



Korrosions- monitoring

Grundlagen und Anwendungsbeispiele

Dr.-Ing. Till Felix Mayer

LGGHuT-Informationssseminar „Bauwerke instand setzen – heute und morgen“ | 10.11.2021

Inhalt



1. Motivation – Warum Korrosionsmonitoring?
2. Korrosionsmonitoring – Stand der Technik
3. Anwendungsgebiete
4. Anwendungsbeispiel 1 - Feuchtemonitoring
5. Anwendungsbeispiel 2 – Korrosionsmonitoring bei Neubauprojekten
6. Anwendungsbeispiel 3 – Korrosionsmonitoring im Rissbereich

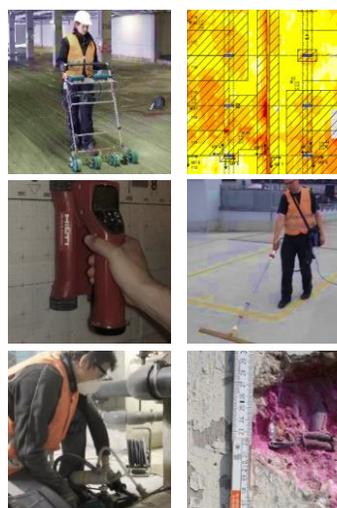
1. Motivation – Warum Korrosionsmonitoring?



Zustandserfassung – Stand der Technik



- Nicht-kontinuierliche, i.d.R. flächige Untersuchungen
 - Potentialfeldmessungen
 - Betondeckungsmessungen
 - Bohrmehlentnahmen
 - visuelle Aufnahme
 - Elektrolytwiderstandsmessung
 - Carbonatisierungstiefenmessung
 - ...
- für sehr viele Anwendungsfälle ausreichend.



Zustandserfassung – Anwendungsgrenzen



- Klassische Zustandserfassungen stoßen an Grenzen, wenn...

... Bauteile während der zukünftigen Nutzung nicht zugänglich sind.

... Bewehrung unterhalb einer Beschichtung oder Abdichtung untersucht werden sollen.

... Aussagen über die zeitabhängige Veränderung der Korrosion nach einer Instandsetzung getroffen werden sollen.



Zu diesen Fragestellungen kann Korrosionsmonitoring eine wertvolle Ergänzung zur „konventionellen“ Zustandserfassung darstellen!

2. Korrosionsmonitoring - Stand der Technik



Korrosionsmonitoring – Stand der Technik

- Für Bauwerksuntersuchungen/-prüfungen umfangreiche Regelwerke, Richtlinien und Merkblätter



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG E.V.

DGZFP-Fachschule für Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen
Unterausschuss Korrosionsschaden bei Stahlbeton
MERKBLATT B 3

Elektrochemische
Potentialmessungen zur
Detektion von Bewehrungs-
stahlkorrosion

DEUTSCHE NORM November 1999

Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen
und Wegen
Überwachung und Prüfung
DIN 1076

10.210
Inspection situations in connection with roads; inspection and test
situations du génie civil pour les routes et les chemins; surveillance et contrôle

Inhalt	Seite
1	5
1.1	5.1
1.2	5.2
1.3	5.3
1.4	5.4
1.5	5.5
2	6
2.1	6.1
2.2	6.2
2.3	6.3
2.4	6.4
2.5	6.5
2.6	6.6
2.7	6.7
2.8	6.8
2.9	6.9
2.10	6.10
2.11	6.11
2.12	6.12
2.13	6.13
2.14	6.14
2.15	6.15
2.16	6.16
2.17	6.17
2.18	6.18
2.19	6.19
2.20	6.20
2.21	6.21
2.22	6.22
2.23	6.23
2.24	6.24
2.25	6.25
2.26	6.26
2.27	6.27
2.28	6.28
2.29	6.29
2.30	6.30
2.31	6.31
2.32	6.32
2.33	6.33
2.34	6.34
2.35	6.35
2.36	6.36
2.37	6.37
2.38	6.38
2.39	6.39
2.40	6.40
2.41	6.41
2.42	6.42
2.43	6.43
2.44	6.44
2.45	6.45
2.46	6.46
2.47	6.47
2.48	6.48
2.49	6.49
2.50	6.50
2.51	6.51
2.52	6.52
2.53	6.53
2.54	6.54
2.55	6.55
2.56	6.56
2.57	6.57
2.58	6.58
2.59	6.59
2.60	6.60
2.61	6.61
2.62	6.62
2.63	6.63
2.64	6.64
2.65	6.65
2.66	6.66
2.67	6.67
2.68	6.68
2.69	6.69
2.70	6.70
2.71	6.71
2.72	6.72
2.73	6.73
2.74	6.74
2.75	6.75
2.76	6.76
2.77	6.77
2.78	6.78
2.79	6.79
2.80	6.80
2.81	6.81
2.82	6.82
2.83	6.83
2.84	6.84
2.85	6.85
2.86	6.86
2.87	6.87
2.88	6.88
2.89	6.89
2.90	6.90
2.91	6.91
2.92	6.92
2.93	6.93
2.94	6.94
2.95	6.95
2.96	6.96
2.97	6.97
2.98	6.98
2.99	6.99
2.100	7.00

Merkblätter
 DEUTSCHER BETON- UND BAUTECHNIK-VEREIN E.V.
 Bautechnik

Betondeckung und Bewehrung
 Sicherung der Betondeckung beim Entwerfen, Herstellen und Einbauen
 der Bewehrung sowie des Betons nach Eurocode 2
 Concrete Cover and Reinforcement
 Securing of Concrete Cover at Design, Production and Installation of
 Reinforcement and Concrete according to Eurocode 2

- ...und für Korrosionsmonitoring?

Korrosionsmonitoring – Stand der Technik

- „Das Verfahren sollte nur angewandt werden, wenn durch Probeinstandsetzungen an Referenzflächen bzw. –bauteilen vor Ausführung der Instandsetzungsmaßnahme die Auswirkung der Maßnahme auf den Korrosionsfortschritt der Bewehrung, z. B. durch Einbau geeigneter Korrosionsstrommessvorrichtungen, vom einen sachkundigen Planer überprüft worden ist.“

RL-SIB 2001 „Grundsatzlösung W-CI“

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

DAStb-Richtlinie
 Schutz und Instandsetzung
 von Betonbauteilen
 (Instandsetzungs-Richtlinie)

Teil 1: Allgemeine Regelungen und
 Planungsgrundsätze
 Teil 2: Bauprodukte und Anwendung
 Teil 3: Anforderungen an die Betriebe und
 Überwachung der Ausführung
 Teil 4: Prüfverfahren

„Ausgabe Oktober 2001“

Ersatz für:
 Ausgabe August 1999 (Teile 1 und 2), Sachverträge, Vertriebsnummer 05014
 Ausgabe Februar 1991 (Teil 3), Sachverträge, Vertriebsnummer 05015
 Ausgabe November 1982 (Teil 4), Sachverträge, Vertriebsnummer 05016

Herausgeber:
 Deutscher Ausschuss für Stahlbeton – DAStb
 im DIN-Deutsches Institut für Normung e. V.
 Burggrafenstraße 6, D-10775 Berlin
 Tel.: 030 26636-10-20-30, Fax: 030 26636-10-17-23
 dastb@din.de

Die Deutsche Kommission für Stahlbeton (DKStb) bespricht die Rechte, auch die der Einzelmitglieder, in Bezug auf die Veröffentlichung von Schriften der Kommission und der Einzelmitglieder. Diese Rechte sind in der Satzung der Kommission und in der Satzung der Einzelmitglieder festgelegt. Diese Rechte sind in der Satzung der Einzelmitglieder festgelegt.

Korrosionsmonitoring – Stand der Technik

- „Bei hohen Chloridgehalten ist eine ausreichende Austrocknung des Bauteils in der Regel nicht mehr zu erwarten. Daher darf dieses Verfahren bei chloridkontaminiertem Beton nur angewendet werden, wenn nach der Ausführung der Instandsetzungsmaßnahme die Auswirkung auf den Korrosionsfortschritt der Bewehrung, z. B. durch Einbau geeigneter Sensoren, von einem SKP über die Restnutzungsdauer überprüft wird.“

TR-IH zu Verfahren 8.3



Das DGZfP-Merkblatt B 12 „Korrosionsmonitoring“



- Erste Ausgabe 2018
- Kompendium von Monitoring-Verfahren und Anwendungsbeispielen für sachkundige Planer
- Inhalt:
 - Anwendungsgebiete
 - Anwendungsgrenzen
 - Qualifikationen der Beteiligten
 - Messprinzipien
 - Planung, Ausführung von Monitoringsystemen
 - Praxisbeispiele

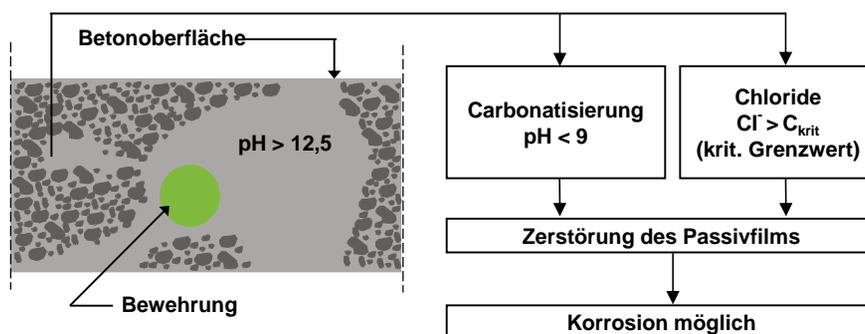
3. Anwendungsgebiete



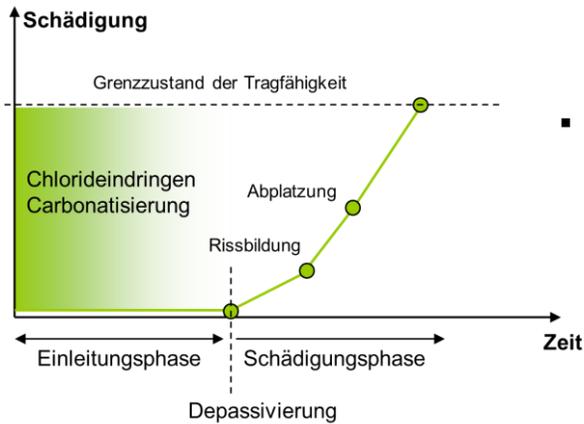
Bewehrungskorrosion - Grundlagen



- Bewehrung durch hohen pH-Wert vor Korrosion geschützt (Ausbildung eines dichten Passivoxidfilms)
- Carbonatisierung/Chlorideintrag führen zur Zerstörung des Passivfilms
 - ➔ Bewehrungskorrosion kann einsetzen

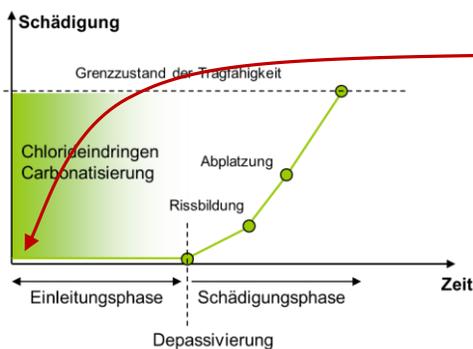


Lebenszyklusphasen von Stahlbetonbauwerken

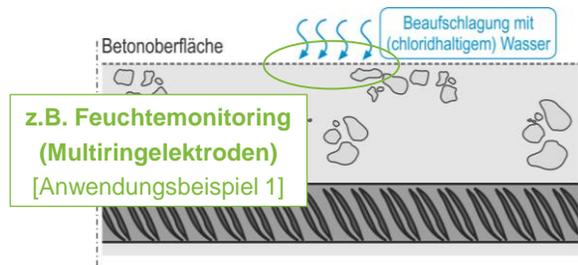


- Korrosionsmonitoring kann in jeder Lebenszyklusphase eines Bauteils eingesetzt werden
- In Abhängigkeit von Zeitpunkt und Fragestellung unterschiedliche Messprinzipien und Sensorsysteme

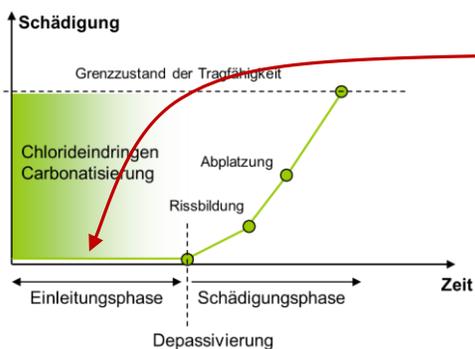
Lebenszyklusphasen von Stahlbetonbauwerken



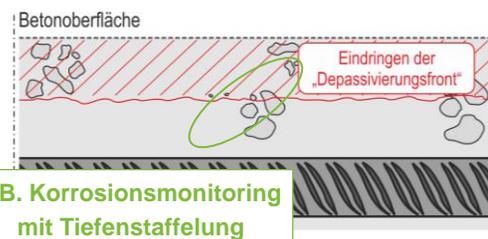
- Einleitungsphase
 „Findet ein Chlorideintrag/ Feuchteintrag in das Bauteil statt?“



Lebenszyklusphasen von Stahlbetonbauwerken

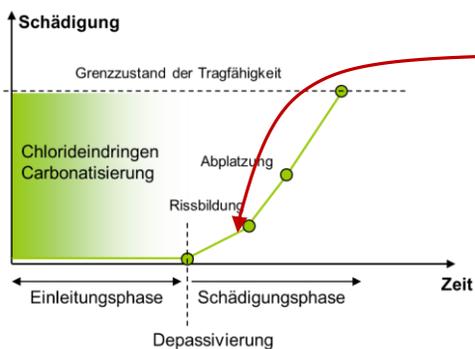


- Einleitungsphase
„Wie weit ist die Depassivierungsfront in mein Bauteil eingedrungen?“

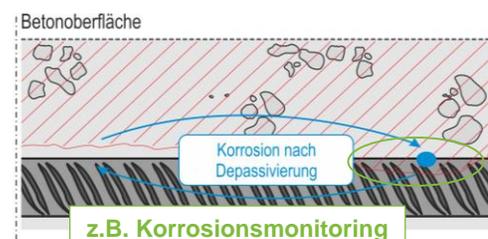


z.B. Korrosionsmonitoring mit Tiefenstaffelung [Anwendungsbeispiel 2]

Lebenszyklusphasen von Stahlbetonbauwerken



- Schädigungsphase
„Wie verändert sich die Korrosionsaktivität mit der Zeit?“



z.B. Korrosionsmonitoring an der Bestandsbewehrung [Anwendungsbeispiel 3]

Korrosionsmonitoring - Anwendungsgrenzen



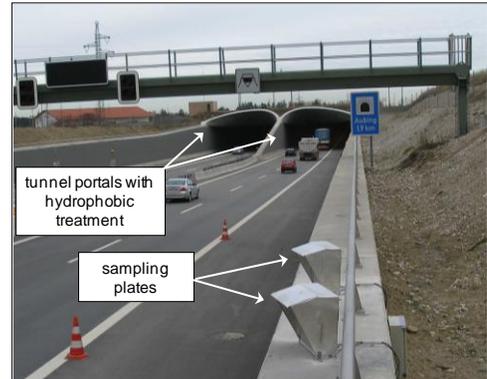
- Korrosionsmonitoring erfolgt lokal mit ortsfesten Sensoren
 - ➔ Übertragbarkeit auf Bauwerk über intelligente Anordnung und ausreichend repräsentative Anzahl an Sensoren gewährleisten!
- Korrosionsmonitoring erlaubt keine direkten Rückschlüsse auf Korrosionsraten
- Korrosionsmonitoring ist immer eine Momentaufnahme zum Zeitpunkt der Messung
 - ➔ Ausleseintervalle in Abh. von der Messaufgabe festlegen!
- Korrosionsmonitoring ist eine Ergänzung zur konventionellen Zustandserfassung, kein Ersatz!

4. Anwendungsbeispiel 1 – Feuchtemonitoring



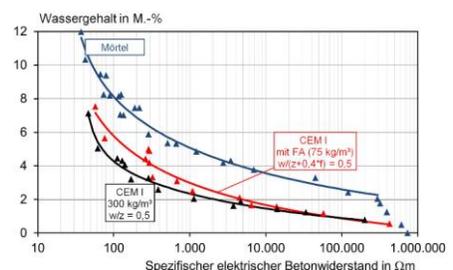
Anwendungsbeispiel: Autobahntunnel BAB A99

- Neubau eines Autobahntunnels im Jahr 2005
- Aufbringen einer Tiefenhydrophobierung im Portalbereich
- Überwachen der Dauerhaftigkeit der Tiefenhydrophobierung anhand von Probekörpern mit MRE
- Probekörper mit und ohne Hydrophobierung als Referenz

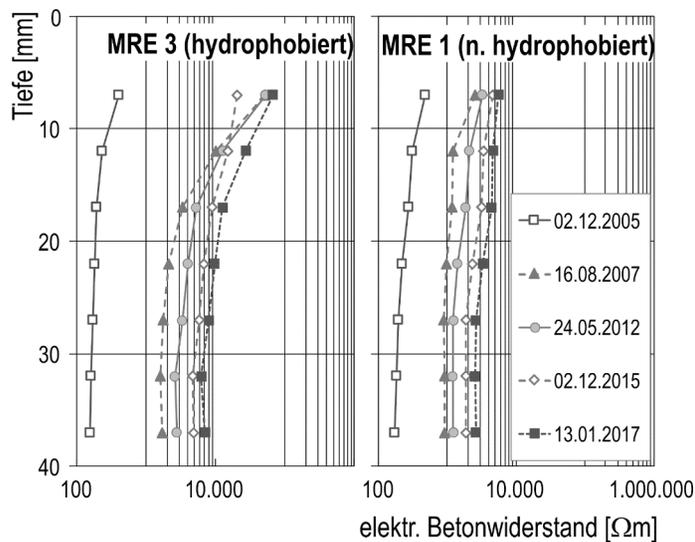


Multiring-Elektrode MRE

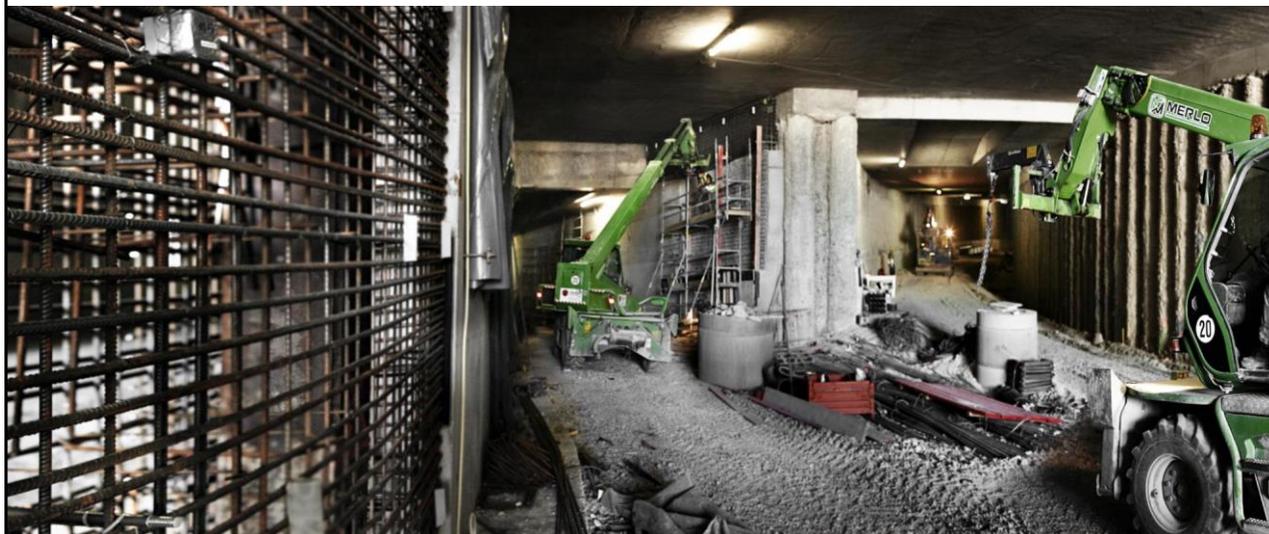
- Acht Edelstahlringe, Achsabstand rd. 5 mm
- direkter o. nachträglicher Einbau
- Messung d. Wechselstromwiderstands zwischen zwei benachbarten Ringen
- Messung bei 120 Hz/1 kHz
- Erzeugung eines Widerstand-(Feuchte-)profils über die Einbautiefe
- Anwendungsgebiete:
 - unter Abdichtungen (Kappen)
 - Kontrolle v. Hydrophobierungen



Anwendungsbeispiel: Autobahntunnel BAB A99



5. Anwendungsbeispiel 2 – Korrosionsmonitoring bei Neubauprojekten



Beispiel 2 - Einleitungsphase: Parkhaus Allianz-Arena, München



- Größtes Parkhaus Europas (270.000 m²)
- zentrisch vorgespannte Deckenplatten (d = 20 cm)
- wg. hoher Kosten und kurzer Lebensdauer von OS-Systemen alternatives Dauerhaftigkeitskonzept:
 - Beschichtung nur bei planmäßiger Rissbildung (Stützbereich)
 - Restflächen: keine Beschichtung; Lebensdauerbemessung + Korrosionsmonitoring



Parkhaus Allianz-Arena - Dauerhaftigkeitskonzept



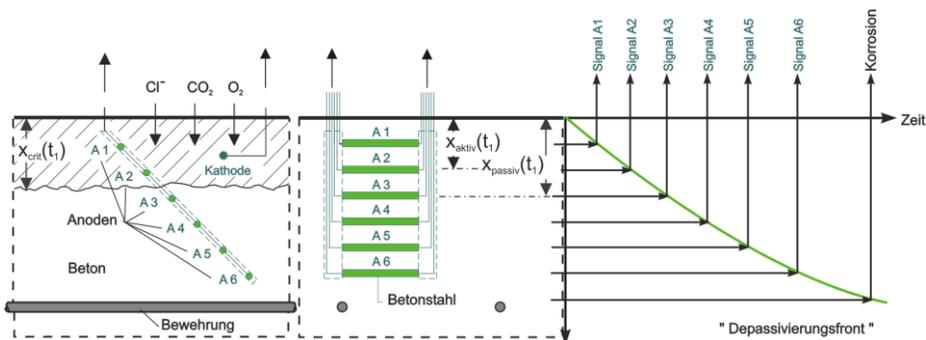
- Dauerhaftigkeitsbemessung hinsichtlich chloridinduzierter Korrosion
- Installation von 25 Korrosionssensoren „Anodenleiter“ und Update der Dauerhaftigkeitsbemessung mit Monitoringdaten
- Interventionsstrategie: Bei Eindringen der Depassivierungsfront bis zu definierter Tiefenlage zeitnah Beschichten
- Regelmäßige Inspektion und Verschließen nachträglich auftretender Risse



Parkhaus Allianz-Arena - Monitoringsystem



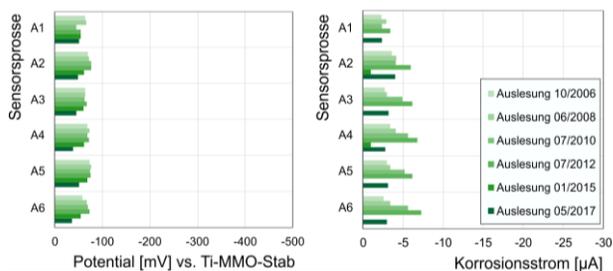
- Tiefengestaffelte Einzelanoden zwischen Betonoberfläche und Bewehrung
 - ▶ Monitoring des Eindringens von C_{krit}
 - ▶ Prognose des Korrosionsbeginns
 - ▶ Abgleich mit Lebensdauerbemessung



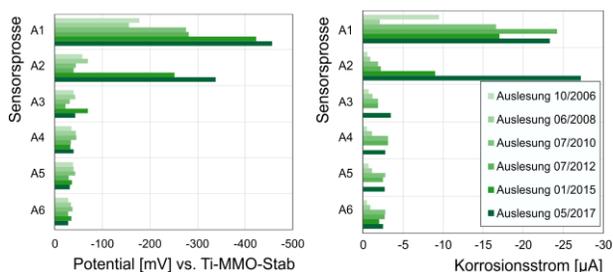
Parkhaus Allianz-Arena – Ergebnisse



- Beispiel: passiver Sensor



- Beispiel: aktiver Sensor



6. Anwendungsbeispiel 3 – Korrosionsmonitoring im Rissbereich



Anwendungsbeispiel 3 – eingeschossige Tiefgarage



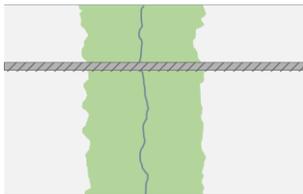
- Tiefgarage, Baujahr 1988
- Bodenplatte rd. 25 – 40 cm stark, nicht tragend, aber WU-Bestandteil
- Starres OS-System, stark abgefahren
- Zustandserfassung 2013: massive Rissbildung (rd. 3 km Risse)
- Betondeckung rd. 50 mm
- Chloridgehalte bis zu 2,0 M.-%/z im Riss (0,8 M.-%/z i.M.)
- Querschnittsverluste bis rd. 10%



Chloridbeaufschlagte Risse - Instandsetzungsvarianten

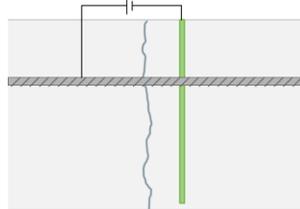


Betonaustausch
 (Prinzip R-Cl bzw. Verfahren 7.2)



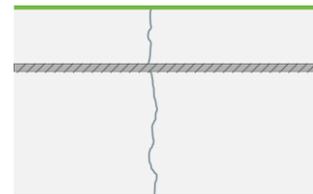
- Abtrag des chloridbelasteten Betons
- Reprofilieren m. chloridfreiem, hochalkalischen Beton

Kath. Korrosionsschutz
 (EN 1504-9, Verfahren 10.1)



- Kein Betonabtrag
- Einbohren von Diskretanoden
- Dauerhaftes Einspeisen von Schutzstrom

Begrenzen d. Wassergehalts
 (Prinzip W-Cl bzw. Verfahren 8.3)

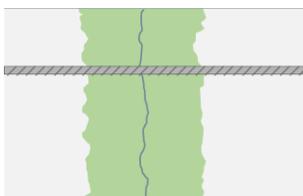


- Kein Betonabtrag
- Aufbringen einer Beschichtung

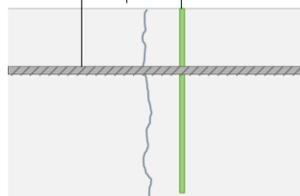
Chloridbeaufschlagte Risse - Instandsetzungsvarianten



Betonaustausch
 (Prinzip R-Cl bzw. Verfahren 7.2)



Kath. Korrosionsschutz
 (EN 1504-9, Verfahren 10.1)

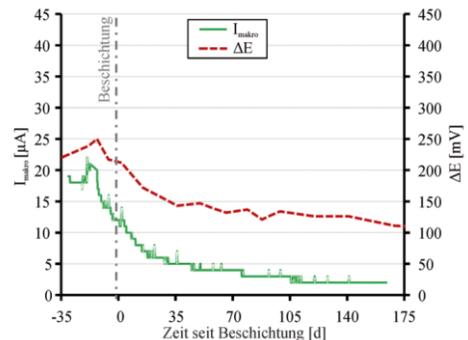


Begrenzen d. Wassergehalts
 (Prinzip W-Cl bzw. Verfahren 8.3)



W-Cl bei chloridbelasteten Rissen

- Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen gute Wirksamkeit von Rissbandagen bei moderaten Chloridbelastungen im Riss
- Austrocknen nicht der dominante Effekt, sondern:
 - Chloridumverteilung aus dem Riss in den chloridfreien Beton infolge ausgeprägter Konzentrationsgradienten
 - Anstieg des anodischen Polarisationswiderstands aufgrund von Korrosionsprodukten
- Nicht auf ungerissenen Beton übertragbar!
- Unzureichende Praxiserfahrungen!



Keßler, S.; Hiemer, F.; Gehlen, Ch.: Einfluss einer Betonbeschichtung auf die Mechanismen der Bewehrungskorrosion in gerissenem Stahlbeton. Beton- und Stahlbetonbau 112(2017), Heft 4

Anwendungsbeispiel - Instandsetzungsvarianten

Betonaustausch

- Betonaustausch auf bis zu rd. 60% der Fläche
- Sehr hohe Kosten und Nutzungseinschränkungen während der Maßnahmen
- Bewehrung statisch von untergeordneter Relevanz

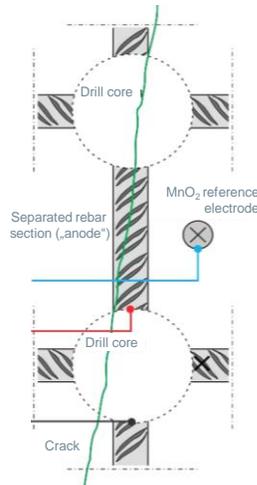
Prinzip „W-Cl“

- Aufbringen eines rissüberbrückenden OS-Systems bzw. Rissbandagen
- Einbau von 40 Korrosionssensoren
- Entwicklung des Konzepts in enger Abstimmung und mit umfassender Aufklärung des Bauherrn

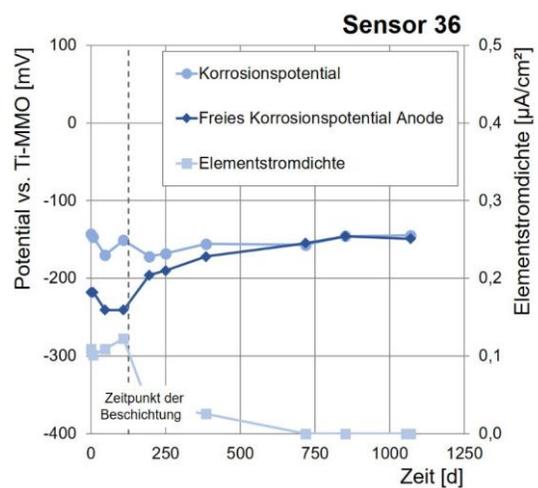
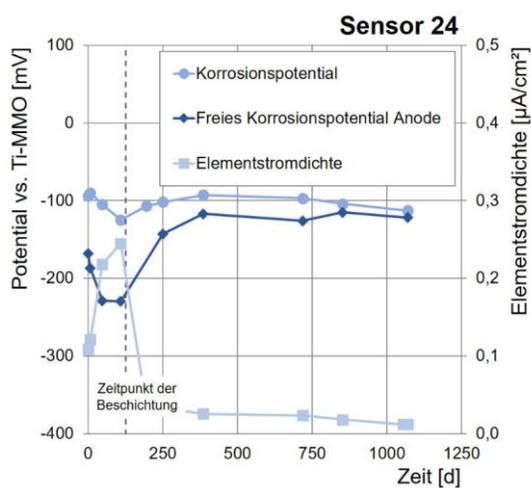


Anwendungsbeispiel - Korrosionsmonitoring

- Umfassende Zustandserfassung
- Einmessen von Bewehrungsstäben im Riss
- Isolieren von Bewehrungsabschnitten im Riss („Anode“) vom Bewehrungskorb durch Kernbohrungen
- Zyklische Messung des
 - freien Korrosionspotentials d. Anode
 - Makroelementstroms zwischen Anode und Bewehrungskorb
 - Elektrolytwiderstands



Anwendungsbeispiel – Ergebnisse nach rd. 3 Jahren



Zusammenfassung - Korrosionsmonitoring



- Korrosionsmonitoring als sinnvolle Ergänzung zur konventionellen Zustandserfassung z.B. bei
 - nicht zugänglichen Bauteilen
 - beschichteten Oberflächen
 - nach Instandsetzungen
- Merkblatt B12 der DGZfP als Kompendium für Messprinzipien, Entwurf und Ausführung
- Verschiedene Messprinzipien und -aufbauten für unterschiedliche Lebenszyklusphasen v. Stahlbetonbauwerken
- Anwendung in Verbindung mit Instandsetzung kann zu wirtschaftlichen Lösungsansätzen führen
- Korrosionsmonitoring ist immer nur so gut, wie es die Planung, Ausführung und Sachkunde bei der Bewertung zulassen