

Kathodischer Korrosionsschutz mit Textilbeton

Koch GmbH

Im Rahmen eines ZIM-Projektes wurde ein innovativer Textilbeton mit Carbonfaser-Gewebe entwickelt, welcher die Möglichkeit bietet, Stahlbetonbauwerke kathodisch vor Korrosion zu schützen. Darüber hinaus soll er auch in der Lage sein, die Vorzüge eines Textilbetons (Bewehrungsersatz / -ergänzung, Rissüberbrückung, statische Verstärkung) aufweisen zu können. Über die vorstehenden Ansprüche hinaus soll das System wirtschaftlicher und schneller applizierbar sein als marktübliche Systeme und zusätzlich direkt befahrbar sein. Die Entwicklung dieses neuartigen Anodensystems für den kathodischen Korrosionsschutz für Stahlbetonbauwerke (KKS) erfolgte durch die Firma Koch GmbH und wurde wissenschaftlich durch das IBAC der RWTH Aachen begleitet.

As part of a ZIM project an innovative textile-reinforced concrete with carbon fiber textile was developed, which provides the ability to cathodically protect reinforced concrete structures against corrosion. Moreover, it should also be able to act as a textile concrete (replacement / increased reinforcement, crack bridging, structural /static improvement). Out of these, it should be also economical, easy to apply and directly drivable. The development of this new type of anode system for the cathodic protection of reinforced concrete structures carried out by the company Koch GmbH and was accompanied scientifically by the IBAC at the RWTH Aachen.

1- Konzeption und Verwirklichung des Vorhabens

Ziel des Vorhabens war die Entwicklung eines innovativen Anodensystems auf Textilbetonbasis, welches folgende Eigenschaften gewährleistet:

- Überbrückung von Rissen/ vielfache Rissverteilung
- Schutz vor Korrosion
- statische Verstärkung
- Anwendbarkeit sowohl bei Neubauten als auch bei bereits geschädigten Bauwerken
- direkte Befahrbarkeit
- hohe Abrasionsfestigkeit
- ausreichende Rutschhemmung
- möglichst dünnes System (Materialeinsparung, Traglast, befahrbare Höhe z.B. Parkhaus)

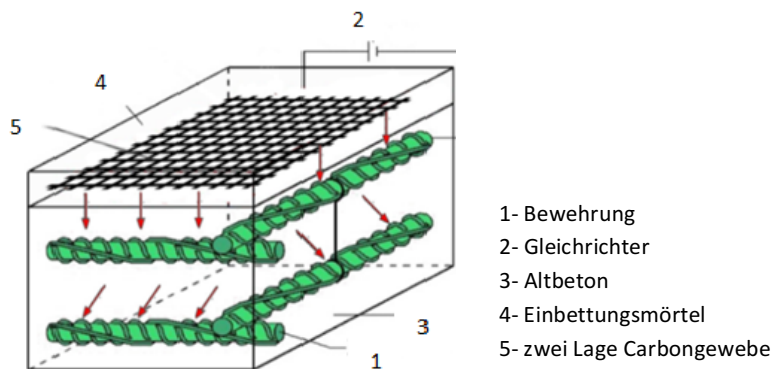


Abbildung 1- schematische Darstellung des kathodischen Korrosionsschutzprinzips mit Textilbeton

In Abbildung 1 wurde das kathodische Korrosionsschutzprinzip mit Textilbeton schematisch dargestellt. Für dieses System musste ein Mörtel als Einbettmörtel für den Textilbeton entwickelt werden, welcher auch zum Einsatz im KKS- System geeignet ist. Die dafür formulierten, betontechnologischen Anforderungen an geeignete Feinbetonmischungen für textilbewehrte Betonelemente, die zusätzlich auch die KKS bedingten Anforderungen erfüllen müssen, erforderten eine sorgfältige Auswahl und genaue prozentuale Zusammensetzung der Ausgangsstoffe. Die Schwierigkeit bei der Entwicklung des Mörtels lag darin, dass zwischen elektrischen und mechanischen Eigenschaften des Mörtels ein Kompromiss gefunden werden musste. Die Verbesserung einer Eigenschaft führte oft zur Verschlechterung anderer Eigenschaften. Der neu hergestellte Mörtel konnte gute mechanische Leistungen hinsichtlich der Biegezug- und Druckfestigkeit und der elektrischen Leitfähigkeit liefern. Bei der Auswahl der Carbon-Gewebe für die Herstellung des Textilbetons wurde ein besonderes Augenmerk auf die Fähigkeiten der Stromverteilung und des Benetzungsverhaltens mit dem Mörtel gelegt. Nach diversen Untersuchungen konnte ein geeigneter Textilbeton entwickelt werden, welcher in der Lage ist, einerseits als Anode die Anforderungen des KKS- Systems und andererseits die benötigten Anforderungen als Textilbeton zu erfüllen.

Für die Untersuchung der Übereinstimmung der Laborversuche mit der realen Einbausituation wurde eine ausreichend dimensionierte (ca. 30 qm), relativ stark chloridbelastete Fläche in einem Parkhaus in Siegen für Langzeitmessungen verwendet.

Der neu entwickelte Textilbeton für den KKS-B wird dort unter sehr anspruchsvollen Bedingungen (schlechte Leitfähigkeit, hohe Betondeckung) getestet.

2- Entwicklung eines neuartigen Mörtels für den Einsatz in KKS-B-Textilbeton

Die Auswahl der Ausgangsstoffe erfolgte auf Basis vorliegender baupraktischer Erfahrungen sowie einer umfangreichen Literaturrecherche. Die Probenmatrix setzt sich aus einer breiten Auswahl von käuflich erwerblichen Fertigmörteln zusammen. Letztlich kamen acht Mörtel in die Vorauswahl, die hinsichtlich Größtkorn, Festigkeiten, Frischmörteleigenschaften und Kunststoffgehalt geeignet schienen.

2.1- Untersuchung der technischen, mechanischen und elektrischen Eigenschaften des Mörtels

2.1.1- Verschleißwiderstandstest

Da der vorgesehene Mörtel für eine mögliche Befahrung einen entsprechend ausreichenden Verschleißwiderstand aufweisen muss (1) wurde zunächst die Abriebfestigkeit der Probenmatrix nach Böhme am IBAC untersucht (2). Gleichzeitig wurde an einem ausgewählten System (Vergussmörtel 2) der Einfluss eingebrachter Zusatzstoffe auf die Abrasionsfestigkeit getestet. Hierfür wurden der für den Mörtel geeignete verschleißfestigkeitserhöhende Zuschlag und Abstreuer untersucht. Abbildung 2 zeigt zusammenfassend den Verschleiß nach Böhme in Form des Massenverlusts. Die Ergebnisse zeigen, dass die Verwendung einer größeren Körnung zu einem höheren Verschleißwiderstand führt. Ein Gemisch aus 80 Gew.-% Trockenmörtel und 20 Gew.-% HS1 (Körnung von 0,5-1mm) in Kombination mit dem Abstreuen der Oberfläche mit dem Hartstoff lieferten das beste Ergebnis (Abbildung 2). Hinsichtlich Kosten und Verarbeitbarkeit wird mit einer Beimischung von 10 % ein guter Kompromiss erreicht, der sich auch für hoch belastbare Industrieböden eignen würde. Durch den Zusatz von Hartstoffen werden jedoch die in 2.2.2 und 2.2.3 beschriebenen Modifizierungen hinsichtlich Verarbeitbarkeit und des elektrischen Widerstands erforderlich. Aus technischen und wirtschaftlichen Aspekten wurde entschieden, Vergussmörtel 2 zur Entwicklung des Textilbetons für KKS-B zu verwenden und diesen als Basismörtel für weitere mechanische und elektrische Untersuchungen bzw. Modifizierungen einzusetzen.

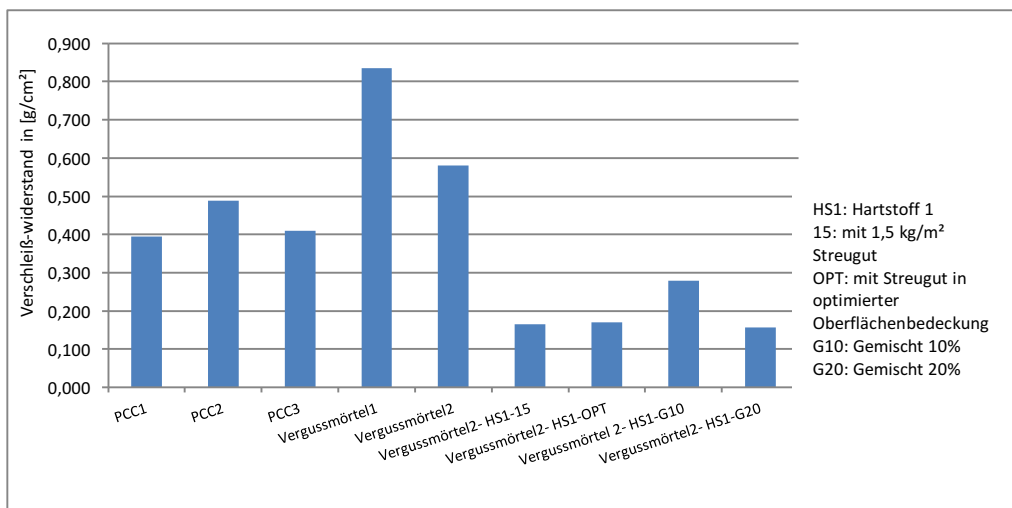


Abbildung 2- Verschleißwiderstand der verschiedenen Mörtel und der Vergussmörtel 2 unter Einfluss des Zusatzstoffes HS1

2.1.2- Erhöhung der Fließfähigkeit des Mörtels

Wegen des Anspruches an eine gleichmäßige Verteilung des Mörtels zwischen mehreren Gewebelagen mit möglichst geringem Abstand (möglichst dünnes System) soll der neu entwickelte Mörtel fließfähig und selbstverdichtend sein. Außerdem gilt ein guter Verbund zwischen textiler Bewehrung und der Betonmatrix als eine der Voraussetzungen für die Funktionstüchtigkeit des Textilbetons (3). Der Einsatz eines Feinmörtels mit einem maximalen Größtkorn von 2 mm und auch eine gute Verarbeitbarkeit des Mörtels haben einen entscheidenden Einfluss auf die Herstellung und Funktionstüchtigkeit des Textilbetons. Mit Hilfe von Fließmitteln sollte die Viskosität der Mörtelmischung soweit herabgesetzt werden, dass sich beim Herstellen des Textilbetons im Gießverfahren ohne Einsatz einer Rüttelplatte eine optimale Benetzung des Textils einstellt. Dazu wurden Fließmittel auf Polycarboxylatether Basis verwendet. Mit jedem der eingesetzten Fließmittel konnte die Verarbeitbarkeit signifikant verbessert werden. Dadurch wurde es möglich, die Textilbetonprobenkörper mit optimierter Benetzung des Gewebes und ohne zusätzliche Verdichtungsmaßnahmen herzustellen. Hierdurch entsteht jedoch der Bedarf einer Vorfixierung des Gewebes, um einem möglichen Aufschwimmen entgegen zu wirken (Kap. 3.1). Der Einsatz von Fließmitteln hat tendenziell (aus noch nicht weiter untersuchten Gründen) einen negativen Effekt auf den spezifischen Widerstand des Mörtels.

2.1.3- Untersuchung und Modifizierung der Mörtel hinsichtlich ihrer elektrischen Leitfähigkeit

Der neu zu entwickelnde Einbettmörtel soll für alle Anwendungszwecke, zu erwartende Altbetonwiderstände und klimatische Bedingungen ausreichend leitfähig sein. Zur Überprüfung der elektrischen Eigenschaften der entwickelten Systeme für deren Eignung im kathodischen Korrosionsschutz mussten zunächst funktionstüchtige Anodenanschlüsse konzipiert werden, mit denen es reproduzierbar möglich war, den Widerstand einer Mörtelprobe zu bestimmen. Letztlich wurde der spezifische Widerstand der Mörtel mit Titanbandelektroden untersucht. Die im Labor hergestellten Mörtelprismen wurden bei 40% relativer Luftfeuchtigkeit / 20°C gelagert und die Änderung des spezifischen Widerstands in Relation zum Wasserverlust untersucht. Bei allen Proben wurde nach 240 Tagen eine sehr hohe Steigerung des spezifischen Widerstands infolge von Wasserverlust nachgewiesen. Darüber hinaus galt es (siehe Kapitel 2.2.1 und 2.2.2), die Erhöhung des elektrischen Widerstandes von Vergussmörtel 2 – hervorgerufen durch den Einsatz von Fließmitteln und Zusatzstoffen - zu kompensieren. Hierzu kam u.a. ein nitrathaltiges Zusatzmittel (ZM5) zum Einsatz, welches die ionische Leitfähigkeit signifikant erhöhen sollte. Der Einsatz von ZM5 trug zur Verbesserung des elektrischen Widerstands des Systems, sowie zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften bei. Die Abbildung 3, links zeigt die Abhängigkeit verschiedener Zusatzmittel auf den spezifischen Widerstand der Mörtel (Lagerung 100 Tage, davon 90 Tage bei ca. 35% relativer Luftfeuchtigkeit und 20°C). Der Hartstoffzusatz (HS1) führt zunächst zu einer Verdoppelung des spezifischen Widerstandes. Durch den Einsatz von ZM5 konnte der spezifische Widerstand wiederum ungefähr auf den Ausgangswert ohne Hartstoffzusatz reduziert werden. Andere Zusatzmittel hatten zeigten kaum negative Auswirkungen.

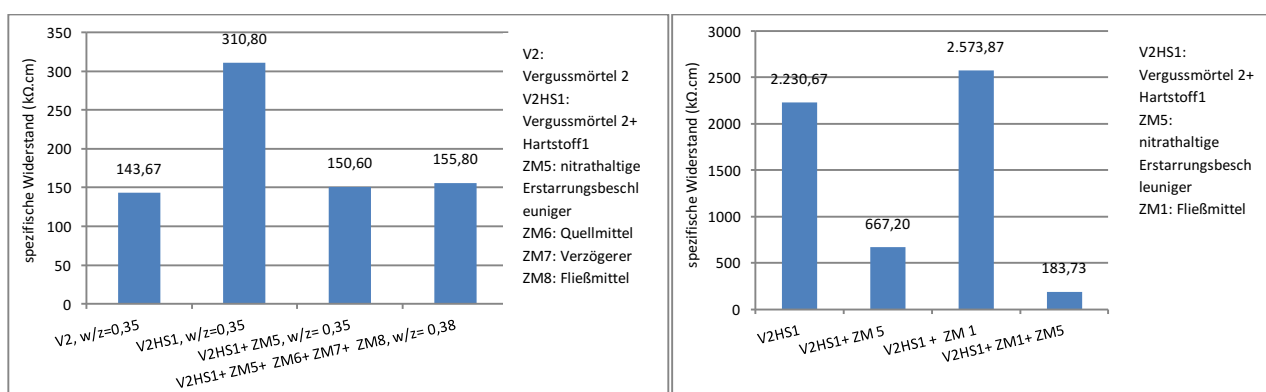


Abbildung 3- Zusammenhang des spezifischen Widerstands von verschiedenen Zusatzmitteln (links), positiver Einfluss der nitrathaltigen Erstarrungsbeschleuniger auf den spezifischen Widerstand (rechts)

Abbildung 3, rechts verdeutlicht wiederum den positiven Einfluss des die ionische Leitfähigkeit erhöhenden, nitrathaltigen Zusatzmittels (ZM5) auf den elektrischen Widerstand nach 400 Tagen.

2.1.4- Untersuchung der entwickelten Mörtel hinsichtlich Biegezug- und Druckfestigkeit

Aufbauend auf den vorstehenden Ergebnissen wurde die entwickelte Mörtelrezeptur auf Kombinationen von Vergussmörtel 2, Hartstoff HS1 und Zusatzmittel (ZM5, 6, 7, 8) eingegrenzt. Mit diesen Varianten wurde ein guter Kompromiss zwischen den mechanischen und elektrischen Eigenschaften sowie der Verarbeitbarkeit gefunden. Die Optimierung des Mörtels war in mechanischer Hinsicht vor allem durch die Änderung des w/z-Wertes von 0,457 auf 0,35 zunächst mit einer Leistungssteigerung von >80% der Druckfestigkeit sehr deutlich ohne Einbußen der Leitfähigkeit (Tabelle 2). Jedoch führen eine zu hohe Festigkeit und die schnelle Festigkeitsentwicklung des Mörtels zu einer Schwindrissproblematik (Kapitel 2.2.5). Darüber hinaus kann eine deutlich zu hohe Festigkeit unter Umständen dazu führen, dass die Kraftübertragung auf das Gewebe des Textilbetons negativ beeinflusst wird. Deshalb wurde die Druckfestigkeit durch weitere Modifizierungsverfahren, vor allem durch die Erhöhung des w/z- Wertes von 0,35 auf 0,38 und die Verwendung weiterer Zusatzmittel abgesenkt.

Tabelle 1- mechanische Eigenschaften verschiedener Mörtelmischungen

| Probe- Beschreibung | Biegezugfestigkeit [N/mm ²] (28 Tage) | Druckfestigkeit [N/mm ²] (28 Tage) |
|---|---|--|
| V2 ¹ , w/z:0,457 | 8 | 55 |
| V2HS1 ² , w/z: 0,457 | 8,9 | 67 |
| V2HS1 ² , w/z=0,35 | 9,3 | 72 |
| V2HS1 ² + ZM1 ³ + ZM5 ⁴ , w/z:0,35 | 10,3 | 96 |
| V2HS1 ² + ZM5 ⁴ + ZM6 ⁵ + ZM7 ⁶ + ZM8 ⁷ , w/z:0,38 | 8,22 | 60,40 |

¹: Vergussmörtel2, ²: Vergussmörtel2+ Hartstoff 1, ³:Fließmittel, ⁴: nitrathaltigen Erstarrungsbeschleuniger, ⁵: Quellmittel, ⁶: Verzögerer, ⁷: Fließmittel

2.1.5 – Untersuchung des Schwind- und Rissverhaltens des Mörtels

Zur Untersuchung des Schwindverhaltens kam eine Schwindrinne mit digitalem Präzisionsmesstaster als Wegaufnehmer zum Einsatz. Bei den Untersuchungen wurde festgestellt, dass die Zugabe von Erstarrungsbeschleuniger (ZM5) im Vergussmörtel (V2) zu starkem Frühschwinden führt. Die Reduzierung der Einsatzmenge von 4% auf 1% Erstarrungsbeschleuniger (ZM5) hat zu einer deutlichen Verbesserung des Schwindverhaltens geführt, wenngleich dadurch die elektrischen Eigenschaften der Mörtel wieder negativer beeinflusst werden. Daher wurde eine starke Reduzierung der ZM5- Menge ausgeschlossen und nach Kompensationsmöglichkeiten gesucht. Der Einsatz von aluminiumhaltigen Quellmitteln (ZM6) ab 0,6 Gew-% führte zu einer deutlichen Reduzierung des Schwindens (Abbildung 4).

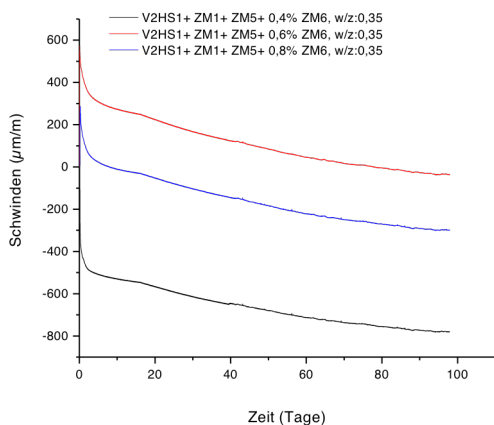


Abbildung 4- Schwindverhalten beim Einsatz verschiedener Quellmittelmengen

Als weitere Einflussfaktoren wurde der Einfluss der verschiedenen Nachbehandlungsmethoden untersucht, da diese zu einer Verhinderung des Frühschwindens führen können (4), (5). Die Ergebnisse zeigten, dass eine Folienabdeckung (ohne feuchte Nachbehandlung) nicht wirksam war. Das Besprühen mit Wasser direkt nach der Applikation kann hingegen das Frühschwinden positiv beeinflussen.

Nachdem das Schwindverhalten durch den Einsatz von Quellmitteln (ZM6) kompensiert wurde, sollte das Rissverhalten des Mörtels im Verbund zum Untergrund untersucht werden. Es wurde der Einfluss des w/z-Wertes, der verschiedenen Nachbehandlungsmethoden, die Zugabe von Quellmittel, Carbonfasern (CF), Carbongewebe (als schwindreduzierende Bewehrung) wie auch Einflüsse der verschiedenen Klimabedingungen auf das Rissverhalten des Mörtels untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass Quellmittel, Verzögerer und die Nachbehandlung mit Wasser plus Folie positiv zur Verhinderung

der Rissbildung beitragen. Eine Reduzierung des w/z-Wertes mit ebenfalls positivem Einfluss musste auf Grund der schlechteren Verarbeitbarkeit verworfen werden. Fasern und Gewebe hatten einen relativ geringen Einfluss.

3- Auswahl der Carbon-Gewebe

3.1- Untersuchung des Benetzungsverhaltens zwischen Mörtel und Gewebe

Für die Auswahl der geeigneten Gewebeformen hinsichtlich Benetzungsfähigkeit und Fixierung (mit möglichst geringem /ohne Abstand zum Untergrund und zueinander) wurden verschiedene Gewebeformen bzw. Systeme untersucht (Tabelle 3). Bezüglich des Verhaltens zwischen Mörtel und Gewebe wurden s.g. Benetzungstests durchgeführt. Dabei sollte aufgezeigt werden, wie ein möglicher Verbundkörper abhängig von der Konsistenz des Mörtels herzustellen ist (Laminieren, Gießen, etc...). Ein steifer Mörtel ohne Abstand der Gewebelage zum Untergrund kann keine ausreichende Benetzung bzw. Verbund zum Gewebe aufbauen. Deshalb ist für steifere Mörtel das schichtweise Herstellen des Verbundkörpers (Laminieren) mit ausreichendem Abstand der Gewebelage zum Untergrund der einzig praktikable Weg. Eine dünn-schichtig gute Benetzung des Gewebes auch in mehreren Lagen, ist nur mit fließfähigen Mörteln zu gewährleisten. Die Ergebnisse zeigen, dass bei allen Abständen auch für die Überlappungsbereiche eine ausreichende Benetzung gegeben ist. Durch eine gute Benetzung des Gewebes ist es möglich, die Systemschichtdicke des Textilbetons um einige Millimeter weiter zu reduzieren. Letztendlich ist die Fixierung der zwei Gewebelagen aufeinander und auf dem Untergrund sowohl mechanisch als auch elektrisch zu bewerkstelligen.

Tabelle 2- technische Information der verschiedenen Gewebe Typen

| Gewebe-Typen | Materialklasse | Werkstoff 1 | Gewicht (g/m ²) | Festigkeit | Dicke (mm) |
|-------------------------------------|----------------|-------------|-----------------------------|------------|------------|
| Gewebe 1-1lagig-600g/m ² | Textil | Kohlenstoff | leicht | hart | 0,8-1,3 |
| Gewebe 2-1lagig-400g/m ² | Textil | Kohlenstoff | leicht | hart | 0,8-1,3 |
| Gewebe 3-3D-225g/m ² | Textil | Kohlenstoff | leicht | hart | 12 |
| Gewebe 4-3D-250g/m ² | Textil | Kohlenstoff | leicht | hart | 12 |

Bei hoch fließfähigen Varianten muss die Gewebelage auf dem Untergrund fixiert werden, da es sonst zum Aufschwimmen des Gewebes kommen kann. Zusätzlich ist beim Einsatz von fließfähigen Mörteln auf die Entmischungsgefahr zu achten. In diesem Zusammenhang sollte eher ein selbstverdichtender Mörtel hergestellt werden.

3.2- Stromverteilung innerhalb der Gewebe und Untersuchung möglicher Anodenanschlüsse

Hier wurde die Stromverteilung an vier verschiedenen Carbon-Geweben getestet. Die Carbon-Gewebe haben unterschiedliche Strukturen, wenn man sie als Gewebe mit Kette und Schuss betrachtet. Bei den einlagigen Gewebesorten (Gewebe 1, Gewebe 2) zeigen die vertikalen Carbon-Multifilamente eine bessere Stromverteilung innerhalb der Gewebe und bei den 3D Gewebesorten (Gewebe 3, Gewebe 4) ist kein Unterschied der Stromverteilung zwischen den horizontalen und vertikalen Anschlüssen der

Einspeisepunkte feststellbar. Der Spannungsabfall für 1m² Gewebeplatte und 23,1 mA Bemessungs- Strom wurde zum Vergleich in Tabelle 4 dargestellt. Der Gewebe 1 (höchstes Gewicht / qm) zeigt den geringsten Spannungsabfall.

Tabelle 3- Zusammenfassung des Spannungsabfalls von verschiedenen Carbon-Geweben

| Gewebe | Spannungsabfall (mV) |
|--------------------------------------|----------------------|
| Gewebe 1- 1lagig/600g/m ² | 21,7 |
| Gewebe 2- 1lagig/400g/m ² | 44,3 |
| Gewebe 3- 3D/225g/m ² | 65,6 |
| Gewebe 4- 3D/250g/m ² | 30,9 |

Der Anodenanschluss muss die Anlegung einer Schutzspannung zwischen dem Textilbetongewebe und der Bewehrung ermöglichen. Zusätzlich solle er in der Lage sein, eventuelle Kontaktkorrosion auszuschließen. Insbesondere an den Einspeisepunkten kommt es bei bestehenden KKS-Systemen häufig ungewollt zu Korrosion am Übergang zur Kupferleitung. An diesen Punkten ist die Isolation gegenüber Feuchtigkeit deshalb besonders wichtig.

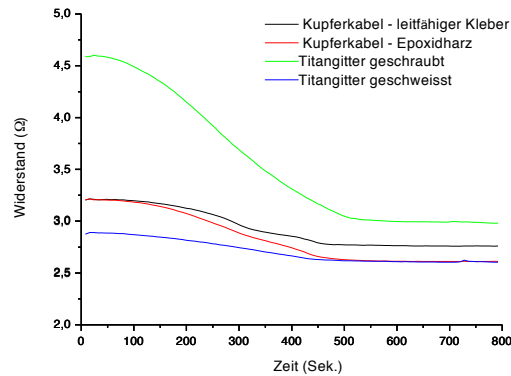
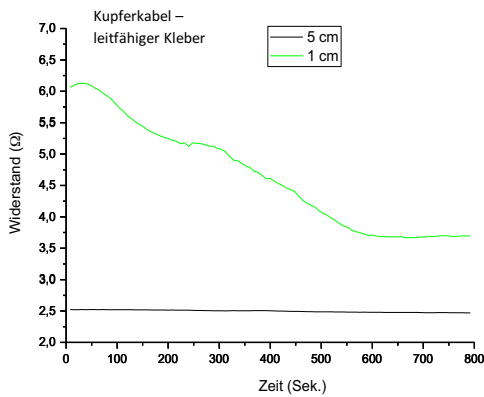
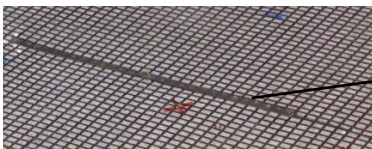


Abbildung 5- Widerstandsänderung bei der Verwendung von 1cm und 5 cm Kupferkabel für die Kontaktzone mit dem Carbon- Multifilament (links), Widerstandsänderung bei den untersuchten Anschlussystemen (rechts)

Zur Kontaktierung an das Carbonegewebe wurden Kupferkabel und MMO beschichtete Titanbänder verwendet. Die Kupferkabel wurden jeweils in 1 und 5 cm Länge mit einem ein Carbon- Multifilament verdreht und mit einem leitfähigen Kleber kontaktiert. Anschließend wurde der Kontaktbereich mittels Epoxidharz gegen eindringende Feuchtigkeit geschützt. Bei dem MMO beschichtetes Titanband-Anschlussystem wurde das Carbon-Multifilament zwischen zwei Titanbändern mechanisch mittels Schrauben bzw. Schweißpunkten befestigt. Alle untersuchten Systeme sind in der Lage als Einspeisepunkt bei KKS- Systemen eingesetzt zu werden. Das geschweißte Titanband zeigt die besten Werte (Abbildung 5, rechts) und hat darüber hinaus den Vorteil, dass der Anschluss an die Primäranode wie bei herkömmlichen Systemen mit sehr geringem Korrosionsrisiko herzustellen ist. Eine Vergrößerung der Kontaktfläche zeigt deutlich positive Effekte (Abbildung 6).



Zwei MMO beschichtete Titanbänder, die oberhalb und unterhalb der Gewebe positioniert und zusammengeschweißt sind

Abbildung 6- Titandraht angeschweißt an zwei zusammengeschweißte MMO beschichtete Titanbänder oberhalb und unterhalb der Carbonegewebe

Im Anschluss wurde die Funktionstüchtigkeit des entwickelten Anodensystems im Labormaßstab getestet. Es wurde gezeigt, dass es bei verschiedenen Klimabedingungen und unterschiedlichen Chloridgehalten eine ausreichende Stromdichte (min. 4 mA/m² nach 200 Tagen) für den KKS liefern kann. Die Ausschaltpotentiale der Proben (Polarisationskurve) können das Ergebnis bestätigen (Abbildung 7). Bei allen Proben ergibt sich ein Potentialabfall über maximal 24 h von mindestens 100 mV ausgehend vom Wert des Ausschaltpotentials.

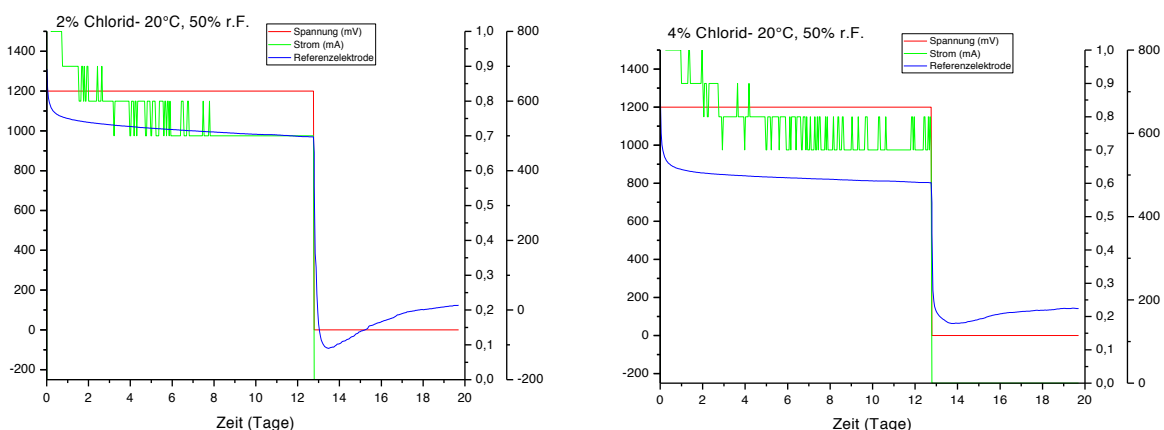


Abbildung 7- Ausschaltpotential bei 20°C und 50% r.F. für einen Untergrund mit 2% Chloridgehalt (links) und 4% Chloridgehalt (rechts)

4- Aufbringen des entwickelten Textilbetons in einem Parkhaus mit chloridinduzierter Korrosion

Um die Anwendungsmöglichkeiten von Carbongeweben als Anoden im KCSB Bereich zu testen, wurde bereits 2011 eine Testfläche in einem Parkhaus in Siegen mit zwei Lagen 600g - Gewebe hergestellt und mit einem geeigneten PCC-Mörtel in Laminieretechnik eingebettet (Abbildung 8, links).

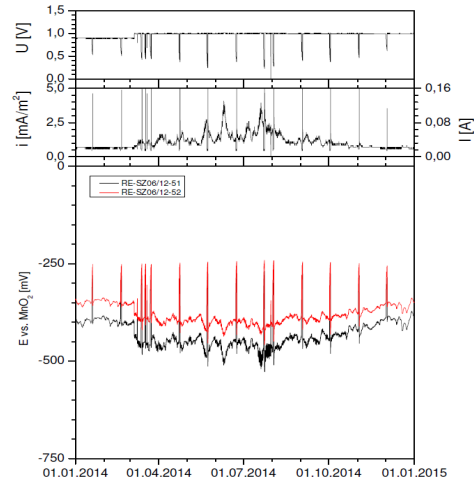
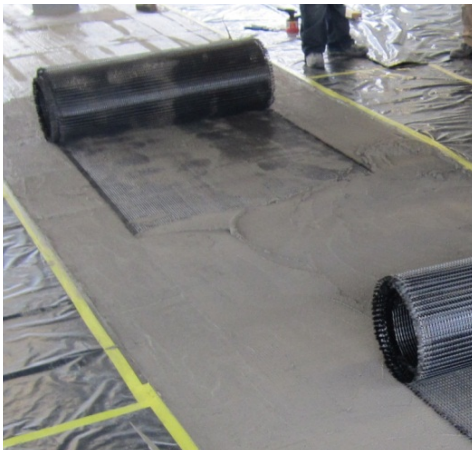


Abbildung 8- Einsatz der Carbongewebe als Anoden im KCSB in einem Parkhaus in Siegen (links), Funktionskontrolle der Schutzparameter für 2014 (rechts)

Bei einer mittleren Schutzstromdichte zwischen 1 und 1,5 mA/qm für die Jahre 2012 bis 2015 wurde das 100 mV-Kriterium erreicht. Eine Anpassung dieser Werte nach oben – durch Austrocknung – war bisher nicht erforderlich. Abbildung 8, rechts stellt die Messergebnisse für den Zeitraum 01.01.2014 bis 01.01.2015 dar. Wie in Abbildung 8, rechts zu erkennen ist, wurde für eine Spannung zwischen 0,9 bis 1,0 Volt eine Stromdichte von ungefähr 1 mA/m² errechnet. Die Ausschaltpotentiale waren mit Werten zwischen 150 bis 200 mV für die beiden Referenzelektroden ausreichend. Der Anstieg der Stromdichte in den Sommermonaten ist der Zunahme der Umgebungstemperatur geschuldet.

2015 konnte eine ausreichend dimensionierte (ca. 30 qm) Fläche in einem anderen Parkhaus in Siegen zu Testzwecken genutzt werden. Bei dem vorhandenen Betonuntergrund handelt es sich um eine schlaff bewehrte Bodenplatte mit relativ hoher Chloridbelastung, schlechter Leitfähigkeit und hoher Betondeckung. Das System wird dort unter sehr anspruchsvollen Bedingungen getestet. In zwei horizontalen Flächen (jeweils ca. 15 qm) mit getrennten Schutzzonen wurden eine einlagige und eine zweilagige Gesamtsystemlösung installiert (Abbildung 9, links, Mitte) und mit dem entwickelten Mörtel vergossen (Abbildung 9, rechts). Für diese Flächen wurde ein vollständiges Potenzial- und Bewehrungsmonitoring vor der Installation vorgenommen um Simulationswerte mit dem Ist-Zustand abgleichen zu können. In jede Zone wurden eine Referenzelektrode, eine Multiringelektrode mit Temperaturfühler und die Busankopplung zur Fernüberwachung und –steuerung installiert. Pro Zone wurden zwei Kathoden- und vier Anodenanschlüsse vorgesehen, die nach Bedarf abschaltbar sind. Durch diese Installationsweise können Oxidationseffekte am Einspeisepunkt nachgewiesen bzw. ausgeschlossen werden.



Abbildung 9- Die Verlegung und Fixierung der zwei Gewebelagen mit Abstand zu einander und zum Untergrund (links), die Verlegung und Fixierung des einlagigen Gewebes mit Abstand zum Untergrund (rechts) Abbildung 10- Vergießen des Mörtels auf diese Flächen

Mit den prototypischen Feldversuchen werden seit März 2015 die Langzeitmessergebnisse aufgenommen, um die Dauerhaftigkeit des Systems nachzuweisen. Aktuell zeigen alle Ergebnisse hinreichend gute Werte.

6- Fazit

Durch den Einsatz von Fließmitteln konnte die Fließfähigkeit des Mörtels soweit verbessert werden, dass man ohne Anwendung von Hilfsmitteln eine gute Verteilung des Mörtels zwischen den Gewebegittern erreicht. Zur Fixierung der Carbon-Gewebe auf dem Untergrund und bei zwei Gewebelagen aufeinander wurde ein geeignetes Verfahren konzipiert. Somit kann das Gewebe in kurzer Zeit sowohl elektrisch als auch mechanisch aufeinander und auf dem Untergrund fixiert werden. Die elektrische Leitfähigkeit des entwickelten Textilbetons ist in der Lage, bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen und bei unterschiedlichen Chloridgehalten ausreichend Schutzstrom für den KKS-B zu liefern. Die entwickelten Einspeisepunkte, mit angeschweißtem MMO beschichtetem Titanband und Titandraht, ermöglichen eine ausreichende und dauerhafte Schutzspannung zwischen Primäranode und Anodengitter. Die Werte der mechanischen Eigenschaften des Mörtels z.B. Biege-, Druckfestigkeit sind für die Anwendung des Textilbetons als statische Verstärkung ausreichend hoch. Die hohe Abrasionsfestigkeit und eine ausreichende Rutschhemmung ermöglichen es, auf weitere Schutzschichten zu verzichten.

Das Rissverhalten zeigt bei der Aushärtung allerdings eine große Empfindlichkeit gegenüber klimatischen Abweichungen. Deshalb sollte bei der Herstellung des KKS-Textilbetons besonders auf eine sorgfältige Nachbehandlung geachtet werden. Um den entwickelten Textilbeton als Anodensystem für KKS-B als dauerhaftes Verfahren etablieren zu können, werden weitere Ergebnisse der Langzeittests notwendig sein. Aktuell zeigen alle Ergebnisse die erwarteten Werte. Der KKS-Textilbeton kann hinsichtlich Performance, Ökologie und Ökonomie konventionellen Systemen derart überlegen sein, dass er seinen Platz in der Instandsetzung sicher einnehmen wird.

Detlef Koch Koch GmbH, Hagener Str. 87, 57223 Kreuztal; www.betonbeschichtung.net

7- Literaturverzeichnis

1. Deutsche Institut für Normung, DIN EN 13813, Estrichmörtel und Estrichmassen, Eigenschaften und Anforderungen. s.l. : Deutsche Norm, 2002.
2. Deutsche Institut für Normung, DIN 13892-3. Prüfverfahren für Estrichmörtel und Estrichmassen- Teil 3: Bestimmung des Verschleißwiderstandes nach Böhme, Deutsche Fassung EN 13892-3. 2004.
3. Brameshuber, Wolfgang. Textilbewehrter Beton - eine neuer Verbundwerkstoff, Innovationen in der Betonbautechnik, 3. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung. Universität Karlsruhe : s.n., 2006.
4. Laura, Pietro- Leemann, Andreas- EMPA, Abteilung Beton / Bauchemie. Frühschwinden von Beton. 2010.
5. Schmidt, Markus- Slowik, Volker. Kapillare Schwindrissbildung in Beton, Forschungsbericht zu Ursachen und Auswirkung sowie zur Vermeidung von Frühschwindrissen. Berlin : s.n., 2010.
6. Deutsche Institut für Normung, DIN EN 13139. Gesteinkörnung für Mörtel.
7. Dauberschmidt, Christoph- Vestner, Stephan. Grundlagen des Kathodischen Korrosionsschutzes von Stahl in Beton. 2010.
8. Deutsche Institut für Normung. Kathodischer Korrosionsschutz von Stahl in Beton (ISO 12696: 2012). Deutschland : s.n., 2012.
9. Eickschen, Eberhard- Siebe, Eberhardl. Einfluß der Ausgangsstoffe und der Betonzusammensetzung auf das Schwinden und Quellen von Straßenbeton. Düsseldorf : s.n.
10. DAFStb.-Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Stahlbetonbauteilen, Rili-SIB. Beuth-Verlag, Berlin, 2001.
11. Deutsche Institut für Normung, DIN EN ISO 12696. Kathodische Korrosionsschutz von Stahl in Beton (ISO 12696:2012).
12. Hunkler, Fritz. Elektrischer Widerstand von Mörtel und Beton. s.l. : Schweizer Ingenieur und Architekt , 1993. 43.
13. —. Mörtel und Beton, Wassergehalt, Porosität und elektrischer Widerstand. Zürich : Schweizer Ingenieur und Architekt, 1994. 27-28.
14. DAFStb. Empfehlung des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton zu den erforderlichen Nachweisen der Bauprodukte für den kathodischen Korrosionsschutz im Betonbau, 2008.