



Beton-Sanierungs-Technik GmbH

WASCHEK Betoning. (VDB)

Waschek * Lehmgrubenweg 11 * 70794 Filderstadt (Plattenhardt)



Langzeitverhalten von Betoninstandsetzungssystemen und deren Bewertung

1. Einleitung

Durch die Entwicklung von leistungsstarken Betonverflüssigern und Fließmitteln in den 60er-Jahren des letzten Jahrhunderts wurde die klassische Betontechnologie maßgeblich erweitert. Mithilfe dieser Zusatzmittel konnte insbesondere die Verarbeitbarkeit des Frischbetons wesentlich verbessert werden. Die Folge war, dass daraufhin Betonbauteile zunehmend filigraner konstruiert wurden und sich vor allem die Betondeckung auf ein Mindestmaß von nur mehr rd. 15 mm bis 20 mm reduzierte. Es wurde dabei jedoch die Leistungsfähigkeit des Baustoffs Beton überschätzt und es traten schon Anfang 1970 vermehrt Korrosionsschäden an Stahlbetonbauteilen auf.

Zu diesem Zeitpunkt standen noch keine speziell ausgerichteten Materialien für eine dauerhafte Betoninstandsetzung zur Verfügung, jeder Betonschaden wurde individuell nach dem Erfahrungsschatz des Poliers repariert oder wurde in der Neubaufase gleich kosmetisch so gut es ging, überarbeitet.

Ende der 70er-Jahren entwickelte die Bautenschutzindustrie vielseitige Instandsetzungsproduktsysteme die sowohl die Bewehrung dauerhaft vor Korrosion schützen und auch einen kraftschlüssigen Verbund zu dem Altbeton herstellen sollte. Ein Regelwerk oder geprüfte Produkte gab es zu diesem Zeitpunkt noch nicht, der Verarbeiter war auf die Beratung der Produkthersteller angewiesen.

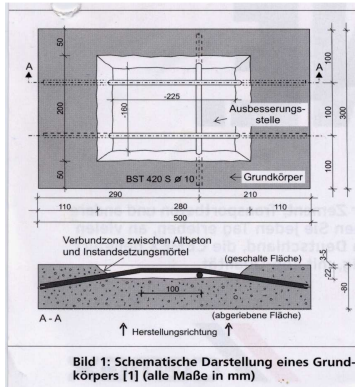
Da bei den Brückenbauwerken auch vermehrt Betonschäden auftraten, wurde das Verkehrsministerium, Abteilung Straßenbau aktiv und ein Fachausschuss arbeitete ab 1982 „Technische Vorschriften und Richtlinien für den Schutz und Instandsetzung von Betonbauwerken“ aus. Es entstand die ZTV-SIB, die seit dem 1.1.1989 bindend für die Betoninstandsetzung im Bereich der Straßenbauverwaltungen als Regelwerke eingeführt wurde.

Um erste Qualitäts- und Ausführungsstandards bundesweit zu gewährleisten, engagierten sich 1983 ein Kreis von Bauunternehmen, die sich auf dem Markt Betonsanierung spezialisieren wollten und es entstand dann während einer 3-jährigen Vorbereitungsphase 1987 in Berlin die Bundesgütegemeinschaft Instandsetzung von Betonbauwerken e.V.

Da die Bauchemie sehr unterschiedliche Instandsetzungssysteme anbot, entschloss man sich 1985 im Zentral-labor der Ph. Holzmann in Frankfurt in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Baustofftechnik der Ruhr-Universität Bochum und dem Verkehrsministerium 27 Reparatursysteme hinsichtlich Verarbeitung und das Langzeitverhalten zu prüfen, wobei wir auch 6 Instandsetzungssysteme in Verbindung zum Prüflabor testen wollten.

2. Versuchsdurchführung – Musterplatten aus Beton herstellen

Es wurden Musterplatten für typische Ausbesserungsstellen im Bereich von korrodierender Bewehrung und einer Betondeckung von 3 mm bis 5 mm bzw. 12 mm bis 15 mm simuliert (Bild 1).



Prüfkörper: Holzmann

Prüfkörper: BST-Waschek

Die Ränder der Ausbesserungsstelle wurden überwiegend schräg, unter einer Neigung von 45 Grad zur Oberfläche hergestellt.
Für jedes der Instandsetzungssysteme wurden 3 - 6 Probekörper hergestellt.

3. Instandsetzungssystem einbauen

Die Instandsetzungssysteme wurden entsprechend ihrer Anzahl an Einzelkomponenten in mehreren Arbeitsschritten auf die Prüfplatten aufgebracht. Schichtdicke ca. 6 cm.



Sandstrahlen



Korrosionsschutz



Haftbrücke



Reprofilieren 1. Lage



Reprofilieren 2. Lage
Abbildung 1



Feinspachtelüberzug



Feinspachtel fertig



Acrylanstrich 60 µm

Geprüft wurden Instandsetzungssysteme auf der Basis kunststoffmodifizierter Zementmörtel (PCC) Epoxidharzmörtel (EC), epoxidharzmodifizierter Zementmörtel (ECC) sowie reiner Zementmörtel (CC)

Tafel 1: Aufbau von einigen untersuchten Instandsetzungssystemen

Nr.	System	Instandsetzungssystem							Betondeckung [mm]
		KS	HB	IM	FS	H	I bzw. V	B	
1	Kunststoffmodifizierter Zementmörtel (PCC)	EP/AZ	PCC/AY	PCC/AY	PCC/AY			AY	3 bis 5
2			PCC/AY	PCC/VP	CC			AY	12 bis 15
3		EP/BM		PCC/AY				AY	3 bis 5
4		EP/BM		ECC	ECC			AY	3 bis 5
5	Epoxidharzmörtel (EC)	EP/BM	EP	EC				AY	12 bis 15
6			EP/AZ	EC			SX/AY	AY	3 bis 5
7	Zementmörtel (CC)	EP/BM	PCC/AY	CC	CC			AY	12 bis 15
8			CC	CC					3 bis 5
9	Spritzmörtel		CC	CC					35 bis 45

EP/AZ: EP mit alkalischem Zusatz; EP/BM: EP mit Bleimennigen; PCC/AY: PCC auf Acrylharzbasis; PCC/VP: PCC auf Vinylpropionatbasis; SX/AY: Basis auf Siloxan-Acrylat

Die Mehrzahl der Systeme bei Holzmann bestand auf Basis kunststoffmodifizierter Zementmörtel (PCC) und Epoxidharzmörtel (EC) sowie Zementmörtel (CC).

Kennwerte Beton-Sanierungs-Technik Waschek

Technische Daten von PCC-Grobmörtel		CC	PCC	PCC	PCC	PCC	PCC
Produkt-Hersteller		1	2	3	4	5	6
Frismörtelrohddichte	Kg/dm ³	2,05	2,00	1,98	2,05	2,00	1,96
Druckfestigkeit	28 Tage-N/mm ²	34,00	36,00	32,00	41,00	38,00	32,00
Biegezugfestigkeit	28 Tage-N/mm ²	7,10	7,20	7,00	8,70	8,70	6,90
Haftzugfestigkeit	28 Tage-N/mm ²	1,70	2,20	2,40	3,30	3,40	1,80
Haftzugfestigkeit n. 5 Jahre	nach 5 J,-N/mm ²	1,50	1,90	2,70	3,40	3,40	1,90
Verarbeitungszeit	20°C-Min.	60,00	45,00	60,00	30,00	45,00	45,00
Korngröße	bis ---- mm	4,00	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00
Schichtdicke maximal	bis ---- mm	30,00	30,00	30,00	30,00	40,00	40,00
Verbrauch Trockenmörtel	Kg/m ² /mm	2,20	2,10	2,00	2,10	2,00	1,95
Verarbeitbarkeit	Note 1 - 6	4,00	3,00	3,00	4,00	2,00	2,00

4. Lagerung für Langzeituntersuchungen bei Holzmann

Etwa 70 Probeplatten wurden für Langzeituntersuchungen zunächst im Freien für zwei Jahre überdacht und anschließend bei freier Bewitterung auf einem Freigelände im Rhein-Main-Gebiet (Nähe Rhein-Main-Airport) ausgelagert.



Bild 3: Auslagerung der Probeplatten

Freigelände im Rhein-Main-Gebiet

5. Prüfplatten für Langzeituntersuchungen bei BST-Waschek in Fichtenau nach 3 Jahren ohne PCC-Feinspachtelüberzug



BST - Fichtenau 1989



BST - Fichtenau 1989

6. Langzeituntersuchung

Nach mittlerweile rd. 20 Jahren wurden die Holzmann-Probekörper am Lehrstuhl für Baustofftechnik der Ruhr-Universität Bochum auf folgende Parameter untersucht:

- **Oberflächenbeschaffenheit (Rissbildung, Rostfahnen, usw.)**
- **Haftzugfestigkeit der applizierten Systeme am Untergrund**
- **Fehlstellen in der Übergangszone zwischen Beton und Instandsetzungsmörtel sowie unterhalb der Bewehrung**
- **Schichtdickenmessung von Oberflächenschutzsystem, Instandsetzungsmörtel, Feinspachtel und Korrosionsschutz**
- **Carbonatisierung und tatsächliche Betondeckung**
- **Zustand bezüglich Korrosion der Bewehrung**
- **Haftung des Korrosionsschutzes auf der Bewehrung**

7. Untersuchungsergebnisse

7.1 Oberflächenbeschaffenheit

Die Oberflächen der Probekörper waren größtenteils sehr gut erhalten, die Beschichtungen bzw. Anstriche dabei an etwa 50 % aller Platten rissfrei. An etwa 40 % der Proben konnten Risse- und Rostfahnenbildung über der Bewehrung sowie am Rand der Ausbesserungsstelle festgestellt werden.

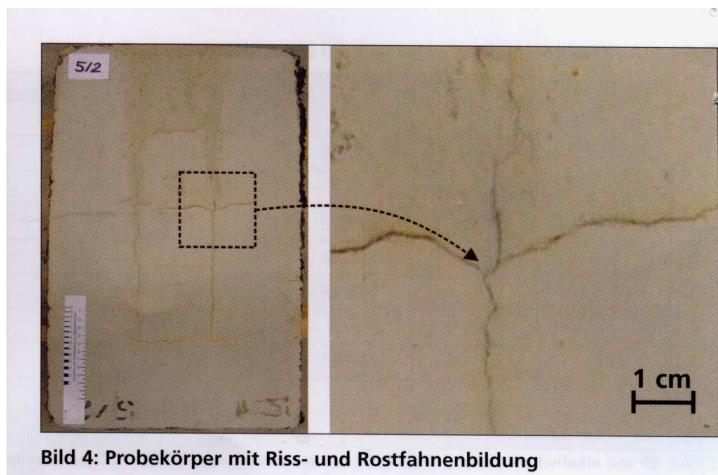


Bild 4: Probekörper mit Riss- und Rostfahnenbildung

Etwa 10 % der Platten zeigten hingegen Ablösungen der Beschichtung über größere Teilflächen (bis etwa 10 cm Durchmesser). Die aufgetretenen Schadensbilder traten meist produktspezifisch auf; eine allgemeine Zuordnung zu bestimmten Basisstoffen der Beschichtungen war nicht möglich.

7.2 Carbonatisierungsverhalten und Rissbildung

Die an verschiedenen Beschichtungen bzw. Anstrichen stichprobenartig bestimmten Schichtdicken variierten zwischen 36 µm und 360 µm.

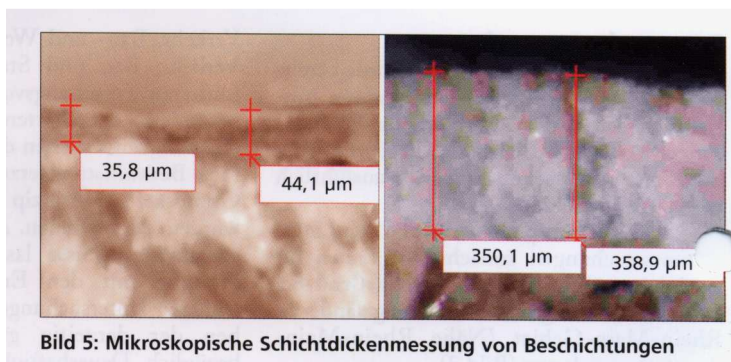
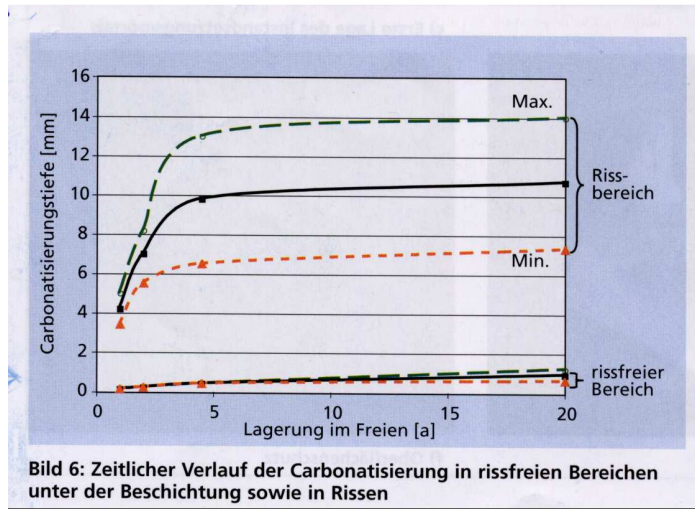


Bild 5: Mikroskopische Schichtdickenmessung von Beschichtungen

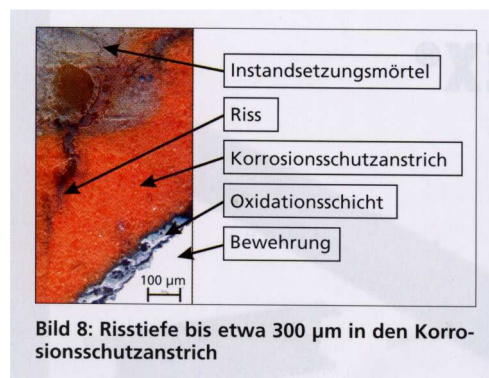
Beide Extremwerte wurden an Beschichtungen auf Acrylharzbasis ermittelt. Die durchschnittliche Beschichtungsdicke lag bei etwa 150 µm. Hinsichtlich der Carbonatisierung zeigten sich – erwartungsgemäß – signifikante Unterschiede zwischen gerissenen und ungerissenen Bereichen.



Außerhalb von Rissen war der Instandsetzungsmörtel unter der Beschichtung auch nach 20 Jahren nur rd. 0,5 mm bis 1 mm tief carbonatisiert. Im Bereich von Rissen variierte demgegenüber die Carbonatisierungstiefe nach 20 Jahren in der Größenordnung von rd. 7 mm bis 14 mm. Die größeren Carbonatisierungstiefen wurden dabei naturgemäß bei breiteren Rissen ($WR = 0,15$ mm) beobachtet, während die meist netzartigen Oberflächenrisse mit WR von rd. 0,05 mm zu nur halb so tiefer Carbonatisierung führten. Die breiteren Risse, die fast ausschließlich über Bewehrungsstäbe oder am Rand des Instandsetzungsfelds auftraten, reichten in ihrer Tiefe dann aber auch bis zur Bewehrung heran.



Wie aus Bild 6 ferner erkennbar ist, sind die Risse offenbar schon frühzeitig aufgetreten, da bei den ersten Untersuchungen im Alter von rd. Zwei Jahren in gerissenen Bereichen bereits deutlich höhere Carbonatisierungstiefen als in ungerissenen bestimmt werden konnten. Des Weiteren kann festgehalten werden, dass im Rissbereich der Beton maßgeblich in den ersten rd. Fünf Jahren carbonatisiert ist, die Zunahme der Carbonatisierungstiefe zwischen fünf und 20 Jahren war nur mehr minimal. Dabei ist sicherlich auch zu berücksichtigen, dass die Risse von Haus aus sehr schmal und keinen dynamischen Beanspruchungen mit Rissbreitenänderungen ausgesetzt waren.



Inwieweit solche an der Oberfläche sichtbaren Risse bis in den Korrosionsschutzanstrich der Bewehrung reichen und ihn somit schädigen, wurde stichprobenartig an einzelnen Dünnschliffen untersucht. Lediglich bei einer einzigen Probe wurde ein Rissfortschritt bis in den Korrosionsschutz festgestellt (Bild 8). Dabei

ist jedoch auch zu erkennen, dass der Riss nicht die gesamte Schicht des Korrosionsschutzes durchzieht und diesen damit auch nicht aufhebt. An den weiteren Dünnschliffen war allenfalls zu erkennen, dass die Risse ausschließlich entlang der Verbundzone zwischen Korrosionsschutzanstrich und Instandsetzungsmörtel verliefen.

Die Ergebnisse der Carbonatisierungsprüfung lassen erkennen, dass die damals verwendeten Beschichtungen auf Acrylharzbasis bei Schichtdicken von mindestens $d = 40 \mu\text{m}$ zumindest außerhalb von Rissen über mindestens 20 Jahre für einen ausreichend hohen CO_2 -Diffusionswiderstand sorgen können.

7.3 Korrosion und Bewehrung

Bewehrungskorrosion wurde nur im Bereich von Rissen festgestellt, und zwar auch nur in solchen Fällen, in denen die Bewehrung keinen Korrosionsschutzanstrich aufwies. Aber auch in diesen Fällen war die Korrosion nach 20 Jahren so gering, dass diese in keinem einzigen Fall zu Abplatzungen der Betondeckung führte. Die beste Haftung am Bewehrungsstab und die beste Korrosionsschutzwirkung wiesen Epoxydharze mit alkalischem (mineralischem) Zusatz (EP/AZ) auf (Bild 9).



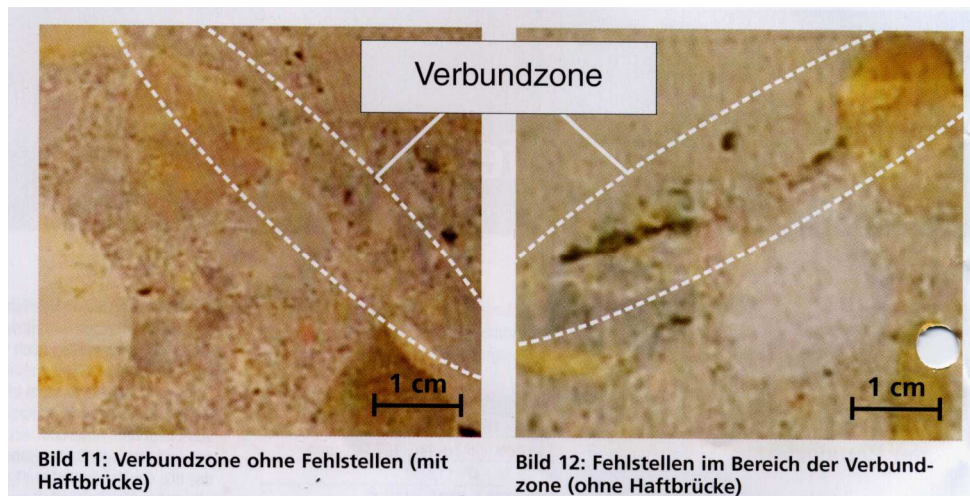
Bei solchen Systemen war – wenn überhaupt – Korrosion nur lokal in unbeschichteten Bereichen der Bewehrung (Unterseite) bzw. im Übergangsbereich im benachbarten Altbeton aufgetreten. Demgegenüber war bei reinen Epoxydharzen oder bei Bleimennige in vielen Fällen ein nicht ausreichender Haftverbund mit der Bewehrung festzustellen (Bild 10).



Bei solchen Proben war oftmals bereits Korrosion unter dem Schutzanstrich aufgetreten.

7.4 Haftbrücken

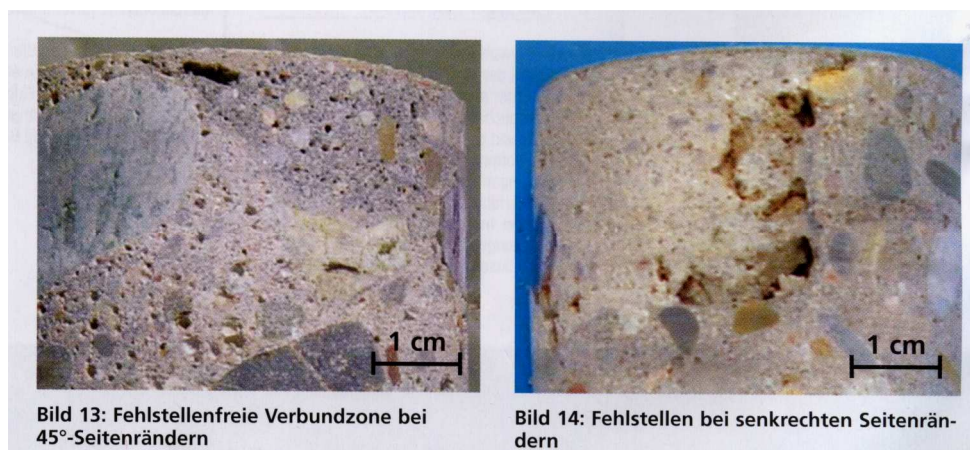
Bei der jetzt vorgenommenen Freilegung der Instandsetzungsbereiche zeigten sich an den Probekörpern, bei denen seinerzeit keine Haftbrücke appliziert wurde, dass in den Verbundzonen zwischen Altbeton und Instandsetzungsmörtel sowohl am Seitenrand der Instandsetzungsstelle als auch am Untergrund insgesamt häufiger Fehlstellen vorlagen als bei Proben mit Haftbrücke (Bilder 11 und 12).



Deshalb war es auch nicht weiter erstaunlich, dass bei Haftzugprüfungen (mit Vorbohrung bis etwa 10 mm in den Altbeton) bei den Probekörpern ohne Haftbrücke vorwiegend Adhäsionsbrüche zwischen Altbeton und Instandsetzungsmörtel auftraten. Diese Beobachtungen bestätigen die schon damalige Erkenntnis, dass für einen hinreichenden Verbund zwischen Altbeton und Instandsetzungsmörtel eine Haftbrücke zwingend erforderlich ist.

7.5 Randhaftung der Ausbesserungsstelle

Bezüglich der in diversen Regelwerken oftmals unterschiedlich geforderten Neigungen der Seitenränder wurde festgestellt, dass die Instandsetzungssysteme bei Applikation auf einen unter 45 Grad abgeschrägten Seitenrand in diesen Verbundflächen weniger Fehlstellen aufwiesen als bei solchen mit rechteckig ausgebildeten Seitenrändern (Bilder 13 und 14).



Hierauf wirkt sich offensichtlich zum einen aus, dass bei schrägen Seitenrändern der Instandsetzungsmörtel sicherer eingebaut und fehlerfrei verdichtet werden kann als bei senkrechter Begrenzung, und zum anderen, dass sich aufgrund der Neigung auch insgesamt größere Kontaktflächen ergeben. Hinsichtlich Häufigkeit bzw. Intensität der Rissbildung und Bewehrungskorrosion im Bereich der Seitenränder konnten direkt keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Ausführungsvarianten beobachtet werden. Allerdings war bei senkrechten Begrenzungen – nicht zuletzt aufgrund des höheren Fehlstellenanteils – tendenziell eine etwas größere Carbonatisierung festzustellen, wodurch sich bei dieser Ausführung die Gefahr einer späteren Korrosion natürlich auch etwas erhöhen kann.

7.6 Haftverbund

Bei den Haftzugprüfungen ergaben die Instandsetzungssysteme auf PCC-Basis die höchsten Verbundfestigkeiten zum angrenzenden Altbeton. Dabei trat ein Verbundversagen im Durchschnitt erst nach Erreichen einer Haftzugfestigkeit von etwa $2,5 \text{ N/mm}^2$ (Standardabweichung $s = 0,5 \text{ N/mm}^2$) auf, wobei sich der Bruch stets im Altbeton einstellte.

Demgegenüber wiesen Probepplatten, bei denen für die Instandsetzung reiner Zementmörtel eingesetzt wurde, erwartungsgemäß geringere Haftzugfestigkeiten auf. Derartige Systeme versagten meist innerhalb der Mörtelschicht bei Festigkeitswerten von etwa $1,7 \text{ N/mm}^2$.

Des Weiteren zeigten diese Untersuchungen, dass bei unterschiedlichen Basisstoffen für Haftbrücke und Instandsetzungsmörtel sich prinzipiell ein schlechterer Verbund und mehr Fehlstellen einstellten, als bei Systemen mit Stoffkomponenten gleicher Ausgangsbasis, z. B. Acrylharz



Haftzugfestigkeiten bei Probepplatten BST-Waschek – Fichtenau nach Auftrag mit PCC-Feinspachtel

8 Schlußfolgerung

Anhand der Untersuchungen, die nach 20 Jahren freier Bewitterung an Probepplatten mit verschiedenen Instandsetzungssystemen vorgenommen wurden, lassen sich sowohl für Materialien als auch für Ausführungsdetails gewisse Schlußfolgerungen hinsichtlich des Langzeitverhaltens der Instandsetzungsmaßnahmen ableiten.

Für einen ausreichenden Verbund zwischen Instandsetzungsmörtel und Untergrund haben sich folgende Parameter als vorteilhaft erwiesen:

- Werden die Begrenzungsränder der instand zu setzenden Bereiche unter einer Neigung (rd. 45 Grad) ausgebildet, lässt sich der Instandsetzungsmörtel mit deutlich weniger Fehlstellen und besserem Verbund einbauen als bei rechtwinkliger Ausführung.
- Eine Haftbrücke, in die der Mörtel „frisch-in-frisch“ eingebracht wird, verbessert das Verbundverhalten merklich.
- Günstig wirkt sich aus, wenn Haftbrücke, Mörtel und Feinspachtel auf gleicher Wirkstoffbasis (z. B. kunststoffmodifizierte Zementmörtel PCC) aufgebaut sind.
- Hinsichtlich des Korrosionsschutzes der Bewehrung zeigten sich folgende Parameter als günstig: Ein Korrosionsschutz auf Basis Epoxydharz mit alkalischem (mineralischem) Zusatz (EP/AZ) haftet deutlich besser auf der Bewehrung als reine Epoxydharze oder Bleimennige; damit wird die Gefahr einer Unterrostung deutlich vermindert.
- Oberflächenschutzsysteme, insbesondere auf Acrylatbasis, waren auch nach 20 Jahren so dicht, dass die Carbonatisierung unter 1 mm blieb. Das weitgehend positive Verhalten der gesamten Instandsetzungsmaßnahmen nach 20 Jahren beruht maßgeblich auf der bis dahin funktionsfähigen Wirkung der Oberflächenschutzsysteme. Daher sollte insbesondere bei nur geringer Betondeckung stets ein Oberflächenschutzsystem appliziert werden.
- Selbst im Bereich schmaler Risse (bis max. 0,15 mm) konnte mit solchen OS-Systemen die Carbonatisierung auf wenige mm beschränkt werden.

Die bei den Prüfkörpern gewonnenen Ergebnisse haben die Vorgaben der derzeitigen Regelungen für die Instandsetzung von Betonbauwerken weitgehend bestätigt. Insbesondere ließen die Untersuchungen erkennen, dass mechanisch nicht beanspruchte Oberflächenbeschichtungen auf Acrylatbasis bei sachgemäßer Applikation den darunter liegenden Betonerersatz auch bei reduzierter Betondeckung über mindestens 20 Jahre dauerhaft schützen können.

Literatur

- 1 Kern, Erfahrungen mit Instandsetzungssystemen, Beton 37 – 1987
- 2 Kern, Eignung verschiedener Systeme, Beton 38, 1988
- 3 Breitenbacher, Homey, Siebert, Forschung Straßenbau 923, 2005

Beton-Sanierungs-Technik GmbH
Waschek
Lehmgrubenweg 11
70794 Filderstadt

Tel.: 0711 / 77 66 44
Fax: 0711 / 77 42 64

Beton-Sanierungs-Technik GmbH
Waschek
Heidstr. 12
74579 Fichtenau – Matzenbach

Tel.: 07962 / 23 52
Fax: 07962 / 80 40

Internet: www.waschek-bst.de

E-Mail: info@waschek-bst.de