

---

# DAUERHAFTIGKEIT VON INFRASTRUKTURBAUTEN AUS STAHL- BETON IM ZUSAMMENHANG MIT MASSNAHMEN DER BETONIN- STANDSETZUNG MIT SPRITZBETON UND DES BETONSCHUTZES

---

## *DURABILITY OF CONCRETE STRUCTURES FOR TRAFFIC INFRASTRUCTURE IN CONNECTION WITH MEASURES FOR CONCRETE REPAIR WITH SPCC AND CONCRETE PROTECTION*

Dipl.-Ing. Philipp **Holzer**, Ing. Kons. für Bauingenieurwesen, Wien  
Ing. Helmut **Schada**, Sto GmbH, Österreich  
Dr.-Ing. Turgay **Öztürk**, StoCretec GmbH / Kriftel, Deutschland

Anhand von Schäden an Brücken und Tunnel durch Karbonatisierung bzw. Chloridkorrosion an stark frequentierten Straßenverkehrswegen stellt sich trotz einer hochentwickelten Beton-technologie immer mehr heraus, dass die Lebensdauer von Stahlbetontragwerken der Verkehrsinfrastruktur mit ca. 100 Jahren teilweise stark überschätzt wurde.

Die Lebensdauer, Zeitpunkt und Anzahl von Instandsetzungsintervallen bzw. die Instandsetzungskosten gehen heute immer häufiger auch in Lebenszykluskostenanalysen ein, die zur Beurteilung von Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur dienen. Genauso wie für den Bereich Straße gilt dies natürlich auch für Infrastrukturbauten der Wasserver- und entsorgung, wo Betriebsunterbrechungen bedingt durch Instandsetzungsmaßnahmen insbesondere im städtischen Bereich zu enormen Problemen führen können.

Da der Wert der Bauwerke der Verkehrsinfrastruktur in Europa 70 % des Volksvermögens darstellt, 35 % des Energieverbrauchs in der Bauindustrie anfallen, 30 % der Umweltschäden der Bauindustrie zuzuschreiben sind, der Passagierverkehr von 1997 auf 2015 um 20 % und der Güterverkehr um 64 % ansteigen wird und 123 Milliarden Euro indirekte Kosten pro Jahr aus Verkehrsstaus in Europa entstehen, muss es als Investoren, Ingenieure und Staatsbürger unser größtes Bestreben sein, das die ursprünglich angestrebte Lebensdauer unserer Infrastrukturbauwerke durch die eingesetzten Materialien und Maßnahmen der Instandsetzung und des Betonschutzes wirklich erreicht wird, und die Gesamtkosten einschließlich Erhaltung gesenkt werden.

On the basis of damages to bridges and tunnels by carbonation and chloride corrosion to highly frequented road traffic infrastructure and in spite of a highly developed concrete technology it is a fact that the durability of some concrete structures for the traffic infrastructure was overrated with about 100 years. Durability, the maintenance intervals and the maintenance costs flow into life-cycle-costs-analysis which are common instruments to evaluate investment decisions for the traffic infrastructure.

As well as for the traffic infrastructure this applies to the infrastructure for water supply, where breakdowns also produce enormous costs and supply problems in urban areas.

As the value of traffic infrastructure in Europe is 70 % of the national wealth, as 35 % of the energy consumption appear in the building industry, as 30 % of damages caused to the environment are ascribable to the building industry, as the passenger traffic from 1997 to 2015 will gain by 20 % and the goods traffic will gain by 64 % and as traffic jams will produce indirect costs of about 120 billion Euro, our major aim must be that the intended lifetime of our infrastructure buildings with the used materials and measures of repair and concrete protection is really reached and the overall costs including maintenance are being reduced at long sight.

## 1. Einleitung

Auf Stahlbetontragwerke unserer Verkehrsinfrastruktur, wie beispielsweise Autobahnbrücken oder die Brücken über Autobahnen und Schnellstraßen, wirken teils extreme Umwelteinflüsse ein, die unweigerlich zu Korrosionsschäden und zu einer wesentlich kürzeren Lebensdauer der Tragwerke führen. Da Beton ein poröser Werkstoff, hergestellt aus Zement, Gesteinskörnung, Wasser und ggf. Additiven ist, und daher ein weitverzweigtes Porensystem aufweist, können Flüssigkeiten schnell und in großen Mengen kapillar aufgenommen werden. Bei der kapillaren Wasseraufnahme unterscheidet sich die Betonrandzone (die äußeren 3 cm von der Oberfläche nach innen) deutlich vom Kernbeton. Die Betonrandzone weist neben einer höheren Porosität auch eine deutlich höhere Gas- und Wasserdurchlässigkeit auf. Die meisten Schadensmechanismen, wie auch die chloridinduzierte Bewehrungskorrosion, sind mit dem gesteigerten Transport von Wasser in der Betonrandzone verbunden.

Abhängig von den Umgebungs- und Nutzungsbedingungen werden Chloride aus Tausalzlösungen oder Meerwasser über die Kapillaren des Zementsteins in die Betonrandzone transportiert. Bei Überschreiten des zulässigen Chloridgehalts in Stahlbeton und in Gegenwart entsprechender Reaktionspartner (Sauerstoffangebot, Feuchtigkeitsverhältnisse) kommt es zur Bewehrungskorrosion. Die Chloridfront erreicht den Bewehrungsstahl und es bildet sich Rost, der zur Volumenvergrößerung führt und die Betondeckung absprengt. Auf lange Sicht führt dieses Absprengen der Betondeckung zu einem Verlust der Tragfähigkeit, da die Bewehrung nicht mehr im Beton verankert ist, und der Verbundwerkstoff seine Wirkung verliert.

## 2. Dauerhaftigkeit bestehender Bauten der Verkehrsinfrastruktur

Eine Vielzahl von Bauten der Verkehrsinfrastruktur weist erhebliche Schäden durch Carbonatisierung und/oder Chloridkorrosion auf, wobei meistens nur die sichtbaren Schäden einer Sanierung zugeführt werden und viele Schäden aufgrund der meist sehr aufwendigen und kostenintensiven Untersuchungen und der schwierigen Zugänglichkeit der Bauteile trotz regelmäßiger Brückeninspektionen gar nicht bekannt werden. Besonders gefährdete Bauteile stellen die Mittelpfeiler an Brücken, die über Autobahnen und Schnellstraßen gebaut werden, dar. Diese Mittelstützen sind ungeschützt tausalzhaltigem Spritzwasser ausgesetzt, was in den Wintermonaten zu extremen Chloridbelastungen führt.



*Bild 1: Chloridinduzierte Schäden und Instandsetzung mit kunststoffmodifiziertem Trockenspritzmörtel einer Brücke bei Innsbruck*

Innerhalb kürzester Zeit lösen diese hohen Chloridbelastungen starke Korrosionsschäden aus. Die Grenzwerte der Chloridgehalte für Beton (Stahlbeton, Spannbeton und unbewehrter

Beton) sind in den einschlägigen Normen und Richtlinien [1], [2] zur Betoninstandsetzung angegeben.

Wohingegen die RiLi-SiB Grenzwerte für Stahlbeton von 0,4 M-% der Zementmasse und für Spannbeton 0,2 M-% der Zementmasse als Grenzwert angibt, differenziert die österreichische Richtlinie für chloridbelasteten Stahlbeton (Tabelle 1), und setzt für Spannbeton den Grenzwert des Chloridgehalts mit 0,2 M-% fest.

Tab. 1: Maßnahmen bei chloridhaltigem Stahlbeton nach ÖVBB-RiLi Instandsetzung [2]

| Chloridhaltiger Stahlbeton |                 |                |                 |   |
|----------------------------|-----------------|----------------|-----------------|---|
| Chloridgehalt              | Korrosion       | Instandsetzung | Kontrollpflicht | Empfehlung:   |
| [M.% bez. auf Zementmasse] |                 |                |                 |   |
| > 0,6                      | nicht vorhanden | nein           | -               | Zutritt chloridhaltiger Lösungen verhindern                             |
| > 0,6                      | vorhanden       | ja             | -               | Kein Aufschieb der Instandsetzung möglich                               |
| 0,6 - 1,0                  | nicht vorhanden | nein           | alle 1-3 Jahre  | Aufschieb der Instandsetzungsmaßnahme bei verstärkter Kontrolle möglich |
| 0,6 - 1,0                  | vorhanden       | ja             | -               | Kein Aufschieb der Instandsetzung möglich                               |
| > 1,0                      | nicht vorhanden | nein           | 1 x pro Jahr    | Aufschieb der Instandsetzungsmaßnahme bei verstärkter Kontrolle möglich |
| > 1,0                      | vorhanden       | ja             | -               | Bei Auftreten der ersten Korrosionserscheinungen sofort instanzzusetzen |

Die Sanierung dieser Bauwerke, mit teilweise ganz unterschiedlichem Alter und Schädigungsgraden, verursacht jedes Jahr erheblichen volkswirtschaftlichen Schaden. Die Kosten für die Sanierung umfassen neben den Kosten für die eigentliche Sanierung der Bauteile auch die Kosten für Verkehrsumlegungen, Kosten für die Planung und Koordination der Instandsetzungsmaßnahmen sowie indirekte Staukosten (z.B. zusätzlicher Benzin- und Zeitaufwand sowie die negativen Folgen für die Volkswirtschaft).

### 3. Instandsetzungsmethoden mit kunststoffmodifizierten Instandsetzungsmörteln bzw. -betonen und Maßnahmen des Betonschutzes

#### 3.1 Kunststoffmodifizierte Betone bzw. Mörtel - Eigenschaften

Zur Instandsetzung von Verkehrsinfrastrukturbauten werden heute kunststoffmodifizierte Instandsetzungsbetone bzw. Instandsetzungsmörtel für die horizontale und vertikale Applikation (PCC I, PCC II - polymer cement concrete) händisch, mit der Betonpumpe oder als Spritzbeton verarbeitet, verwendet. Im Nassspritzverfahren oder als Trockenspritzbeton wird mit sogenannten Sanierspritzbetonen (SPCC - sprayed polymer cement concrete), die ebenso Kunststoffzusätze zur Erreichung spezieller Materialeigenschaften enthalten, gearbeitet. Ob der Kunststoffzusatz dabei als Verarbeitungshilfe, Verbundhilfe oder als Bindemittel dient, ist definitionsgemäß nicht klar. Die Modifizierung erfolgt aber immer auf zwei Arten. Entweder der Kunststoff liegt in der Anmachflüssigkeit als Gemisch aus Kunststoffdispersion und Wasser vor, oder der Trockenmörtel ist das Gemisch aus Zement, Zuschlag und redispergierbarem Kunststoffpulver.

Die Ziele der Modifikation sind nach [4] z.B. bessere Verarbeitbarkeit, höhere Zug- und Haftfestigkeit, verbesserte Chemikalienbeständigkeit und günstiges Verschleißverhalten. Wesentlich ist, dass beim kunststoffmodifiziertem Mörtel/Beton eine gemeinschaftliche Bindemittelwirkung von Zement und Kunststoff entstehen soll. Ein annähernd optimales Gefüge kann bei Kunststoffgehalten von > 5 % realisiert werden. Die folgenden Frisch- und Festmörteleigenschaften werden durch die Zugabe von Kunststoffzusätzen beeinflusst.

Frischmörteleigenschaften:

- Konsistenz (i.d.R. verflüssigend)
- Wasserrückhaltevermögen (Erhöhung des Wasserrückhaltevermögens)
- Luftgehalt (Schutzkolloide und Emulgatoren halten Luft zurück - Entschäumer)
- Frischmörtelhaftung (Haftung auf Untergrund steigt)
- Hydratationsbeeinflussung (Hydratationsverzögerung, Hydratationsreduktion)

Festmörteleigenschaften:

- Druckfestigkeit geringer (Thermoplastische Kunststoffe geringere Druckfestigkeit)
- Zugfestigkeit, Biegezugfestigkeit höher (Steigerung, Erhöhung der Rissöffnungsenergie)
- Elastizitätsmodul sinkt (höhere Bruchdehnung, geringere Festigkeit)
- Haftfestigkeit höher (Steigerung der Adhäsion)
- Kapillarer Flüssigkeitstransport (keine Beeinflussung, oder drastische Reduzierung)
- Schwinden verzögert (Wasserrückhaltevermögen, verzögerte Schwindprozesse)
- Kriechen größer (größere Kriechverformungen der PCC)
- Thermische Längenänderung (Verbundwerkstoff  $\alpha_T = 1,4 \times 10^{-5}$ )
- Dauerhaftigkeit (Frost-, und Schwefelsäurebeständigkeit - Eignungsprüfungen)

### 3.2 Kunststoffmodifizierte Betone bzw. Mörtel - Anwendung

Laut der Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb - Teil 2: Bauprodukte und Anwendung [1] werden hinsichtlich der Materialanforderungen der Instandsetzungsbetone und -mörtel Beanspruchbarkeitsklassen M1, M2 und M3 definiert, und den Beanspruchbarkeitsklassen Materialanforderungen zugewiesen. Mörtelsystemen der Beanspruchbarkeitsklasse M2 werden folgende Materialanforderungen zugewiesen:

- Betone bzw. Mörtel müssen zum Ausfüllen von Fehlstellen im Betonuntergrund geeignet sein
- Ausreichende Festigkeit als Untergrund für Oberflächenschutzsysteme
- Korrosionsschutz der Bewehrung wird durch die in Teil 1 der Instandsetzungs-Richtlinie [1] dargestellten Prinzipien W, C oder K und die Anwendung der sog. Grundsatzlösungen erreicht.
- Mindestwerte des Karbonatisierungswiderstands
- Einwandfreie Applikation und Verarbeitung auch bei dynamischer Beanspruchung
- Verarbeitung auch über Kopf und an senkrechten Flächen

Zusätzliche Anforderungen im Hinblick auf die Berücksichtigung bei den Nachweisen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit (M3):

- Festigkeits- und Verformungseigenschaften inklusive Kriechen und Schwinden
- Dauerstandsdruckfestigkeit bis 40 °C kann als Rechenwert mit 60 % der 28-Tage-Druckfestigkeit des kunststoffmodifizierten Instandsetzungsbetons/-mörtels angesetzt werden
- Rechenwert für die Wärmedehnzahl kann mit  $15 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  angesetzt werden
- Verbund mit dem vorbehandelten Bewehrungsstahl
- Erhöhte Haftung am Betonuntergrund
- Brandverhalten



*Bild 2: Anwendung von Trockenspritzmörtel zur Instandsetzung - Brücke Serbien*

#### **4. Neue Möglichkeiten zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit von Infrastrukturbauten und Chancen für Lebenszykluskosten**

##### **4.1 Einleitung**

Um zur Sanierung oder schon im Vorhinein präventiv das Eindringen insbesondere von Chloriden in den Beton zu verhindern, bieten die heute am Markt befindlichen Hydrophobierungen bzw. Tiefenhydrophobierungen, die einen Wasserzutritt einschließlich der den Beton schädigenden Stoffe in die Bauteile verhindern, die Möglichkeit die Schädigung der Betonrandzone und ein weiteres Vordringen von schädigenden Stoffen in den Kernbeton auf ca. 15-20 Jahre (Stufe 3) gezielt zu verhindern. Je nach Grad der Chloridbelastung unterscheidet man Produkte der Stufen 1-3. Bei Stufe 1 kommen sogenannte Silicon-Microemulsions-Konzentrate oder mit Lösemittel verdünnte Systeme mit Wirkstoffgehalten von < 20 % zum Einsatz. Für Stufe 2 werden hochviskose, wässrige Emulsionen oder mehrfach applizierte niedrigviskose Silane mit einer Wirkstoffkonzentration von ca. 100 % eingesetzt. Für die höchst beanspruchten Bereiche Stufe 3 werden hochviskose (Gele) nicht wässrige Systeme verwendet. Die Wirksamkeit der Hydrophobierung wird maßgeblich von der Eindringtiefe und dem erzielten Wirkstoffgehalt bestimmt. So weisen beispielsweise nur die hochviskosen (Gele) Systeme diese lange Wirksamkeit auf. Bei diesen spricht man dann von sogenannten „Tiefenhydrophobierungen.“



*Bild 3: Aufspritzen einer Hydrophobierung im Airlessverfahren*

Aber auch Überlegungen, wie die derzeit in den Richtlinien im Wasserbau eingeführten Altbetonklassen, wo durch gezielt auf die Zustandsanalyse und Festigkeiten der Bestands-

bauwerke abgestimmte Instandsetzungsmörtel (E-Modul) zum Einsatz kommen, können dazu führen die Dauerhaftigkeit von Instandsetzungsmaßnahmen noch weiter zu erhöhen.

Besonders schwierig stellt sich auch immer wieder die Situation bei Instandsetzungen an Verkehrsbauten mit zu hohen Chloridgehalten dar, da nicht immer das Prinzip R mit Betonerersatz hier angewendet werden kann. Auch nach der Instandsetzung muss trotz Oberflächenschutzsystem eine Anreicherung von Chloridionen im instandgesetzten Bereich verhindert werden.

#### 4.2 Einführung und Anwendung von Altbetonklassen für Verkehrsinfrastrukturbauten

Als besonders zielführend, was die Dauerhaftigkeit von Instandsetzungsmörteln betrifft, scheint die Möglichkeit die mechanischen Eigenschaften von Alt- und Neubeton bestmöglich aufeinander abzustimmen. Das wurde in Deutschland durch die Einführung von sogenannten Altbetonklassen für die Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauten in den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen [8] erreicht. So wird der Grenzflächenproblematik, die immer bei Instandsetzungen auftritt, technologisch am besten begegnet. Ähnlich wie in der ZTV-W Schutz und Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauten, LB 219 Ausgabe 2004 könnten künftig auch für Verkehrsinfrastrukturbauten wie Brücken und Tunnel die Instandsetzungsmörtel auf die Abreißfestigkeiten der Untergründe aus Beton abgestimmt werden. D.h. liegen ältere Bestandstragwerke mit geringeren Oberflächenzugfestigkeiten vor ( $< 1,5 \text{ N/mm}^2$ ), so sollten auch die zum groß- und kleinflächigen Instandsetzen zur Anwendung kommenden Instandsetzungsmörtel ähnlich große E-Module, Druckfestigkeiten, Abreißfestigkeiten bzw. mechanische Eigenschaften aufweisen.

Derzeit sind in den Instandsetzungs-Richtlinien [1], [2] in Deutschland und Österreich die Mindestwerte der Oberflächenzugfestigkeiten mit  $> 1,5 \text{ N/mm}^2$  angegeben. Wenn jedoch geringere Festigkeiten am Bestandstragwerk vorliegen, muss der Planer entscheiden und bewegt sich nicht mehr auf Grundlage einer Richtlinie.

*Tabelle 2: Einordnung des Altbetons im Bereich der Instandsetzungsebene nach ZTV-W Schutz und Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauten, LB 219 Ausgabe 2004 [8]*

| 1              | 2                             | 3                              | 4                    |
|----------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| Altbetonklasse | Druckfestigkeit <sup>1)</sup> | Abreißfestigkeit <sup>2)</sup> |                      |
|                |                               | Mittelwert                     | Kleinster Einzelwert |
|                | $\text{N/mm}^2$               | $\text{N/mm}^2$                | $\text{N/mm}^2$      |
| A1             | $\leq 10$                     | -                              | -                    |
| A2             | $> 10$                        | $\geq 0,8$                     | $\geq 0,5$           |
| A3             | $> 20$                        | $\geq 1,2$                     | $\geq 0,8$           |
| A4             | $> 30$                        | $\geq 1,5$                     | $\geq 1,0$           |

<sup>1)</sup> Mittelwert der Druckfestigkeit (Bestimmung nach DIN EN 12504-1)  
<sup>2)</sup> Kleinster Einzelwert / Mittelwert (Bestimmung nach DIN EN 1542)

#### 4.3 Beton und Betonerersatz bei Chlorideinwirkung

Laut der deutschen Norm DIN EN 206-1 - Europäische Norm Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität (Ausgabe 2001-07) und der österreichischen Norm ÖN B 4710, die die nationale Umsetzung der EN 206-1 in Österreich darstellt, sind die Anforderungen für einen Beton der Expositionsklasse XD3 (höchste Expositionsklasse durch Chloride) der höchstzulässiger w/z-Wert von 0,45 und ein Mindestzementgehalt von 320

kg/m<sup>3</sup>. Dann sollte dieser Beton also für XD3 Exposition funktionieren. Die deutsche Norm DIN 1045 verlangt aber z.B. bei Parkdecks mit der Expositionsklasse XD3 zusätzlich eine Beschichtung. Daher wird dem Beton bei Parkdecks die Expositionsklasse XD3 nicht zugetraut.

Was die Instandsetzungsrichtlinien betrifft, fordert die Richtlinie SIB des DAfStb [1] zwingend eine Beschichtung bei Chlorideinwirkung. Lt. Instandsetzungs-Richtlinie des ÖVBB [2] können Instandsetzungsmörtel bei höheren Beanspruchungen (z.B. Chloridbelastung XD) mit einer starren oder elastischen Beschichtung bzw. einem Anstrichsystem überzogen werden. D.h. es wird auch nach österreichischer Richtlinie eine Beschichtung bei Chloridbelastung verlangt. Die Beschichtungen müssen die Widerstandsfähigkeit bei Chlorideinwirkung nachweisen.

Die deutsche Spritzbetonnorm DIN 18551, die den „normalen“ nicht kunststoffmodifizierten Spritzbeton regelt, verweist betreffend der Expositionsklassen lediglich auf die Anforderungen der DIN EN 206-1 für Beton. Die österreichische Spritzbetonrichtlinie des ÖVBB verweist punkto Expositionsklassen auf die ÖN B 4710-1, NAD 10 soweit in Abschnitt 7.5 der Richtlinie keine abweichende Festlegung erfolgt. Unter Punkt 7.5 sind jedoch für die Expositionen XD1-XD3 Chloride auch keine Festlegungen getroffen worden.

Zukunftsweisend wurde in Deutschland durch die Einführung der Chloridmigrationsprüfung bei Wasserbauten in den ZTV-W LB 219 [8] und dem BAW-Merkblatt „Chlorideindringwiderstand“ [9] erreicht, dass Instandsetzungsmörtel auch ohne Beschichtung bei Chlorideinwirkung zur dauerhaften Instandsetzung verwendet werden dürfen. Eine ähnliche Vorgangsweise könnte doch künftig auch für die Instandsetzungsmörtel für Verkehrsinfrastrukturbauten verfolgt werden, um aufwendige (z.B. für Brückenkappen) Beschichtungen zu vermeiden.

#### 4.4 Präventive Tiefenhydrophobierungen

Durch Hydrophobierungen, insbesondere Tiefenhydrophobierungen mit Eindringtiefen bis ca. 10 mm und hohen Wirkstoffgehalten, können die Erstinstandsetzungsintervalle hinausgeschoben, Instandsetzungsmaßnahmen, die sich womöglich größtenteils dann auf ein sich wiederholendes Hydrophobieren beschränken, wesentlich eingeschränkt und Erhaltungskosten für Betontragwerke der Verkehrsinfrastruktur erheblich reduziert werden.

Nach dem heutigen Kenntnisstand sind Tiefenhydrophobierungen ca. 15-20 Jahre wirksam. Das heißt aber, dass z.B. durch nur zweimaliges Hydrophobieren (alle 15 Jahre) eine Instandsetzung nach ca. 25-30 Jahren verhindert werden kann.

Anhand von Untersuchungen und Vergleichen des Kapitalaufwands von nach 25 Jahren instandgesetzten Bauwerken und solchen die seit der Errichtung fortwährend tiefenhydrophobiert wurden, um eine Instandsetzung zu vermeiden, weiß man, dass Tiefenhydrophobierungen vom wirtschaftlichen Standpunkt unbedingt eingesetzt werden sollten. Aber auch technologisch ist dem tiefenhydrophobierten Beton, der ja im Vergleich zu einem instandgesetzten Betonbauteil keine Grenzfläche, die durch den Auftrag eines neuen Betons auf einen alten Beton entsteht, aufweist, der Vorzug zu geben. Oft treten in der Praxis durch nicht aufeinander abgestimmte Werkstoffe nach wenigen Jahren erneut Schäden der instandgesetzten Flächen auf. Auch die Ökologischen Auswirkungen der Tiefenhydrophobierungen im Vergleich zur Instandsetzung (Energie, Treibhauseffekt, Bodenversauerung, Smogbildung, Ökotoxizität) sind untersucht worden, und auch hier ist die Maßnahme Tiefenhydrophobierung noch klarer im Vorteil, als bei der ökonomischen Betrachtung.

Die Präventive Tiefenhydrophobierung würde daher unsere derzeitige Realität der Lebenszykluskosten von Brücken, wo die Errichtung mit 100 % angenommen wird, und weitere 150-180 % für Instandhaltung und Abbruch (ohne Einsatz von Tiefenhydrophobierungen) zu Buche stehen, revolutionieren und ganz massiv Kosten bei der Erhaltung einsparen.

#### 4.5 Tiefenhydrophobierung instandgesetzter Bereiche

Da wir in der täglichen Instandsetzungs-Praxis aber meistens mit Bauten aus den 60-ern und 70-ern konfrontiert sind, hat man es meist mit mehr oder weniger stark geschädigten Betonbauteilen zu tun, bei deren Errichtung noch keine Tiefenhydrophobierung durchgeführt wurde. Die Prinzipien, die präventiv bei den Neubauten gelten, können aber genauso zielführend bei den instandgesetzten Bauten zur Anwendung kommen. Da ein kunststoff-modifizierter Spritzmörtel (SPCC) einer instandgesetzten Fläche, die anschließend tiefenhydrophobiert wurde, auch ein wesentlich reduziertes Wasseraufnahmevermögen aufweist und dadurch auch die Grenzflächenproblematik von Altbeton zu Neubeton positiv beeinflusst wird, ist auch bei Instandsetzungsmörteln die Tiefenhydrophobierung als Maßnahme zur Steigerung der Dauerhaftigkeit sinnvoll einzusetzen.

Die Wirksamkeit der Hydrophobierung lässt sich dabei nach Gerdes [6], der hydrophobierte Betonproben untersuchte (nicht kunststoffmodifizierte Betonproben) direkt durch die Reduktion der Aufnahme wässriger Lösungen charakterisieren. Die Wirksamkeit dieser oberflächentechnologischen Maßnahme wird auch aus den folgenden Untersuchungsergebnissen nach [7] deutlich. Hydrophobierte Betonproben und unbehandelte Betonproben wurden für 180 Tage in eine 3 %-ige Chlorid-Lösung gestellt, und anschließend die Chlorideindringprofile analytisch bestimmt. Es wird aufgezeigt, dass für die hier untersuchten Betone die Chlorideindringtiefe von ca. 22 mm (W/Z-Wert 0,50) bzw. ca. 42 mm (W/Z-Wert 0,55) beim nichthydrophobierten Beton auf Werte kleiner als 3 mm bei den hydrophobierten Betonen herabgesetzt werden kann (Bild 4).

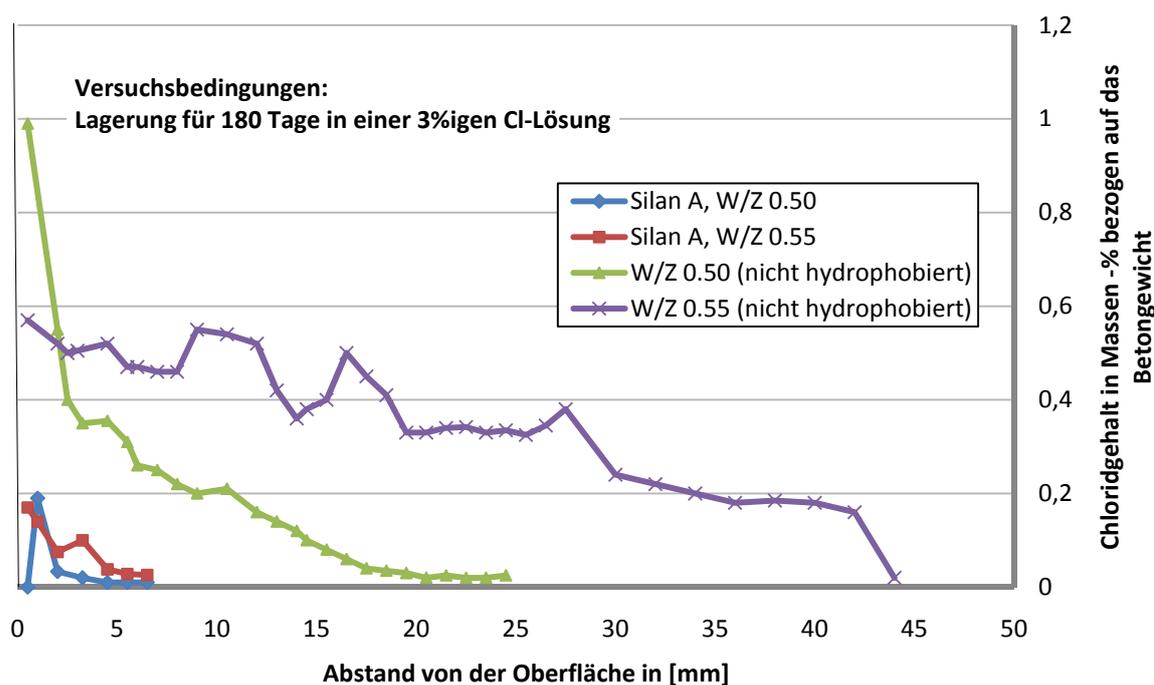


Bild 4: Chlorideindringprofile für hydrophobierte und unbehandelte Betone [7]

Für die Praxis ist von entscheidender Bedeutung, welche Größen beachtet werden müssen, um die Wirksamkeit von Hydrophobierungen langfristig sicherzustellen. Anhand der Ermittlung von Saugprofilen und Wirkstoffprofilen für hydrophobierte Betonproben mit gleichem W/Z-Wert konnte der Zusammenhang zwischen Wirkstoffgehalt und Transportrate bzw. Feuchtigkeitsaufnahme im Beton aufgezeigt werden [7]. Durch Definition der „Effektiven Eindringtiefe“, als Dicke der hydrophobierten Randzone durch die der Feuchtetransport ausschließlich per Diffusion erfolgt und des „Minimalen Wirkstoffgehaltes“ als zu dieser Eindringtiefe zugehöriger Wirkstoffgehalt eines hydrophobierten Betons konnten nach

Gerdes [7] versuchstechnisch gestützte Kriterien für eine Qualitätssicherung von Hydrophobierungen aufgestellt werden. Diese Versuche wurden zwar für hydrophobierte Betonproben durchgeführt, sind aber für kunststoffmodifizierte Betone, was die Prinzipien betrifft, gleichermaßen anzuwenden.

## 5. Zusammenfassung, Ausblick

Die Dauerhaftigkeit unserer stark frequentierten und hohen Schadstoffbelastungen ausgesetzten Verkehrsinfrastrukturbauten hängt heute ganz entscheidend davon ab, ob wir während der Lebensdauer auch entsprechend nachhaltige Maßnahmen der Instandsetzung setzen und die neuen Möglichkeiten zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit nutzen.

Durch den Einsatz kunststoffmodifizierter Instandsetzungsmörtel bzw. Instandsetzungsspritzmörtel ist es uns heute möglich auch unter Verkehr und besonderen Anforderungen hinsichtlich Verarbeitbarkeit, Festigkeit und besonders hohen Expositionen Verkehrsinfrastrukturbauten dauerhaft und mit der entsprechenden Qualitätssicherung instand zu setzen. Es konnte aufgezeigt werden, dass durch noch umfassendere auch präventive Oberflächenschutzmaßnahmen insbesondere durch Tiefenhydrophobierungen, noch bessere Zustandsanalysen der Bestandstragwerke und Abstimmung von Bestandsbaustoffen (Altbetonen) auf die Instandsetzungsmaterialien es uns in Zukunft gelingen kann, die Dauerhaftigkeit der Verkehrsinfrastrukturbauten noch weiter zu erhöhen und somit den großen Teil der Erhaltungskosten (Generalinstandsetzungen) als Teil der Lebenszykluskosten ganz entscheidend zu senken.

Es bleibt zu hoffen, da momentan immer noch der überwiegende Teil der Investitionen nach der Errichtung der Bauwerke durch Erhaltungsmaßnahmen stattfindet, dass die zuvor angesprochenen Maßnahmen bei Neubau und Instandsetzung zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit von Stahlbetontragwerken bald Einzug in die tägliche Praxis der Errichtung und Erhaltung der Verkehrsinfrastruktur der Betreiber und Investoren finden werden.

## 6. Literatur

- [1] DAfStb:  
Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton - Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Teile 1-4, Ausgabe: Oktober 2001.
- [2] Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik:  
Richtlinie Erhaltung und Instandsetzung von Bauten aus Beton und Stahlbeton. Ausgabe: Juli 2010.
- [3] ÖNORM EN 1504:  
Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken. Teile 1-10, Ausgabe: 2005 – 2008.
- [4] Gieler, R., Dimmig-Osburg, A.:  
Kunststoffe für den Bautenschutz und die Betoninstandsetzung. Birkhäuser Verlag, 2006.
- [5] Schorn, H.:  
Spritzbeton. Schriftenreihe Spezialbetone, Band 6, Verlag Bau + Technik GmbH, 2005.
- [6] Gerdes, A.:  
Building Materials Report No. 15, Transport und chemische Reaktion siliciumorganischer Verbindungen in der Betonrandzone, Aedificatio Verlag, 2002.
- [7] Gerdes, A.:  
Untersuchungsbericht Nr. 32-01 - Eindringverhalten verschiedener Hydrophobierungsmittel in die Betonrandzone, 2002.
- [8] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung: Eisenbahnen, Wasserstraßen:  
Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W) Schutz und Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken (Leistungsbereich 219). Ausgabe 2004.
- [9] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung: Eisenbahnen, Wasserstraßen:  
BAW-Merkblatt Chlorideindringwiderstand von Beton. Dezember 2004.

**Zu den Autoren**

Dipl.-Ing. Philipp Holzer

Studium Bauingenieurwesen TU Wien, seit 2001 Tätigkeit als Tragwerksplaner und Technischer Projektleiter im Hoch-, Tief- und Brückenbau in Wien, seit 2011 selbständiger Ingenieurkonsulent für Bauingenieurwesen, Konsulententätigkeit für Sto GmbH / Betoninstandsetzung Ingenieurbau.

[philipp.holzer@chello.at](mailto:philipp.holzer@chello.at)

Ing. Helmut Schada

Chemie-HTL Wien, Tätigkeit im Forschungszentrum Seibersdorf, Tätigkeit für Bauchemiekonzern Meynadier, Tätigkeit für Fepla & Hirsch GmbH, Tätigkeit für Furtenbach Chemie, seit 1990 als Produktmanager Betoninstandsetzung, Oberflächenschutz, Bodenbeschichtung für Sto GmbH tätig.

[h.schada@stoeu.com](mailto:h.schada@stoeu.com)

Dr.-Ing. Turgay Öztürk

Studium Bauingenieurwesen TU Darmstadt, Tätigkeit für Schwenk Dämmtechnik, Wissenschaftlicher Mitarbeiter TU Darmstadt, Dissertation TU Darmstadt, seit 2007 als Produktmanager Betoninstandsetzung - Leiter Ingenieurbau für StoCretec GmbH tätig.

[t.oeztuerk@stoeu.com](mailto:t.oeztuerk@stoeu.com)