der Universität Duisburg-Essen durchgeführt. An den Versuchskörpern wurden Potentialmessungen durchgeführt. Dabei ergaben sich am Referenzkörper ohne Riss Werte von etwa + 100 mV. Bei den Probekörpern mit einem verpressten Riss wurden Potentiale $\lt - 50$ mV gemessen, die deutlich geringer waren als bei dem Referenzkörper ohne Riss. Damit verbunden ist eine erhöhte Korrosionswahrscheinlichkeit. Nach [3] ist die Wahrscheinlichkeit für Korrosion bei Potentialwerten von etwa $- 50$ mV bei ca. 50 %, bei Werten von $- 150$ bei 100%. Insbesondere bei den Probekörpern, die mit Acrylatgel verwendet wurden, bei dem ein erhöhter Anteil an Startersalzen zugesetzt war, lässt sich hier verstärkt Korrosion vermuten. Aufgrund der Vielzahl der Einflussfaktoren ist bei den Messungen aber von einer größeren Streuung auszugehen. Auch bei den Probekörpern mit dem nicht injizierten Riss wurden Potentiale $\lt - 100$ mV gemessen. Hier hatte der Bewehrungsstahl im Rissbereich direkten Kontakt mit Wasser und dem Sauerstoff der Luft. Die Ergebnisse decken sich mit den Erkenntnissen, die sich bei vergleichbaren Versuchen an der Universität Duisburg-Essen ergaben. Um die Untersuchung langfristig beobachten zu können, wurden die Probekörper noch nicht aufgebrochen. Dies soll erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen haben ergeben, dass bei den untersuchten Acrylatgelen unter den gegebenen Versuchsbedingungen Korrosion in unterschiedlicher Ausprägung aufgetreten ist. Einflussgrößen waren u. a. der Gehalt an Startersalz sowie die Lagerungsbedingungen. Die Ergebnisse und Tendenzen deckten sich mit den Ergebnissen, die an der Universität Duisburg-Essen an vergleichbaren Probekörpern ermittelt wurden. Um Aussagen über einen größeren Zeitraum machen zu können, werden die Untersuchungen an den Probekörpern weitergeführt. Daher wird insbesondere mit dem Aufbrechen der Probekörper mit den injizierten Rissen und der visuellen Kontrolle der Bewehrung noch gewartet.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.): Richtlinie Betonbauteile, Schutz/Instandsetzung, Ausgabe: 2001-10. Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie). Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze; Teil 2: Bauprodukte und Anwendung; Teil 3: Anforderungen an die Betriebe und Überwachung der Ausführung; Teil 4: Prüfverfahren. Berlin: Beuth 2001
- [2] DIN EN 1504-5, Entwurf: „Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Definitionen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität - Teil 5: Injektion von Betonbauteilen“. 01/2002
- [3] Rechsteiner, A.: Grundlagen und Einsatz von Potentialmessungen an Stahlbetonbauteilen, WTA Schriftenreihe Heft 19, Korrosion von Bewehrungsstahl in Beton, Aedificatio Verlag GmbH, Freiburg/Zürich 1999, S. 51 – 66