

**Untersuchungsbericht erstattet am 12.01.2023**

Korrosionsuntersuchungen an Stahlbetonbauteilflächen  
Potentialfeldmessung und betontechnologische Baustoffprüfungen

**Projekt: TG Bahnhofstraße 2-4 in Pfarrkirchen**

Auftraggeber (AG): **VR-Bank-Rottall-Inn eG**  
VR-Bank-Straße 1  
84347 Pfarrkirchen

Ansprechpartner: Herr Thieltges (SV-Büro Thieltges)

Durchführung bauseits: 24+25.10.2022

Berichtersteller: Michael Hornung

Der Bericht umfasst 37 Seiten + Anhang:

- Anlage 1 Potentialfeldpläne
- Anlage 2 Statistik Potentialfeldmessung
- Anlage 3 Betondeckungsmessung
- Anlage 4 Prüfstellen Ergebnisse tabellarisch – Fotodokumentation
- Anlage 5 Prüfbericht BP Chloridanalyse
- Anlage 6 Prüfbericht Bohrkernprüfungen

Inhaltsverzeichnis:

1. Aufgabenstellung.....	3
2. Projektbeschreibung:.....	4
2.1 Fotodokumentation - Erscheinungsbild und ersichtliche Schädigungen Tiefgarage.....	5
3. Grundlagen der Bewertung und durchgeführten Untersuchungen .....	7
3.1 Potentialfeldmessung [1], [2] .....	7
3.1.1 Grundlagen der Potentialfeldmessung: .....	7
3.1.2 Kennwerte der Potentialfeldmessung.....	8
3.1.3 Darstellung der Potentialfeldergebnisse.....	8
3.1.4 Kriterien zur Bewertung der Korrosionswahrscheinlichkeit anhand der Potentialgrafiken .....	9
3.1.5 Messflächen und Beschaffenheit der gemessenen Bauteile .....	11
3.1.6 Einflussgrößen auf die Potentialmesswerte .....	11
3.2 Chloriduntersuchungen .....	12
3.2.1 Allgemein - Chloridinduzierte Korrosion (Schädigungsmechanismus) .....	12
3.2.2 Tiefengestaffelte Bohrmehlbeprobung zur Chloridanalyse.....	13
3.3 Prüfung der Betondeckung.....	13
3.4 Karbonatisierungsinduzierte Korrosion.....	14
3.4.1 Schädigungsmechanismus Allgemein.....	14
3.4.2 Prüfung der Karbonatisierung .....	14
3.5 Sondierung (SO) der Bewehrung und Feststellung Korrosionszustand .....	15
4. Allgemeine Bewertung der Korrosionsgefährdung infolge Karbonatisierung.....	16
5. Bewertungen der Prüfergebnisse und Korrosionswahrscheinlichkeit.....	18
5.1 Bodenflächen .....	18
5.2 Wandsockel.....	21
5.2.1 Wandsockel Wand W7 bis W11 .....	21
5.2.2 Wandsockel W18 und W19.....	27
5.2.3 Rampensockel .....	28
5.3 Stützensockel.....	30
6. Hinweis.....	35
7. Grundlagen und Literaturangaben.....	36
8. Abkürzungen .....	37

## 1. Aufgabenstellung

Die Acofin Bauwerksdiagnosegesellschaft mbH wurde vom o.g. AG beauftragt Korrosionsuntersuchungen an Stahlbetonbauteilflächen, Boden, Wand- und Stützensockeln durchzuführen.

Die Vorgehensweise, Art und Umfang der Prüfungen, wurde ansonsten gemäß der Leistungsbeschreibung ausgeführt. Ziel der Untersuchungen und Prüfungen durch die Acofin Bauwerksdiagnosegesellschaft mbH ist durch die Potentialfeldmessung Bereiche mit erhöhter Korrosionswahrscheinlichkeit und aktiver Bewehrungskorrosion (Makrokorrosion) zu detektieren und deren Ausmaß festzustellen. Zur weiteren Verifizierung der Prüfergebnisse wurde die Betondeckung festgestellt. An den Bauteilflächen wurde bauteilspezifisch die Karbonatisierung zur Beurteilung der Korrosionsgefährdung (infolge Karbonatisierung) an Stemmstellen stichprobenhaft überprüft. Die Kalibrierung der Potentialfeldmessergebnisse erfolgt über die Ergebnisse der Bohrmehlbeprobungen (BP), den durch Sondierungen (SO) festgestellten Korrosionszustand und unter Einbeziehung aller sonstigen Prüfergebnisse. Die Korrosionsursachen und die Korrosionsmechanismen werden im Zuge der Ausführungen und Bewertungen zum Korrosionszustand beschrieben.

Die Chloridgehalte an den Bohrmehlproben wurden durch eine externe Baustoffprüfstelle analysiert. Die Prüfergebnisse wurden bürotechnisch ausgewertet und auf den erstellten Potentialfeldplänen Anlage 1 zusammengefasst.

Die Ergebnisse der Korrosionsuntersuchungen sollen als Planungsgrundlage für das weitere Vorgehen bei der Bauwerksinstandsetzung und Bauwerkserhaltung dienen.

Für die Ausführung der Prüfungen und für die Erstellung des Untersuchungsberichtes wurden der Acofin Bestandspläne bereitgestellt.

Durchgeführte Prüfungen, Baustoffbeprobungen und zerstörungsfreie Messungen:

- Potentialfeldmessung
  - Stützen- und Wandsockeln vollflächig
  - Bodenflächen teilflächig
- Betondeckungsmessung
  - Stützen- und Wandsockeln vollflächig
  - Bodenflächen teilflächig
- Bohrkernentnahme
- Haftzüge an Bohrkernen
- Karbonatisierungsprüfungen

## **2. Projektbeschreibung:**

Die Tiefgarage „Bahnhofstraße 2-4“ in Pfarrkirchen wurde in Stahlbetonbauweise mit Bodenplatte, Stützen und Wänden sowie Decke erbaut.

Die Tiefgarage besitzt 1 Parkebene mit 18 Stellplätzen. Auf die Stahlbetonbodenplatte wurde ein Verbundestrich aufgebracht und die Einfahrtsrampe ist mit einem Gussasphalt versehen. Die Tiefgarage wird über eine gemeinsame Ein- bzw. Ausfahrtsrampe erschlossen.

Die Stahlbetonbauteile, Boden, Stützen- und Wandsockel, sind nicht ausreichend vor Feuchtigkeits- und Tausalzeinwirkung geschützt.

Die Stützen- und Wandsockel weisen Anzeichen von aufsteigender Feuchtigkeit, wie Farbabblätterungen oder Oberflächenrost auf.

Über die Nutzungsdauer der Tiefgarage können Chloridanreicherungen durch kapillares Saugen, durch die Einwirkung von Feuchtigkeit und durch Fahrzeuge eingeschlepptes Tausalz, an den aufsteigenden Bauteilen angenommen werden.

Chloridinduzierte Korrosionsvorgänge sind aufgrund des Schadensbildes grundsätzlich möglich und wahrscheinlich.

Nachfolgend werden das örtliche Erscheinungsbild und die Ursachen der Korrosion fototechnisch erläutert.

## 2.1 Fotodokumentation - Erscheinungsbild und ersichtliche Schädigungen Tiefgarage

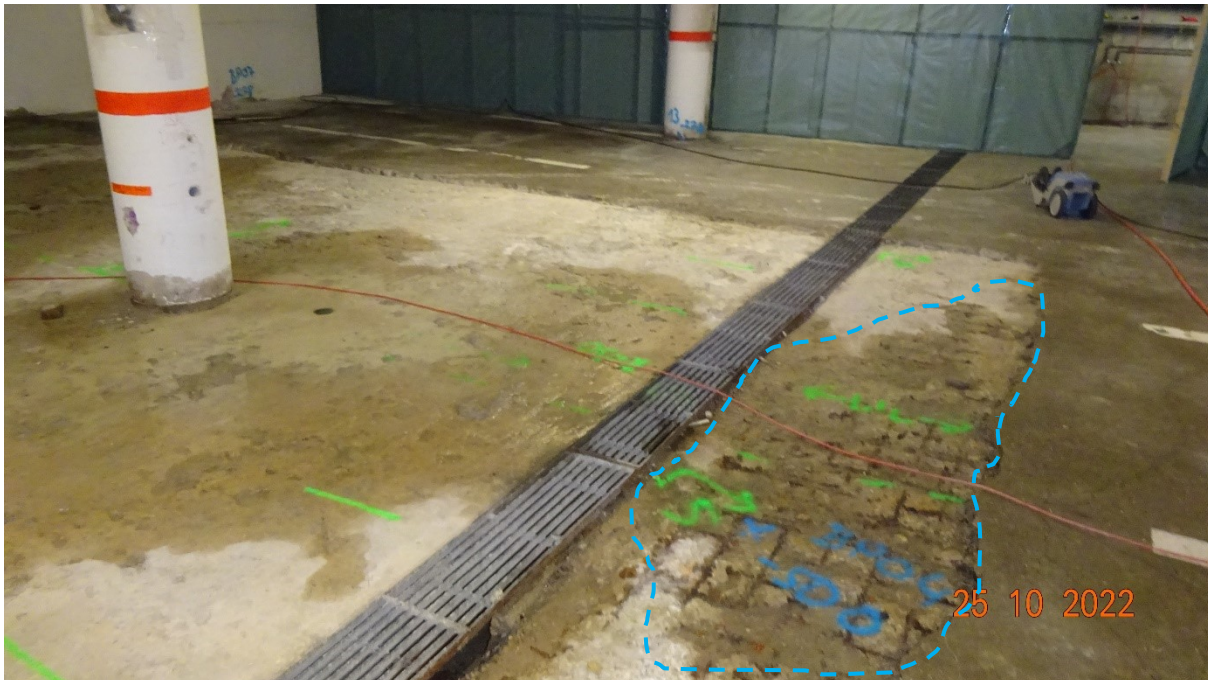


Foto 01: korrodierte freiliegende Bewehrung in Bodenplatte



Foto 02: Farbablösungen an Stütze und Wand





Foto 03: Farbablösungen an Wand und Stütze



Foto 04: Farbablösungen und Oberflächenrost an Stütze

### **3. Grundlagen der Bewertung und durchgeführten Untersuchungen**

#### **3.1 Potentialfeldmessung [1], [2]**

##### **3.1.1 Grundlagen der Potentialfeldmessung:**

Die Potentialfeldmessung erlaubt eine nahezu zerstörungsfreie Prüfung des Korrosionszustandes der Bewehrung. Die Messung erfolgt als Spannungsmessung zwischen einer Referenzelektrode (verwendete Referenzelektrode Kupfer/Kupfersulfat  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$  (CSE)) mit bekanntem Potential, die auf die Betonoberfläche aufgesetzt wird, und der Bewehrung, die punktuell freigelegt und mit dem hochohmigen Voltmeter verbunden ist. In Bereichen mit korrodierender Bewehrung unterscheidet sich das Potential um mehrere 100 mV von Bereichen mit nicht korrodierender Bewehrung (passive Bereiche). In der Korrosionsbewertung werden hauptsächlich zwei Korrosionsarten unterschieden, zum einen die karbonatisierungsinduzierte und zum anderen die chloridinduzierte Korrosion. Der Korrosionszustand der Bewehrung lässt sich dabei vom gemessenen Potential über eine statistische Auswertung und durch das Kalibrieren mit anderen Baustoffparametern (u.a. Bestimmung der Chloridkontamination) ableiten. Im Allgemeinen liegt das Potential von nicht korrodierender Bewehrung im Bereich von +200mV CSE (trockener, karbonatisierter, chloridfreier Beton) bis zu -200mV CSE (bei chloridfreien, feuchten Beton). Das Potential von korrodierender Bewehrung liegt dagegen in negativeren Wertebereichen bis -300 mV CSE bei karbonatisierungsinduzierter und bis -600mV CSE bei chloridinduzierter Korrosion, wobei sich diese Werteniveaus je nach Betonfeuchte, Grad der oberflächigen Karbonatisierung des Betons und der daraus resultierenden Veränderung des Betonwiderstandes verschieben können.

Korrosionsstellen (Makrozellenkorrosion), die nicht elektrolytisch (Beton) zur Messoberfläche verbunden sind oder räumlich „zu weit“ entfernt sind, können nicht detektiert werden. (siehe [1]).

Eine erste Bewertung des Korrosionszustandes der Bewehrung kann anhand des gemessenen Potentials (Potentialdifferenz) entsprechend der nachstehenden Einteilung gem. ASTM 876-91 /91AST erfolgen [6])

Potentialdifferenz  $U$  [mV] gegen  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4 \rightarrow$  Korrosionswahrscheinlichkeit [%]

$U < -350 \text{ mV}$	$\rightarrow > 95 \%$
$U -350 \text{ mV bis } -200 \text{ mV}$	$\rightarrow \text{ca. } 50 \%$
$U > -200 \text{ mV}$	$\rightarrow < 5 \%$

### 3.1.2 Kennwerte der Potentialfeldmessung

(siehe auch Anlage 2 Statistik)

Das x Raster bei den Sockelmessungen beträgt 17cm mit 3 parallelen Messstreifen in Höhe von ca. 5 / 20 / 40cm oberhalb der OK Boden. Das x Raster bei den Bodenmessungen beträgt 10cm und das y Raster beträgt 25cm.

Die Abweichung der Lagegenauigkeit der Potentialfeldmessgrafiken kann außerplanmäßig bis zu 0,4 m betragen. Die angegebenen Abweichungen beziehen sich auf die Messoberfläche.

Die elektrische Leitfähigkeit des Bewehrungsnetzes wurde an den zu messenden Bauteilen über die hergestellten Bewehrungsanschlüsse überprüft. Die Bewehrungsanschlüsse wurden an freigelegten Bewehrungsstählen hergestellt.

Der jeweils gemessene Widerstand des Bewehrungsnetzes, innerhalb der einzelnen Bauwerksfugenbereiche, lag an den vermessenen Bauteilen abzüglich der Messleitung über 1,0 Ohm, d.h. die Bewehrung ist nicht ausreichend vernetzt.



Für die Messung wurden Sensorräder mit einer Cu/CuSO<sub>4</sub> Halbzelle (CSE) verwendet.

Die entsprechende elektronische Datenverarbeitung der Potentialfeldmesswerte erfolgte mit dem Acofin Potentialfeldmessgerät.

### 3.1.3 Darstellung der Potentialfeldergebnisse

Die Resultate der Potentialfeldmessung wurden in Grundrissplänen (Anlage 1), die auf Basis der übersandten Pläne von der Acofin erstellt wurden, nach dem Ampelprinzip (grün-gelb-rot), in farblich skalierten Grafiken (Äquipotentiallinien) illustriert.

Die Farbabstufung der Potentialwerte erfolgt in Schrittweiten von 50mVolt mit 14 Farben. Die Grenzwerte der farblichen Skalierung werden auf den Plänen erläutert.

Der Plan dient ausschließlich zur Darstellung der Potentialfeldgrafiken und hat keinen Anspruch auf Detailrichtigkeit.



### 3.1.4 Kriterien zur Bewertung der Korrosionswahrscheinlichkeit anhand der Potentialgrafiken

Generell sollten für die Bewertung der Potentialfeldmessergebnisse und Potentialgrafiken folgende Kriterien herangezogen werden. Korrosionsprozesse sind vor allem dort zu erwarten, wo negativere Potentialwerte von zunehmend positiveren Potentialwerten umgeben sind. Steile Potentialgradienten ( $>-100\text{mV/m}$ ) verstärken hierbei diese Einschätzung und sind ein weiteres Indiz für aktive Korrosionsprozesse. Man spricht daher von einer Ausbildung eines Potentialfeldtrichters [2] (Ausbildung hauptsächlich bei chloridinduzierter Korrosion).

Bei der karbonatisierungsinduzierten Korrosion sind im Allgemeinen keine dermaßen stark ausgeprägte bzw. steile Potentialgradienten zu erkennen, was die Interpretation hinsichtlich des Korrosionszustandes erschwert..

#### Interpretation der farblich skalierten Potentialgrafiken

Für die weitere allgemeine Korrosionswahrscheinlichkeitsbewertung können folgende Grundsätze zur Interpretation der Messgrafiken Anwendung finden. Grundsätzlich ist die Aussage „**KEINE Korrosion**“ sicherer zu bewerten als die Aussage „Korrosion“ (Vergl. Merkblatt SIA 2006 [1]).

#### „Hellgrün bis grün“- dargestellten Potentialgrafikbereiche: (passiver Bereich)

In flächig „hellgrün bis grün“- dargestellten Potentialgrafikbereichen können gravierende Korrosionsvorgänge ausgeschlossen werden. Bei großflächigen, sehr positiven (edlen) Potentialwerten kann davon ausgegangen werden, dass es nicht zu Anreicherungen von Chloriden durch tausalzhaltige Wässer auf Höhe der Bewehrung gekommen ist, die zum Zeitpunkt der Messungen eine chloridinduzierte Korrosion auslösende Wirkung auf Höhe der Bewehrung erzielen, bzw. dass Korrosion der Bewehrung durch Karbonatisierung momentan nicht stattfindet.

#### „Hellgelb – gelb-orange“- dargestellten Potentialgrafikbereiche: (Übergangsbereich)

In den „hellgelb – gelb-orange“- dargestellten Potentialbereichen ist in Abhängigkeit vom Potential von einer niedrigen bis mittleren Korrosionswahrscheinlichkeit auszugehen.

Können anhand der Chloriduntersuchungen chloridinduzierte Korrosionsprozesse nicht ausgeschlossen werden oder sind diese grundsätzlich für einzelne Bauwerksbereiche zu befürchten, sind zumindest Chloridanreicherungen für derartige Bereiche wahrscheinlich. Sind anhand der Bewertung der Zusammenhänge aus den Betondeckungsmessungen und den Karbonatisierungstiefen karbonatisierungsinduzierte Korrosion grundsätzlich für einzelne Bauwerksteile zu befürchten, besteht die sich anhand der Potentialgrafiken ableitende Korrosionswahrscheinlichkeit für die Bewehrung.

### „Gelb/orange bis rot“ dargestellten Potentialgrafikbereiche: (aktiver Bereich)

In den „gelb/orange bis rot“ dargestellten Potentialgrafikbereichen ist eine sehr hohe Korrosionsgefahr für die Bewehrung gegeben. Unter Einbeziehung der einzelnen ggf. bestehenden Korrosionsmechanismen (chloridinduziert bzw. karbonatisierungsinduziert) und der bestehenden Randbedingungen kann grundsätzlich von aktiven Korrosionsprozessen ausgegangen werden.

### Zusätzliche Erläuterung zu den Potentialmesswertebereichen bei hauptsächlich vorliegender Makrokorrosion (chloridinduzierter Korrosion):

Nach den allgemeinen Bewertungsrichtlinien für die Bewertung von Potentialfeldmessungen werden die Potentialmesswerte bei hauptsächlich chloridinduziertem Schadensmechanismus in folgende sich grundsätzlich voneinander abgrenzenden Wertebereiche unterteilt.

#### Messwertebereich mit aktiver Bewehrungskorrosion (aktiver Bereich)

Messflächen mit derart unedlen (negativen) Messwerten sind mit ziemlich hoher Wahrscheinlichkeit von aktiver Bewehrungskorrosion mit Makroelementbildung (typische durch Chloride (Tausalze) induzierte Korrosionsform) betroffen.

#### Messwertebereich im Übergang (Übergangsbereich)

Diese Übergangsbereiche erklären sich zum einen aufgrund der sich ausbildenden Polarisation bei der Makrokorrosionselementbildung. Hierbei bilden sich in der Nähe von aktiven Korrosionsherden (Anodische Eisenauflösung) kathodisch fungierende Bewehrungsbereiche aus, die durch die anodische Teilreaktion kathodisch geschützt sind und bei denen keine Eisenauflösung stattfindet, obwohl ähnlich hohe Chloridkontaminationen vorliegen können. Zum Anderen begründen sich diese gegenüber der passiven Bewehrungsbereich negativeren Messwerte auf erhöhte Chloridgehalte, die auf erste Chloridanreicherungen im Beton schließen lassen, die aber noch keine korrosionsauslösende Wirkung am Bewehrungsstahl erzielen. Bei diesen im Übergang zur Korrosion befindlichen Bewehrungsbereichen sind Korrosionsprozesse bei nicht Unterbindung der Schadenseinwirkung (Chloridbeaufschlagung) oder bei unzureichender Instandsetzung (z.B. wenn nur die Bereiche mit den vorliegenden Korrosionsherden kleinflächig instandgesetzt werden) zumindest zukünftig ebenso zu erwarten.

#### Messwerte im passiven Bereich (passiver Bereich)

Bei sich durch edle (positive) Potentialwerte abzeichnenden, zusammenhängenden Messflächen sind chloridinduzierte Korrosionsvorgänge und gravierende Chloridanreicherungen dagegen nahezu vollständig auszuschließen.

### **3.1.5 Messflächen und Beschaffenheit der gemessenen Bauteile**

Auftragsgemäß wurden die Messungen möglichst vollflächig an den Stahlbetonbauteilflächen Wand- und Stützensockel und am Boden an Teilflächen durchgeführt.

Details zur Größe und Lage der vermessenen Stahlbetonflächen sind in Anlage 1 ersichtlich und aufgeführt.

#### „Ebenheit/ Rauheit“ der Betonoberflächen:

Die Messoberflächen der zu vermessenden Betonflächen waren rau.

### **3.1.6 Einflussgrößen auf die Potentialmesswerte**

Im Folgenden werden Einflussgrößen beschrieben, die die Messwerte beeinflussen und die bei der Bewertung der erstellten Potentialgrafiken Berücksichtigung finden sollten.

#### Feuchtezustand der Messflächen (qualitativ):

Die Stahlbetonflächen lagen nach augenscheinlicher Bewertung in einem gleichmäßig trockenen bis feuchten Feuchtigkeitszustand vor.

Grundsätzlich ist ein Feuchtegradient im Bereich der Sockel anzunehmen, der durch das kapillare Saugen des Betons der aufsteigenden Bauteile aus den waagrechten Bauteilen begründet ist.

Um den Oberflächenwiderstand zu verringern, den Feuchtezustand anzugleichen und um die elektrolytische Verbindung zu verbessern, wurden die Messflächen vorgehässt.

#### Störeinflüsse.

Bei den Messungen wurden keine für die Bewertung relevanten Störeinflüsse festgestellt.

## 3.2 Chloriduntersuchungen

### 3.2.1 Allgemein - Chloridinduzierte Korrosion (Schädigungsmechanismus)

Bei Brücken und Parkbauten kommt es aufgrund Ihrer Exposition zeitweise und häufig unplanmäßig zur Beaufschlagung der Betonoberflächen mit Tausalzen (chloridhaltigem Wasser) und zu Anreicherungen von Chloriden in der Betonstruktur. Durch verschiedene Transportmechanismen, u.a. Konvektion und Diffusion, und durch kapillares Saugen aufsteigender Bauteile dringen dabei die Chloride in tiefere Querschnittsbereiche des Betons vor und werden dabei zum Teil auch im Zementstein gebunden. Überschreitet der Chloridgehalt auf Höhe der Bewehrung einen kritischen Grenzwert (kein bestimmter Wert) kommt es lokal zur Zerstörung der vor Korrosion schützenden Oxidschicht an der Bewehrungsoberfläche, zur Depassivierung der Stahloberfläche und bei gleichzeitigem Vorhandensein von Sauerstoff und Wasser im Allgemeinen auch zur Korrosion an der Bewehrung. Das Eindringen und die Anreicherung von Chloriden werden durch vorhandene Risse in der Betonstruktur und durch Wechselbeanspruchung (nass – trocken) der Bauteile begünstigt. Bei der chloridinduzierten Korrosion bilden sich zudem nicht selten Makroelemente aus, die aufgrund ihres ungünstigen Flächenverhältnisses von Anode (Bereich der Eisenauflösung) zu Kathode (Bereich der Sauerstoffreduktion) gegenüber der karbonatisierungsinduzierten Korrosion meist höhere Abtragsraten an der Stahlbewehrung zur Folge haben.

#### Kritischer, korrosionsauslösender Chloridgehalt

In zahlreichen Veröffentlichungen wird stets darauf hingewiesen, dass es keinen allgemein gültigen Grenzwert für den kritischen, korrosionsauslösenden Chloridgehalt gibt. Insbesondere die individuell vorliegende Betonqualität (v.a. Porengehalt des Betons) beeinflussen neben dem Zementgehalt den Wert ab wann die Chloride korrosionsauslösend wirken. Nach der Instandsetzungsrichtlinie Teil1 [7] des DAfStb „Rili-SIB“ wird der Grenzwert ab dem ein sachkundiger Planer eingeschaltet werden soll auf den Grenzwert 0,5 Masse-% / Zementanteil bei Stahlbetonbauteilen und auf 0,2 Masse-% / Zementanteil (M-%/Z.) bei Spannbetonbauteilen festgelegt.

Für die weitere Beurteilung des chloridinduzierten Korrosionsrisikos werden folgende Bereiche angenommen.

Chloridgehalt\*(x): 0- 0,4 Masse-% / Zement.: **geringes – leicht erhöhtes Korrosionsrisiko**

Chloridgehalt\*(x): 0,4 - 1,0 Masse-% / Zement. **erhöhtes - hohes Korrosionsrisiko**

Chloridgehalt\*(x) > 1 Masse-% / Zementanteil **hohes Korrosionsrisiko**

\*) Gesamtchloridgehalt = freie+gebundene Cl<sup>-</sup>



### **3.2.2 Tiefengestaffelte Bohrmehlbeprobung zur Chloridanalyse**

Um die anzunehmende Korrelation der Potentialfeldmesswerte und der Chloridkontamination herzuleiten und die Gefahr von chloridinduzierter Korrosion zu bewerten, wurden in verschiedenen Potentialmesswertebereichen Bohrmehlbeprobungen ausgeführt.

Die Bohrmehlbeprobungen wurden von OK Beton in gestaffelten Tiefen entnommen.

Die Lage der Bohrmehlentnahmestellen und die Ergebnisse aus der Chloridanalyse der tiefengestaffelten Einzelproben wurden in den Plänen dokumentiert.

Der Prüfbericht zur Chloridanalyse ist im Anhang angefügt.

### **3.3 Prüfung der Betondeckung**

Die punktuelle als auch die flächige Messung der Betondeckung inkl. deren Aufzeichnung wurde mit dem System Profometer 5+, Modell SCANLOG bzw. mit dem Profometer PM 650 (Geräte Fa. Proceq, Schweiz), durchgeführt. Das Messverfahren beruht auf dem Wirbelstrom-Prinzip mit Puls-Induktion. Die quantitative Messung erfolgte dabei an Teilflächen der Stahlbetonkonstruktion im System „Messen mit Raster“ bzw. als Linien bzw. Flächenmessung (PM 650). Die statistische und grafische Auswertung erfolgte am PC mit der Proceq-Software pro Vista bzw. PM Link.

Die Auswertung, die Einzelgrafiken und Wertetabellen der Betondeckungsmessungen (über ProVista bzw. PM Link Software) sind in Anlage 3 angefügt. Die Lage der Messflächen und deren Bezeichnung sind in Anlage 1 gekennzeichnet.

Die zerstörungsfreie Prüfung der Betondeckung und die erfassten Werte unterliegen messtechnisch bedingt und ausführungsbedingt gewissen Abweichungen. Zur „Eichung und Überprüfung“ der zerstörungsfrei ermittelten Betondeckungen wurden die gemessenen Werte punktuell im Bereich der Bewehrungsanschlüsse (Anschlusspunkte für die Potentialfeldmessung) überprüft. Hierzu wurde an den Stemmstellen mit freigelegter Bewehrung der gemessene Überdeckungswert überprüft.

Die tatsächlich Überdeckungswerte im Bereich der Stemmstelle lag im geforderten Wertebereich (Toleranz  $\pm 1$  mm) für Betondeckungsmessungen.

### **3.4 Karbonatisierungsinduzierte Korrosion**

#### **3.4.1 Schädigungsmechanismus Allgemein**

Die Bewehrung ist nach dem Einbau vom umgebenen Beton und wegen dessen Alkalität (pH Wert  $>12$ ) vor Korrosion geschützt. Aufgrund von Karbonatisierung des Betons bis auf Höhe der Bewehrung kommt es gerade bei geringen und daher oft unzureichenden Betonüberdeckungen zu Korrosion an der Bewehrung, vor allem und im nicht vernachlässigbaren Maße wenn gleichzeitig ein ausreichendes Angebot an Sauerstoff und Wasser besteht. Ursache für die stetige von der Oberfläche in tiefere Betonquerschnittsbereiche voranschreitende Karbonatisierung ist „vereinfacht“ die Aufnahme von Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) aus der Umgebungsluft und die Umwandlung von Alkali- und Calcium-Hydroxid in Verbindung mit Wasser zu u.a. Calcium-Carbonat (Kalkstein). Dies führt zur Herabsetzung des pH-Wertes unter 9,5 und zum Verlust des Korrosionsschutzes der Bewehrung. Das Fortschreiten der Karbonatisierung in tiefere Querschnittsbereiche wird ebenso durch Risse und durch unzureichend dichte Betonstrukturen (zu hoher wz-Wert, Kiesnester oder ungenügend verdichteter Beton) begünstigt. Die Eindringgeschwindigkeit und der Fortschritt der Karbonatisierung nehmen durch die einhergehende Verdichtung der oberflächennahen Betonstruktur durch die Karbonatisierung im Allgemeinen ab (Wurzel Zeit abhängiges Verhalten).

Da die karbonatisierungsinduzierte Korrosion, auch gleichmäßige Korrosion genannt, meist aufgrund von flächig mangelnder Betondeckung auftritt, führt die Volumenvergrößerung der Korrosionsprodukte an der Stahloberfläche bei andauernder Korrosion oft zu Abplatzungen und Rissen im Überdeckungsbeton und lässt sich daher gegenüber der chloridinduzierten Korrosion oft leichter diagnostizieren. Die Abtragsraten sind gegenüber der chloridinduzierten Korrosion grundsätzlich als nicht so gravierend zu bezeichnen.

#### **3.4.2 Prüfung der Karbonatisierung**

Die zerstörende Prüfung der Karbonatisierungstiefe wurde im Zuge der Herstellung der Bewehrungsanschlüsse beim punktuellen Aufstemmen bzw. im Zuge von Sondierungen durch Aufsprühen einer Indikatorflüssigkeit, Phenolphthaleinlösung, auf die frischen Betonbruchflächen bewerkstelligt. Nach dem Aufsprühen kommt es zu einem Farbumschlag an Teilen der besprühten Flächen, dabei stellt sich der karbonatisierte Bereich farblos dar und Bereiche mit einem pH-Wert  $> 10$  zeichnen sich rot-violett ab. Anhand der Grenzfläche des Farbumschlags lässt sich die Karbonatisierungstiefe abmessen.

Die Ergebnisse der Prüfungen werden im nachfolgenden Kapitel erläutert und bewertet.

### **3.5 Sondierung (SO) der Bewehrung und Feststellung Korrosionszustand**

Zur weiteren Verifizierung der Potentialfeldmessergebnisse und der ergänzenden Baustoffprüfungen wird die Bewehrung lokal und sukzessive sondiert. Die Sondierungen werden entsprechend der Erkenntnisse der laufenden Untersuchungen und entsprechend der Fragestellungen in ggf. verschiedenen Potentialwertebereichen angeordnet.

Im Bereich der Stemmöffnungen wird die Bewehrung freigelegt und der Korrosionszustand und Korrosionsgrad gem. SIA 269/2 festgestellt. (siehe Abschnitt 7)

Zur Bewertung der Korrosionswahrscheinlichkeit und Korrosionsgefährdung bzw. zur Erschließung der Schädigungsmechanismen und Schädigungsursachen werden zusätzliche Baustoffkenndaten entsprechend der Zielsetzung festgestellt. Dazu gehören u.a.:

Bewehrungsdurchmesser, Betonüberdeckung, Chloridgehaltsbestimmung, Karbonatisierungstiefe, optische Auffälligkeiten oder Schäden (wie Risse, Ausblühungen, Strukturdefekt o.ä.)

#### 4. Allgemeine Bewertung der Korrosionsgefährdung infolge Karbonatisierung

Anhand der bauteilspezifischen Karbonatisierungswerte (siehe Tabelle und Anlage 4) und anhand der flächigen Überprüfung der Betondeckung lässt sich folgende Korrosionsgefährdung lokal für die einzelne Prüfstelle und allgemein für die Bauteilgruppen über die statistischen Verteilungen der Betondeckung (siehe Anlage 3) ableiten.

Tabelle Karbonatisierungsprüfungen

Prüfstelle	Bauteil		Karbonatisierung	Betondeckung	Korrosions-Gefährdung K / BD c
Bez.	Bezeichnung	Bezug	K mm	c mm	Ja / Nein
K1	Boden, FI02	BP02	1	30	Nein
<b>Mittelwert</b>			<b>1</b>		
K2	Decke, 010402	K07	32	29	Ja
<b>Mittelwert</b>			<b>32</b>		
K3	Stütze, S5	BP14	30	23	Ja
K4	Stütze, S1	K05	20		
K5	Stütze, S2	K06	21	36	Nein
<b>Mittelwert</b>			<b>24</b>		
K6	Wand, W7	BP05	28	46	Nein
K7	Wand, W10	BP07	33	53	Nein
K8	Wand, W18	K04	30	28	Ja
<b>Mittelwert</b>			<b>31</b>		
K9	Rampe, W2	K001	6	38	Nein
K10	Rampe, W3	K02	4	40	Nein
<b>Mittelwert</b>			<b>5</b>		

Die Gegenüberstellung der punktuellen Prüfparameter, Betondeckung und Karbonatisierung zeigt,

- dass bei 1 der 1 Bodenprüfstellen **ein** ausreichender Korrosionsschutz für die Bewehrung bezüglich der Korrosion infolge Karbonatisierung besteht.
- dass bei der Deckenprüfstellenprüfstelle **kein** ausreichender Korrosionsschutz für die Bewehrung bezüglich der Korrosion infolge Karbonatisierung besteht.
- dass bei 1 der 3 Stützenprüfstellen **ein** ausreichender Korrosionsschutz für die Bewehrung bezüglich der Korrosion infolge Karbonatisierung besteht.
- dass bei 1 der 3 Wandprüfstellen **ein** ausreichender Korrosionsschutz für die Bewehrung bezüglich der Korrosion infolge Karbonatisierung besteht.
- dass bei 2 der 2 Rampensockelprüfstellen **ein** ausreichender Korrosionsschutz für die Bewehrung bezüglich der Korrosion infolge Karbonatisierung besteht.



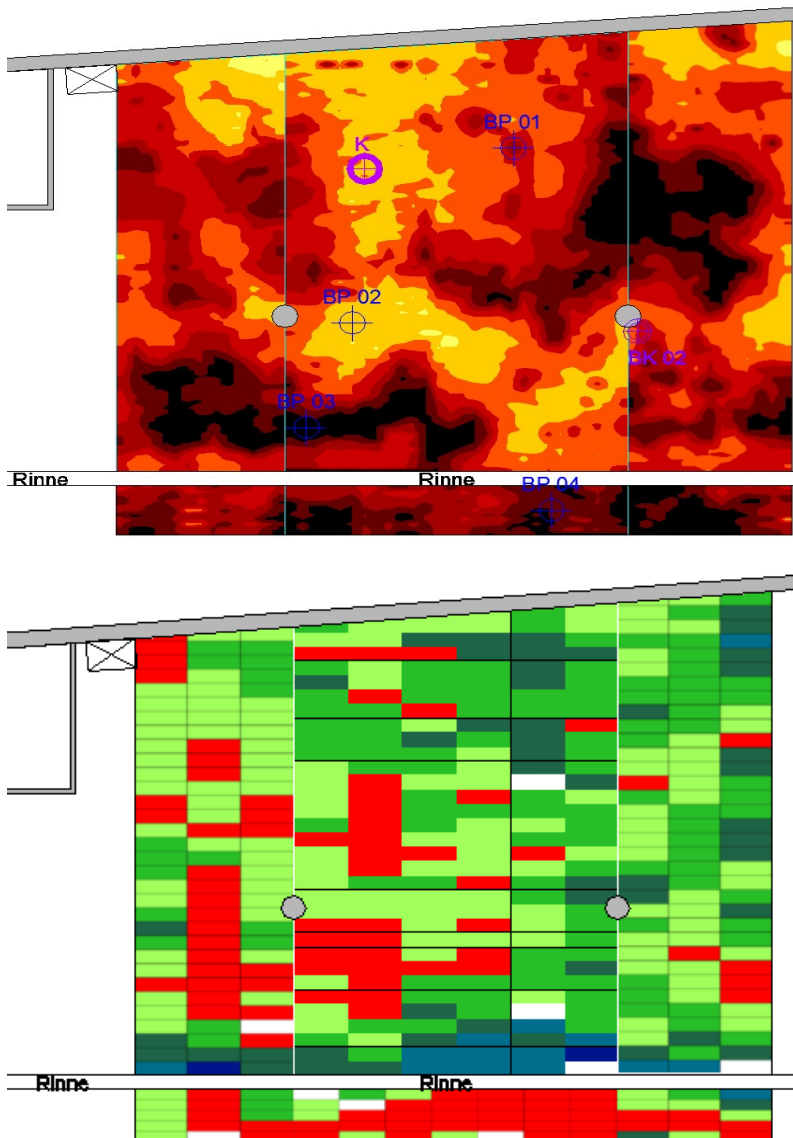
Die ermittelten Mittelwerte der Karbonatisierung werden für die Bewertung der Korrosionsgefährdung infolge Karbonatisierung (siehe Anlage 3 Betondeckung, Tabellen und Diagramme) herangezogen.

Die Ergebnisse der Betondeckungsmessungen (Anlage 3) zeigen im Zusammenhang mit der bauteilspezifisch festgestellten Karbonatisierung,

- dass für einen Anteil von 32,5% der **Bewehrung der Wandsockel** (Betondeckung c von 5 bis 98mm, Mittelwert 42mm) **eine** Korrosionsgefährdung infolge Karbonatisierung (Mittelwert 31mm) besteht.
- dass für einen Anteil von 6,0% der **Bewehrung der Stützensockel** (Betondeckung c von 18 bis 76mm, Mittelwert 40mm) **eine** Korrosionsgefährdung infolge Karbonatisierung (Mittelwert 24mm) besteht.
- dass für die **Bewehrung der Wandsockel Rampe** (Betondeckung c von 8 bis 78mm, Mittelwert 39mm) **keine** Korrosionsgefährdung infolge Karbonatisierung (Mittelwert 5mm) besteht.
- dass für einen Anteil von 71,1% der **Bewehrung der Decke** (Betondeckung c von 11 bis 62mm, Mittelwert 29mm) **eine** Korrosionsgefährdung infolge Karbonatisierung (Wert 32mm, entsprechend des Instandsetzungszieles prüfen) besteht.
- dass für einen Anteil von 45,4% der **Bewehrung der „Pilzköpfe“ Decke** (Betondeckung c von 10 bis 96mm, Mittelwert 36mm) **eine** Korrosionsgefährdung infolge Karbonatisierung (Wert 32mm, entsprechend des Instandsetzungszieles prüfen) besteht.

## 5. Bewertungen der Prüfergebnisse und Korrosionswahrscheinlichkeit

### 5.1 Bodenflächen



Die gemessenen Bodenflächen zeigen flächig sehr negative Potentiale auf und deuten auf eine starke Durchfeuchtung der Bodenplatte hin. Lokal und im Bereich von freiliegender Bewehrung deuten die Potential-Minima auf Korrosionsherde hin. Die Prüfstellen bei BP01 (keine Auffälligkeit), BP03 (Abstand freiliegende Eisen) und BP04 (freiliegende korrodierte Bewehrung) zeigen sehr hohe Chloridanreicherungen bis 6cm Tiefe auf. Die Betondeckung ist bereichsweise gering aber selbst bei einer vergleichsweise hohen Betondeckung sind Korrosionsprozesse in der Bodenplatte wahrscheinlich oder es besteht zumindest eine hohe Korrosionsgefährdung (Bereiche mit orange skalierten Potentialen).

Die Sondierung bei BP02 zeigt geringe Korrosionsspuren auf und bei den Prüfstellen BP03 und BP04 sind Korrosionsprozesse an der freiliegenden Bewehrung ersichtlich. Bei BP04

(angrenzend an die Rinne) sind flächig erhebliche Querschnittsverluste an der Bewehrung vorhanden

Siehe nachfolgende Auszüge aus Anlage 4 für BP01, BP03 und BP04.

Prüfergebnis / tabellarische Bewertung BP01



BP 01  
 MW= -421 mV(CSE),  
 BD c= 34 mm  
 A 0 - 20 = 1,69 %  
 B 20 - 40 = 1,39 %  
 C 40 - 60 = 1,08 %

Prüfstelle		Bauteil  Bauteilbezeichnung Lage optische Feststellungen Schädigung	Bohrmehl- beprobung				Potential CSE	Karbonatisierung  K	Betondeckung  BD c	Korrosionswahr- scheinlichkeit			
			Tiefe			Chlorid- gehalt				Chloride	Potential	K / BD c	Gesamt
			von	bis									
Bez.	Nr.		Bez.	mm	mm	M%/Z	mV	mm	mm	++ hohe; + erhöhte; - keine			
BP	1	Boden,	A	0	20	1,69	-421		34	++	++		++
		FI02,	B	20	40	1,39							
			C	40	60	1,08							
		hohe Korrosionswahrscheinlichkeit											
		hohe Chloridanreicherungen bis 6cm Tiefe											

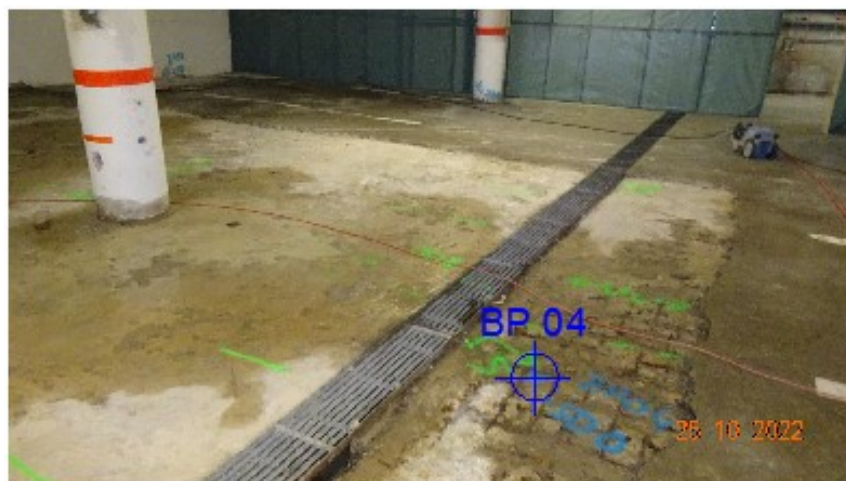
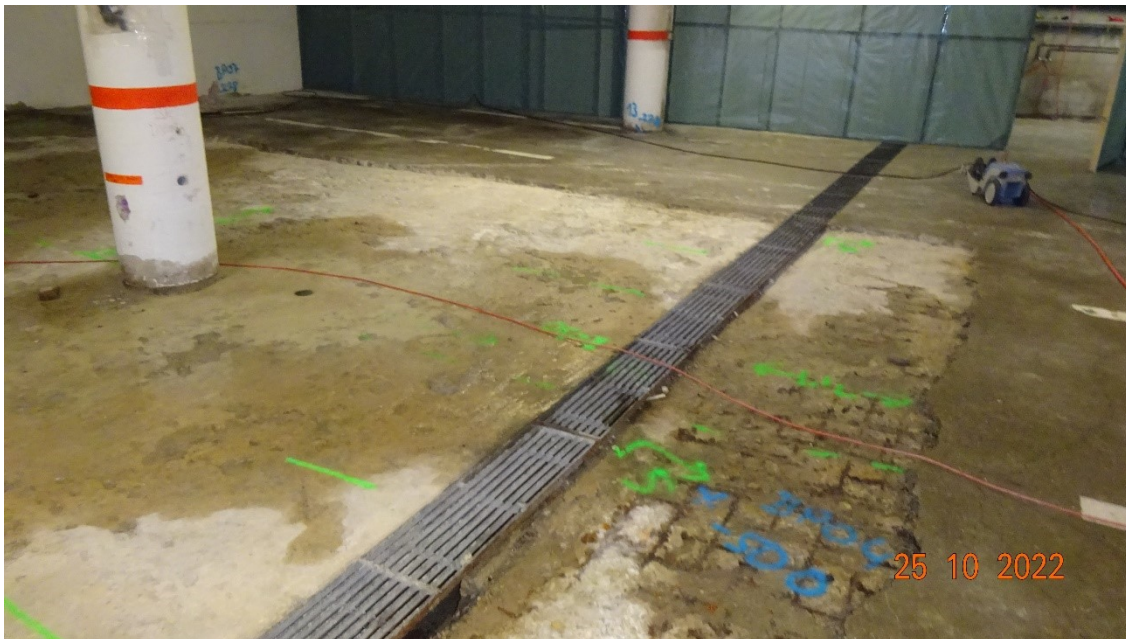
Prüfergebnis / tabellarische Bewertung BP03



BP 03  
 MW= -500 mV(CSE),  
 BD c= 41 mm  
 A 0 - 20 = 3,74 %  
 B 20 - 40 = 2,69 %  
 C 40 - 60 = 1,72 %

Prüfstelle		Bauteil  Bauteilbezeichnung Lage optische Feststellungen Schädigung	Bohrmehl- beprobung				Potential CSE	Karbonatisierung  K	Betondeckung  BD c	Korrosionswahr- scheinlichkeit			
			Tiefe			Chlorid- gehalt				Chloride	Potential	K / BD c	Gesamt
			Bez.	von mm	bis mm								
Bez.	Nr.		Bez.	mm	mm	M%/Z	mV	mm	mm	++ hohe; + erhöhte; - keine			
BP	3	Boden,	A	0	20	3,74	-500		41	++	++		++
		Fl02,	B	20	40	2,69							
			C	40	60	1,72							
		hohe Korrosionswahrscheinlichkeit											
		sehr hohe Chloridanreicherungen bis 6cm Tiefe											

Prüfstelle BP04



BP 04  
 MW= -500 mV(CSE),  
 BD c= 0 mm  
 A 0 - 20 = 1,6 %  
 B 20 - 40 = 1,04 %  
 C 40 - 60 = 0,97 %

Prüfergebnis / tabellarische Bewertung

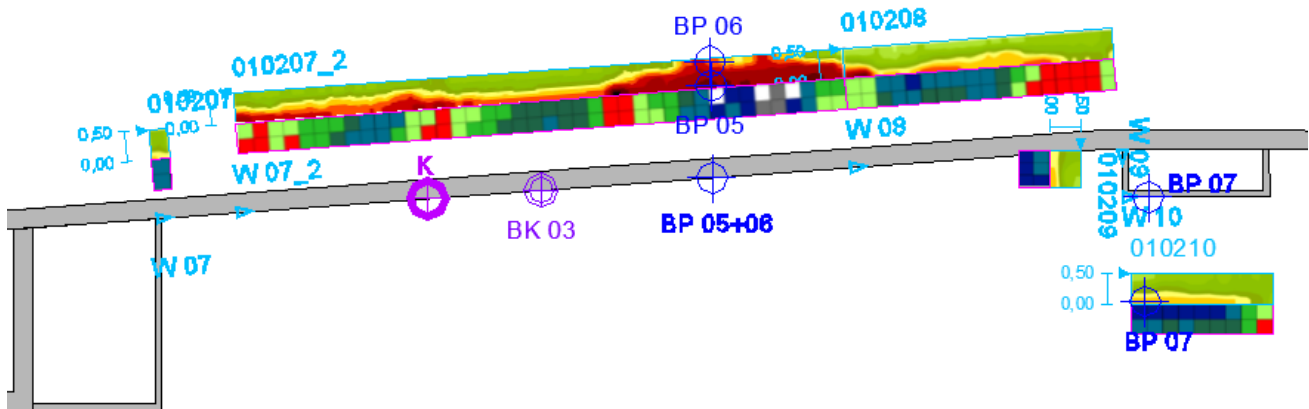
Prüfstelle		Bauteil  Bauteilbezeichnung Lage optische Feststellungen Schädigung	Bohrmehl- beprobung				Potential CSE	Karbonatisierung	Betondeckung	Korrosionswahr- scheinlichkeit				
			Tiefe			Chlorid- gehalt	Potential	K	BD c	Chloride	Potential	K / BD c	Gesamt	
			Bez.	von	bis									
Bez.	Nr.		Bez.	mm	mm	M%/Z	mV	mm	mm	++ hohe; + erhöhte; - keine				
BP	4	Boden,	A	0	20	1,60	-500		0	++	++			++
		Fl04,	B	20	40	1,04								
			C	40	60	0,97								
		hohe Korrosionswahrscheinlichkeit												
		hohe Chloridanreicherungen bis 6cm Tiefe												



## 5.2 Wandsockel

### 5.2.1 Wandsockel Wand W7 bis W11

#### Planauszug



Die dargestellten Potentialfeldgrafiken der Wandsockel zeigen im Fußbereich flächig und lokal bis 50cm Höhe negative auf Korrosion hinweisende Potentiale (in den Grafiken rot dargestellt) und Potentiale im Übergangsbereich (in den Grafiken gelb bis orange dargestellt) auf. An Wand W07\_2 wurden Bohrmehlproben bei BP05 (h=0cm) und BP06 (h=20cm) in zwei Höhen bei negativem Potential entnommen. Bei beiden Bohrpunkten wurden stark erhöhte Chloridanreicherungen bis 6cm Tiefe festgestellt und Korrosion ist bei negativem Potential auch bis zu einer Höhe von 50cm wahrscheinlich. Die Sondierung bei BP05 bestätigt die chloridinduzierte Korrosion mit Querschnittsverlusten von bis zu 100%. Bei Prüfstelle BP07 an Wand W10, mit einem Messwert von -287mV im Übergangsbereich, wurden in 6cm Tiefe auch stark erhöhte Chloridanreicherungen festgestellt. Die Sondierung bestätigt Korrosion an der Bewehrung. Aufgrund dieser Erkenntnisse sind an diesen und den anderen Wandsockeln der Tiefgarage mit negativen Potentialen und Potentialen im Übergangsbereich Korrosionsprozesse auch bei höheren Betondeckungen bis 6cm Tiefe nicht auszuschließen.

Im Zuge der Sondierung bei BP 05 wurde chloridinduzierte Korrosion festgestellt. Bei der Sondierung bei BP 07 bei einer relativ hohen Betondeckung von 53mm waren Korrosionsspuren an der Bewehrung bei einem Chloridgehalt von 0,83M%/Zement vorhanden.

Die nachfolgenden Ergebnisse erläutern den Sachverhalt zusätzlich:

Prüfstelle BP05



BP 05  
 MW= -471 mV(CSE),  
 K=28 mm, BD c= 46 mm  
 A 0 - 20 = 1,89 %  
 B 20 - 40 = 2,2 %  
 C 40 - 60 = 0,88 %

Prüfergebnis / tabellarische Bewertung

Prüfstelle		Bauteil  Bauteilbezeichnung Lage optische Feststellungen Schädigung	Bohrmehl- beprobung			Potential CSE	Karbonatisierung	Betondeckung	Korrosionswahr- scheinlichkeit				
			Tiefe		Chlorid- gehalt	Potential	K	BD c	Chloride	Potential	K / BD c	Gesamt	
			von	bis									
Bez.	Nr.		Bez.	mm	mm	M%/Z	mV	mm	mm	++ hohe; + erhöhte; - keine			
BP	5	Wand,	A	0	20	1,89	-471	28	46	+	++	-	++
		W7,	B	20	40	2,20							
			C	40	60	0,88							
		hohe Korrosionswahrscheinlichkeit											
		chloridinduzierte Korrosion bestätigt, Lochfrass											

Bewehrung	Durchmesser Querschnitt	Betondeckung	Karbonatisierung	Korrosionsgrad	Querschnitts- verlust	Chloridgehalt in Höhe Bewehrung	Potential CSE	Korrosion		Korrosionsgefährdung infolge	
								chlorid- induziert	karbona- tisierungs- induziert	Chloride	K / BD c
Nr.	Ø mm	c mm	K mm	KG 0 - 4	Qv % / mm	Cl- M% / Z	mV	bestätigt		++ hohe; + erhöhte; - keine	
1	8	30	1	2	0	0,03	-321	Ja		-	-
2	8	34	1	1	0	0,03	-321			-	-

Fotodokumentation BP5 Sondierung / Bewehrungszustand





Prüfstelle BP06



BP 06  
 MW= -419 mV(CSE),  
 BD c= 53 mm  
 A 0 - 20 = 3,47 %  
 B 20 - 40 = 2,51 %  
 C 40 - 60 = 2,37 %

Prüfergebnis / tabellarische Bewertung

Prüfstelle		Bauteil  Bauteilbezeichnung Lage optische Feststellungen Schädigung	Bohrmehl- beprobung				Potential CSE	Karbonatisierung  K	Betondeckung  BD c	Korrosionswahr- scheinlichkeit			
			Tiefe			Chlorid- gehalt				Chloride	Potential	K / BD c	Gesamt
			Bez.	von	bis								
Bez.	Nr.		Bez.	mm	mm	M%/Z	mV	mm	mm	++ hohe; + erhöhte; - keine			
BP	6	Wand,	A	0	20	3,47	-419		53	++	++		++
		W7, h=20	B	20	40	2,51							
			C	40	60	2,37							
		hohe Korrosionswahrscheinlichkeit											
		auf 20cm Höhe sehr hohe Chloridanreicherung bis 6cm Tiefe											



Prüfstelle BP07



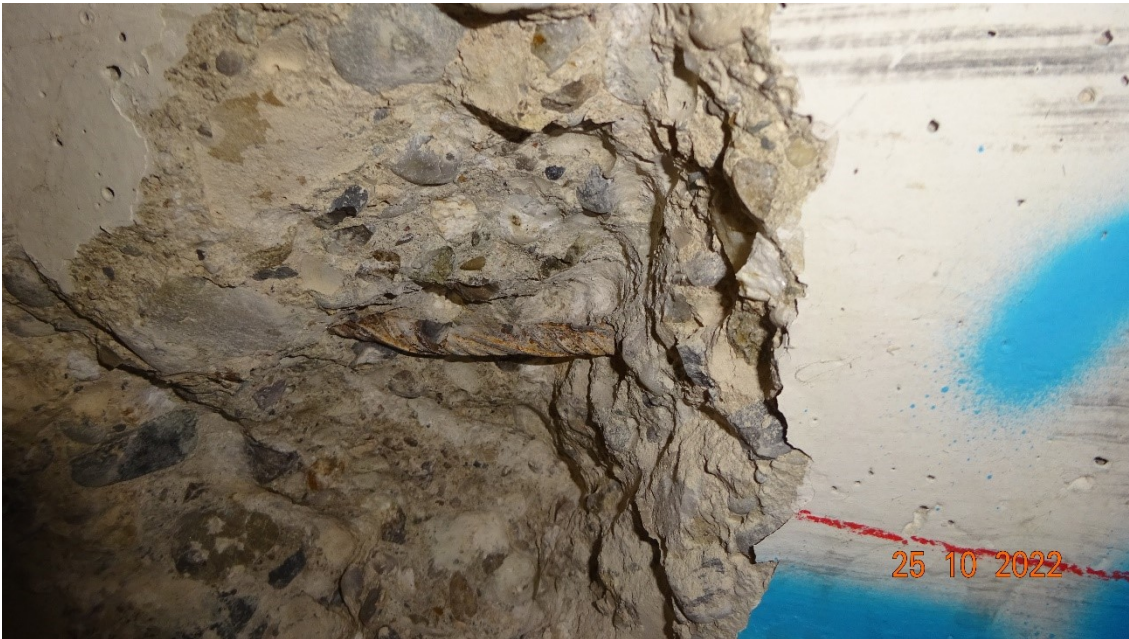
BP 07  
 MW= -278 mV(CSE),  
 K=33 mm, BD c= 53 mm  
 A 0 - 20 = 1,71 %  
 B 20 - 40 = 1,19 %  
 C 40 - 60 = 0,83 %

Prüfergebnis / tabellarische Bewertung

Prüfstelle		Bauteil  Bauteilbezeichnung Lage optische Feststellungen Schädigung	Bohrmehl- beprobung			Potential CSE	Karbonatisierung  K	Betondeckung  BD c	Korrosionswahr- scheinlichkeit				
			Tiefe		Chlorid- gehalt				Chloride	Potential	K / BD c	Gesamt	
			von	bis									
Bez.	Nr.		Bez.	mm	mm	M%/Z	mV	mm	mm	++ hohe; + erhöhte; - keine			
BP	7	Wand,	A	0	20	1,71	-278	33	53	+	+	-	++
		W10,	B	20	40	1,19							
			C	40	60	0,83							
		hohe Korrosionswahrscheinlichkeit											
		Korrosion bestätigt											

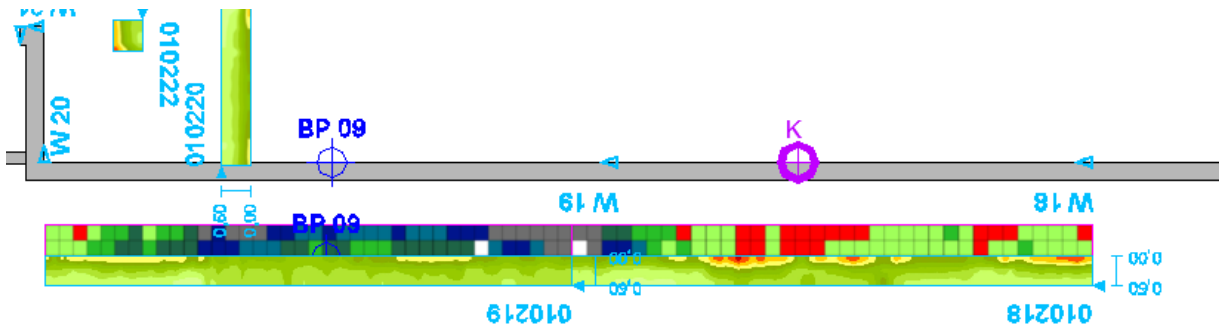
Bewehrung	Durchmesser Querschnitt	Betondeckung	Karbonatisierung	Korrosionsgrad	Querschnitts- verlust	Chloridgehalt in Höhe Bewehrung	Potential CSE	Korrosion		Korrosionsgefährdung infolge	
								chlorid- induziert	karbona- tisierungs- induziert	Chloride	K / BD c
Nr.	Ø mm	c mm	K mm	KG 0 - 4	Qv % / mm	Cl- M% / Z	mV	bestätigt		++ hohe; + erhöhte; - keine	
1	8	53	33	2	0	0,83	-278	JA geringe Korrosions- spuren		+	-

Fotodokumentation BP7 Sondierung / Bewehrungszustand



## 5.2.2 Wandsockel W18 und W19

### Planauszug



Die Wandsockel W18 und W19 zeigen teilweise negative auf Korrosion hinweisende Potentiale und Potentiale im Übergangsbereich im Fußbereich auf. In diesen Bereichen verhält es sich wie oben beschrieben. In den Bereichen mit edleren Potentialen ist chloridinduzierte Korrosion nicht wahrscheinlich. Bei geringen Betondeckungen kann es zu karbonatisierungsinduzierter Korrosion kommen (Mittelwert Karbonatisierung 31mm). Die Bohrmehlbeprobung bei BP09 bestätigt keine kritischen Chloridanreicherungen, oberflächlich sind die Chloride mit einem Wert 0,42% jedoch leicht erhöht.



BP 09  
 MW= -154 mV(CSE),  
 BD c= 3 mm  
 A 0 - 20 = 0,42 %  
 B 20 - 40 = 0,1 %  
 C 40 - 60 = 0,07 %

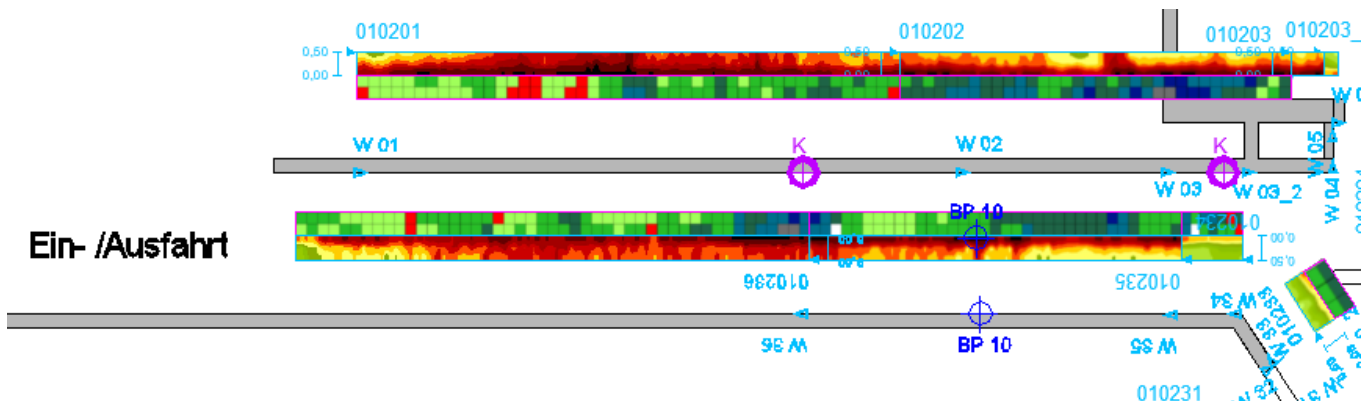
### Prüfergebnis / tabellarische Bewertung

Prüfstelle		Bauteil  Bauteilbezeichnung Lage optische Feststellungen Schädigung	Bohrmehl- beprobung				Potential CSE	Karbonatisierung  K	Betondeckung  BD c	Korrosionswahr- scheinlichkeit			
			Tiefe			Chlorid- gehalt				Chloride	Potential	K / BD c	Gesamt
			von	bis									
Bez.	Nr.		Bez.	mm	mm	M%/Z	mV	mm	mm	++ hohe; + erhöhte; - keine			
BP	9	Wand,	A	0	20	0,42	-154			3	-	-	
		W19,	B	20	40	0,10							
			C	40	60	0,07							
		keine / geringe Korrosionswahrscheinlichkeit											
		oberflächlich leicht erhöhte Chloridanreicherungen											

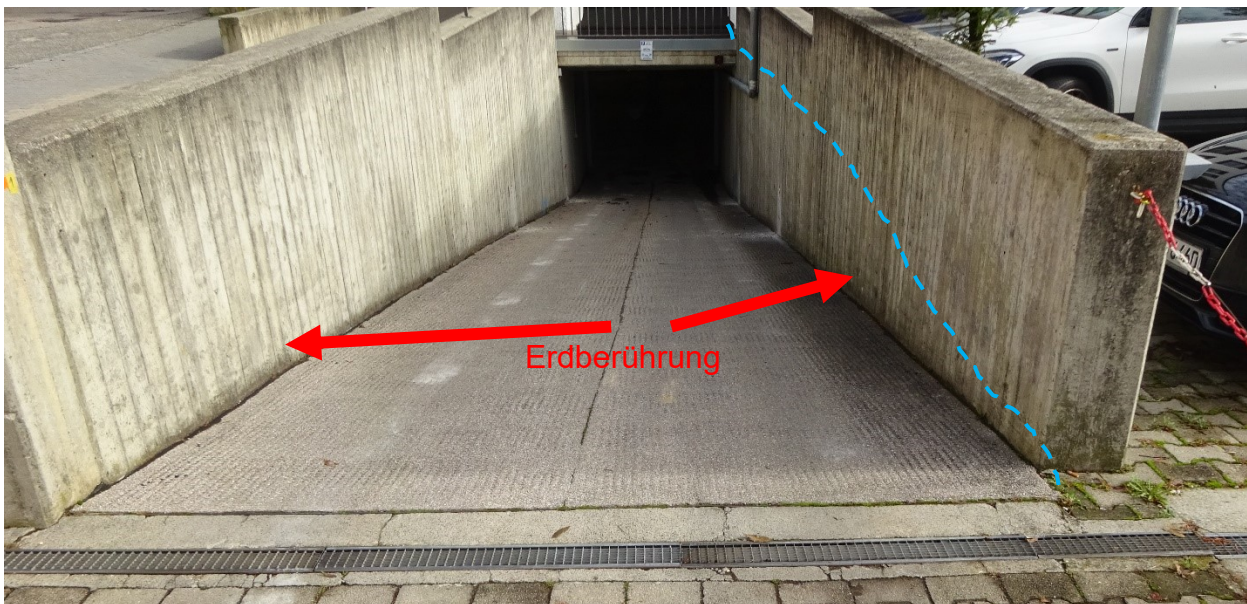


### 5.2.3 Rampensockel

#### Planauszug



Die Potentialfeldgrafiken der Rampensockel zeigen flächig negative auf Korrosion hinweisende Potentiale (in den Grafiken rot dargestellt) und Potentiale im Übergangsbereich (in den Grafiken gelb bis orange dargestellt) bis zu einer Höhe von 50cm auf. Die negativen Potentiale sind erfahrungsgemäß und entsprechend der Ergebnisse überwiegend auf die „rückseitige“ Erdberührung der Rampe und der Rampenwände (Fundamente) und weniger auf Korrosion infolge Chloridanreicherungen zurückzuführen (elektrolytischer Kontakt zu Erdreich, Zinkerder). Die Chloridgehalte bei BP 10 an der Rampenwand liegen bei 0,1M%/Zement und sind eindeutig als unkritisch einzustufen. Im Zuge der Instandsetzung sollte die Einschätzung in weiteren Bereichen, insbesondere mit Anzeichen von aufsteigender Feuchtigkeit, durch Bohrmehlbeprobungen überprüft werden, um den Korrosionsschutz sicherzustellen. Aufgrund der Betondeckung und der festgestellten Karbonatisierung lässt sich ebenfalls keine erhöhte Korrosionsgefährdung infolge der Karbonatisierung ableiten.



Prüfstelle BP10

Lage der Prüfstelle



BP 10  
 MW= -500 mV(CSE),  
 BD c= 28 mm  
 A 0 - 20 = 0,1 %  
 B 20 - 40 = 0,1 %  
 C 40 - 60 = 0,07 %

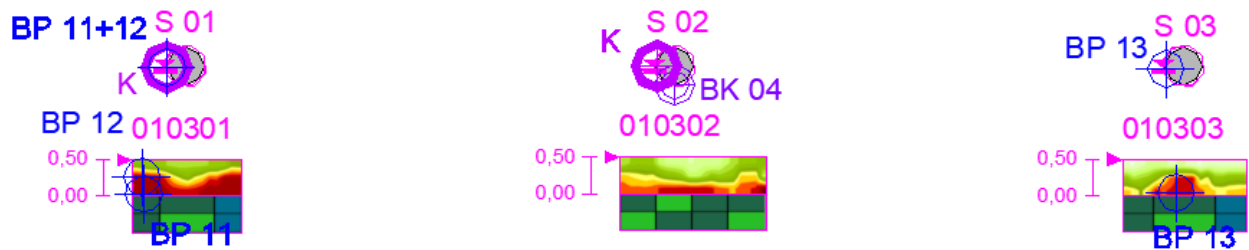
Prüfergebnis / tabellarische Bewertung

Prüfstelle		Bauteil  Bauteilbezeichnung Lage optische Feststellungen Schädigung	Bohrmehl- beprobung				Potential CSE	Karbonatisierung  K	Betondeckung  BD c	Korrosionswahr- scheinlichkeit			
			Tiefe			Chlorid- gehalt				Chloride	Potential	K / BD c	Gesamt
Bez.	Nr.		Bez.	von mm	bis mm		M%/Z	mV	mm				
BP	10		Wand,	A	0	20	0,10	-500		28	-	++	
		W35,	B	20	40	0,10							
			C	40	60	0,07							
		keine / geringe Korrosionswahrscheinlichkeit											
		Potential aufgrund Erdberührung Rampe											



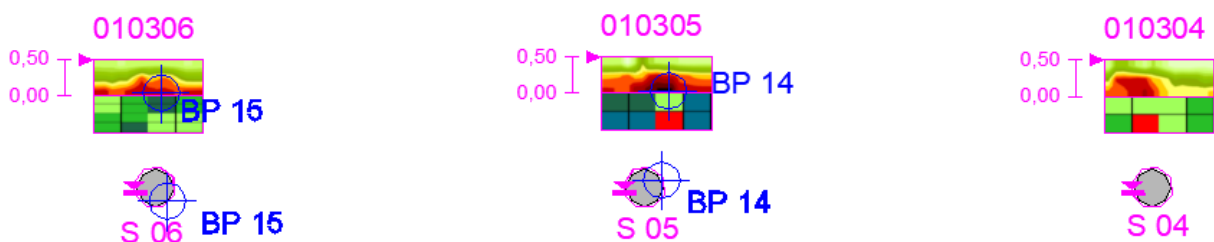
### 5.3 Stützensockel

#### Planauszug



Rinne

Rinne



#### Stützensockel Tiefgarage

An allen Stützensockeln sind flächig negative Potentiale (in den Plänen rot dargestellt) oder Potentiale im Übergangsbereich (in den Plänen gelb bis orange dargestellt) im Fußbereich vorhanden und deuten auf Korrosion hin. In den positiven Potentialbereichen (grün in den Plänen dargestellt) ist Korrosion nicht wahrscheinlich. Die Bohrmehlbeprobung bei BP11, BP13, BP14 und BP15 (negativer Messwert bzw. Messwert im Übergangsbereich, hohe / kritische Chloridgehalte) sowie BP12 (negativer Messwert in einer Höhe von 20cm, hohe / kritische Chloridgehalte bis 4cm) sowie die zwei Sondierungen bei BP11 und BP14 bestätigen diese Einschätzung der Korrosionsvorgänge anhand der Potentiale.

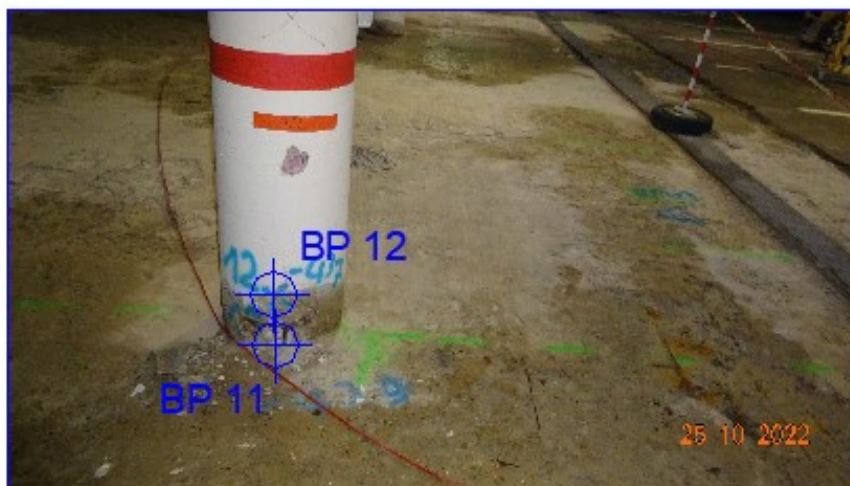
Siehe hierzu folgende Auszüge aus Anlage 4.

Prüfstelle BP11+12



**BP 12**

MW= -437 mV(CSE),  
 BD c= 29 mm  
 A 0 - 20 = 1,28 %  
 B 20 - 40 = 0,47 %  
 C 40 - 60 = 0,05 %



**BP 11**

MW= -437 mV(CSE),  
 BD c= 31 mm  
 A 0 - 20 = 1,58 %  
 B 20 - 40 = 1,42 %  
 C 40 - 60 = 0,98 %

**Prüfergebnis / tabellarische Bewertung BP12**

Prüfstelle		Bauteil  Bauteilbezeichnung Lage optische Feststellungen Schädigung	Bohrmehl- beprobung			Potential CSE	Karbonatisierung  K	Betondeckung  BD c	Korrosionswahr- scheinlichkeit				
			Tiefe		Chlorid- gehalt				Chloride	Potential	K / BD c	Gesamt	
Bez.	Nr.	Bez.	von mm	bis mm		M%/Z	mV	mm					mm
BP	12	Stütze,	A	0	20	1,28	-437		29	-	++		+
		S1, h=20	B	20	40	0,47							
			C	40	60	0,05							
		erhöhte / mittlere Korrosionswahrscheinlichkeit											
		erhöhte Chloridanreicherungen bis 4cm Tiefe											

# Prüfergebnis / tabellarische Bewertung BP11

Prüfstelle		Bauteil  Bauteilbezeichnung Lage optische Feststellungen Schädigung	Bohrmehl- beprobung			Potential CSE	Karbonatisierung  K	Betondeckung  BD c	Korrosionswahr- scheinlichkeit				
			Tiefe		Chlorid- gehalt				Chloride	Potential	K / BD c	Gesamt	
			von	bis									
Bez.	Nr.		Bez.	mm	mm	M%/Z	mV	mm	++ hohe; + erhöhte; - keine				
BP	11	Stütze,	A	0	20	1,58	-437		31	++	++		++
		S1,	B	20	40	1,42							
			C	40	60	0,98							
		hohe Korrosionswahrscheinlichkeit											
		chloridinduzierte Korrosion bestätigt, Lochfras											

Bewehrung	Durchmesser Querschnitt	Betondeckung	Karbonatisierung	Korrosionsgrad	Querschnitts- verlust	Chloridgehalt in Höhe Bewehrung	Potential CSE	Korrosion		Korrosionsgefährdung infolge	
								chlorid- induziert	karbona- tiserungs- induziert	Chloride	K / BD c
Nr.	Ø mm	c mm	K mm	KG 0 - 4	Qv % / mm	Cl- M% / Z	mV	bestätigt		++ hohe; + erhöhte; - keine	
1	8	31		4	40	1,42	-437	JA		++	
2	18	40		4	10	0,98	-437	JA		+	





**Prüfergebnis / tabellarische Bewertung BP13**



BP 13  
 MW= -278 mV(CSE),  
 BD c= 26 mm  
 A 0 - 20 = 1,69 %  
 B 20 - 40 = 2,32 %  
 C 40 - 60 = 2,52 %

**Prüfergebnis / tabellarische Bewertung**

Prüfstelle		Bauteil  Bauteilbezeichnung Lage optische Feststellungen Schädigung	Bohrmehl- beprobung			Potential CSE	Karbonatisierung  K	Betondeckung BD c	Korrosionswahr- scheinlichkeit				
			Tiefe		Chlorid- gehalt				Chloride	Potential	K / BD c	Gesamt	
Bez.	Nr.	Bez.	von mm	bis mm		M%/Z	mV	mm					mm
BP	13	Stütze,	A	0	20	1,69	-278		26	++	+		++
		S3,	B	20	40	2,32							
			C	40	60	2,52							
		hohe Korrosionswahrscheinlichkeit											
		sehr hohe Chloridanreicherungen bis 6cm Tiefe											

**Prüfergebnis / tabellarische Bewertung BP14**

BP 14  
 MW= -500 mV(CSE),  
 K=30 mm, BD c= 23 mm  
 A 0 - 20 = 3,07 %  
 B 20 - 40 = 1,37 %  
 C 40 - 60 = 0,84 %

Prüfstelle		Bauteil  Bauteilbezeichnung Lage optische Feststellungen Schädigung	Bohrmehl- beprobung				Potential CSE	Karbonatisierung	Betondeckung	Korrosionswahr- scheinlichkeit			
			Tiefe			Chlorid- gehalt	K	BD c	Chloride	Potential	K / BD c	Gesamt	
			von	bis	M%/Z								
Bez.	Nr.		Bez.	mm	mm	M%/Z	mV	mm	mm	++ hohe; + erhöhte; - keine			
BP	14	Stütze,	A	0	20	3,07	-500	30	23	++	++	++	++
		S5,	B	20	40	1,37							
			C	40	60	0,84							
		hohe Korrosionswahrscheinlichkeit											
		chloridinduzierte Korrosion bestätigt, Lochfrass											

Bewehrung	Durchmesser Querschnitt	Betondeckung	Karbonatisierung	Korrosionsgrad	Querschnitts- verlust	Chloridgehalt in Höhe Bewehrung	Potential CSE	Korrosion		Korrosionsgefährdung infolge	
								chlorid- induziert	karbona- tiserungs- induziert	Chloride	K / BD c
Nr.	Ø	c	K	KG	Qv	Cl-		bestätigt		++ hohe; + erhöhte; - keine	
	mm	mm	mm	0 - 4	% / mm	M% / Z	mV				
1	8	23	30	4	100	1,37	-500	JA		++	++
2	18	36	30	4	30	1,37	-500	JA		++	-





## 6. Hinweis

Die Untersuchungsergebnisse und Bewertungen wurden auf Grundlage des beauftragten Untersuchungsumfangs der Prüfungen und Messungen und nach den Bewertungsrichtlinien für Potentialfeldmessungen (siehe Abschnitt 7) getroffen.

Die abgeleitete Korrosionswahrscheinlichkeit und Korrosionsgefährdung beschreiben den Korrosionszustand zum Zeitpunkt der Untersuchung.



---

Michael Hornung

Schondra, 12.01.2023

## **7. Grundlagen und Literaturangaben**

- [1] Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: Merkblatt SIA 2006, „Durchführung und Interpretation der Potentialfeldmessung an Stahlbetonbauten“, Zürich Ausgabe 2013
- [2] DGZfP-Fachausschuss für Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen, Unterausschuss Korrosionsnachweis für Stahlbeton: Merkblatt B3 „Elektrochemische Potentialmessungen zur Detektion von Bewehrungsstahlkorrosion“, April 2008, überarbeitete Fassung
- [3] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton DAfStb: Anleitung zur Bestimmung des Chloridgehaltes von Beton, Heft 401, Beuth, Berlin/Köln 1989
- [4] Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz (SGK), Dr. F Hunkeler, Mai 1994, Zürich: Grundlagen der Korrosion und der Potentialfeldmessung bei Stahlbetonbauten.
- [5] Verein Deutscher Zementwerke e.V., Wolfgang Breit, Düsseldorf: Kritischer korrosionsauslösender Chloridgehalt –Sachstand und neuere Untersuchungen (erschieden in: Betontechnische Berichte - Concrete Technology Reports, 1998–2000)
- [6] ASTM C876 - 91 Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing, Steel in Concrete
- [7] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb): Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungsrichtlinie) Teil 1-4: Ausgabe Oktober 2001, Beuth Verlag, Berlin/Köln
- [8] Ungricht, Heidi: Wasserhaushalt und Chlorideintrag in Beton - Einfluss der Exposition und der Betonzusammensetzung, Dissertation ETH Zürich Nr. 15758, 2004.
- [9] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV) DBV-Merkblatt Parkhäuser und Tiefgaragen. Ausgabe 2010-09. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV).

## 8. Abkürzungen

### Abkürzungen (auch der Anlage)

K 01	Karbonatisierung Prüfstelle + Nr.
Q. - Verlust	Querschnittsverlust der Bewehrung in % des ursprünglichen Querschnitts
Pot.Mw. mV (CSE)	Potentialmesswert in Millivolt (Messwert - elektrochemisches Potential gegenüber der Kupfer/Kupfersulfat Referenzelektrode)
M%/Z.	Chloridgehalt in Masseprozent bezogen auf das Zementgewicht
Bst.	Betonstabstahl
UZ	Unterzug
SP	Stellplatz
FS	Fahrspurbereich der Parkebene
S	Stütze
h 5 cm	Prüfstelle 5 cm oberhalb Boden
Ro	Rost, Rostfahne
R	Riss
AP	Betonabplatzung
KG	Korrosionsgrad* 0 - 4

Tabelle zur Festlegung des Korrosionsgrades \*) Korrosionsgrad (gem. SIA 269/2)

Korrosionsgrad (KG)	Beschreibung bei Korrosion infolge karbonatisiertem Beton	Beschreibung bei Korrosion infolge von eingetragenen Chloriden	Beschreibung für metallische Hüll-rohre von Spann-gliedern
0	blank	blank	blank
1	wenige oberflächliche Rostpunkte	wenige oberflächliche Rostpunkte und -flecken	wenige oberfläch-liche Rostpunkte und -flecken
2	Rostflecken, lokal geringer Material- abtrag	viele Rostflecken, lokal geringer Materialabtrag	viele Rostflecken, lokale Perforation kann nicht aus- geschlossen werden
3	vollständig rostig mit geringem Material- abtrag (maximal Rippung abkorrodiert)	beginnender Lochfrass, Querschnittsver- minderungen $\leq 5\%$	perforiert
4	vollständig rostig mit deutlichen Mulden, (Angabe Querschnitts - verlusts in % des ursprünglichen Querschnitts)	Lochfrass mit deutlichen Querschnittsverminderungen , (Angabe Querschnitts- verlusts in % des ursprünglichen Querschnitts)	vollständig durch- oder wegkorrodiert