

# Untersuchungsbericht

Auftraggeber:

Die Autobahn GmbH des Bundes  
Niederlassung Rheinland-Krefeld  
Abteilung Hochbau  
Willy-brand-Platz 2  
47805 Krefeld

Gutachter:

SV Gero Hebeisen  
Welschenkamp 16, 47138 Duisburg  
Menzelstrasse 3, 14467 Potsdam  
Hainstraße 8, 35444 Biebertal

Objekt

Stützen  
Vorderseite Hallen  
Neersener Straße 9  
41564 Kaarst

## **Inhaltsübersicht**

- I. Gutachten
  - 1. Vorbemerkungen
    - 1.1. Rechtsgrundlagen
  - 2. Objektbeschreibung
  - 3. Veranlassung für die Untersuchung
  - 4. Untersuchungsdurchführung
    - 4.1 Untersuchungsergebnisse
      - 4.1.1 Karbonatisierungstiefe
      - 4.1.2 Betonüberdeckungsmessung
      - 4.1.3 Chloriduntersuchung
      - 4.1.4 Druckfestigkeitsprüfung
    - 4.2 Allgemeine Betonschäden
  - 5. Auswertung der Untersuchungsergebnisse
  - 6. Sanierungskonzept
- II. Schlussbemerkung
- III. Fotodokumentation
- IV. Grundriss

# **I. Gutachten**

## **1. Vorbemerkungen**

Nach der schriftlichen Beauftragung durch den Auftraggeber vom 15.03.2026, fand am 30.03.2026 die Probennahme und Begutachtung der Betonstützen an der Vorderseite der Hallen am oben genannten Objekt statt. Zweck dieser Begehung und Probenentnahme war die Ermittlung der Karbonatisierung, Chloridbelastung, Druckfestigkeit, Betonüberdeckung und eine punktuelle Schadensaufnahme.

Alle technischen Hilfsmittel und Verfahren standen dem Unterzeichner zur Verfügung. Trotzdem ist es innerhalb einer Schadensaufnahme nicht möglich, alle Bereiche und jede Stelle an dem Bauwerk zu messen. Daher ermittelte der Untersuchende visuell die am meisten geschädigten Stellen, um hier seine Untersuchung und Messungen durchzuführen. Somit ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, die höchsten negativen Werte und höchstbelastetsten Schadstellen zu ermitteln.

Die Untersuchung wurde im Rahmen der Beauftragung gewissenhaft durchgeführt, allerdings bleibt ein bestimmtes Restrisiko bestehen. Hierfür übernimmt der Unterzeichner keinerlei Haftung.

### **1.1 Rechtsgrundlagen**

Die durchgeführten Untersuchungen erfolgten in Anlehnung an folgende Rechtsgrundlagen:

- Verdingungsordnung für Bauleistungen, Teil B und C
- DIN 18349 Betonerhaltungsarbeiten
- DIN 18314 Spritzbetonarbeiten
- DIN 18364 Korrosionsschutzarbeiten
- DIN 1045 Tragwerke aus Beton, Stahl- und Spannbeton
- DIN 18540-F Abdichtung von Fugen im Hochbau
- Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)
- Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 524, 540, 907
- EN 206 08.97 Beton, Eigenschaften, Herstellung
- Verdingungsordnung für Bauleistungen, Teil B und C
- DIN 1164 Definition Zement
- DIN 4226 Betonzuschläge
- Richtlinien des Deutschen Ausschuss für Beton
- ZTV SIB
- ZTV RISS
- DAfStb – Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen

## **2. Objektbeschreibung**

Die Hallen sind in Betonskelettbauweise hergestellt. Die Pfeiler sind aus Beton, die Wände sind aus Mauerwerk. An den Pfeilern sind starke Betonschäden und Betonabplatzung ermittelt worden. Die Hallen sind in Benutzung. Die Pfeiler an der Vorderseite der Hallen ist durch Streusalze stark belastet. Die rückseitigen Pfeiler sind nicht belastet.

## **3. Veranlassung für die Untersuchung**

Zunächst muss man sich als Gutachter einen Überblick über den allgemeinen Zustand des Objektes und der zu untersuchenden Bereiche verschaffen. Der Nutzungszweck der Industriehallen hat sich seit seiner Erbauung wahrscheinlich nicht geändert.

An eindeutig geschädigten oder gefährdeten Stellen wurden dann genaue Untersuchungen durchgeführt.

Hierbei werden während der Untersuchung vor allem die Karbonatisierungstiefe, die Betondeckung der Bewehrung sowie die Betonfestigkeit überprüft. Wegen der Nutzung als Industriehallen mit einer Salzhalle in unmittelbarer Nähe besteht eine Gefährdung durch eingetragene Chloride. Deshalb wurde an allen Pfeilern eine Probe hinsichtlich der Chloridbelastung für eine Laborbestimmung entnommen und ausgewertet.

Die Notwendigkeit einer Sanierung ergibt sich erst innerhalb einer Untersuchung bei der durchzuführenden Schadensaufnahme und Schadensanalyse.

Aufgrund der Kenntnisse über Betontechnologie und seiner spezifischen Eigenschaft in Verbindung mit Stahl sowie mit Schadensursachen und Schadensdiagnose kann man den so genannten IST-Zustand eines Bauwerkes ermitteln und dessen SOLL-Zustand richtig definieren.

Weicht dann der IST-Zustand durch Schäden erheblich von dem SOLL-Zustand ab, so muss aufgrund der Schadensaufnahme und Schadensbeurteilung ein geeignetes Sanierungskonzept objektbezogen festgelegt werden. Damit werden nicht nur die bereits vorhandenen Schäden beseitigt, sondern auch der dauerhafte Schutz des Bauwerkes für zukünftige Schäden garantiert.

## **4. Untersuchungsdurchführung:**

### **Karbonatisierungsuntersuchung**

Herstellen von Ausbruchkanten mittels Stemmen. Auf die frische Ausbruchkante eine Phenolphthaleinlösung aufsprühen und anhand des Farbumschlags den Zementgehalt bestimmen.

### **Betonüberdeckungsuntersuchung**

Die zerstörungsfreie Messung der Betonüberdeckung der Bewehrung erfolgte mit einem Profometer und in Bereichen von bereits freiliegender Bewehrung.

### **Chloriduntersuchung**

Die Chloride sind zwar nur eine Gruppe von Schadstoffen, die Schäden an einem Stahlbetonbauwerk auslösen, da aber Schäden durch Chloride in der Praxis am häufigsten vorkommen, wird meist eine Bestimmung des Chloridgehaltes durchgeführt.

Der Verdacht auf Chloridverseuchung des Betons besteht immer, wenn starke Korrosionsschäden auftreten, ohne dass die Karbonatisierung bis zur Bewehrung vorgedrungen ist.

Für die Untersuchung muss an markanten Stellen Probematerial entnommen werden. Dieses sollte aus fein gestuften Tiefenschichten stammen, um den Konzentrationsverlauf des Chlorids unter der Oberfläche bestimmen zu können. Hierbei ist es wichtig den Tiefenbereich der obersten Bewehrungslage mit zu entnehmen. Wenn hier der Chloridgehalt von ca. 0,4 %, bezogen auf den Zementgehalt, überstiegen wird besteht akute Korrosionsgefahr.

Die Prüfung und Ermittlung des Chloridgehaltes erfolgt im Labor und ist in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt. Die Methode erfolgt mittels der ionenselektiven Elektrode.

Das Original des Untersuchungsergebnisses finden Sie in der Anlage.

### Druckfestigkeitsuntersuchung

Zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Beton im erhärteten Zustand gibt es nach DIN 1048, Teil 2, zwei Verfahren:

- zerstörendes Prüfverfahren
- zerstörungsfreies Prüfverfahren

Die zerstörungsfreie Messung der Druckfestigkeit des Betons erfolgt mit dem Rückprallhammer nach DIN EN 12504 Teil 2. Bei der Messung wird ein Bolzen mit definierter Kraft gegen die Betonoberfläche geschleudert. Aus der Intensität des Rückpralls kann auf die Festigkeit des Betongefüges rückgeschlossen werden. Um Einflüsse aus der Ungleichmäßigkeit der Betonoberfläche zu vermeiden, steht jeder angegebene Festigkeitswert für mindestens 10 Einzelprüfungen. Die zerstörungsfreie Messung der Druckfestigkeit ersetzt nicht die Prüfung der Betondruckfestigkeit nach DIN EN 12390 Teil 3 an Prüfkörpern. Die zerstörungsfrei bestimmte Druckfestigkeit kann für den Nachweis der Gleichmäßigkeit von Ortbeton sowie für die Darstellung von Bereichen oder Flächen geringer Güte oder für beschädigten Beton in Konstruktionen verwendet werden.

## 4.1 Untersuchungsergebnisse

### 4.1.1 Karbonatisierungsprüfung

Mess- stelle	Bauteil/ Lage	zusätzliche Angaben	Tiefe in cm	Farbumschlag nach: (in Sek.)				Anmerkungen
				1	3	5	0	
C 1	Pfeiler 1		2,0		x			Leichte Färbung
C 2	Pfeiler 2		2,0					Keine Färbung
C 3	Pfeiler 3		2,0					Keine Färbung
C 4	Pfeiler 4		2,0					Keine Färbung
C 5	Pfeiler 5		3,0	X				Starke Färbung
C 6	Pfeiler 6		3,0	X				Starke Färbung
C 7	Pfeiler 7		2,0					Keine Färbung
C 8	Pfeiler 8		2,0					Keine Färbung
C 9	Pfeiler 9		3,0					Keine Färbung

## Bestimmung der Karbonatisierungstiefe

An markanten Stellen wurde die Tiefe der karbonatisierten Schicht gemessen. Zur Bestimmung der Karbonatisierungstiefe verwendet man die relativ starke pH-Wertänderung. Dabei muss man nicht den genauen pH-Wert-Abfall in der Tiefe ermitteln, sondern nur den Schwellenwert von 9,5 bis 10, bei dem der Passivierungsbereich endet.

Zur Messung der Karbonatisierungstiefe benötigt man eine frische Bruchfläche im Beton, die sofort mit der Indikatorlösung 0,1 %ige Phenolphthalein-Lösung besprüht werden. In der oberen, bereits karbonatisierten Betonschicht mit niedrigem pH-Wert bleibt der Beton farblos, in den tieferen, noch nicht karbonatisierten, also ausreichend alkalischen Schichten färbt sich der Beton rotviolett. Dann wird der Abstand von der Oberfläche bis zur Verfärbung gemessen, d.h. der Bereich, der nicht verfärbt ist, ist karbonatisiert und wird als Karbonatisierungstiefe bezeichnet.



Beispiel 1 Schutz



Beispiel 2 Kein Schutz

Die Untersuchung an den Messstellen C 1, C 2, C 3, C 4, C 7, C 8 und C 9 zeigen keinen „natürlichen“ Schutz der Bewehrung durch die vorhandene niedrigen Alkalität. Ein „natürlicher“ Schutz der Bewehrung auf Grund der niedrigen Alkalität des Betons ist an diesen Messstellen nicht gegeben. Nur an den Messstellen C 5 und C 6 besteht ein „natürlicher Schutz“ der Bewehrung gegeben.

### 4.1.2 Betonüberdeckungsprüfung



Mess- stelle	Bauteil/ Lage	Tiefe mm
Ü 1	Pfeiler 1	21
Ü 2	Pfeiler 2	20

Ü 3	Pfeiler 3	<b>24</b>
Ü 4	Pfeiler 4	<b>25</b>
Ü 5	Pfeiler 5	<b>20</b>
Ü 6	Pfeiler 6	<b>26</b>
Ü 7	Pfeiler 7	<b>24</b>
Ü 8	Pfeiler 8	<b>25</b>
Ü 9	Pfeiler 9	<b>26</b>

**Die Messungen mit dem Profometer haben ergeben, dass die Hauptbewehrung im Mittel 20 bis 26 mm liegt und die Bügelbewehrung 15 bis 20 mm. Dies wurde auch an offenen Schadstellen mittels Messung kontrolliert.**

Die Kenntnis der realen Betondeckung eines Stahlbetonbauwerkes, die meist von der im Bewehrungsplan angegebenen Betondeckung abweicht, ist aus folgenden Gründen wichtig:

- Wenn noch keine Korrosionsschäden an der Bewehrung, d.h. keine Absprengungen der Betondeckung, zu sehen sind. Denn aufgrund dieser Kenntnis im Zusammenhang mit der Karbonatisierung und dem Alter des Bauwerkes kann in etwa abgeschätzt werden, wann die Karbonatisierungsfrost die oberste Bewehrungslage erreichen wird und ob vorbeugende Schutzmaßnahmen zutreffen sind.
- Wenn bereits Korrosionsschäden eingetreten sind, ohne bis jetzt Abplatzungen hervorgerufen zu haben. Denn die Messung gibt Aufschluss über mögliche Schadensursachen, wie z.B. zu geringe Überdeckung, schlechte Betonqualität und Hinweise auf mögliche Instandsetzungsmethoden.

An den Stellen, an denen es bereits zu Betonabsprengungen gekommen ist, lässt sich die Betondeckung direkt messen. An „schadensfreien“ Stellen müsste zur Messung der Betondeckung die Betonoberfläche aufgestemmt werden. Dies würde zu unnötigen Beschädigungen am Bauwerk führen, deshalb wird eine zerstörungsfreie Messung der Betonüberdeckung mit Hilfe eines magnet-induktiven Überdeckungsmessgerätes Profometer vorgenommen.

Die minimale Betonüberdeckung liegt zwischen 20 und 26 mm und entspricht somit nicht den Mindestüberdeckungsvorgaben der Regelwerke für Außenbauteile, daher sind nachträgliche Maßnahmen gemäß den Richtlinien für Instandsetzung von Betonbauwerken angeraten.

#### 4.1.3 Chloriduntersuchung

##### Quantitative Chloriduntersuchung

Entnahme- stelle	Bauteil/ Lage	Prüftiefe in cm	Chlorid bezogen auf den Zementgehalt	Einschätzung
CL 1	Pfeiler	2-4	<b>2,55</b>	Sehr stark belastet
CL 2	Pfeiler	2-4	<b>9,11</b>	Sehr stark belastet
CL 3	Pfeiler	2-4	<b>5,53</b>	Sehr stark belastet
CL 4	Pfeiler	2-4	<b>5,80</b>	Sehr stark belastet
CL 5	Pfeiler	2-4	<b>9,80</b>	Sehr stark belastet
CL 6	Pfeiler	2-4	<b>8,58</b>	Sehr stark belastet
CL 7	Pfeiler	2-4	<b>5,08</b>	Sehr stark belastet
CL 8	Pfeiler	2-4	<b>11,20</b>	Sehr stark belastet
CL 9	Pfeiler	2-4	<b>3,44</b>	Sehr stark belastet



Laborbericht siehe Anlage 1

### Chloridinduzierte Korrosion der Bewehrung

Schadstoffe, die am Bewehrungsstahl korrosionsauslösend bzw. –fördernd wirken, können ebenfalls durch die Poren des Betons eindringen und unabhängig von der Karbonatisierung zu einer Korrosion am Bewehrungsstahl führen.

Die hier bedeutendsten Schadstoffe sind die Chloride. Durch die Einwirkung von Chloriden wird die Passivschicht zerstört, obwohl der Stahl vollständig von dem alkalischen Milieu des Betons umgeben ist. Es kommt zur Lochfraßkorrosion oder auch bezeichnet als Narbenkorrosion (punktueller Angriff) am Stahl.

Chloride kommen sehr häufig durch das Streuen von Tausalzen an ein Bauwerk heran.

### Chloridinduzierte Korrosion ist sehr gefährlich!

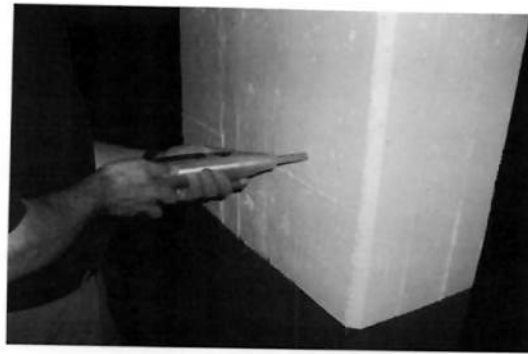
Die zulässige Höchstgrenze beträgt in Deutschland 0,4 Masse-% (prEN 206 Germany (1997))

Aufgrund des ermittelten Wert von 2,55 bis 11,20 Masse-% wird der Gesamtversalzungsgrad als **sehr stark belastet** eingestuft. **Dadurch sind dringende Maßnahmen hinsichtlich einer Chloridbelastung vorzunehmen.**

#### 4.1.4 Druckfestigkeitsprüfung

Messstelle	Bauteil/ Lage											Mittelwert
1	Pfeiler	30	40	35	40	40	45	35	40	30	40	37,50
2	Pfeiler	40	45	40	35	30	35	45	40	40	40	39,00
3	Pfeiler	45	40	35	30	40	30	35	30	35	45	36,50
4	Pfeiler	40	35	40	35	30	40	45	35	40	45	38,50
5	Pfeiler	45	40	40	35	35	40	40	30	35	35	37,50
6	Pfeiler	45	47	44	48	45	49	50	52	48	45	47,30
7	Pfeiler	44	46	47	45	50	53	51	49	47	46	47,80
8	Pfeiler	49	46	47	50	52	48	46	47	49	46	48,00
9	Pfeiler	47	48	49	46	50	47	45	50	47	48	47,70





## Referenzwerte

<i>vergleichbare Betonfestigkeitsklasse Mindestwert der Messstellenwerte <math>R_m</math></i>	<i>Alte Bezeichnungen</i>	<i><math>f_{ck}</math> N/mm<sup>2</sup></i>	<i>Messbereichswert <math>R_{m,m}</math></i>	<i>bzw. kleinster Wert aller <math>R_{m,m}</math></i>
C 8/10	B 10	8	26	30
C 12/15	B 15	12	30	33
C 16/20	-	16	33	35
C 20/25	B25	20	35	38
C 25/30	-	25	38	40
C 30/37	B 35	30	40	43
C 35/45	B 45	35	44	47
C 40/50	-	40	45	48
C 45/55	B 55	45	48	51
C 50/60	-	50		
C 55/67	B 65	55		
C 60/75	B 75	60		
C 70/85	B 85	70		
C 80/95	B 95	80		

Die Einschätzung, auf Grundlage der vor Ort durchgeführten Messungen, handelt es sich im Bereich der Pfeiler 1 bis 5 in den ungestörten Bereichen um einen C 20/ 30 und im Bereich der Pfeiler 6 bis 9 in den ungestörten Bereichen um einen C40/ 50.

## 4.2 Allgemeine Betonschäden

Viele Ursachen von Betonschäden entstehen durch Umwelteinflüsse und unsachgemäße Ausführung. Um die Ursachen von Betonschäden zu verstehen und zu erklären, sowie geeignete Mittel zur Beseitigung der Schäden zu finden und sie richtig einzusetzen, muss man sich mit Beton als Werkstoff und seiner Zusammensetzung auseinandersetzen.

Betonschädliche Stoffe sind:

- abschlämmbare Bestandteile, wie Lehm und Ton
- organische Verunreinigungen, Humussäure
- alle Stoffe, die Stahl angreifen, Nitrate, Chloride
- Sulfate, Schwefelverbindungen
- Alkalilösliche Kieselsäure

Der Beton besitzt eine hohe Druckfestigkeit, aber eine geringe Zugfestigkeit. Wegen diesem Mangel an Zugfestigkeit wurde der Stahlbeton entwickelt. Stahlbeton ist ein Verbundwerkstoff. Zur Aufnahme von Zug-, Schub- und Scherspannungen oder auch Druckspannungen werden Bewehrungsstäbe und Bewehrungsmatten in den Beton eingebettet. Somit funktioniert dieser Verbundwerkstoff Stahlbeton im Zusammenwirken dieser beiden Materialien; Beton zur Übernahme von Druckkräften und Stahl zur Übernahme von Zugkräften. Durch dieses Zusammenwirken werden die entstehenden Schnittkräfte aufgenommen.

Bei der Kombination zweier Baustoffe, spielt die thermische Ausdehnung eine große Rolle. Ein Vorteil hier bei dieser Kombination aus Beton und Stahl ist, dass beide etwa den gleichen Ausdehnungskoeffizienten haben und sich unter Temperatureinwirkung etwa gleich ausdehnen. Wegen diesem annähernd gleichen Ausdehnungskoeffizienten beider Stoffe werden die Tragfähigkeit und die Stabilität erhöht, außerdem findet keine Störung des Zusammenwirkens unter Temperatureinwirkung statt.

Die Bewehrung sichert die Bauteile gegen Ausknicken und verstärkt in druckbeanspruchten Bauteilen die Tragfähigkeit des Betonquerschnittes. Zudem führen die Stahleinlagen dazu, dass die im Stahlbeton unvermeidlichen Risse haarfein bleiben. Für die durch Dehnungsbehinderungen bei Temperaturänderungen, Schwinden und Kriechen auftretenden Risse, gilt dies insbesondere.

Vor Ort bei der Begehung und den Untersuchungen konnten zahlreiche Schäden durch Abplatzungen, hervorgerufen durch korrodierende Bewehrungsstäbe, aufgrund mangelnder Überdeckung, fortgeschrittener Karbonatisierungstiefe, sichtbaren Rostfahnen und Rissbildungen festgestellt werden.

### **Schadensursachen**

Der Beton ist ein Baustoff, der aufgrund seiner Zusammensetzung, seiner Struktur und seiner Oberfläche sehr witterungsbeständig und fast wartungsfrei ist. Dies trifft aber nur zu, wenn die geforderten Materialeigenschaften, die Herstellung und die Verarbeitung den DIN-Normen und den technischen Regeln entsprechen. Darüber hinaus kann es aber trotzdem zu Schäden kommen, obwohl alle Vorschriften eingehalten wurden, z.B. durch unvorhersehbare physikalische und chemische Einflüsse aus der Umgebung auf das Bauwerk.

Schlecht ausgeführter Beton, z. B. zu hohe Porosität und Verdichtungsmängel an der Oberfläche als Ursache, führen zu einem schnellen Fortschritt der Karbonatisierung in größeren Tiefen.

Weitere Schadensursachen können Frostschäden, Tausalzschäden, Aussinterungen, Ausblühungen, Verschleiß, Planungsfehler, Konstruktionsfehler, Ausführungsfehler usw. sein.

### **Ursachen für Betonoberflächenschäden in Bezug auf Bewehrungskorrosion**

#### **Korrosionsschutz von Bewehrungsstahl im Beton**

Der normale Bewehrungsstahl ist in der freien Atmosphäre nicht beständig, denn unter Einfluss von Feuchte (relative Feuchte > 60%) und Sauerstoff wandelt sich der Bewehrungsstahl in Rost um. Die Geschwindigkeit der Korrosion hängt wesentlich von dem pH-Wert der umgebenden Feuchte ab. Der Beton stellt mit seiner eigenen, hohen Alkalität einen natürlichen Korrosionsschutz für die eingebauten Bewehrungsstähle dar, obwohl Feuchtigkeit und Sauerstoff vorhanden sind.

## Aufhebung des Korrosionsschutzes der Bewehrung im Beton – Karbonatisierung

In der Atmosphäre befindet sich immer Kohlendioxid, dieses dringt durch die Betonporosität, Risse, Lunker und Kiesnester in den erhärteten Beton ein. Dadurch kommt es zur chemischen Reaktion im erhärteten Beton zwischen dem Kohlendioxid und dem Calciumhydroxid, wobei Calciumcarbonat entsteht.

Wenn das Calciumhydroxid verbraucht ist und keines mehr nachkommt, dann sinkt die Alkalität des Porenwassers, welche entscheidend für die Passivierung ist. Die Passivierung ist für den Schutz des Stahles vor Korrosion verantwortlich. Diesen Vorgang bezeichnet man als Karbonatisierung.

Der Grad der Karbonatisierung ist abhängig von:

- Bei Luftfeuchtigkeit zwischen 50 – 70 % relative Luftfeuchtigkeit ist der Karbonatisierungsfortschritt am größten
- Je höher die Festigkeit des Betons ist, desto geringer ist die Karbonatisierungsgeschwindigkeit, weil ein dichtes Gefüge mit wenig Poren das Eindringen von  $\text{CO}_2$  erschwert
- Von den Umweltbelastungen, d.h. von der atmosphärischen Schadstoffbelastung mit erhöhtem  $\text{CO}_2$  Gehalt z.B. Tiefgaragen

Der Fortschritt der Karbonatisierung in die Tiefe des Betons hängt von der Betongüte und dem Alter des Betons, bzw. des Bauwerkes, ab. Demnach hat die Qualität der Betonoberfläche einen entscheidenden Einfluss auf den Karbonatisierungsfortschritt, da durch ein dichteres Gefüge mit wenigen Poren das Kohlendioxid schwieriger eindringen kann.

Die Karbonatisierung beeinträchtigt nicht die Qualität des Betons, d.h. für den Beton besteht keine Gefahr durch Karbonatisierung, denn die physikalischen Eigenschaften wie Festigkeit und Dichtigkeit werden nicht verschlechtert. Anders dagegen bei Stahlbeton, da hier die Karbonatisierung eine Gefahr für die Bewehrung und somit auch für den Beton darstellt. Die Karbonatisierung ist also nicht der Korrosionsauslöser sondern ermöglicht nur die Korrosion des Bewehrungsstahles durch Aufhebung der Passivierung.

Die Bewehrung kann nur Rosten, wenn alle drei Einflussfaktoren (Aufhebung der Passivierung, Zutritt von Feuchtigkeit und Sauerstoff) zusammen einwirken.

Da durch die Bildung von Rost, das Eisen sein Volumen (1 : 2,5) vergrößert, wirkt die Korrosion der Bewehrung im Beton treibend. Bei starker Korrosion und geringer Betondeckung des korrodierenden Stahles kann es zu Abplatzungen des Betons kommen.

Die Korrosion des Stahles infolge Karbonatisierung kann vermieden werden, wenn:

- eine ausreichende Betonüberdeckung vorhanden ist.
- Eine dichte Betonoberfläche vorhanden ist, wodurch Sauerstoff und Wasser vom Bewehrungsstahl ferngehalten werden kann.

Bei normgerecht hergestelltem Beton schreitet die Karbonatisierung sehr langsam fort, d.h. in einem Zeitraum von 10 – 20 Jahren, je nach Betongüte, werden Tiefen von 10 mm – maximal 15 mm erreicht bis sie dann zum Stillstand kommt. Um den Korrosionsschutz der Bewehrungsstähle zu gewährleisten, fordert die DIN 1045 Mindestbetondeckung der Bewehrungsstähle, je nach Betongüte und Umweltbedingungen von 25 mm bis 50 mm. Auf diese Weise wird sicher gestellt, dass die Karbonatisierung den eingebauten Bewehrungsstahl nicht erreicht, so dass ein dauerhafter Korrosionsschutz für die Bewehrungsstähle besteht.

## **Betonkorrosion**

Unter Betonkorrosion versteht man eine Schädigung des erhärteten Betons durch Reaktionen mit Stoffen, die dem Beton von außen zugeführt werden. Hierbei gibt es lösende Angriffe und treibende Angriffe. Zu den lösenden Angriffen zählt man Angriffe durch Säuren, austauschfähige Salze, weiches Wasser und durch organische Fette und Öle. Unter treibende Angriffe versteht man Angriffe durch Schwefelsäure, Magnesiumsalze, Kalk und Magnesia und durch Alkalitreiben.

### **5.0 Auswertungen der Untersuchungsergebnisse**

Bei der Auswertung und Beurteilung der Ergebnisse an den untersuchten Betonflächen hat ergeben, dass die Bewehrung nach den Regelwerken nicht ausreichend von Beton überdeckt ist und dass die Karbonatisierung hinter der oberen Bewehrungslage ist. Dadurch ist zu gravierenden Betonschäden gekommen. Die Schadensentwicklung geht weiter, weil die Karbonatisierungstiefe mit der Zeit voranschreitet. Wegen der vorgefundenen Schäden und den weiter zu erwartenden Schäden sind hier dringend Maßnahmen erforderlich, die die Karbonatisierung bremsen, um weitere starke Betonschäden durch korrodierende Bewehrung zu vermeiden.

Die Laborauswertung zeigt deutlich, dass der Grenzwert 0,4 % für Stahlbeton gemäß europäischer Norm EN 206 08.97 hinsichtlich der Chloridbelastung in allen Proben weit überschritten ist. Dies bedeutet für das Sanierungskonzept eine Chloridbelastung berücksichtigen muss.

Zusätzlich ist die Betonüberdeckung der Bewehrung unterhalb der Anforderung der DIN 1045 und im Zusammenspiel mit der Karbonatisierung eine Gefährdung des Bauwerkes darstellt. In Bereichen, die nicht mehr durch die Passivierung geschützt sind, ist von einer erhöhten Verrostung der Bewehrung auszugehen.

Die Druckfestigkeit des Betons liegt im Normbereich bei der Annahme der gewählten Betongüte.

Damit ist die Untersuchung des Bauwerkes abgeschlossen. Die genaue Lage der durchgeführten Untersuchungen ist in den Plänen der Legende eingezeichnet.

### **6.0 Sanierungskonzept**

Die Betoninstandsetzung muss fachgerecht nach den Regeln der Technik und der anerkannten Normen bzw. Richtlinien erfolgen.

Alle zur Anwendung gebrachten Materialien müssen amtlich geprüft und zugelassen sein.

#### **Instandsetzungsprinzipien und Instandsetzungsmaßnahmen**

Grundsätzlich sind Instandsetzungsmaßnahmen für Betonschäden in den Richtlinien des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton zusammengefasst. Diese Richtlinie unterscheidet insgesamt zwischen vier unterschiedlichen Instandsetzungsprinzipien:

- Instandsetzungsprinzip R (Korrosionsschutz durch Wiederherstellung des alkalischen Milieus)
- Instandsetzungsprinzip W (Korrosionsschutz durch Begrenzung des Wassergehaltes im Beton)
- Instandsetzungsprinzip C (Korrosionsschutz durch Beschichtung der Bewehrung)
- Instandsetzungsprinzip K (Kathodischer Korrosionsschutz)

**Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse sowie der Schadensaufnahme ist eine Sanierung nach dem Instandsetzungsprinzip R in Verbindung mit dem Instandsetzungsprinzip W durchzuführen.**

Neben den Anforderungen des Instandsetzungsprinzip R sind auch die Anforderungen des Instandsetzungsprinzip W zusätzlich mitzubersichtigen und anzuwenden. Die Oberflächenschutzmaßnahmen müssen neben der Wiederherstellung des alkalischen Milieus auch die Reduzierung des Wassergehaltes im Beton erreichen, damit die elektrolytische Leitfähigkeit reduziert wird.

Das Instandsetzungsprinzip R zielt durch die Wiederherstellung des alkalischen Milieus darauf ab, die Passivschicht im Bereich der Bewehrung wiederherzustellen und damit dem Korrosionsprozess zu unterbinden. Durch die Wiederherstellung des alkalischen Milieus kann der durch die Auflösung des Bewehrungsstahls gekennzeichnete anodische Teilprozess unterbunden werden.

Die Absenkung des Wassergehaltes auf einen „kritischen“ Wassergehalt gemäß des Instandsetzungsprinzips W, z.B. durch das Aufbringen einer Beschichtung auf die Oberfläche der Stahlbetonbauteile, führt zu einer Vergleichsmäßigung und Begrenzung des Wassergehaltes und reduziert die elektrolytische Leitfähigkeit des Betons soweit, dass als Folge des vergrößerten elektrischen Widerstandes der Korrosionsstrom verkleinert wird und der Korrosionsvorgang verlangsamt wird oder sogar zum Stillstand kommt.

Die Dauerhaftigkeit von Stahlbetonbauteilen wird maßgeblich durch den Korrosionsschutz der Bewehrung mitbestimmt. Durch die Anwendung dieser beiden Instandsetzungsprinzipien wird die dauerhafte Stand- und Gebrauchstauglichkeit sichergestellt.

Die hier geplante Betoninstandsetzung hat ausschließlich die Aufgabe, die Stahlbetonkonstruktion zu erhalten und zu schützen. Statische Anforderungen werden hier nicht berücksichtigt.

### **3.1 Vorbeugender Betonschutz – INSTANDSETZUNGSPRINZIP W**

Der vorbeugende Betonschutz hat die Aufgabe, Schäden an noch intakten Oberflächen zu vermeiden. Das Abwehren der Schäden durch den vorbeugenden Betonschutz erreicht man durch das Auftragen von Oberflächenschutzsystemen, den sogenannten Beschichtungen. Diese vorbeugenden Beschichtungen behindern das Eindringen von flüssigen und gasförmigen korrosionsfördernden Stoffen, wie z.B. Kohlendioxid und in Wasser gelöste Chloride, in die Betonoberfläche.

Daher sind diese Beschichtungen immer dann vorzunehmen, wenn die Karbonatisierungsfront die Bewehrung zwar erreicht hat, es jedoch noch nicht zu erheblicher Korrosion der Bewehrung und den daraus resultierenden Betonabplatzungen gekommen ist. Auch bei den aufgrund von Ausführungsfehlern entstandenen Mängeln, in Form von mangelnder Überdeckung, hoher Porosität, Kiesnester, Lunker und der Gleichen, ist der vorbeugende Betonschutz in seiner Eigenschaft als Karbonatisierungsbremse von großer Bedeutung. Besonders wichtig jedoch ist der Einsatz von Oberflächenschutzsystemen bei Bauteilen, die einer besonders hohen Belastung durch angreifende Medien, wie z.B. Taumittel und chemische Industrie, ausgesetzt sind.

Bevor aber diese Beschichtungen aufgetragen werden können muss zunächst einmal die Betonoberfläche gründlich von Verunreinigungen, alten Farbanstrichen, mürben und losen Bestandteilen usw. gesäubert werden. Danach sind vorhandene Poren und Lunker mit Egalisierungsspachtel aufzufüllen und alle Unebenheiten bei zuspachteln. Um einen gleichmäßig saugenden Untergrund für die Deckbeschichtung zu erhalten, muss eine Grundierung der Oberfläche stattfinden. Erst dann kann die elastische Deckbeschichtung in zwei Arbeitsgängen aufgetragen werden.

### **3.2 Betoninstandsetzung – INSTANDSETZUNGSPRINZIP R**

Eine umfassende Betoninstandsetzung muss immer dann vorgenommen werden, wenn es bereits zu örtlichen Schäden gekommen ist, wie z.B. Betonabplatzungen, Korrosion der Bewehrung, Risse und Rostfahnen. Die Beseitigung dieser Schäden muss entsprechend auf das jeweilige Objekt, den Schadensgrad, die Umgebungsbedingungen und den gewünschten Zustand des Objektes nach der Instandsetzung abgestimmt werden.

Man kann grundsätzlich zwei Verfahren unterscheiden. Die punktuelle Ausbesserung einzelner Schadensstellen mit Reprofilierungsmörtel, auch Spachtelmethode genannt und die vollflächige Ausbesserung größerer zusammenhängender Schadensbereiche durch Aufspritzen neuer Betonschichten, dem so genannten Spritzverfahren.

Am untersuchten Objekt müssen nur die Schadstellen punktuelle saniert werden.

Eine Sanierung der Schäden, egal ob sie aufgrund der Spachtelmethode oder mittels Spritzverfahren erfolgen soll, setzt immer zunächst das Aufsuchen der Schadstellen voraus. Hierbei bieten die Abplatzungen der Betonüberdeckung, die das typische Schadensbild von Stahlbetonflächen sind, eine Orientierungshilfe. Aber auch Risse und Rostfahnen sind immer ein Indiz für noch nicht sichtbare Schadstellen, denn sie weisen auf dahinter liegenden verrosteten Stahl hin. Hat man alle Schadstellen ausfindig gemacht, heißt es alle mürben und losen Bestandteile bis auf den tragfähigen Beton zu entfernen. Danach müssen der Betonuntergrund an den Schadstellen auf den Aufbau mit Reparaturmörtel vorbereitet werden sowie die intakte Betonoberfläche auf die später folgenden Beschichtungen. Die Betonoberfläche wird mit mechanischen Verfahren, wie z.B. Sandstrahlen, Hochdruckstrahlen usw., gereinigt. Unabhängig davon, nach welcher Methode man nun weiter vorgeht, müssen nun die freigelegten Bewehrungsstähe entrostet werden.

Bei der punktuellen Ausbesserung mit Reparaturmörtel wird nun auf den blank gestrahlten Stahl eine zweifache Korrosionsschutzbeschichtung aufgetragen und eine Haftbrücke zwischen dem Altbeton und dem Reparaturmörtel hergestellt und im Anschluss daran mit dem Reparaturmörtel die Schadstelle oberflächenbündig herzustellen.

Anders dagegen verhält es sich bei der vollflächigen Ausbesserung durch das Spritzbetonverfahren, da hierbei das blanke Eisen vor dem Aufspritzen des Betons nicht zuvor mit einer korrosionsschützenden Beschichtung versehen werden muss, wenn die aufgetragene Schicht dicker als 4 cm ist. Hier wird sofort nach dem Entrosten eine mehrlagige Betonschicht gemäß DIN 18551 aufgespritzt. Weil diese Betonschicht aber sehr rau ist, muss anschließend noch ein Feinmörtelauftrag erfolgen, um die Oberfläche glatter zu gestalten. Die aufgespritzte junge Betonschicht ist dann vor dem Austrocknen durch intensive Nachbehandlung zu schützen.

Für das Spachtel- und Spritzverfahren gibt es verschiedene Instandsetzungssysteme. Die einzelnen Materialbausteine der Instandsetzungssysteme müssen genau aufeinander abgestimmt und untereinander verträglich sein.

#### **Betonuntergrundvorbehandlung und Stahloberflächenvorbehandlung**

Der erste Schritt bei einer Instandsetzungsmaßnahme ist immer der, die instandzusetzenden Betonoberflächen so vorzubereiten, dass zwischen dem aufzubringenden Instandsetzungssystem und der alten Betonfläche ein fester und dauerhafter Verbund erzielt wird. Denn ohne diesen Verbund kann keine Instandsetzung von Dauer sein.

Die Art der Untergrundvorbehandlung richtet sich nach Art und Umfang der durch die Schadensaufnahme festgestellten Schäden sowie der örtlichen Verhältnisse.

Folgende Anforderungen müssen an den Untergrund gestellt werden:

- keine losen und mürben Betonteile
- keine Verunreinigungen, z.B. Fette, Öle, Moose, Ausblühungen
- keine Reste von Altbeschichtungen und Zementschlämmen
- keine Reste von Schal- und Nachbehandlungsmitteln
- Keine Graten, die Fehlstellen in nachfolgenden Oberflächensystemen verursachen können
- Herstellen einer gewissen Rauigkeit und Saugfähigkeit zur Erzielung eines innigen Verbundes

### **Stemmen**

Gestemmt werden kann von Hand mit Hammer und Meißel, mit elektrischen Bohrhämmern oder mit Pressluftgeräten. Dabei beschränkt sich ihre Anwendung auf kleine örtliche Fehlstellen. So werden z.B. einzelne Abplatzungen über korrodierten Bewehrungsstäben, abzeichnende Bewehrungsnetze auf noch intakten Betonoberflächen, angekündigte Kantenabplatzungen, Hohlstellen sowie Kiesnester und alte Ausbesserungen von Hand abgestemmt. Beim Stemmen muss darauf geachtet werden, dass die Bewehrungsstäbe nicht beschädigt werden und bei Einsatz von elektrischen Bohrhämmern bei einem Rundherumfreilegen des Bewehrungsstabes den Verlauf der Eisen nicht zu verändern. Ebenfalls darf bei dem Rundherumfreilegen der Verbund zwischen Stahl und Beton in Nachbarbereichen nicht gestört werden und die Ausbruchsstellen sollten nach Möglichkeit immer 45° abgeschrägt werden und ein Auslaufen auf null immer vermieden werden.

### **Druckluftstrahlen mit festen Strahlmitteln**

Druckluftstrahlen mit festen Strahlmitteln. Hierbei wird das Strahlmittel mit Hilfe von Druckluft durch eine Düse auf die zu behandelnde Betonoberfläche geblasen.

Das Druckluftstrahlen eignet sich zum Entfernen loser Bestandteile, alter Beschichtungsreste, alter Farbanstriche, Zementschlämme und festhaftender Rostprodukte auf dem Stahl sowie zum Öffnen von Poren und Lunkern. Auch das Abtragen von schadhaftem Beton, das Freilegen der Bewehrung sowie das Aufrauen der Oberfläche sind mittels Sandstrahlen in Abhängigkeit vom Druck des verwendeten Baukompressors und der an die Wand geblasenen Strahlgutmenge möglich.

### **Hochdruckwasserstrahlen**

Bei dem sogenannten Hochdruckwasserstrahlen wird an der Düse ein Druck von 1000 bis 4000 bar erzeugt. Das Hochdruckwasserstrahlen eignet sich sehr gut zum flächigen Betonabtrag an vertikalen Flächen.

### **Freilegung der Bewehrungsstäbe und Abtrag der Betonoberfläche**

Die Tiefe des Betonabtrages richtet sich nach der Schadensursache und den dazu erforderlichen Maßnahmen. Denn das Entfernen des Altbetons wird bei vorhandenen Abplatzungen, Rissen, Hohlstellen usw. vorgenommen, nicht aber in den Bereichen, in denen der Beton nur karbonatisiert ist, aber noch kein Angriff auf die Bewehrung stattfand. Denn die Karbonatisierung selbst stellt keine Schädigung des Betons dar, d.h. karbonatisierter Beton mit ausreichender Festigkeit muss nicht entfernt werden, wenn sich darunter keine verrostete Bewehrung befindet. Hierbei muss aber beachtet

werden, dass der Rostschutz der Bewehrung ausschließlich von der abschließenden Außenbeschichtung abhängt.

Anders ist es im Falle einer Chloridbelastung, denn hier muss der Betonabtrag bis in nicht befallene Bereiche des Betons erfolgen oder es muss sogar ein Abriss des Bauteiles erfolgen, wenn der Beton durchgehend verseucht ist.

### **Vorbehandlung des Bewehrungsstahles**

Die Vorbehandlung der Bewehrungsstähle hat in der Regel mit dem Druckluftstrahlverfahren zu erfolgen wobei die Entrostung dem Normreinheitsgrad Sa 2,5 nach DIN 55928 entsprechen muss. Dieser Normreinheitsgrad bedeutet, dass der Stahl metallisch blank sein soll.

Nach dem die verrosteten Bewehrungsstähle alle freigelegt sind, sind diese nach dem Entrosten unverzüglich zu konservieren. Diese Konservierung erfolgt durch eine zweifache Korrosionsschutzbeschichtung, welche die Bewehrungsstähle vor weiterem Rost schützt.

### **Reparaturmaterialien zur Reprofilierung sowie zum Korrosionsschutz**

Die bei der Vorbehandlung des Untergrundes und dem Freilegen der korrodierten Bewehrungsstähle entstandenen Ausbruchflächen müssen nach dem Druckluftstrahlen der Stähle und dem Auftrag der Korrosionsschutzbeschichtung wieder ordnungsgemäß aufgebaut werden. Dazu gibt es spezielle Mörtel und Betone, die in Verbindung mit Haftbrücken, zur besseren Haftung zwischen Reparaturmörtel bzw. -beton und Altbeton, verwendet werden. Nach dem Ausbessern wird meist die gesamte Oberfläche gespachtelt bzw. geschlämmt, um dadurch die entstandenen Flickstellen optisch weniger hervortreten zu lassen und um die Oberfläche vor Angriffen zu schützen bzw. einen geeigneten Untergrund für nachfolgende Oberflächenschutzbeschichtungen zu schaffen.

### **Korrosionsschutz freigelegter Bewehrung**

Wenn die Bewehrung nach der Instandsetzung nicht durch ausreichende dichte und dicke Schicht eines Betons bzw. Mörtel (>5cm) gegen Korrosion geschützt ist, muss eine zusätzliche Korrosionsschutzbeschichtung erfolgen.

Bei dem Auftrag von Spritzbeton ist eine Korrosionsschutzbeschichtung, wenn die Beschichtungsdicke den Anforderungen nach ZTV-SIB entspricht, nicht nötig.

Die Korrosionsbeschichtungen lassen sich in zwei Hauptgruppen einteilen. Diese können Epoxidharzbeschichtungen (lösungsarm, lösemittelfrei und wasseremulgiert) oder kunststoffmodifizierte Zementschlämmen sein.

### **Haftbrücken**

Die Haftbrücke ist für die dauerhafte Verbindung zwischen Altbeton und Reparaturmörtel bzw. -beton von erheblicher Bedeutung. Um einen guten und dauerhaften Verbund herstellen zu können, muss sie tief in die Kapillaren des Altbetons eindringen und sich dort verankern. Außerdem muss sie die auftretenden Schubspannungen zwischen Altbeton und Reparaturmörtel bzw. -beton infolge Temperatur- und Feuchtedehnungen aufnehmen können. Deshalb muss die Abreißfestigkeit der



Haftbrücke auf dem Altbeton mindestens  $1,5 \text{ N/mm}^2$  betragen. Wenn dieser Wert nicht erreicht wird bzw. unterschritten wird, wirkt die Haftbrücke als Trennschicht.

### **Reprofilierungsmörtel bzw. -betone**

Diese Reparaturmörtel bzw. -betone lassen sich in drei Materialgruppen einteilen: zementgebundene Mörtel und Betone, kunststoffmodifizierte Zementmörtel und -betone und kunstharzgebundene Mörtel und Betone.

An die Reparaturmörtel werden hohe Anforderungen gestellt in Form von guter Verträglichkeit des Materials mit dem Untergrund, gute Haftung auf dem Untergrund, geringes Schwinden, hohe Dichtigkeit sowie leichte Verarbeitbarkeit. Ebenso sollen die thermischen Ausdehnungskoeffizienten und die mechanischen Eigenschaften dem Altbeton angepasst sein.

Bei der Auswahl der Mörtel ist besonders auf geringes Schwind- und Temperaturdehnverhalten zu achten, damit die auftretenden Eigenspannungen nicht zur Rissbildung im Reparaturmörtel führen und es auch nicht zu einer Ablösung des Reparaturmörtels in den Flankenbereichen des Altbetons kommen kann.

Die Reparaturmörtel auf Zementbasis können aber auch großflächig als zusätzliche Betondeckung aufgebracht werden. Hierbei übernehmen sie zunächst einmal die Funktion einer Schutzschicht, die das Eindringen von Schadstoffen behindert, zum anderen dienen sie als alkalische Pufferzone, die die Realkalisierung bereits karbonatisierter Zonen bewirkt. Für diesen großflächigen Reparaturmörtelauftrag verwendet man spritzbare zementgebundene Materialien mit und ohne Kunststoffzusatz.

### **Feinspachtel und Schlämme**

Nach der Aufmörtelung der Ausbruchsflächen heben sich diese optisch von der Betonoberfläche ab. Der Auftrag einer Spachtelmasse bzw. Schlämme dienen der kosmetischen Wiederherstellung der Betonoberfläche, damit die durch die Ausbesserungen entstandenen Strukturunterschiede beseitigt werden. Aber hauptsächlich auch für weitere Arbeitsgänge im Reparaturablauf kommt dem Feinspachtelauftrag hohe Bedeutung zu. Er dient nämlich dem Füllen von Poren und Lunkern vor dem nachfolgenden Auftrag einer Beschichtung. Würden die Poren und Lunker nicht verspachtelt werden, so würde an diesen Stellen bei der Beschichtung die Wahrscheinlichkeit des Entstehens von Fehlstellen erhöht werden. Diese Fehlstellen würden ein weiteres Eindringen von Schadstoffen und eine Hinterwanderung der Beschichtung mit Wasser ermöglichen, wodurch es dann zu Blasenbildungen und Abplatzungen der Beschichtung kommen könnte.

Eine vollflächige Spachtelung sorgt für einen ebenen, gleichmäßig saugenden Untergrund. Unter rissüberbrückenden Beschichtungen ist eine vollflächige Spachtelung unverzichtbar, damit eine gleichmäßige Rissüberbrückung garantiert werden kann.

Die kunststoffmodifizierte Spachtelmasse behindert aufgrund ihres erhöhten Kunststoffgehaltes die Diffusion von Schadstoffen, somit stellt sie einen zusätzlichen Korrosionsschutz dar. Jedoch reicht der Auftrag der Spachtelmasse keinesfalls aus, um einen ausreichenden Korrosionsschutz über freiliegender Bewehrung darzustellen.

Anders dagegen ist es mit marktüblichen Schlämmen. Nach einem Auftrag von Schlämmen kann ein Farbanstrich erfolgen, ein weiteres Oberflächenschutzsystem ist nicht mehr notwendig, da diese Schlämme dem darunter liegenden Beton ausreichend Schutz vor angreifenden Medien bieten.

## **Betonoberflächenschutzsysteme**

Oberflächenschutzsysteme haben neben der Aufgabe, das reparierte Bauwerk wieder in einem optisch ansprechenden Zustand zu versetzen auch eine ganz wesentliche Schutzfunktion zur Erhaltung der Betonbauteile zu erfüllen: Sie sollen auf der einen Seite eine Sperre gegen eindringendes Wasser und Schadgase darstellen, um die erneute Karbonatisierung instandgesetzter Bauteile zu verhindern und ein Sauberhalten der Oberfläche erleichtern, auf der anderen Seite die Austrocknung des Betons bzw. die Wasserdampfdiffusion von innen nach außen möglichst nicht behindern.

### **Spritzverfahren**

Spritzbeton wird verwendet, wenn die auszubessernden Flächen sehr groß sind und das Spachtelverfahren unwirtschaftlich wäre. Zum anderen kommt das Spritzbetonverfahren bei der Verstärkung von Stahlbetonkonstruktionen zum Einsatz, weil der Spritzbeton tragende Funktionen übernehmen kann.

Verstärkungsmaßnahmen können notwendig werden bei Eingriffen in tragende Konstruktionsteile z.B. wie Stützen, bei Änderung der Nutzung oder wenn aus anderen Gründen Anlass besteht an der vollen Tragfähigkeit der Konstruktion zu zweifeln.

Grundsätzlich ist Spritzbeton normaler Beton nach DIN 1045. Darüber hinaus gelten beim Einsatz von rein zementgebundenen Materialien für große Flächen als Spritzbeton DIN 18551 sowie die Richtlinien für die Ausbesserung und Verstärkung von Betonbauteilen mit Spritzbeton, herausgegeben vom Deutschen Ausschuss für Stahlbeton.

Die zu sanierenden Auftragsflächen müssen hinsichtlich der Haftung im Sandstrahlverfahren gereinigt und die verrostete Bewehrung entrostet werden. Eine Korrosionsschutzbeschichtung ist bei dem Spritzbetonverfahren nicht notwendig, da allein durch den Spritzbeton der Rostschutz sichergestellt ist.

### **3.3 Sanierungsempfehlung**

Aufgrund der grundsätzlichen Untersuchungsergebnisse ist eine klassische Betoninstandsetzung fachgerecht durchzuführen.

Für eine Dauerhaftigkeit von Stahlbetonbauteilen ist der Korrosionsschutz der Bewehrung maßgeblich.

Der Unterzeichner empfiehlt eine qualifizierte Fachfirma mit den erforderlichen Nachweisen, wie z.B. S.I.V.V., um sicherzustellen, dass alle Betonschäden fachgerecht und vollständig saniert.

#### **Empfohlene Sanierungsmaßnahmen:**

- Baustelleneinrichtung
- Schutzmaßnahmen
- Betonflächen mittels Druckluftstrahltechnik reinigen
- Kartierung der Schadstellen
- Punktuelle Betonsanierung
- Stemmen
- Bewehrung entrosten
- Korrosionsschutz der Bewehrung

- Reprofilierung der Schadstellen
- Kantenschalung und Kantenausbildung
- Aufbringen eines Kratz- und Egalisierungsspachtels
- Aufbringen einer rissüberbrückenden Beschichtung – Oberflächenschutzsystems
- Unterer Bereich Pfeiler abbauen
- Einbau neue Bewehrung
- Schalung
- Einbau Spritzmörtel

## II. Schlussbemerkungen

**Zusammenfassend ist dringend eine Sanierung der Betonkonstruktion nach den Vorgaben des Unterzeichners vorzunehmen.**

Da der Prozess der Korrosion keineswegs abgeschlossen ist, denn die Zerstörung des Stahls durch Chloridbelastung und Karbonatisierung läuft kontinuierlich weiter, so dass die Gefahr besteht, dass früher oder später die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit nicht mehr gegeben ist.

Da die Karbonatisierungstiefe bereits die oberste Bewehrung erreicht hat, sind optisch sehr viele Schäden feststellbar gewesen. Wenn die Karbonatisierung fortschreitet und die nächsten Bewehrungslagen erreicht und der Schutz weiter aufgehoben wird, dann kommt es überproportional zu weiteren Betonschäden. Dadurch wäre der Sanierungsaufwand und die damit verbundenen Kosten deutlich höher.

Die Laborauswertung zeigt deutlich, dass der Grenzwert 0,4 % für Stahlbeton gemäß europäischer Norm EN 206 08.97 hinsichtlich der Chloridbelastung in allen Proben weit überschritten ist. Dies bedeutet für das Sanierungskonzept eine Chloridbelastung dringend berücksichtigt werden muss.

**Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse sowie der Schadensaufnahme ist eine Sanierung nach dem Instandsetzungsprinzip R durchzuführen.**

Neben den Anforderungen des Instandsetzungsprinzip R sind auch die Anforderungen des Instandsetzungsprinzip W zusätzlich mitzubерücksichtigen und anzuwenden.

Nach den Instandsetzungsrichtlinien des DAfStb ist ab einem Wert von 0,50 Masse-% ein sachkundiger Planer hinzuziehen und die Betonsanierung ist durch einen Sachverständigen zu betreuen und zu kontrollieren. Hierzu steht Ihnen der Unterzeichner jederzeit gerne zur Verfügung.

Die gesamten Aussagen beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Bereiche und die erforderliche Betoninstandsetzung, es werden in diesem Untersuchungsbericht keinerlei Aussagen über die Tragfähigkeit des Bauwerkes oder der notwendigen statischen Ertüchtigungen der Konstruktion getroffen.

Die Aussagen in diesem Gutachten beschränken sich auf den Untersuchungszeitraum und auf die untersuchten Schadensbereiche.

Potsdam, den 10.04.2026



### III. Fotodokumentation

1. Gebäudeansicht
2. Gebäudeansicht
3. Ansicht Pfeiler 1
4. Ansicht Pfeiler 1
5. Ansicht Pfeiler 2
6. Ansicht Pfeiler 2
7. Ansicht Pfeiler 2
8. Ansicht Pfeiler 3
9. Ansicht Pfeiler 3
10. Ansicht Pfeiler 3
11. Ansicht Pfeiler 4
12. Ansicht Pfeiler 4
13. Ansicht Pfeiler 4
14. Ansicht Pfeiler 5
15. Ansicht Pfeiler 5
16. Ansicht Pfeiler 5
17. Ansicht Pfeiler 6
18. Ansicht Pfeiler 6
19. Ansicht Pfeiler 6
20. Ansicht Pfeiler 6
21. Ansicht Pfeiler 7
22. Ansicht Pfeiler 7
23. Ansicht Pfeiler 7
24. Ansicht Pfeiler 7
25. Ansicht Pfeiler 8
26. Ansicht Pfeiler 8
27. Ansicht Pfeiler 8
28. Ansicht Pfeiler 8
29. Ansicht Pfeiler 9
30. Ansicht Pfeiler 9
31. Ansicht Pfeiler 9
32. Pfeiler 1 Karbonatisierung
33. Pfeiler 1 Karbonatisierung
34. Pfeiler 1 Karbonatisierung
35. Pfeiler 1 Karbonatisierung
36. Pfeiler 1 Karbonatisierung
37. Pfeiler 2 Karbonatisierung
38. Pfeiler 2 Karbonatisierung
39. Pfeiler 2 Karbonatisierung
40. Pfeiler 2 Karbonatisierung
41. Pfeiler 3 Karbonatisierung
42. Pfeiler 3 Karbonatisierung
43. Pfeiler 3 Karbonatisierung
44. Pfeiler 3 Karbonatisierung
45. Pfeiler 3 Karbonatisierung
46. Pfeiler 4 Karbonatisierung
47. Pfeiler 4 Karbonatisierung
48. Pfeiler 4 Karbonatisierung
49. Pfeiler 4 Karbonatisierung

- 50. Pfeiler 5 Karbonatisierung
- 51. Pfeiler 5 Karbonatisierung
- 52. Pfeiler 5 Karbonatisierung
- 53. Pfeiler 5 Karbonatisierung
- 54. Pfeiler 6 Karbonatisierung
- 55. Pfeiler 6 Karbonatisierung
- 56. Pfeiler 6 Karbonatisierung
- 57. Pfeiler 6 Karbonatisierung
- 58. Pfeiler 7 Karbonatisierung
- 59. Pfeiler 7 Karbonatisierung
- 60. Pfeiler 7 Karbonatisierung
- 61. Pfeiler 7 Karbonatisierung
- 62. Pfeiler 8 Karbonatisierung
- 63. Pfeiler 8 Karbonatisierung
- 64. Pfeiler 8 Karbonatisierung
- 65. Pfeiler 8 Karbonatisierung
- 66. Pfeiler 9 Karbonatisierung
- 67. Pfeiler 9 Karbonatisierung
- 68. Pfeiler 9 Karbonatisierung
- 69. Pfeiler 9 Karbonatisierung
- 70. Pfeiler 9 Karbonatisierung
- 71. Betonwand
- 72. Betonwand
- 73. Betonwand
- 74. Betonwand
- 75. Betonwand
- 76. Betonwand
- 77. Betonschäden
- 78. Betonschäden
- 79. Betonschäden
- 80. Betonschäden
- 81. Betonschäden
- 82. Betonschäden
- 83. Betonschäden

## **IV. Zeichnung**

CL 1 = Probenentnahme, Chloriduntersuchung

C 1 = Karbonatisierung