

# **NOTWENDIGKEIT UND DAUERHAFTIGKEIT VON PARKHAUSBESCHICHTUNGEN**

Prof. Dr.-Ing. Michael Raupach  
Institut für Bauforschung der RWTH Aachen, ibac

## **KURZFASSUNG**

Mit Erscheinen der neuen DIN 1045-1: 2001-07 sowie der Hefte 525 und 526 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, DAfStb, wurden die Konstruktionsregeln und beton-technologischen Anforderungen für Parkhäuser gegenüber den bisher geltenden Regeln deutlich verändert und zum Teil verschärft. Im Zuge der Umsetzung der neuen Regelwerke wird zur Zeit unter anderem die Dauerhaftigkeit von Oberflächenschutzmaßnahmen intensiv diskutiert. Bisher ist z.B. nicht ausreichend geklärt, welche Schäden bzw. Mängel an Beschichtungen unmittelbar zu beheben sind bzw. welche Mängel an einer Beschichtung nicht oder nur über einen sehr langen Zeitraum zu einer Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit der Stahlbetonkonstruktion führen können. Dabei bestehen insbesondere Unklarheiten bezüglich der Schutzwirkung von Grundierungen unter abgenutzten Beschichtungen gegenüber Chlorideindringen und bezüglich der Korrosion der Bewehrung im Bereich von Trenn- und Biegerissen im Beton.

Zur Klärung dieser Fragen wurden im Rahmen eines vom Deutschen Beton- und Bau-technik Vereins, DBV, geförderten Forschungsvorhabens zehn Parkhäuser in einem Alter von etwa 10 bis 30 Jahren umfassend untersucht. Kriterien zur Auswahl der Parkhäuser waren eine vergleichbare Konstruktion der Verkehrsflächen in Ortbeton, eine unmittelbar nach Herstellung erfolgte Beschichtung auf polymerer Basis sowie ein Mindestalter der Konstruktion von 10 Jahren.

## **1. EINLEITUNG**

Parkbauten, d. h. Parkhäuser und Tiefgaragen, unterliegen infolge der mechanischen Beanspruchungen durch den PKW-Verkehr, dauerhafter Feuchtebelastung durch eingeschlepptes Niederschlagswasser, Lüftungsbedingter bzw. saisonbedingter Temperaturunterschiede zwischen den Sommer- und Wintermonaten sowie insbesondere winterlichem Streusalzeinsatz – Belastungen, die mit Verkehrsbauten im Bereich der Bundesfernstraßen vergleichbar sind.

Die typischen Schäden in Parkbauten werden oft durch eine mangelnde Abdichtung der Verkehrsflächen gegen Chlorideindringen, häufig verbunden mit einer unzureichenden oder gar nicht vorhandenen Entwässerung verursacht. Fehler in der Planung der Konstruktion oder der Bauausführung z. B. von Bauwerkstrennfugen führen zudem zu ungewollter Rissbildung in Form von Biege- oder Trennrissen. Die Folge sind durchfeuchtete Konstruktionselemente wie Decken oder Unterzüge, verbunden mit einem hohen Chlo-

rideintrag infolge eingeschleppter Tausalze durch ein- und ausfahrende Pkw. Diese Einwirkungen können zur Bewehrungskorrosion, zunächst im Bereich der Risse, später auch im ungerissenen Bereich und im weiteren Verlauf verbunden mit Frosteinwirkung zu gravierenden Schäden an der Tragkonstruktion führen.

Zur Vermeidung dieser Schäden wurden speziell für Parkbauten die Anforderungen hinsichtlich Konstruktion, Art der verbauten Werkstoffe und Wartung in den letzten 15 Jahren stetig erhöht. Im Wesentlichen seien nur die neue Ausgabe der DIN 1045 aus dem Jahre 2001 oder die Hefte 525 und 526 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) und das Merkblatt des DBV „Parkhäuser und Tiefgaragen“, genannt. Mit der neuen DIN 1045-1:2001-07 wurden direkt befahrene Parkdecks mit Spritzwasserbeaufschlagung der Expositionsklasse XD3 zugeordnet. Aus Gründen der Dauerhaftigkeit wird in diesem Fall eine Mindestbetondeckung von 40 mm und eine Rissbreitenbeschränkung auf 0,3 mm gefordert. Ferner sind bei Parkdecks zusätzlich besondere Maßnahmen erforderlich, wie z. B. die Anordnung einer rissüberbrückenden Beschichtung.

Für die Baupraxis stellt sich die Frage, ob diese Forderungen bei Parkbauten technisch sinnvoll sind oder bei Anordnung einer Beschichtung unter bestimmten Bedingungen bei vorhandenen Bauwerken auch kleinere Betondeckungen ausreichen. Im Heft 525 des DAfStb wurden die Konstruktionsregeln bereits dahingehend geändert, dass bei Einhaltung entsprechender projektbezogener Wartungsintervalle eine Verminderung auf die Expositionsklasse XD1 und eine Reduktion der Bewehrungsüberdeckung von 10 mm zulässig sind. Die im Rahmen der Wartungsintervalle durchzuführenden Prüfungen sowie die bei Auftreten von Mängeln durchzuführenden Maßnahmen werden derzeit intensiv diskutiert.

Während Trennrisse bei bestimmten Konstruktionen weitgehend vermieden werden können bzw. bei nur vereinzelt aufgetretenen Trennrissen durch Verpressen als Einzelmaßnahme ohne Applikation eines vollflächigen Oberflächenschutzsystems behandelt werden können, besteht bei Biegerissen die Frage, ob bei einer starren Beschichtung ausreichend viel Wasser durch den Riss in den Beton gelangt, dass es zu schädlichen Korrosionerscheinungen kommen kann. So ist es durchaus denkbar, dass zwar nennenswerte Chloridgehalte durch bei starren Beschichtungen auftretende Risse bis zur Bewehrung vordringen, es allerdings nicht zu starker Makrokorrosionselementbildung kommen kann, da sich Feuchtigkeit nur in unmittelbarer Rissnähe befindet und nicht in den Nachbarbereichen, so dass sich keine großen Kathoden ausbilden können. In dem Fall könnten für direkt befahrene Parkdecks bei entsprechender Planung und Ausführung auch starre Beschichtungen anwendbar sein, wodurch der Vorteil der höheren mechanischen Belastbarkeit der starren Beschichtungssysteme (OS8) genutzt werden könnte.

Im Rahmen des vorgestellten Forschungsvorhabens sollten die vorgenannten Fragen praxisnah geklärt werden, indem unterschiedliche Parkhäuser mit einem Alter von 10 bis 30 Jahren vergleichend untersucht wurden. Dazu gehörten im Einzelnen die Entnahme von Bohrmehlproben für die Ermittlung von Chloridtiefenprofilen und Bohrkernen, Bestimmung des Chloriddiffusionskoeffizienten des Betons durch Migrationstests (RCM-Test), Bestimmung der Betondeckung, Analyse der aufgetragenen

Oberflächenschutzsysteme sowie eine Analyse des Bauwerks hinsichtlich Ausbildung eines ausreichenden Gefälles, Vorhandensein von Trenn- oder Biegerissen usw.

Es ist geplant, den vollständigen Forschungsbericht in Kürze über den Deutschen Beton- und Bautechnik Verein DBV im Rahmen der Schriftenreihe zu veröffentlichen, so dass er über den DBV bezogen werden kann.

## **2. AUSWAHL DER PARKHÄUSER**

Die Auswahl der Parkhäuser und Tiefgaragen erfolgte auf Basis der in einer Beratergruppe festgelegten folgenden Kriterien:

- Parkdeckoberfläche in Ortbeton;
- Keine vorgespannte Konstruktion;
- Alter des Parkhauses mindestens 10 Jahre;
- Aufbringen der Beschichtung zeitnah nach den Betonierarbeiten (< 1 Jahr);
- Art der Beschichtung: Kunststoffbeschichtung mit EP-Grundierung analog zur Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ des DAfStb, im folgenden kurz Rili SIB genannt.

Der Umfang der Untersuchungen wurde auf 10 Parkhäuser bzw. Tiefgaragen festgelegt. Der Schwerpunkt sollte dabei auf oberirdischen Parkbauten liegen, da in diesem Fall durch die direkte Bewitterung mit saisonbedingten deutlich höheren Temperaturgradienten sowie einer stärkeren Bewitterung in Form von Sonneneinstrahlung, Regen und Schnee von einer deutlich höheren Beanspruchung auszugehen ist.

Die Suche der Parkhäuser erfolgte über Parkhausbetreiber, Baufirmen, Ingenieurbüros, die bauchemische Industrie bzw. Beschichtungshersteller sowie Immobiliengesellschaften. Die Bereitschaft zur Unterstützung des Forschungsvorhabens war bei allen angesprochenen Firmen sehr groß. Als schwierig gestaltete sich jedoch der Wunsch, Objekte mit einem Alter von mehr als zehn Jahren zu finden, die unmittelbar nach Fertigstellung mit einer polymeren Beschichtung versehen wurden. Obwohl die erste Fassung der Rili SIB bereits im Jahre 1990 und die Neufassung der DIN 1045 im Jahr 1988 erschienen sind, hat sich die Erkenntnis der Notwendigkeit einer Beschichtung bei Parkbauten erst nach und nach durchgesetzt. So sind selbst zum heutigen Zeitpunkt noch eine Vielzahl an Parkbauten unbeschichtet und weisen nur die vor 15 bis 20 Jahren üblichen Betondeckungen von etwa 30 mm auf. Schäden und dadurch bedingte umfangreiche Instandsetzungsmaßnahmen sind somit auch in Zukunft zu erwarten.

Objekte, die deutlich älter als 15 Jahre sind, sind in Einzelfällen selbst bei einem Alter von etwa 30 Jahren direkt nach Fertigstellung beschichtet worden. Infolge der begrenzten Nutzungsdauer polymerer Beschichtungen wurden diese jedoch häufig bereits erneuert, so dass bei diesen Objekten Aussagen zur Schutzwirkung der Beschichtungen oder der Bewertung der eingedrungenen Chloridkonzentrationen nur eingeschränkt möglich waren.

Das Durchschnittsalter der untersuchten Parkhäuser liegt bei etwa 20 Jahren. Die untersuchten Beschichtungen entsprechen allerdings infolge des teilweise hohen Alters nur bedingt dem heute üblichen Standard nach Rili SIB des DAfStb bestehend aus Grundierung sowie der ein- oder mehrschichtigen hauptsächlich wirksamen Oberflächenschutzschicht hwO und ggf. einer Deckversiegelung.

### **3. UNTERSUCHUNGSMETHODEN**

Nach Beschreibung des Allgemeinzustandes der einzelnen Objekte hinsichtlich Entwässerung, Zustand der Beschichtung, Vorhandensein von Betonabplatzungen etc. wurden die folgenden Untersuchungen durchgeführt:

- Zerstörungsfreie Bestimmung der Betondeckung mittels magnetelektrischer Verfahren,
- Entnahme von Bohrkernen in ungerissenen und gerissenen Bereichen mit einem Durchmesser von 100 mm zur Bestimmung des Chloridmigrationskoeffizienten und des Korrosionszustandes der Bewehrung,
- Bestimmung von Chloridtiefenprofilen durch Bohrmehlentnahme und Bestimmung des Gesamtchloridgehaltes im Tiefenraster 0 - 7 mm, 7 - 14 mm, 14 - 21 mm, 21 - 30 mm, 30 - 40 mm sowie 40 - 50 mm,
- Bestimmung des Chloridmigrationskoeffizienten mit dem RCM-Test,
- Bestimmung der Art der Beschichtung mit der Photoakustikspektroskopie PAS,
- Potentialfeldmessung zur Ortung von Bereichen mit hoher Korrosionswahrscheinlichkeit und
- Bestimmung des Korrosionszustandes der Bewehrung in Biege- und Trennrissen.

Aufgrund der vorhandenen Beschichtungen konnte die Potentialfeldmessung nur in einem Objekt durchgeführt werden, bei dem aufgrund der bereits nahezu vollständig abgefahrenen Beschichtung eine flächige Kontaktierung des Betons möglich war. Die einzelnen Untersuchungsmethoden sind im o. g. Forschungsbericht ausführlich beschrieben. Details zu den durchgeführten RCM-Tests finden sich zudem in [1].

### **4. BESCHREIBUNG DER OBJEKTE**

Eine Übersicht der untersuchten Objekte mit Angabe des Alters, der Größe, der Art der vorhandenen Beschichtung sowie ggf. weiteren Konstruktionsdetails ist in Tabelle 1 dargestellt.

Obwohl die Objekte über einen Zeitraum von etwa 30 Jahren geplant und gebaut wurden und die Schäden an Parkbauten infolge chloridinduzierter Korrosion weiterhin stark zunehmen, wurde nur in zwei der zehn untersuchten Objekte ein auf die Konstruktion angepasstes Entwässerungskonzept geplant und angeordnet. In acht Objekten war kein Gefälle vorhanden. Die Entwässerung erfolgt, wenn überhaupt über wenige Punkteinläufe, die teilweise nicht einmal im Bereich der Verkehrsflächen oder Stellflächen angeordnet waren.

Trennrisse waren in nahezu allen Bauwerken vorhanden und wurden in der Mehrzahl der Fälle auch verschlossen. Allerdings wurde in allen Fällen ein Epoxidharz zur Injektion verwendet, so dass sich die Risse infolge weiterhin vorhandener Rissbewegungen wieder geöffnet haben. So kann es neben einem raschen Korrosionsfortschritt der Bewehrung auch infolge anstehenden Regen- und Schmelzwassers zu Schäden an abgestellten Pkw durch abtropfendes mit Alkalien angereichertes Wasser im Bereich der Trennrisse kommen.

Bei der Entnahme von Bohrkernen in Trennrissen zeigte sich, dass diese Risse in der Mehrzahl der Fälle im Bereich der Arbeitsfugen der Deckenfelder lagen. Diese wurden bei den Betonierarbeiten glatt abgeschalt. Der nächste Betonierabschnitt wurde ohne Aufrauen der Oberfläche direkt an die Arbeitsfuge anbetoniert. Infolge der Schwächung des Betonquerschnittes traten die Risse somit primär in diesen Bereichen auf. Im folgenden Bild 1 ist ein behandelter Trennriß in einer Konstruktion dargestellt, der sich aufgrund der Verwendung eines starren Epoxidharzes wieder geöffnet hat. Im rechten Bild ist ein typischer Bohrkern im Bereich eines Trennrisses dargestellt. Die glatte Abschaltung im Bereich der Arbeitsfuge ist deutlich zu erkennen.



Bild 1: Behandelte Trennriss mit erneuter Öffnung des Risses (links) und typischer Bohrkern in einem Trennriss mit glatter Abschaltung der Arbeitsfuge

## **5. VERGLEICH UND BEWERTUNG DER PARKHÄUSER**

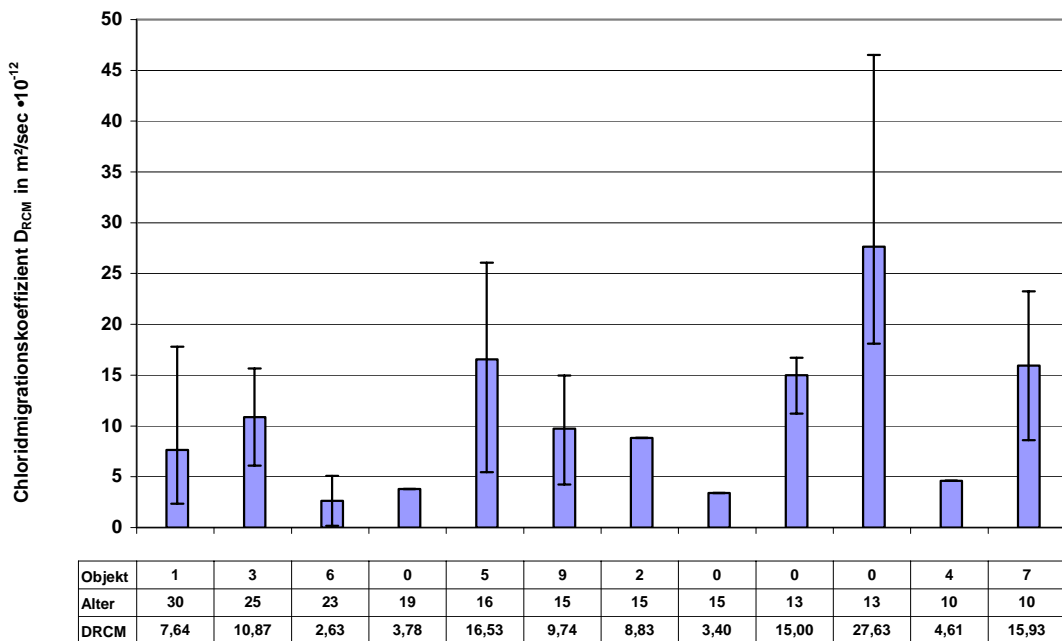
### **5.1 Allgemeines**

In den folgenden Kapiteln erfolgt die Auswertung und Bewertung der Ergebnisse der Laboruntersuchungen hinsichtlich Chlorideindringen durch die Beschichtung, Auswertung der Chloridmigrationskoeffizienten der Konstruktionsbetone sowie des Korrosionszustandes der Bewehrung in Biege- und Trennrissen. Dabei werden die Ergebnisse der einzelnen Objekte vorgestellt und bewertet.

### **5.2 Chloriddiffusionskoeffizient $D_{RCM,t}$ der Konstruktionsbetone**

Die Bestimmung des Chloridmigrationskoeffizienten erfolgte mit dem sogenannten RCM Test /1/. Je Parkhaus wurden zwei bis drei Bohrkerne für den RCM-Test entnommen. Sofern davon ausgegangen werden konnte, dass die Entnahmebereiche mit der gleichen Betonrezeptur erstellt worden sind, wurden die Einzelwerte zu einem Mittelwert zusammengefasst. Bei Gegenüberstellung der einzelnen Parkhäuser werden sowohl der Mittelwert als auch die Einzelwerte angegeben.

Aufgrund der Veränderungen der Anforderungen der DIN 1045 hinsichtlich der Betonzusammensetzung und der maximal zulässigen w/z-Werte wurden die Ergebnisse der RCM-Tests chronologisch gegenübergestellt. Bei Objekt 2 wurde wegen des in den Zwischendecks aufgetragenen Zementestrichs nur das Freideck berücksichtigt, bei Objekt 4 nur der Konstruktionsbeton unterhalb des aufgetragenen Zementestrichs. Im folgenden Diagramm sind als Ergebnis des RCM-Tests die Mittelwerte als arithmetisches Mittel sowie die Maxima und Minima nach Objektalter geordnet dargestellt.



**Bild 2:** Vergleich der nach Alter der Objekte geordneten Chloridmigrationskoeffizienten  $D_{RCM, t}$  des Kernbetons in  $m^2/s \cdot 10^{-12}$

Im betrachteten Zeitraum sind drei Generationen der DIN 1045 in den Jahren 1972, 1977 und 1988 erschienen. Eine entscheidende Änderung für die Betonzusammensetzung ergab sich allerdings im wesentlichen erst mit der Ausgabe 1988, mit der der maximal zulässige w/z-Wert für die neu eingeführte Exposition „hoher Frost-Tausalz widerstand“ mit 0,50 festgelegt wurde. Die in den RCM-Versuchen ermittelten Diffusionskoeffizienten zeigen jedoch keine eindeutige Verringerung der Diffusionskoeffizienten bei den jüngeren Bauwerken.

Die Schwankungsbreiten der ermittelten Diffusionskoeffizienten innerhalb eines Parkhauses erscheinen bei einigen der untersuchten Objekten wie z. B. Objekt 1 oder Objekt 10 im Deckenbereich unerwartet hoch. Sie betragen bei den genannten Objekten mehr als 100 % bezogen auf den Minimalwert. Da die Versuchskörper aus größeren Tiefen der Deckenquerschnitte von mindestens 3 bis 4 cm entnommen wurden, kann eine in Teilbereichen ggf. unzureichend durchgeführte Nachbehandlung nicht die Hauptursache sein. Vielmehr scheint es sich hier entweder um eine unzureichende Verdichtung oder Schwankungen in der Mischungszusammensetzung des Transportbetons zu handeln.

## **5.3 Zustand und Schutzwirkung der Beschichtungen**

### **5.3.1 Allgemeines**

In den folgenden Kapiteln erfolgt ein Vergleich der aufgetragenen Beschichtungen hinsichtlich Aufbau, Verschleißwiderstand sowie Schutzwirkung gegen Chlorideindringen. Dazu werden im folgenden Kapitel zunächst die einzelnen Beschichtungsaufbauten vorgestellt und hinsichtlich verwendeter Bindemittel, Aufbau und Schichtdicke beschrieben. In den weiteren Kapiteln erfolgt die Bewertung des Verschleißwiderstandes sowie der Schutzwirkung gegen das Eindringen von Chloriden. Eine Übersicht über die Beschichtungen der untersuchten Objekte ist in Tabelle 3 dargestellt.

### **5.3.2 Verschleißwiderstand der Beschichtungen**

Aufgrund der unterschiedlichen Nutzungsfrequenzen der einzelnen Objekte und des unterschiedlichen Alters sind die zum Untersuchungszeitpunkt vorhandenen Verschleißerscheinungen der einzelnen Beschichtungssysteme nur bedingt zu vergleichen. Trotz dieser Einschränkungen sind allerdings generelle Schlussfolgerungen im Hinblick auf die Verschleißfestigkeit der unterschiedlichen Beschichtungssysteme möglich.

So sind die in einigen Objekten vorhandenen älteren Beschichtungssysteme auf Basis eines Phenolharzes oder einer Acrylatdispersion für befahrbare Flächen ungeeignet. Sowohl der reine Verschleißwiderstand dieser glatten Beschichtungen als auch die Rutschsicherheit bei Nässe entsprechen nicht den heutigen Anforderungen für Parkhäuser.

Starre Epoxidharzsysteme mit einem hohen Füllgrad mit Quarzkorn hingegen zeigten bei den untersuchten Objekten in der Mehrzahl der Objekte nur geringe Verschleißerscheinungen. Eine zusätzliche Kopfversiegelung, wie sie z. B. bei den OS 8 Systemen auf Basis der Rili SIB, Ausgabe 1990 /5/ nur optional empfohlen wird, kann durch die bessere Korneinbindung den Verschleißwiderstand deutlich erhöhen. Zudem führt ein groberes Füllkorn ebenfalls zu einem höheren Verschleißwiderstand als ein feines Korn. Hierbei ist allerdings eine auf die Größe des Größtkorns angepasste Auftragsmenge des Epoxidharzes der hW0 erforderlich.

Bei zwei Objekten wurde die Deckversiegelung mit einer deutlich größeren als z. B. bei heutigen OS 8-Systemen üblichen Auftragsmenge appliziert, so dass nahezu alle Täler zwischen den Quarzkörnern ausgefüllt wurden. Diese gute Einbindung des Quarzkorns bietet den Vorteil, dass ein Herausbrechen einzelner Körner durch überfahrende Reifen stark verringert wird. Nachteilig wirkt sich diese hohe Auftragsmenge allerdings auf die Rutschsicherheit der Beschichtung für Fußgänger aus. In den folgenden zwei Bildern sind starre Beschichtungssysteme der Objekte 7 und 9 dargestellt. In beiden Fällen wurden die Bohrkerne direkt aus dem Verkehrsbereich der Objekte entnommen. Während in Objekt 9 starke Verschleißerscheinungen der Beschichtung in Form eines Ausbrechens der Quarzkörner vorhanden sind, sind im Objekt 7 nahezu keine Verschleißerscheinungen feststellbar.



**Bild 6:** Vergleich einer starren abgestreuten Epoxidharzbeschichtung ohne Deckversiegelung (links: Alter 15 Jahre) und mit Deckversiegelung (rechts: Alter 10 Jahre); 1 Skalenteilung entspricht 0,1 mm

Eine Abstreuerung der Grundierung beeinflusst ebenfalls signifikant die Verschleißfestigkeit einer Beschichtung. Neben einer Verbesserung der mechanischen Verzahnung zwischen den einzelnen Schichten wirkt sich diese Maßnahme zudem günstig auf den Bauablauf aus, da in diesem Fall z.B. bei ungünstigen Witterungsbedingungen längere Stillstandszeiten zwischen den einzelnen Schichten als 24 Stunden möglich sind.

### 5.3.3 CO<sub>2</sub> Eindringwiderstand der Beschichtungen

Die Karbonatisierungstiefe an den Bohrkernen wurden nach Spalten der Kerne und Aufsprühen von Phenolphthalein bestimmt. Dabei wurde die Karbonatisierungstiefe sowohl direkt unterhalb der Beschichtung als auch an den Rissflanken der Trennrisse bei starrer Beschichtung bestimmt.

In keinem der untersuchten Bohrkern wurden Karbonatisierungstiefen größer 3 bis 5 mm direkt unterhalb der Beschichtung gefunden. In der Mehrzahl der Fälle konnte praktisch keine Karbonatisierungstiefe bestimmt werden. Im Bereich der Trennrisse wurde erwartungsgemäß an den Rissflanken ein deutlicher Einfluss der Karbonatisierung gemessen.

Hinsichtlich CO<sub>2</sub>-Eindringen sind die untersuchten Beschichtungen somit, wie zu erwarten, als praktisch CO<sub>2</sub>-undurchlässig einzustufen.

### 5.3.4 Chlorideindringen durch Beschichtungen

Das Chlorideindringen durch Beschichtungen in Beton geschieht über eine oder eine Kombination der Transportmechanismen Diffusion, Kapillares Saugen und Permeation. Die Permeation ist aufgrund eines nur selten vorhandenen kapillaren Wasserdruckes allerdings für Parkbauten von untergeordneter Bedeutung.

Der Transport von Chloriden in Beton kann nach /2/ und /3/ durch das 2. Fick'sche Gesetz beschrieben werden kann. Die ermittelten Chloridtiefenprofile folgen in der Regel einem hyperbolischen Verlauf.

Aufgrund des unterschiedlichen Alters der einzelnen Parkhäuser und der damit verbundenen unterschiedlich langen Chloridbeaufschlagung der Beschichtungsoberfläche sowie der unterschiedlichen Aufbauten der einzelnen Beschichtungssysteme sind die ermittelten Chloridtiefenprofile der einzelnen Parkhäuser nicht direkt miteinander vergleichbar. Zur Bewertung des Chlorideindringwiderstandes der verschiedenen OS-Aufbauten wurde daher die folgende Vorgehensweise gewählt:

- Bestimmung von Chloridtiefenprofilen in ungerissenen Bereichen der Beschichtung im Objekt.
- Berechnung des effektiven Chloriddiffusionskoeffizienten  $D_{\text{eff,Cl,B}}$  des Gesamtsystems Beschichtung/Beton auf Basis der ermittelten Chloridtiefenprofile und der Standzeit des Bauwerks.
- Bestimmung des Chloridmigrationskoeffizienten  $D_{\text{RCM,t}}$  des Konstruktionsbetons der einzelnen Objekte mittels RCM-Test.
- Bestimmung der Differenz zwischen  $D_{\text{RCM,t}}$  und  $D_{\text{eff,Cl,B}}$  als Maß für die Reduktion des Chlorideindringens infolge der aufgetragenen Beschichtung.

Dabei sind allerdings die folgenden Randbedingungen zu beachten: Je nach Aufbau der Beschichtung, Alter sowie Verschleiß- und Alterungserscheinungen verändert sich der Chlorideindringwiderstand der Beschichtung mit der Zeit. Zudem verändert sich infolge der Austrocknung mit zunehmender Standzeit die Feuchteverteilung des Betons.

Dazu gelten die bereits in /1/ genannten Einschränkungen bei Ermittlung des Chloriddiffusionskoeffizienten aus Chloridtiefenprofilen:

- Der Transport von Chloriden erfolgt vor allem bei hohen Feuchtegehalten nicht nur nach den Gesetzen der Diffusion sondern auch infolge eines Huckepack-Transportes mit der kapillar eindringenden Feuchtigkeit.
- Bei Austrocknung des Betons kommt es zu einem Rücktransport von Chloriden zur Oberfläche.

- Eine Veränderung der Betonrandzone infolge Karbonatisierung führt zu einer Veränderung der Transportgeschwindigkeit der Chloride und zudem zu einer veränderten Chloridbindekapazität des Betons.
- Auslauffeffekte können ebenso wie eine Karbonatisierung das Chloridbindevermögen des Betons verändern.

Aufgrund der direkt nach Erstellung der Parkdecks aufgetragenen Beschichtung haben diese Faktoren jedoch nur noch einen untergeordneten Einfluss, da sich zum einen die Feuchteverteilung im beschichteten Beton nur über einen langen Zeitraum von vielen Jahren maßgeblich verändert. Zum anderen findet unterhalb einer Beschichtung eine deutlich verlangsamte Karbonatisierung des Betons statt, die wie bereits gezeigt bei heutzutage üblichen befahrbaren, rissüberbrückenden Beschichtungen praktisch zum Erliegen kommt.

Aus diesem Grund kann bei der Ermittlung des Chloriddiffusionskoeffizienten aus den Chloridtiefenprofilen im vorliegenden Fall auf die von Gehlen /1/ vorgeschlagene Verfahrensweise verzichtet werden, bei der unmittelbar an der Oberfläche liegende Datenpunkte unberücksichtigt bleiben. Ein typisches Chloridtiefenprofil eines beschichteten Betons ist im folgenden Diagramm dargestellt.

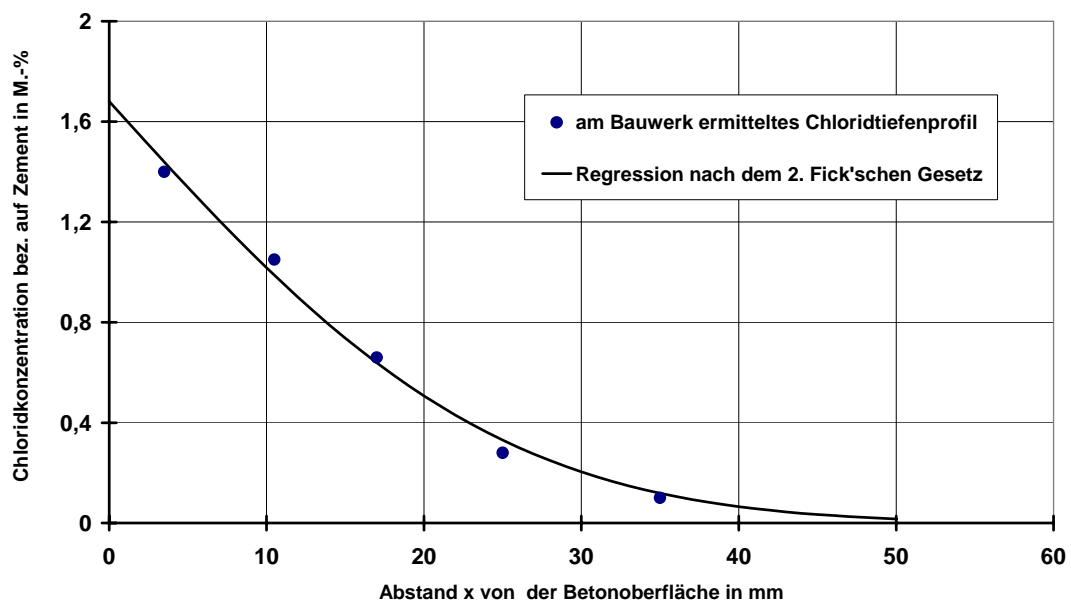
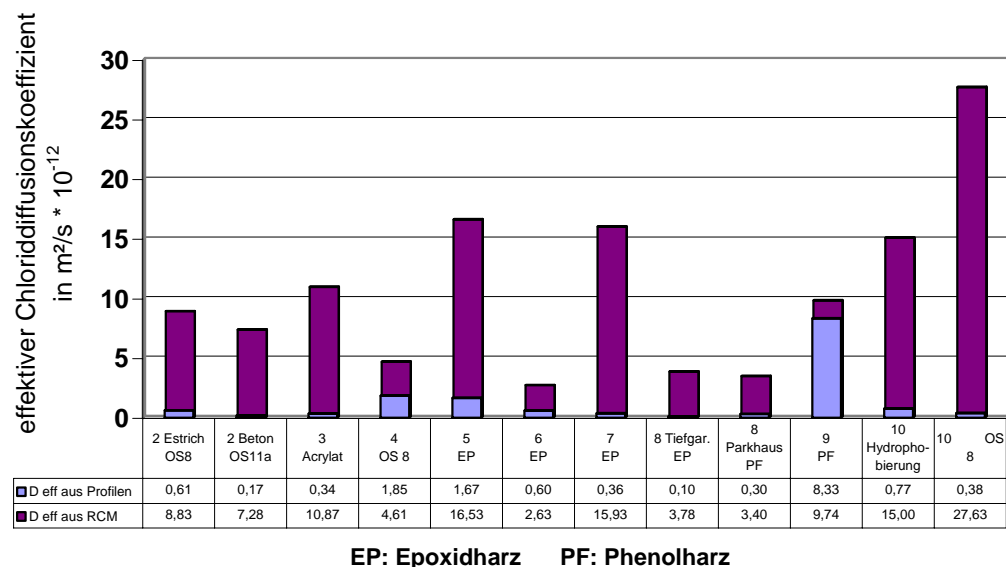


Bild 7: Typisches Chloridtiefenprofil eines beschichteten Betons (Alter 25 Jahre, Acrylatbeschichtung,  $d = 100 \mu\text{m}$ , Beschichtung nahezu abgefahren)

Der aus den Profilen der beschichteten Bauwerke ermittelte Chloriddiffusionskoeffizient wird aus den o. g. Gründen im Folgenden als effektiver Diffusionskoeffizient  $D_{\text{Eff,Cl,B}}$  bezeichnet.

Die in Bild 8 dargestellten Chloriddiffusionskoeffizienten  $D_{\text{eff,Cl,B}}$  aus den Chloridtieftiefenprofilen zeigen je nach Art und Schichtdicke der Beschichtung deutliche Unterschiede im Bereich zwischen  $0,17 \text{ m}^2/\text{s}$  bis  $1,85 \text{ m}^2/\text{s}$ . Der Wert der Phenolharzbeschichtung aus Objekt 9 wird im Folgenden nicht weiter betrachtet, da hier aufgrund des deutlich überhöhten Diffusionskoeffizienten sowie der für das Bauwerksalter von etwa 15 Jahren unerwartet hohen Chloridkonzentrationen im Beton eine unüblich schlechte Betonqualität anzunehmen ist. Zudem ist bei dieser Beschichtung aufgrund einer Schichtdicke von weniger als  $60 \mu\text{m}$  nicht von einer nennenswerten Schutzwirkung gegen Chlorideindringen auszugehen.



**Bild 8:** Vergleich der Diffusionskoeffizienten aus Chloridtieftiefenprofilen  $D_{\text{eff,Cl,B}}$  und  $D_{\text{RCM,t}}$  aus den RCM-Versuchen

Selbst bei einer mit heutigen Beschichtungssystemen nicht mehr vergleichbaren Acrylatbeschichtung z. B. in Objekt 3 ist eine signifikante Verringerung des Chlorideindringens festzustellen. Da zumindest bei heutigen Beschichtungssystemen in jedem Fall eine Grundierung aufgetragen wird und dies teilweise auch bei den untersuchten Objekten durchgeführt wurde, ist selbst bei einer visuell abgefahrenen und verschlissenen Beschichtung noch von einer deutlichen Schutzwirkung gegenüber Chlorideindringen auszugehen.

So wirken sich bei Vorhandensein einer Beschichtung zwei Faktoren positiv auf die Schutzwirkung gegenüber Chlorideindringen aus: Zum einen wird durch die vorhandene Beschichtung die Oberflächenkonzentration des Chlorids auf der Betonoberfläche deutlich gesenkt. Während beim unbeschichteten Objekt 1 oder beim Objekt 9, bei dem nur eine Schichtdicke von  $60 \mu\text{m}$  aufgebracht worden ist, Oberflächenkonzentrationen von

etwa 4,5 M.-% Cl bezogen auf Zement gemessen wurden, betrug dieser Wert bei den nach Rili SIB beschichteten Objekten etwa 0,4 M.-%.

Am Beispiel des Objektes 4 wird allerdings sichtbar, dass für einen dauerhaften Schutz gegenüber Chlorideindringen Mindestschichtdicken erforderlich sind, die teilweise über den heute üblichen Schichtdicken liegen. In diesem Fall wurde ein OS 8 System nur mit einer an der unteren Grenze der Rili SIB, Ausgabe 1990 liegenden Mindestschichtdicke von etwa 1 bis 1,5 mm aufgetragen. Diese Mindestschichtdicke resultierte allerdings im wesentlichen aus der Größe des Quarzkorns, nicht jedoch aus der Dicke der reinen Epoxidharzschicht. Somit ergaben sich im Bereich größerer Quarzkörner offenbar Durchlässigkeiten der Beschichtung, da in diesen Bereichen ausschließlich die nicht abgestreute Grundierung die durchgehende Filmbildung bewirkt hat. Dementsprechend ist der aus den Chloridprofilen ermittelte Diffusionskoeffizient  $D_{\text{eff,Cl,B}}$  mit  $1,85 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  gegenüber anderen Beschichtungssystemen deutlich erhöht. In den folgenden zwei Bildern sind Aufnahmen dieser OS 8 Beschichtung dargestellt. In beiden Bildern sind deutlich Bereiche zu erkennen, in denen die hwO keinen durchgehenden Film ausgebildet hat sondern lediglich die Grundierung.

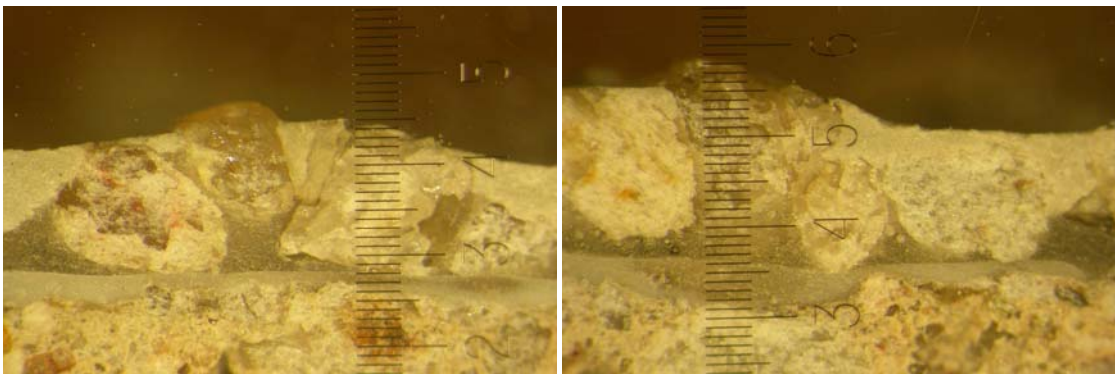


Bild 9: OS 8-System mit nicht ausreichender Schichtdicke der hwO und ungünstiger Abstimmung zwischen Trockenschichtdicke und Größe des Quarzkorns (1 Skalenteilung entspricht 0,1 mm)

Eine in der Rili SIB angegebene Mindestschichtdicke sollte sich aus diesem Grund auf die Schichtdicke des Reaktionsharzes (Epoxidharz oder Polyurethan) und nicht auf die Korngröße des Abstreukorns beziehen.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

Nachfolgend werden die wesentlichen Ergebnisse des Forschungsvorhabens zusammengefasst.

- Beschichtungen auf Basis von Acrylatdispersionen oder Phenolharzdispersionen sind für befahrbare Flächen wie z.B. Parkbauten ungeeignet.

- Starre Beschichtungen zeigen bei ausreichender Schichtdicke und Kopfversiegelung selbst nach 15 bis 20 Jahren nur geringe Verschleißerscheinungen. Sofern keine Rissüberbrückung erforderlich ist, sollten dementsprechend starre Beschichtungen vorgezogen werden.
- Selbst bei visuell abgefahrenen Oberflächenschutzsystemen heutiger Bauart (Epoxidharzgrundierung mit einer Auftragsmenge von etwa 300 bis 400 g/m<sup>2</sup> + hwO) ist noch von einer vorhandenen Schutzwirkung der Grundierung gegenüber Chlorideindringen von ca. 5 bis 10 Jahren, nachdem die Beschichtung abgefahren wurde, auszugehen.
- Bei einer vorhandenen Beschichtung nach Rili SIB wird die Einwirkung von Chloriden und Feuchtigkeit auf den Beton maßgeblich gesenkt. Eine Reduktion von XF4 auf XF1 entsprechend Heft 525 des DAfStb /5/ erscheint somit sinnvoll.
- Starke Schwankungen der Betonqualität bei vorhandenen Parkhäusern erfordern hinsichtlich Chlorideindringen in jedem Fall eine Beschichtung. Zudem ist die vorhandene Betondeckung bei bereits bestehenden Bauwerken i. d. R. kleiner als nach DIN 1045 07.01 erforderlich.

Weitere Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis sind im vollständigen Bericht des DBV enthalten.

## 7 Literatur

- [1] Raupach, M. ; Dauberschmidt, C.: Dauerhaftigkeit von Küstenbauwerken : Anforderungen an Diffusionskoeffizienten von Betonen. Aachen : Institut für Bauforschung, 2004.- Forschungsbericht Nr. F 903
- [2] Kropp, J. ; Hilsdorf, H.K. ; Grube, H. ; Andrade, C. ; Nilsson, L.-O.: Transport mechanisms and definitions. London : E & FN Spon, 1995. - In: Performance Criteria for Concrete Durability, RILEM Report 12 (Kropp, J. ; Hilsdorf, H.K. (Ed.)), S. 4-14
- [3] Thomas, M.D.A. ; Bamforth, P.B.: Modelling Chloride Diffusion in Concrete Effect of Fly Ash and Slag. In: Cement and Concrete Research 29 (1999), Nr. 4, S. 487-495
- [4] Raupach, M. ; Wolff, L.: Bauwerksuntersuchungen zur Dauerhaftigkeit von Beschichtungen auf Parkhäusern. Ostfildern : Technische Akademie Esslingen, 2004. In: Verkehrsbauten : Schwerpunkt Parkhäuser. 1. Kolloquium, Ostfildern, 27. und 28. Januar 2004 (Gieler-Breßmer, S. (Ed.)), S. 685-692
- [5] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Erläuterungen zu DIN 1045-1. Berlin : Beuth. - In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (2003), Nr. 525
- [6] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Erläuterungen zu den Normen DIN EN 206-1, DIN 1045-2, DIN 1045-3, DIN 1045-4 und DIN 4226. Berlin : Beuth.- In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (2003), Nr. 526
- [7] Schießl, P.: Grundlagen der Neuregelung zur Beschränkung der Rißbreite. 4. Aufl. Berlin : Beuth. - In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (1994), Nr. 400, S. 157-175

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Parkhäuser

Objekt Nr.	Art des Objektes	Alter	Betondeckung	Vorwiegende Rissart	Art der Beschichtung
-	-	Jahre	mm	-	-
1	2	3	4	5	6
1	Tiefgarage	30	40 ÷ 50	Trennrisse	-
2	Parkhaus	15	40 ÷ 50 <sup>1)</sup>	Trennrisse	Zwischendeck: OS 8 Freideck: OS11b
3	Parkhaus	25	45 ÷ 50	Biegerisse	AY-Beschichtung
4	Tiefgarage	10	- <sup>2)</sup>	Biege/Trennrisse	OS 8
5	Tiefgarage	16	35 ÷ 45	Trennrisse	EP-Beschichtung
6	Tiefgarage	23	40 ÷ 55	Biege/Trennrisse	EP-Beschichtung
7	Tiefgarage	10	40 ÷ 60	Trennrisse	Fahrbereiche: EP-Beschichtung Parkbereiche: PF-Beschichtung
8	Tiefgarage	19	35 ÷ 60	Trennrisse	Fahrbereiche: EP-Beschichtung Parkbereiche: AY-Beschichtung
	Parkhaus	15	30 ÷ 50	Trennrisse	PF-Beschichtung
9	Tiefgarage	15	25 ÷ 50	Trennrisse	PF-Beschichtung
10	Parkhaus	13	35	Trennrisse <sup>3)</sup>	Zwischendecks: Hydrophobierung Freideck: Gussasphalt Rampen: OS in Anlehnung OS 8

1) Verbundstahlfaserestrich in den Zwischendecks, Angabe der Betondeckung im Bereich des Freidecks

2) Verbundestrich

3) Durch  $\pi$ -Platten und unterseitige Abdeckung in der Wirkung als Biegerisse einzustufen, siehe Beschreibung Objekt 10

EP: Epoxidharz

AY: Acrylat

PF: Phenolharz

**Tabelle 3: Zusammenstellung der untersuchten Beschichtungen**

Objekt	Aufbau, Bindemittel und mittlere Schichtdicke der Beschichtung						Alter	Bezeichnung nach Rili SIB
	Grundierung		Hauptsächlich wirksame Oberflächenschutzschicht		Verschleißschicht/ Deckversiegelung			
	Bindemittel	Schichtdicke <sup>1)</sup>	Bindemittel	Schichtdicke <sup>1)</sup>	Bindemittel	Schichtdicke <sup>1)</sup>		
-	-	mm	-	mm	-	mm	Jahre	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Objekt 2	-		EP mit QS	1,6	-		15	In Anlehnung an OS 8 OS11b
	EP mit QS	1,0	PUR mit QS	2,3	-	-		
Objekt 3	-		Acrylat	n.b.	-		25	Nicht einzuordnen
Objekt 4	EP mit QS	0,3	EP mit QS	0,7	EP	0,5	10	OS 8
Objekt 5 Typ a	EP mit QS	0,3	EP mit QS	1,5	-	-	16	In Anlehnung an OS 8 Zusätzliche Egalisierschicht d = 1,4 mm (EP + QS)
Objekt 5 Typ b	EP mit QS	0,3	EP mit QS	0,25	-	-		
Objekt 6, Oberdeck	-		EP mit QS	1,1	EP	0,3	22	In Anlehnung an OS 8
Objekt 6, Unterdeck	-		EP mit QS	0,5	EP	0,4		
Objekt 7 EP	-		EP mit QS	1,5	EP	0,9	10	In Anlehnung an OS 8
Objekt 7 Phenolharz	-		PF	0,18	-			Nicht einzuordnen
Objekt 8 EP Tiefgarage	-		EP mit QS	1,0	EP	0,5	19	In Anlehnung an OS 8 Nicht einzuordnen
Objekt 8 Phenolharz Tiefgarage	-		PF	n.b.	-	-		
Objekt 8 Parkhaus	-		PF	n.b.	-	-	15	Nicht einzuordnen
Parkhaus 9	n.b.		PF	n.b.	-	-	15	Nicht einzuordnen
Parkhaus 10	-		EP	2,8	-		13	In Anlehnung an OS 8

1) Mittelwert aus 10 Einzelwerten je Bohrkern      EP: Epoxidharz; PUR: Polyurethan; PF: Phenolharz; QS: Quarzsand; n.b.: nicht bestimmbar (d < 50 µm)