

## **Vorgehensweise bei der Untersuchung von Parkhäusern**

M. Raupach  
Institut für Bauforschung (ibac), RWTH Aachen

### **Kurzfassung**

Zur Zeit ist in Deutschland und zahlreichen anderen Ländern eine Vielzahl von Parkbauten, d. h. Parkhäusern und Tiefgaragen instandsetzungsbedürftig. Dies resultiert häufig aus der Problematik der chloridinduzierten Korrosion der Betonstahlbewehrung im Beton. Die Chlorideinwirkung stammt dabei entweder unmittelbar aus einer Tausalzanwendung auf den Betonoberflächen im Winterdienst oder indirekt durch von fahrenden oder parkenden Fahrzeugen abtropfenden Chloriden, die zusammen mit Tausalzen während des Fahrens aufgenommen wurden. Eine besondere Schwierigkeit für die Zustandsbewertung solcher Parkbauten besteht darin, dass die Korrosion der Bewehrung erst im fortgeschrittenen Stadium äußerlich erkannt werden kann, d. h. erst dann, wenn bereits Risse oder Abplatzungen aufgetreten sind. In diesem Stadium sind Instandsetzungsmaßnahmen jedoch i. d. R. sehr aufwendig, da häufig der geschädigte Beton entfernt und fachmännisch ersetzt werden muss, was mit entsprechendem zeitlichen und finanziellen Aufwand verbunden ist. Insbesondere bei Konstruktionen mit geringen Traglastreserven und starken Chloridbeanspruchungen kann die Instandsetzung der chloridinduzierten Schäden zu statischen Problemen führen, die wiederum Abstützungen oder den Teilabriss einzelner Bauteile zur Folge haben.

Um den Korrosionszustand der Bewehrung beurteilen zu können werden traditionell an verschiedenen Stellen Chloridprofile bestimmt und die Bewehrung freigelegt, um den Korrosionszustand der Stahloberflächen genauer beurteilen zu können. Um einen repräsentativen Überblick über größere Bereiche zu bekommen sind dazu jedoch umfangreiche Stichproben erforderlich, was wiederum mit entsprechenden Kosten verbunden ist. Daher ist es häufig sinnvoll, vor der Festlegung von Entnahmestellen für Chloridanalysen oder der Freilegung der Bewehrung eine flächendeckende Analyse durchzuführen, was mit sogenannten Potentialfeldmessungen möglich ist. Dabei wird eine sogenannte Referenzelektrode über die Betonoberfläche geführt und die Spannung zwischen dieser Referenzelektrode und der Bewehrung gemessen. Man erhält dabei ein sogenanntes Potentialfeld, d. h. die örtliche Potentialverteilung über die relevanten Betonoberflächenbereiche. Kritische Bereiche mit hoher Wahrscheinlichkeit für Bewehrungskorrosion können unmittelbar daran erkannt werden, dass die Potentiale entsprechend niedrig sind (unedles Verhalten) und i. d. R. starke Gradienten zu den möglichen Korrosionsstellen hin auftreten. Anhand der Potentialverläufe kann nun festgelegt werden, wo die Stichproben für Chloridanalysen und Bewehrungsfreilegungen besonders aussagekräftig sind. Insgesamt kann dadurch der Aufwand für die Zustandsuntersuchung i. d. R. erheblich reduziert werden.

## Zur Problematik der Dauerhaftigkeit bei Parkhäusern

Hauptursache für die Problematik der Dauerhaftigkeit von Parkbauten wie Tiefgaragen und Parkhäusern sind Schäden, die überwiegend auf chloridinduzierte Bewehrungskorrosion zurückzuführen sind. Die Chloride stammen dabei nicht nur aus im Winterdienst direkt aufgestreuten Tausalzen, sondern ebenso aus Tausalzen, die von Fahrzeugen in die Parkhäuser und Tiefgaragen eingeschleppt werden und dort beim Fahren und insbesondere auch beim Parken abtropfen und sich auf dem Beton ansammeln bzw. in die Fußbereiche von Stützen und Wänden eingesogen werden. Dies führt dazu, dass sich je nach Aufbau des Parkgebäudes, der Gefällegebung und der Art der Frequentierung i.d.R. lokal deutlich unterschiedliche Chloridbelastungen an der Betonoberfläche ergeben.

Wenn ein gewisser Chloridgehalt aus den Tausalzen bis zur Bewehrung vorgedrungen ist, löst er dort Korrosion aus, die zu Rissen, Abplatzungen und statischen Problemen führen kann. Die folgenden Bilder 1-3 zeigen typische Schäden, die häufig unter anderem durch unzureichende Entwässerungssysteme unterstützt werden (s. Bild 1).



**Bild 1:** Pfützenbildung auf einem Parkdeck durch nicht funktionsfähiges Entwässerungssystem



**Bild 2:** Zerstörte Betonoberfläche mit herausstehender Bewehrung in einem befahrenen Bereich eines ca. 30 a alten Parkhauses



**Bild 3:** Erhebliche Korrosionsschäden an Unterzügen eines Parkhauses, die an eine undichte Fuge angrenzen

Die in Bild 2 dargestellte Zerstörung der Betonoberfläche ist vermutlich aus einer Überlagerung von Frost-Tausalz-, Chlorid- und mechanischer Beanspruchung entstanden. Die in Bild 3 gezeigten Korrosionsschäden an der Bewehrung in Bereichen undichter Fugen treten bei Parkhäusern und Tiefgaragen ebenfalls häufig auf. In solchen Bereichen besteht die Problematik, dass die am stärksten geschädigten Bereiche unzugänglich sind, d.h. dass eine Instandsetzung nur mit erheblichem Betonabtrag oder Sonderverfahren wie dem kathodischen Korrosionsschutz möglich sind.

### **Vorgehensweisen bei der Untersuchung von Parkbauten**

Die traditionelle Vorgehensweise besteht in einer stichprobenartigen Bestimmung der Betondeckung, Karbonatisierungstiefe und des Chloridgehaltes des Betons. An ausgewählten Stellen wird zusätzlich i.d.R. die Bewehrung lokal freigelegt, um den Abrostungsgrad bestimmen zu können. Begleitend werden häufig stichprobenartige Bestimmungen der Betondruckfestigkeit und erforderlichenfalls weitergehende Untersuchungen zur Beurteilung der Tragfähigkeit durchgeführt.

Diese Vorgehensweise birgt die Problematik, dass die Untersuchungsstellen für die einzelnen Prüfungen bzw. Probenahmen mehr oder weniger willkürlich festgelegt werden müssen, da kritische Bereiche hinsichtlich der Bewehrungskorrosion häufig äußerlich nicht erkennbar sind. Zwar besteht beispielsweise in Bereichen mit Pfützenbildungen grundsätzlich eine erhöhte Gefahr für chloridinduzierte Bewehrungskorrosion, die äußerlich erkannt werden kann, andererseits sind kritische Bereiche mit beispielsweise lokal zu geringer Betondeckung oder Betonqualität nicht äußerlich erkennbar.

Daraus ergibt sich ein Bedarf nach einem flächendeckenden möglichst zerstörungsfreien Diagnoseverfahren für den Korrosionszustand der Bewehrung. Zwar gibt es

kein ausreichend exaktes zerstörungsfreies Verfahren für die direkte Erkennung des Abrostungsgrades der Bewehrung, mit dem Potentialmessverfahren besteht jedoch eine wirtschaftliche Möglichkeit, indirekt kritische Bereiche hinsichtlich chloridinduzierter Bewehrungskorrosion schnell durch flächendeckendes Abscannen der Betonoberfläche zu ermitteln. Im Anschluss an die Auswertung der Potentialmessergebnisse werden an ausgewählten Stellen mit unterschiedlichen Korrosionswahrscheinlichkeiten gezielt Bestimmungen der Chloridverteilung und des Abrostungsgrades der Bewehrung durch lokales Freilegen durchgeführt. Durch diese Vorgehensweise wird die Aussagekraft der Zustandserfassung erheblich gesteigert, so dass eine darauf basierende detaillierte Planung der Instandsetzung erfolgen kann. Durch die flächendeckende Diagnose besteht dabei auch die Möglichkeit, die Betonoberfläche in unterschiedliche Flächenbereiche einzuteilen, die mit verschiedenen Methoden instandgesetzt werden. Die dadurch erzielbaren Kosteneinsparungen übertreffen die Kosten für die Bauwerksdiagnose mit Potentialmessungen i. d. R. bei weitem.

### **Potentialmessungen zur Bestimmung der Korrosionswahrscheinlichkeit**

Die für die fachgerechte Durchführung und Auswertung von Potentialmessungen notwendigen Kenntnisse der elektrochemischen Grundlagen sind zu komplex, um im Rahmen dieser Veröffentlichung dargestellt zu werden. Diesbezüglich wird auf die Literatur verwiesen /1/. Im übrigen sei angemerkt, dass das Verfahren in den USA bereits seit 1977 genormt ist /2/ und auch in Europa seit vielen Jahren angewendet wird (siehe z. B. /3, 4/), allerdings in Deutschland nicht in dem Umfang, wie es aufgrund der Vorteile des Verfahrens gegenüber den herkömmlichen Methoden der Bauwerksdiagnose zu erwarten wäre.

Bei Potentialmessungen wird die elektrische Spannung zwischen der Bewehrung und einer sogenannten Referenzelektrode bestimmt, mit der die Betonoberfläche abgetastet wird. Dazu muss zur Bewehrung ein elektrischer Anschluss hergestellt werden, z. B. durch Einschlagen eines Stahlstiftes im Bereich einer Bohrung im Beton auf die Bewehrungsfläche oder durch Anklemmen an die Bewehrung im Bereich einer kleinen Sondieröffnung, siehe Bild 4.

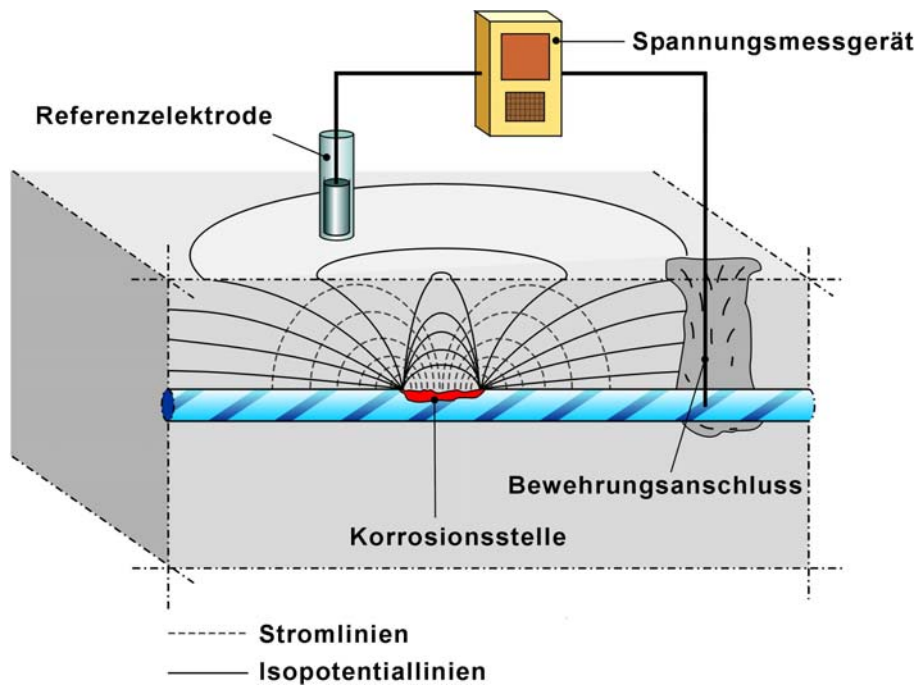


Bild 4: Schematische Darstellung der Potentialmessung

Als Referenzelektrode wird in der Regel eine Kupfer/Kupfersulfatelektrode verwendet, d. h. ein Kupferstab in einer gesättigten  $\text{CuSO}_4$ -Lösung mit bekanntem und konstantem Potential, so dass die Spannung zwischen Stahl im Beton und Referenzelektrode als das Potential der Bewehrung bezogen auf die Referenzelektrode gemessen werden kann.

Für die Messung und Speicherung der Potentialwerte vor Ort sind heute eigens für Potentialmessungen an Stahlbetonbauteilen entwickelte Geräte mit Einzel-, Vielfach- oder Radelektroden (s. z. B. Bild 5) für die verschiedenen Einsatzgebiete verfügbar. Üblicherweise werden die Messdaten vor Ort automatisch gespeichert, im Büro auf einen PC übertragen und dort ausgewertet.



Bild 5: Potentialmessung in einem Parkhaus mit einer Einzelradelektrode

Das Potential der Bewehrung sinkt mit zunehmendem Chloridgehalt und zunehmender Feuchtigkeit des Betons sowie mit dem Beginn der Korrosion an der Bewehrung. Mit Ausnahme der Karbonatisierung des Betons führen sämtliche Einflussgrößen, die das Korrosionsrisiko für die Bewehrung erhöhen, somit zu einer Absenkung des Potentials, so dass durch Potentialmessungen die Korrosionswahrscheinlichkeit für die Bewehrung bestimmt werden kann.

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurden am Institut für Bauforschung der RWTH Aachen Laboruntersuchungen an den maßgebenden Einflussgrößen auf Potentialmessungen durchgeführt [5]. Bild 6 zeigt, dass es keinen Festwert für das Potential gibt, ab dem mit Korrosion zu rechnen ist, sondern dass im Einzelfall festgelegt werden muss, wie die Potentiale zu bewerten sind. Neben den Absolutwerten für die Potentiale sind daher besonders lokale Potentialgradienten zu beachten, die auf kritische Bereiche hinsichtlich Bewehrungskorrosion hindeuten.

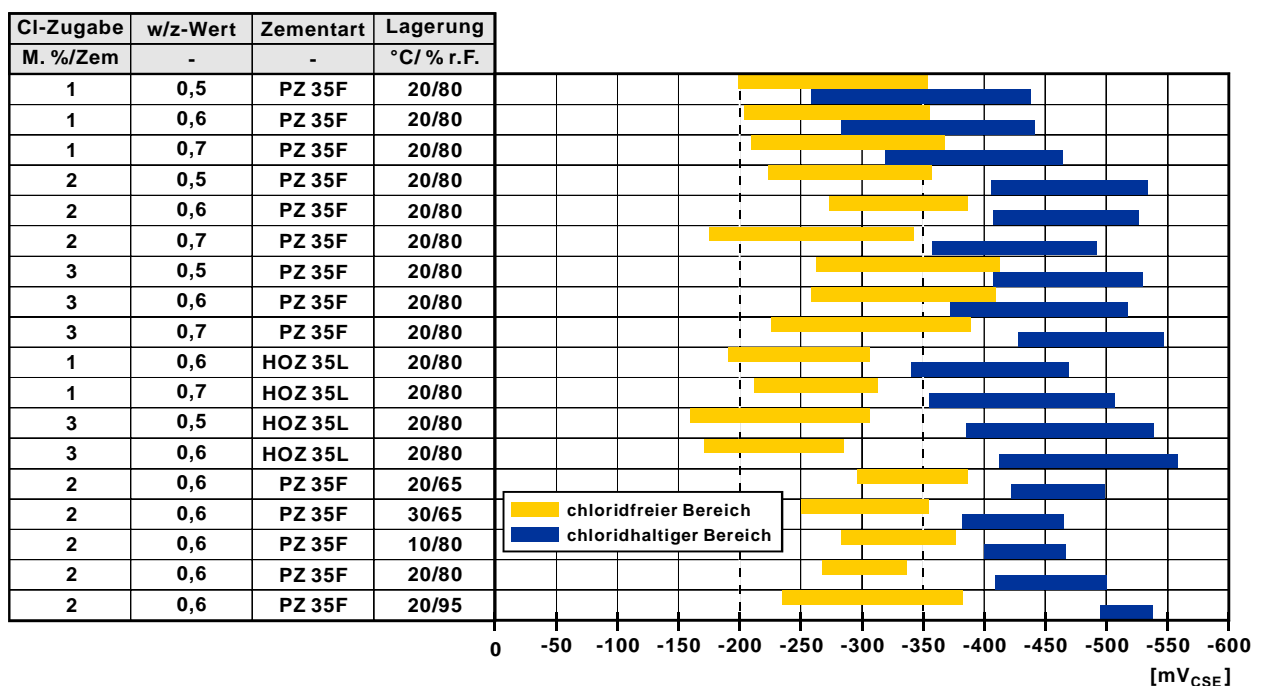


Bild 6: Ergebnisse von Potentialmessungen an Laborprüfkörpern

Üblicherweise werden die Potentialwerte als Äquipotentialflächendiagramme dargestellt, so dass kritische Bereiche mit besonders niedrigen Potentialen bzw. starken lokalen Potentialgefällen leicht erkannt werden können. Für eine fachgerechte Interpretation der Potentialfeldmessungen sowie für eine spätere Nutzbarmachung der Messergebnisse im Zuge der ingenieurtechnischen Instandsetzungsplanung (z. B. bei der Massenermittlung) sind je nach den Erfordernissen des Einzelfalls folgende Zusatzuntersuchungen durchzuführen:

- Prüfung des zu beurteilenden Bauteils nach Augenschein, wobei sämtliche Singularitäten wie freiliegende Bewehrungsbereiche, korrodierende Einbauteile, Reparaturstellen, Risse, Pfützen oder andere Besonderheiten, kartiert werden. Darüber hinaus sollte die Betondeckung der Bewehrung möglichst flächendeckend (z. B. mittels magnetisch-induktiv arbeitenden Bewehrungssuchgeräten) und die Karbonatisierungstiefe stichpunktartig bestimmt werden.
- Stichprobenartiges Freilegen der Bewehrung in Bereichen mit bestimmten Potentialen zur Beurteilung des Korrosionszustandes der Bewehrung.

- In Sonderfällen stichprobenartige Bestimmung des Chloridgehaltes im Beton in unterschiedlichen Tiefenlagen zur Beurteilung der Korrosionsursachen bzw. der weiteren Schadensentwicklung.

Die o. g. Untersuchungen der Stahloberflächen bzw. der Chloridgehalte werden i. d. R. nur dort durchgeführt, wo aufgrund der Potentialmessungen besondere Verhältnisse anzunehmen sind, so dass die Kosten für diese Art der Bauwerksuntersuchung häufig weitaus geringer sind als die Aufwendungen für ansonsten flächendeckend erforderliche Chlorid- und Stahluntersuchungen.

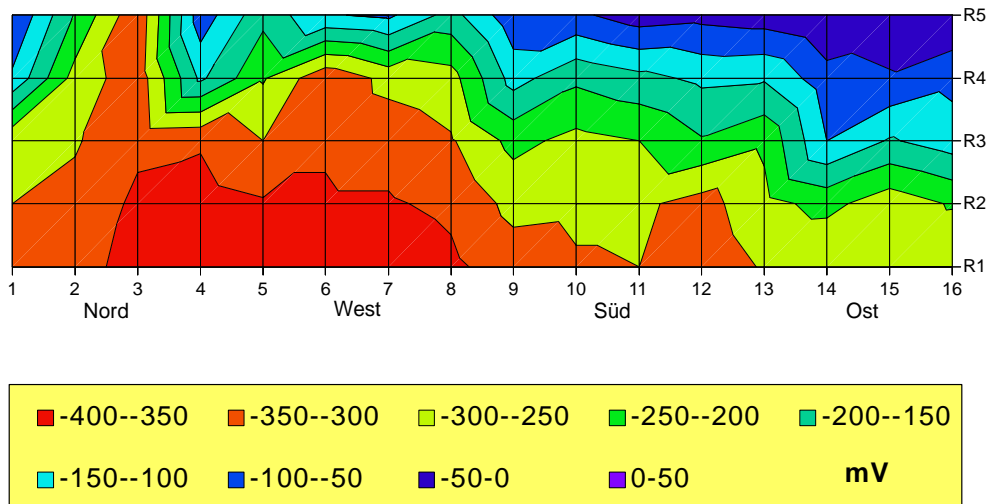
### **Fallbeispiel 1: Instandsetzung von ca. 320 Stützenfüßen einer Parketage**

An den insgesamt ca. 320 Stützenfüßen einer Parketage unterhalb eines Marktplatzes waren vereinzelt Rostfahnen, Risse und Abplatzungen durch Tausalzeinwirkung festgestellt worden. Die daraufhin durchgeführten stichprobenartigen Chloridanalysen ergaben je nach Expositionsbedingungen der Stützenoberflächen (unterschiedliche Chloridbeaufschlagung durch Spritzwasser, Sprühnebel oder in Pfützen) und der unterschiedlichen Betonqualität sowie durch in Teilbereichen vorhandene, verschiedenartige Beschichtungen sehr unterschiedliche Ergebnisse. Ohne weitergehende Untersuchungen wurde zunächst ein Entfernen des gesamten eventuell chloridbelasteten Betons in Betracht gezogen. Diese grundsätzliche Möglichkeit war jedoch insofern problematisch, als dass die Stützen sehr schlank waren und ein Abstemmen von rundum ca. 4 cm eine Querschnittsreduzierung von ca. 50 % verursacht hätte.

Um auf Verstärkungsmaßnahmen verzichten zu können, wurde daher eine Teilsanierung nur der Flächen angestrebt, die kritische Chloridgehalte aufwiesen. Zur Abgrenzung kritisch kontaminierter Betonbereiche wurde zunächst erwogen, an allen Flächen der Stützenfüße flächendeckend Chloridprofile zu bestimmen. Dies hätte jedoch auch bei entsprechender Gruppierung der Teilflächen durch die Vielzahl unterschiedlicher Randbedingungen einen Mindestaufwand von weit mehr als 1000 Chloridanalysen erfordert, was mit einem erheblichen Kosten- und Zeitaufwand verbunden gewesen wäre. Für diese Problemstellung erwiesen sich schließlich Potentialfeldmessungen als die technisch und wirtschaftlich beste Lösung.

Die Kupfersulfatelektrode wurde hier an einem Stiel befestigt, mit dem sie gezielt in einem vorgegebenen Raster auf die Betonoberfläche aufgesetzt wurde. An jedem Stützenfuß wurden pro Seite vier Messungen nebeneinander und fünf übereinander durchgeführt, d. h. 80 Potentialwerte pro Stützenfuß. Die Auswertung der Messergebnisse wurde im Büro mit selbst entwickelten Auswerteprogrammen durchgeführt, wobei die eingelesenen Messdaten direkt in Tabellen und Äquipotentialfelddiagramme umgewandelt werden.

Die Äquipotentialfelder wurden als Abwicklungen um die Stützenfüße dargestellt, siehe hierzu beispielsweise Bild 7. Dabei wird die nach Norden zeigende Stützenseite links dargestellt und nach rechts hin folgend die nach Westen, Süden und Osten zeigenden Seiten. Die Potentiale wurden in 50-mV-Stufen eingetragen, und zwar in 10 Stufen von -400 mV bis +100 mV. Wie bereits erwähnt steigt die Korrosionswahrscheinlichkeit mit sinkenden Potentialen, d. h. in Richtung großer Werte mit negativem Vorzeichen.



**Bild 7:** Äquipotentialfelddiagramm eines Stützenfußes mit ausgeprägt niedrigem Potential an der Nord-West-Kante



**Bild 8:** Nach dem Abstemmen der Nord-West-Kante (vgl. Bild 7) sichtbar gewordene korrodierende Bewehrung

Durch ergänzende Untersuchungen zu Abrostungsgrad und Chloridgehalt, die auf der Grundlage der Potentialfeldanalysen gezielt durchgeführt werden konnten, war es möglich, die kritischen Bereiche in die Potentialfeld-Diagramme einzutragen. Wie zu erwarten wurde festgestellt, dass sich in der Regel nicht alle Seiten einer Stütze als kritisch darstellten, sondern häufig nur eine oder zwei Seiten, so dass eine Teilflächensanierung ohne Verstärkungsmaßnahmen möglich war.

Die kritischen Bereiche wurden an den Stützenfüßen als Grenzen für die erforderlichen Abstemmarbeiten markiert. Beim Abstemmen des Betons wurde festgestellt, dass durch die Potentialmessungen auch Bereiche lokalisiert werden konnten, in denen die Bewehrung zwar schon korrodierte, äußerlich jedoch noch keine Veränderungen der Betonoberflächen erkennbar waren.

### Fallbeispiel 2: Bodenflächen eines mehrgeschossigen Parkhauses

Bei mehrgeschossigen Parkbauten werden häufig in den verschiedenen Parketagen, aber auch innerhalb der Parkebenen unterschiedliche Korrosionszustände der Bewehrung festgestellt, was u. a. aus dem unterschiedlichen Chlorideintrag folgt.



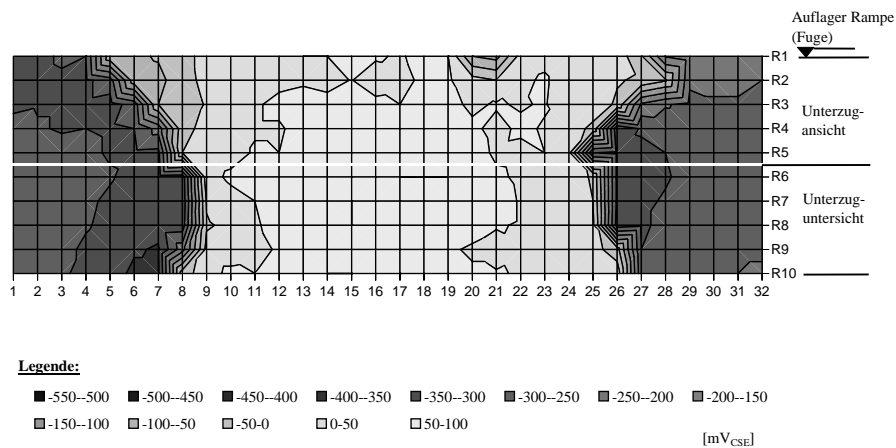
Während in den Stellplätzen je nach Frequentierung durch von den Fahrzeugen abtropfendes Wasser hohe Chloridkonzentrationen und damit verbunden starke Korrosionsgefährdungen vorliegen, nimmt die Chloridbelastung in den Fahrspuren i.d.R. mit zunehmendem Abstand von der Einfahrt ab (s. z.B. Bild 9). Eine generelle Quantifizierung der Chloridbelastung für bestimmte Parkhaustypen und Expositionen ist jedoch schwierig, da die jeweils vorhandenen Betoneigenschaften eine erhebliche Rolle spielen. Die Vorhersage des Chlorideindringens und des Verlaufes der chloridinduzierten Chloridkorrosion sind Gegenstand verschiedener laufender Forschungsvorhaben.



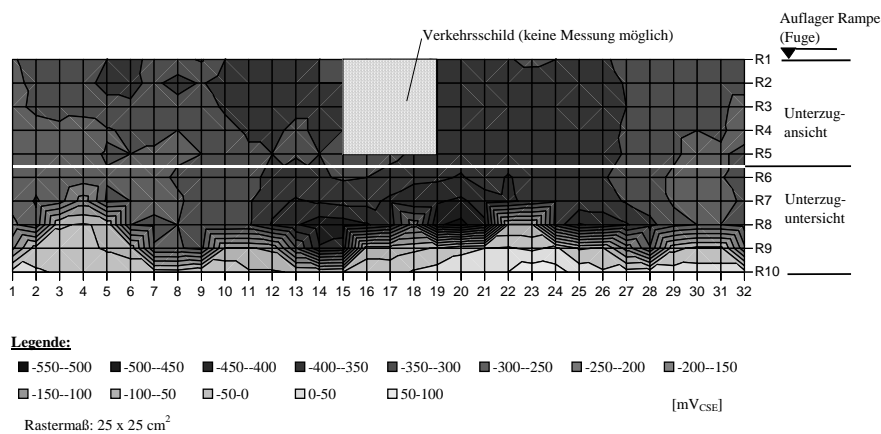
Bild 9: Potentialfeld in der vierten Ebene einer Parketage über der Einfahrtsebene

### Fallbeispiel 3: Unterzüge unterhalb undichter Rampenfugen

In einem mehrgeschossigen Parkhaus war bedingt durch Undichtigkeiten der Fugen zwischen Rampen und Deckenplatten Wasser über die darunterliegenden Stahlbetonunterzüge gelaufen. Dies hatte dazu geführt, dass sich im Laufe der Jahre bereichsweise extrem hohe Chloridgehalte im Beton angesammelt hatten. Um zu klären, über welche Flächenbereiche Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich waren, wurden wiederum Potentialmessungen durchgeführt.



**Bild 10:** Äquipotentialfelddiagramm eines Unterzuges, an dem lediglich an den Rändern chloridhaltiges Wasser abgeflossen ist



**Bild 11:** Äquipotentialfelddiagramm eines Unterzuges, an dem chloridhaltiges Wasser über die gesamte Länge abgeflossen ist

Bild 10 zeigt beispielhaft ein Potentialfeldbild für einen Fall, wo das chloridhaltige Wasser im wesentlichen nur an den Unterzugrändern zu kritischen Verhältnissen geführt hat. Im Gegensatz dazu zeigt Bild 11, dass hier offensichtlich chloridhaltiges Wasser über die gesamte Unterzuglänge geflossen ist.

Anhand der Potentialverläufe konnte somit abermals festgestellt werden, wo im einzelnen lokale Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich waren, und wo nicht.

## **Schlussfolgerungen**

Im Bereich der Bauwerksunterhaltung werden seitens der Eigentümer - insbesondere bei Zweckbauten wie beispielsweise Parkhäusern - zunehmend Forderungen nach kostenminimierenden und bestandsorientierten Instandsetzungsstrategien gestellt. Die Beispiele zeigen, dass kritische Bereiche, in denen die Bewehrung durch die Einwirkung von Chloriden korrodiert oder korrosionsgefährdet ist, mittels Potentialfeldanalysen zuverlässig erkannt werden können. Im Vergleich zu den herkömmlichen Verfahren ist hierdurch i. d. R. eine deutliche Reduzierung sowohl des Untersuchungs- als auch des Instandsetzungsaufwandes möglich. Die Vorteile der Potentialfeldmessung gegenüber den herkömmlichen Methoden der Bauwerksdiagnose lassen sich jedoch selbstverständlich nur bei einer fachgerechten Ausführung und Ergebnisinterpretation der Untersuchungen ausschöpfen. Insofern sollte diese Untersuchungsmethode nur von entsprechend Sachkundigen angewendet werden.

## Literatur

- /1/ Raupach, M.: Zur chloridinduzierten Makroelementkorrosion von Stahl in Beton. In: Heft 433 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton. Beuth Verlag Berlin 1992
- /2/ ASTM C 876-91 Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete
- /3/ Merkblatt über elektrochemische Potentialmessungen zur Ermittlung von Bewehrungsstahlkorrosion in Stahlbetonbauwerken. (Ausgabe 4/1990). Berlin: Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung e. V., 1990
- /4/ RILEM TC 154-EMC ; Elsener, B.; Andrade, C.; Gulikers, J.; Raupach, M.: Half-Cell Potential Measurements - Potential Mapping on Reinforced Concrete Structures. In: Materials and Structures (RILEM) 36 (2003), Nr. 261, S. 461-471
- /5/ Bornstedt, H.: Zerstörungsfreies Auffinden von korrodierender Bewehrung bei chloridbeaufschlagten Stahlbetonbauteilen mit Hilfe des Potentialmeßverfahrens, Diplomarbeit am Lehrstuhl für Baustoffkunde der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule zu Aachen, 1988