Ingenieurgesellschaft der Bauwerkserhaltung mbH
Bad Waldsee · Kempten

Firmensitz:
Robert-Bosch-Straße 9
88339 Bad Waldsee
Telefon: 07524 9726-40
Telefax: 07524 9726-49
Email: info@igb-sued.de

Zweigniederlassung Kempten
Wartenseestraße 6
87435 Kempten
Telefon 0831 52153-0
Telefax 0831 52153-20

In Kooperation mit:
AGP

Untersuchungsbericht

Zustandsbeschreibung – Schadensanalyse

Projekt:	B10612 Stützbauwerk BW 7524527 Sonderbucher Steige Blaubeuren
Auftraggeber:	Landratsamt Alb-Donau-Kreis Fachbereich Straßen Schillerstraße 30, 89077 Ulm
Fertigung:	1
Bearbeiter:	Marco Haußmann, B.Eng. Dipl.-Ing. (FH) Matthias Fischer, MBA
Datum:	07.06.2022

aufgestellt:

Ingenieurgesellschaft der Bauwerkserhaltung mbH
Robert-Bosch-Straße 9
88339 Bad Waldsee

RAL GÜTEZEICHEN
Planung der Instandhaltung Betonbauwerke

Inhaltsverzeichnis

1. AUFTRAG UND GRUNDLAGEN 3

1.1 BAUBESCHREIBUNG 3

2. BAUWERKSUNTERSUCHUNG 5

2.1 ZUSTANDSBESCHREIBUNG 5
2.2 BETONTECHNOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN 10
2.3 ÜBERBLICK PRÜFSTELLEN 11
2.4 BAUTEILÖFFNUNGEN 12
2.5 SONDIERÖFFNUNG 13
2.6 BETONDECKUNG 15
2.7 CHLORIDGEHALT 18
2.8 OBERFLÄCHENZUGFESTIGKEIT 19
2.9 BETONDRUCKFESTIGKEIT 22
2.10 BOHRKERNENTNAHME 23
2.11 BELAGSÖFFNUNGEN 25
2.12 SCHADSTOFFGEHALT BESCHICHTUNG 26

3. BEWERTUNG UND SCHADENSANALYSE 27

3.1 GEWÖLBE/ STÜTZWÄNDE 27
3.2 STÜTZEN 27
3.3 BRÜSTUNG 28
3.4 FAHRBAHN 28

4. ERKLÄRUNG 29

5. ANHANG 30

A1. PRÜFPLAN 30
A2. SCHADENSURSACHE KARBONATISIERUNG 31
A3. SCHADENSURSACHE CHLORIDE 32
A4. EINORDNUNG ALTBETONKLASSEN 33
A5. ERGÄNZENDE BILDER 34
A6. SCHADSTOFFE 37
A7. VERWENDETE REGELWERKE 38

1. Auftrag und Grundlagen

Die Ingenieurgesellschaft der Bauwerkserhaltung mbH wurde vom Landratsamt Alb-Donau-Kreis beauftragt, das obere Stützbauwerk der Sonderbucher Steige (BW 7524 527) auf dessen Erhaltungszustand zu prüfen.

1.1 Baubeschreibung

Bei dem in den Jahren 1894 und 1895 errichteten Bauwerk handelt es sich um ein Stützbauwerk entlang der Sonderbucher Steige in Blaubeuren, welche die Kernstadt mit dem Stadtteil Sonderbuch verbindet. Das Bauwerk ist dabei mit Aussteifungsstützen/ Stützwände und abschnittweise mit Gewölben zwischen den Stützen versehen. Das Stützbauwerk besteht aus unbewehrtem Kalk-Splittbeton und wurde nachträglich mit einer Spritzbetonschale versehen. Bei diesem Bauwerk wurden nachträglich zwei Stahlbetonstützen Stützen zur Ertüchtigung verbaut. Das Bauwerk wurde laut Bauwerksbuch in die Brückenklasse 30 nach DIN 1072 eingeordnet. Ein entsprechender statischer Nachweis hierzu liegt nicht vor.

Abbildung 1: Lageplan Stützbauwerk Sonderbucher Steige *© Google Earth Pro*

Abbildung 2: Ansicht Bauwerk

Abbildung 3: Ansicht Gewöbe

2. Bauwerksuntersuchung

Um eine Einschätzung über den Erhaltungszustand und den notwendigen Instandsetzungsaufwand des Bauwerks treffen zu können, wurde am 02. und 03. März 2022 seitens der Ingenieurgesellschaft der Bauwerkserhaltung mbH eine Objektbezogene Schadensanalyse (OSA) durchgeführt.

Die Untersuchung bestand aus einer visuellen Überprüfung, bei der augenscheinliche Mängel und Schäden festgestellt und in einer Zustandsbeschreibung dokumentiert wurden. Des Weiteren fand eine technische Untersuchung statt, bei der Bauteilöffnungen und Betondeckungsmessungen durchgeführt sowie Bohrmehlproben und Bohrkerne für weitere Laboruntersuchungen entnommen wurden.

2.1 Zustandsbeschreibung

Die nachfolgenden Schäden ergänzen den Prüfbericht der letzten Bauwerksprüfung. Alle weiteren Schäden sind aus dem Prüfbericht der Bauwerksprüfung zu entnehmen.

Belag:

- Risse
- Absackungen

Stützwand/ Gewölbe:

- Zahlreiche Risse
- Abplatzungen, mehrfach
- Aussinterungen, mehrfach

Brüstung:

- Zahlreiche Risse
- Beschichtung schadhaft

Die aufgeführten Eindrücke und Feststellungen sind in der folgenden Fotodokumentation exemplarisch dargestellt.

	Abbildung 4: **Stützwand** • Riss
	Abbildung 5: **Stützwand** • Ausbruch • Frostschaden

	Abbildung 6: **Gewölbe** • Aussinterungen
	Abbildung 7: **Stützwand** • Aussinterungen
	Abbildung 8: **Brüstung** • Brüstung gerissen

	Abbildung 9: **Brüstung** • Fuge Schadhaft
	Abbildung 10: **Brüstung** • Beschichtung schadhaft
	Abbildung 11: **Stütze** • Rostfahnen

	Abbildung 12: **Stützwand** • Aussinterungen
	Abbildung 13: **Belag** • Rissig
	Abbildung 14: **Belag** • Absackung im Bereich des Ablaufs

2.2 Betontechnologische Untersuchungen

Für eine zielgerichtete Bauwerksdiagnostik ist ein breites Spektrum an zerstörungsfreien und zerstörenden Untersuchungs- und Prüfmethoden notwendig. Um eine Aussage über Schädigungsgrad und voraussichtliche Lebensdauer treffen zu können, wurde auf Basis der Bauzustandsuntersuchung eine objektspezifische Auswahl geeigneter Probenahme- bzw. Prüfmethoden für das Bauwerk erarbeitet.

Folgende Untersuchungsmethoden wurden bei der technischen Untersuchung angewendet:

- Bauteilöffnungen
- Ermittlung der Karbonatisierungstiefe
- Betondeckungsmessung mittels Ferroscan
- Ermittlung von Chloridgehalten in 3-Tiefenstufen (2cm/4cm/6cm)
- Ermittlung der Haftzugfestigkeit
- Bohrkernentnahme
- Belagsöffnungen

Die Prüfungen wurden gemäß der RiLi-SIB [1] bzw. der DIN EN 12504 [5] durchgeführt und hinsichtlich der potentiellen Schadensursache und des Schadensumfanges qualitativ und quantitativ ausgewertet. Die Ergebnisse der Auswertung sind im weiteren Verlauf des Untersuchungsberichts aufgelistet. Die exakte Lage der Prüfstellen ist im Prüfplan (siehe Anhang A1) dokumentiert.

2.3 Überblick Prüfstellen

Prüfstelle	Ort	Bauteilöffnung	Karbonatisierung	Chloridgehalt	Druckfestigkeit	Bohrkernentnahme	Belagsöffnung	Abreißfestigkeit
Cl1	Stütze			x				
Cl2	Stütze			x				
Hz1	Brüstung							x
Hz2	Brüstung							x
BK1	Stütze				x	x		
BK2	Gewölbe					x		
S1	Stütze	x	x					
B1	Brüstung	x						
B2	Brüstung							
Ö1	Fahrbahn						x	

Abbildung 15: Übersicht Prüfstellen

2.4 Bauteilöffnungen

Als Karbonatisierung wird im Bauwesen eine chemische Reaktion bezeichnet, die in Beton bei Anwesenheit von Kohlenstoffdioxid und Feuchtigkeit abläuft.
Dieser Vorgang schadet dem Beton nicht direkt. Durch die Bildung von Kalkstein während der Karbonatisierung wird die Festigkeit sogar erhöht, was prinzipiell positiv zu bewerten ist. Weil der dort ablaufende chemische Prozess jedoch auch eine Absenkung des pH-Werts und somit den Verlust des alkalischen Milieus des Betons zur Folge hat, kann es im Falle von Stahlbeton zu schwerwiegenden Schäden am Bauteil durch Bewehrungskorrosion kommen. Eine detaillierte Beschreibung der karbonatisierungsinduzierten Korrosion ist im Anhang A2 enthalten.
Durch das Öffnen des Bauteils bis zur Bewehrung kann der Grad der Karbonatisierung, der Zustand der Bewehrung sowie die Betondeckung erfasst werden. Um festzustellen, ob und gegebenenfalls wie weit die Karbonatisierung vorangeschritten ist, wird der Alkalitätsgrad bzw. der pH-Wert gemessen. Dazu werden mehrere Stemmstellen hergestellt und die frisch aufgeschlagene Bruchfläche mit der Indikatorflüssigkeiten Phenolphthalein besprüht. Anhand der Färbung der Bruchfläche kann die Karbonatisierungstiefe gemessen werden.

Der Zustand der freigelegten Bewehrung wird gemäß den folgenden Kriterien bewertet:

Legende Korrosionsgrad

0	blank
1	wenig Rostpunkte
2	Rostflecken, lokaler geringer Materialabtrag
3	vollständig rostig, geringer Materialabtrag (max. Rippung abkorrodiert)
4	Querschnittsminderung: Lochfraß mit Angabe des Querschnittverlustes [%]

Abbildung 16:

Prüfstelle S1

Bauteil:	Stütze	
Karbonatisierungstiefe:	20-25	[mm]
Betonüberdeckung:	-	[mm]
Bewehrungsdurchmesser:	-	[mm]
Korrosionsgrad:	-	[-]

2.5 Sondieröffnung

Um mehr über den Zustand und den Aufbau der Brüstung zu erfahren wurde zwei Bauteilöffnung als Sondieröffnung ausgeführt.

B1

Abbildung 17: Sondieröffnung B1

→ Hinter dem ca. 25 mm starken Spritzbeton kommt grober Kalk-Splittbeton zum Vorschein.

→ Eine Bewehrung konnte nicht gefunden werden.

B2

Abbildung 18: Sondieröffnung B2

→ Hinter dem ca. 30 mm starken Spritzbeton kommt grober und bereits stark verwitterter Kalk-Splittbeton zum Vorschein (vgl. Abbildung 34).

→ Eine Bewehrung konnte nicht gefunden werden.

2.6 Betondeckung

Eine ausreichende Betonüberdeckung ist bei Stahlbetonbauteilen erforderlich, um den notwendigen Verbund zwischen Beton und Bewehrung, einen dauerhaften Schutz gegen bewehrungsschädigende Expositionen (Karbonatisierung, Chloride) sowie Anforderungen der Bauteile an den Brandschutz sicherzustellen.

Die Betondeckung ist hierbei nur für die bewehrten Bauteile relevant.

Die Mindestbetonüberdeckung der Bewehrung wird durch die vorherrschenden Expositionsklassen nach DIN EN 1992-1-1:2004 [11] bestimmt. Die Expositionsklassen beziehen sich auf die äußeren Einwirkungen, denen der Beton und der Bewehrungsstahl ausgesetzt sind und die Dauerhaftigkeit des Bauteils beeinträchtigen.
Somit ergeben sich folgende Mindestfestigkeitsklassen und Mindestbetondeckungen:

	Mindestbetondeckung	
	Stützwand/ Gewölbe (erdberührt/ Nicht erdberührt)	**Stütze**
DIN EN 1992-1-1 (EC 2)	50/40	40

Abbildung 19: Mindestbetondeckung

Es gelten folgende Expositionsklassen und Mindestdruckfestigkeitsklassen:

Stützwand/ Gewölbe:	XC4	XD2	XF2		XALL	XSTAT	**C35/45**
Stütze:	XC4	XD3	XF4	WA	XALL	XSTAT	**C35/45**

Mit dem Hilti Ferroscan PS200 wurde an den im Prüfplan genannten Stellen die Betondeckung zerstörungsfrei ermittelt. Dabei wurden die mittlere Betondeckung sowie die Standardabweichung der ermittelten Werte entlang der Untersuchungslinie bestimmt. Anhand dieser Werte wird mittels Gauß – und Neville - Funktion eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Betondeckung über das untersuchte Bauteil generiert. Aus diesen Berechnungen sind das 5 % Quantil und die mittlere Betondeckung zu entnehmen. Das 5 % Quantil zeigt die Betondeckung, die von 95 % überschritten wird. Liegt das 5 % Quantil oberhalb der Mindestbetondeckung gilt diese als eingehalten.

Die Ergebnisse sind in folgenden Tabellen dargestellt:

Stütze						
Prüfstelle	Ferroscanergebnisse		Betondeckung		Mindestbetondeckungs-unterschreitung	Mindestbeton-deckung eingehalten
	$C_{5\%\text{-Quantil}}$	C_{mittel}	Anzahl Eisen	Eisen unter c_{min}		
	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[%]	
FQ 5987	54	69	79	0	0%	ja
FQ 5988	56	70	97	0	0%	ja
FQ 5989	42	63	57	7	12%	ja
FQ 5990	54	72	41	0	0%	ja

* 10 mm Spritzbeton abgezogen

Abbildung 20: Auswertung Betondeckungsmessung Stütze

Um eine Aussage über den Korrosionsschutz der Bewehrung treffen zu können, werden die ermittelten Karbonatisierungstiefen mit der Lage der Bewehrung verglichen. Die Auswertung erfolgt mit Hilfe eines Diagramms. Hier wird der Schnittpunkt des Karbonatisierungsverlaufs (rote Kurve) mit dem 5 Prozent-Quantil der Betonüberdeckung (blaue Gerade) bestimmt. Das 5- Prozent- Quantil ergibt sich aus der statistischen Auswertung der Bestimmung der Betonüberdeckung und spiegelt den numerischen Wert [mm] der Betondeckung wieder, der auf 5% der Bewehrung zutrifft. Der Schnittpunkt der beiden Kurven stellt denjenigen Zeitpunkt dar, ab dem 5% der Bewehrung im karbonatisierten Bereich liegen und somit mit Korrosion am Bewehrungsstahl infolge Karbonatisierung gerechnet werden muss. Der Verlauf der Karbonatisierung wird über das Wurzel- T- Gesetz angenähert.
Stellt man nun die Kurven in Relation zum Bauteilalter, kann ermittelt werden, in wie viel Jahren mit großflächiger Bewehrungskorrosion zu rechnen ist oder aber seit wie viel Jahren bereits substanzschädigende Bewehrungskorrosion stattfinden kann.

Vergleich Karbonatisierung-Betondeckung Stütze

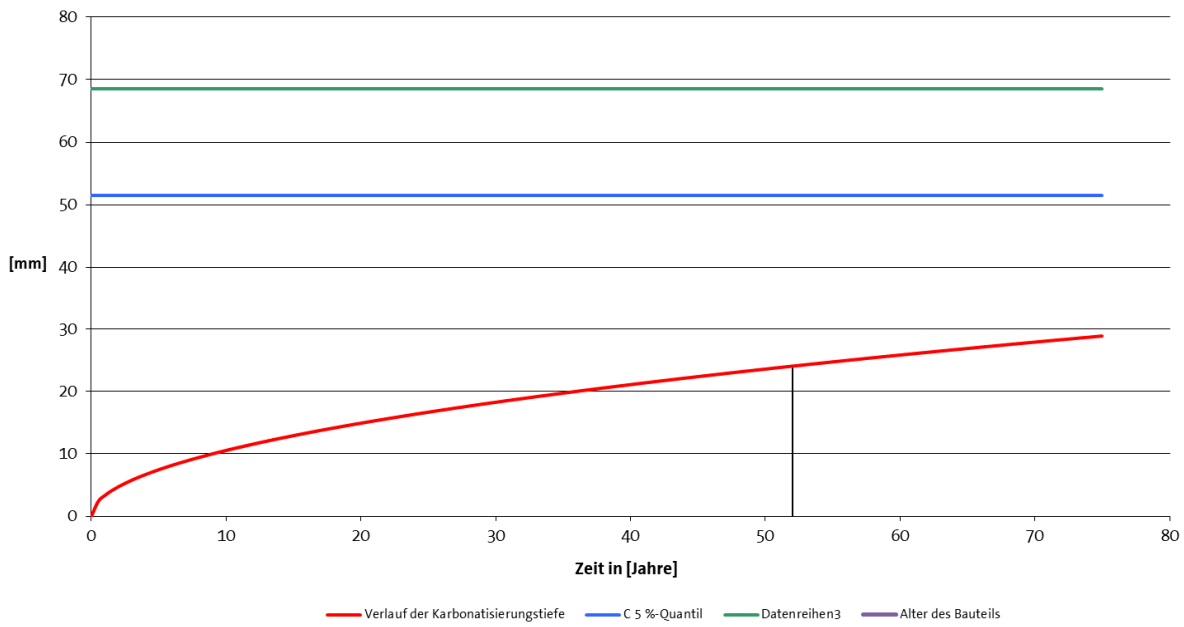


Abbildung 21: Karbonatisierung-Betondeckung Stütze

Der Korrosionsschutz der Bewehrung ist auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse dauerhaft sichergestellt. Der Schnittpunkt der Betondeckung und der Karbonatisierungstiefe und damit der Zeitpunkt, ab dem der Korrosionsschutz der Bewehrung nicht mehr gegeben ist, wird dauerhaft nicht erreicht.

2.7 Chloridgehalt

Die Entnahme und Auswertung der **Bohrmehlproben** zeigt, in welchen Bauteilen der einzuhaltende Chloridgehalt[1] von 0,50 M-% überschritten wird. Die Entnahme erfolgt hierbei in drei Tiefenstufen (20 mm; 20-40 mm; 40-60 mm):

- Am Stützenkopf wurden 2 Stellen auf Chloride beprobt. Hierbei wurden erhöhte Chloridwerte in allen drei Tiefenstufen festgestellt. Der Schwellenwert von 0,5 m-% wurde hierbei um das bis zu 3-fache überschritten.

Bei Chloridwerten über 0,50M-% ist zur Beurteilung der erforderlichen Maßnahmen ein sachkundiger Planer einzuschalten.

Beschreibung Entnahmestelle	Prüfstelle	Tiefenstufe [mm]	Chloridgehalt [M-%]	Grenzwert [M-%]	Überschreitung
Stütze	Cl1.1	0-20	1,23	0,50	ja
	Cl1.2	20-40	1,02	0,50	ja
	Cl1.3	40-60	0,68	0,50	ja
Stütze	Cl2.1	0-20	1,99	0,50	ja
	Cl2.2	20-40	1,64	0,50	ja
	Cl2.3	40-60	1,55	0,50	ja

Abbildung 22: Chloridwerte

[1] s. Anhang: A3 Schadensursache Chloride

2.8 Oberflächenzugfestigkeit

Mit dem Ziel, die Aufnahmefähigkeit des Betonuntergrundes für eine Betoninstandsetzung zu ermitteln, wurde die **Oberflächenzugfestigkeit** an insgesamt vier Stellen überprüft.

Entsprechend der Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton Ausgabe 2001 Teil1-4 sowie ZTV-ING Ausgabe 2017 sind die Mindestanforderungen für eine Betoninstandsetzung durch den kleinsten Einzelwert >1,0 N/mm² und den Mittelwert > 1,5 N/mm² zu erfüllen.
Mithilfe der **Oberflächenzugfestigkei**t und der **Betondruckfestigkeit** kann der Beton dann in Altbetonklassen nach der TR Instandhaltung [3] eingeteilt werden.
Für die Kriterien der Einteilung in die Altbetonklassen verweisen wir auf Anhang A4.

	Schutz- bzw. Instandsetzungsmaßnahme: Örtliche Ausbesserung bzw. flächige Beschichtung	**Mindestwerte der Oberflächenzugfestigkeit** [N/mm²]	
		Mittelwert	kleinster Einzelwert
	1	2	3
1	Mörtel und Beton	1,5	1,0
2	OS 2 (OS B)	0,8	0,5
3	OS 5 (ohne Feinspachtel) (OS D)	1,0	0,6
4	OS 4 (OS C), OS 5 (OS D), OS 9 (mit Feinspachtel) (OS E)	1,3	0,8
5	OS 11 (OS F), OS 13	1,5	1,0

Abbildung 23: Mindestwerte der Oberflächenzugfestigkeit

Es wird in mehrere Versagensfälle unterschieden. Grundsätzlich differenziert man in Kohäsions- und Adhäsionsversagen. Je nach Art und Aussehen der Bruchfläche wird wiederum in die Versagensarten A (im Beton), B (in der ersten Schicht des zu prüfenden Systems), C (in der zweiten Schicht des zu prüfenden Systems) und Y (in der Klebschicht) unterschieden.

	Abbildung 24: Hz 1.1 Hz 1.1 -> 0,38 N/mm² **Bauteil:** Brüstung Versagensart A: 100% Beton
	Abbildung 25: 1.2 Hz 1.2 -> 0,52 N/mm² **Bauteil:** Brüstung Versagensart A: 100% Beton
	Abbildung 26: Hz 2.1 Hz 2.1 -> 2,29 N/mm² **Bauteil:** Brüstung Versagensart A: 100% Beton

Abbildung 27: Hz 2.2

Hz 2.2 -> 2,12 N/mm²

Bauteil: Brüstung

Versagensart A: 100% Beton

Brüstung oberes Bauwerk				
Prüfstelle	Wert [N/mm²]	Versagensart	Kleinster Einzelwert [N/mm²]	Mittelwert [N/mm²]
Hz 1.1	0,38	A	0,38	1,33
Hz 1.2	0,52	A		
Hz 2.1	2,29	A		
Hz 2.2	2,12	A		

Abbildung 28: Ermittlung der Oberflächenzugfestigkeit – Brüstung oberes Bauwerk

Die Anforderungen der ZTV-Ing sind an der Brüstung des oberen Bauwerks stellenweise nicht erfüllt. Daher sind die Werte durch weitere Messungen zu verifizieren. Der Beton ist in die **Altbetonklasse A1** einzuordnen.

2.9 Betondruckfestigkeit

Es wurde ein Bohrkern hinsichtlich der Druckfestigkeit mittels zerstörender Prüfung untersucht. Bei der zerstörenden Druckfestigkeitsprüfung sind genauere Werte ermittelbar als bei der Prüfung mittels Schmidthammer, da der Einfluss der Karbonatisierung bei dieser Methode eine geringere Rolle spielt. Die Ergebnisse der Untersuchung wurden nach DIN EN 13791 statistisch ausgewertet nach dem Mittel- und Mindestwertkriterium.

Prüfung Druckfestigkeit nach DIN EN 12390							
Probe-Nr.			Masse	Volumen	Dichte	Bruchlast	Druckfestigkeit
	Ø	H					$f_{c,cyl}$
	mm	mm	kg	m³	kg/m³	KN	N/mm ²
BK1	94	94	1,570	0,000652	2,4E+03	520	74,9
						Mindestwert $f_{is,niedrigst}$	74,9
						Mittelwert $f_{m(n),is}$	74,90
						k-Faktor	7
						Druckfestigkeitsklasse	**C 60/75**

Abbildung 29: Druckfestigkeit am Bohrkern – Stütze

Bewertung:

Die geforderte Mindestfestigkeit wurde an den beprobten Stellen eingehalten.

2.10 Bohrkernentnahme

Um Aufschluss über den Aufbau und den Zustand der Bauteile zu bekommen, wurden insgesamt 2 Bohrkerne gezogen.

BK1

Abbildung 30: Bezeichnung BK1

Prüfstelle:	Sonderbucher Steige oberes Bauwerk
Bauteil:	Stütze
Schichtaufbau:	9-16 Spritzbeton, 166 mm Beton
Durchmesser:	94 mm
Länge:	182 mm
Risse:	Keine Risse
Verdichtung:	relativ dichtes Gefüge
Poren und Lunker:	vereinzelt Poren und Lunker bis 5mm Durchmesser
Sonstiges:	Bohrkern zur Bestimmung der Druckfestigkeit

BK2

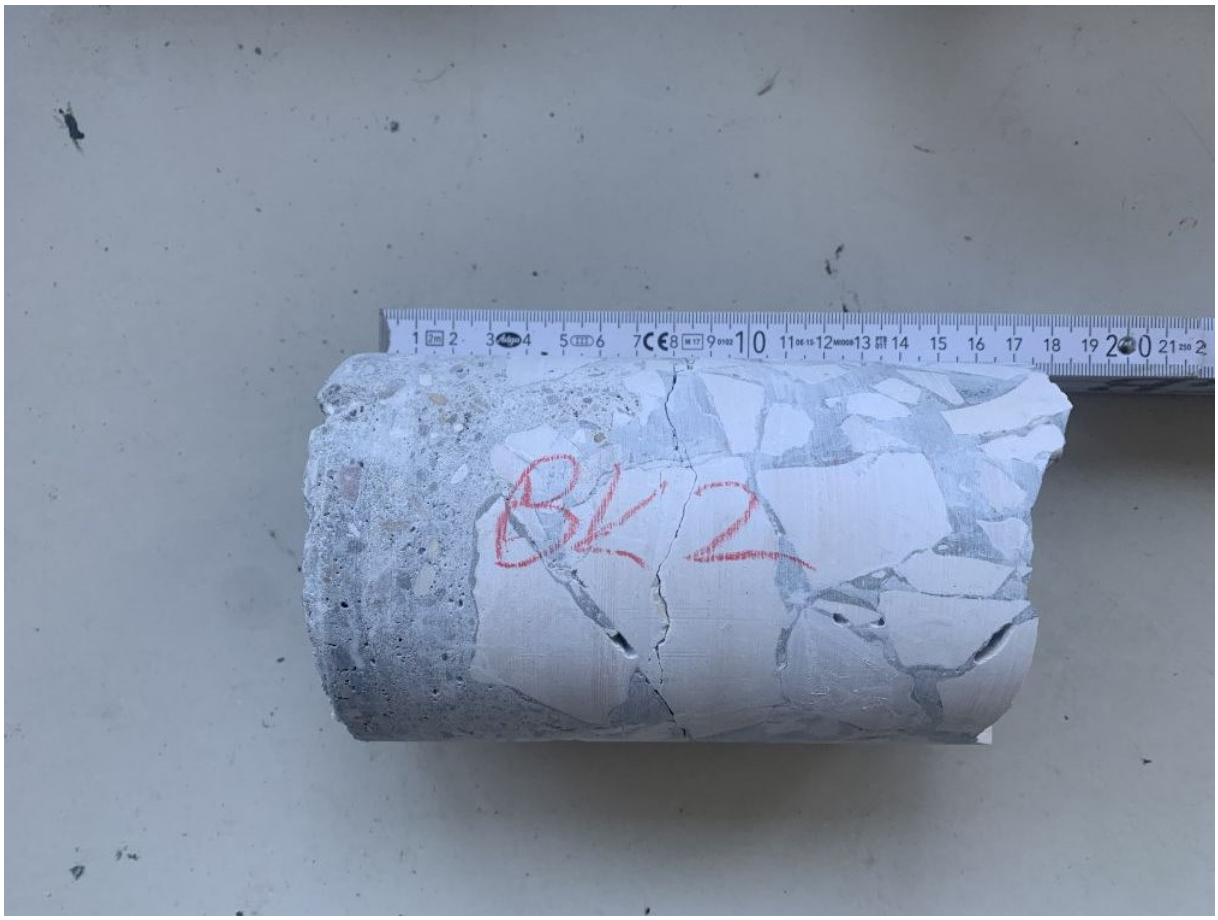


Abbildung 31: Bezeichnung BK2

Prüfstelle:	Sonderbucher Steige oberes Bauwerk
Bauteil:	Gewölbe
Schichtaufbau:	10-15 mm Spritzbeton, 25 mm Beton, 127 mm Kalk-Splittbeton + Injektionsmörtel
Bewehrung:	-
Betondeckung	-
Durchmesser:	94 mm
Länge:	167 mm
Risse:	Bohrkern gerissen
Verdichtung:	Relativ gute Verdichtung
Poren und Lunker:	kaum Poren und Lunker
Sonstiges:	Im Zuge der vorangegangenen Instandsetzungsarbeiten wurde mit einem Injektionsmörtel unbekannter Zusammensetzung gearbeitet.

2.11 Belagsöffnungen

Um Aufschluss über den Aufbau des Belags zu erhalten, wurden eine Belagsöffnung vorgenommen.

Ö1

Abbildung 32: Bezeichnung Ö1

Aufbau:

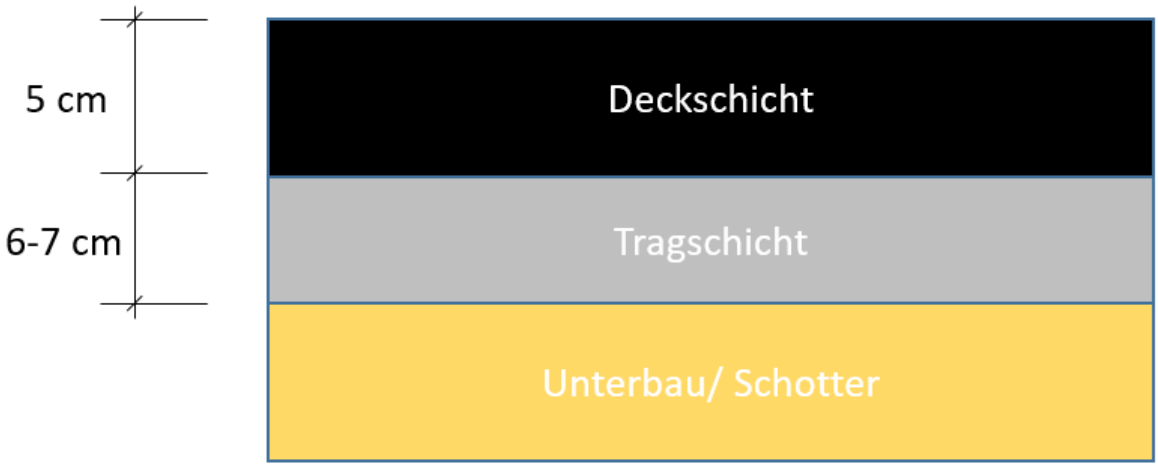


Abbildung 33: Belagsaufbau

➔ **Keine Abdichtung vorhanden**

2.12 Schadstoffgehalt Beschichtung

An einer Mischprobe der Beschichtung beider Bauwerke wurde der Gehalt an PAK und PCB analysiert. Der PAK-Gehalt (PAK=Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe) und der Phenolgehalt bestimmen die Einteilung des Asphalts in verschiedene Verwertungsklassen. Die jeweiligen Grenzwerte für den PAK- und den Phenolgehalt sind in der RuVA Stb 1 festgelegt. Außerdem wurde an der Probe der PCB-Gehalt (PCB=Polychlorierte Biphenyle) bestimmt. Diese sind krebsauslösende organische Chlorverbindungen, welche vor allem als Weichmacher u.a. in Lacken und Farben eingesetzt wurde. Die Bestimmung erfolgt hierbei nach DIN 15308. Eine detailliertere Aufstellung der festgestellten Parameter befindet sich in Anhang A6.

Ergebnisse:

Parameter	Einheit	Teerfrei	Teerhaltig	Teerhaltig - gefährlicher Abfall	Beschichtung
PAK	[mg/kg]	<10	>10	>200	74,7
Einstufung des Materials				**PAK-haltig**	

In der Beschichtungsprobe konnte **kein PCB** nachgewiesen werden.

3. Bewertung und Schadensanalyse

Es folgt eine Bewertung der Untersuchungsergebnisse sowie eine Schadensanalyse. Die Bewertungen beziehen sich dabei auf die vorgefundenen Situationen an den untersuchten Stellen. Aufgrund des Bauwerksalters und den bereits erfolgten Umbaumaßnahmen kann der Aufbau und der Bauwerkszustand innerhalb des Bauwerkes sich teils gravierend verändern.

3.1 Gewölbe/ Stützwände

Im Bereich der senkrechten Stützwände und der Gewölbebögen ist eine vorgesetzte Spritzbetonschale aufgebracht. Diese hält den dahinter befindlichen Kalk-Splittbeton zusammen. Aufgrund einer nicht fachgerechten Entwässerung staut sich das Wasser hinter der Spritzbetonschale. Durch Frost und die damit verbundene Volumenvergrößerung des Wassers kommt es zu den erkennbaren Abplatzungen der Spritzbetonschale. Da der vorhandene sehr stark verwitterte Kalk-Splittbeton stellenweise keine Tragfähigkeit mehr besitzt, wurde bei diesem Bauwerk bereits ein Injektionsmörtel unbekannter Art verbaut (vgl. Bohrkern BK2).

3.2 Stützen

Bei den Chloridproben am Stützenkopf konnten erhöhte Chloridwerte in allen drei Tiefenstufen festgestellt werden. Das chloridbelastete Wasser kann aufgrund einer fehlender Abdichtung durch den Belag und das Bauwerk in dir Stützen sickern. Dadurch ist die Bewehrung in den Stützen hinsichtlich Korrosion gefährdet. So sind am Stützenköpfen auch bereits Rostfahnen zu erkennen.
Die geforderte Betondeckung an der Stütze und den Stützensockeln ist eingehalten, sodass die Karbonatisierung auch langfristig die Bewehrung nicht erreicht. Zudem ist die Betondruckfestigkeit gegeben.

3.3 Brüstung

Die OSA bestätigt die visuellen Eindrücke. Die Brüstung besteht aus dem bereits stark verwittertem Kalkbeton, welcher durch die nachtäglich aufgebrachte Spritzbetonschale zusammengehalten wird. Durch die fehlende Stabilität zeigt die Brüstung stellenweise bereits starke Rissbildung (vgl. Abbildung 8), welche die Standsicherheit der Brüstung gefährden. Eine Bewehrung konnte im Zuge der Untersuchungen nicht festgestellt werden. Auf Grundlage dieser Ergebnisse ist die Standsicherheit beeinträchtigt. Eine Aufnahme der anfallenden Lasten wie etwa Anpralllasten kann hier nicht garantiert werden. Dies hat in Verbindung mit einer zu geringen Höhe eine direkte Auswirkung auf die Verkehrssicherheit. Daher sollte die Brüstung umgehend durch einen Statiker beurteilt werden, um gegebenenfalls entsprechende Maßnahmen treffen zu können. In der aufgebrachten Beschichtung wurde eine erhöhte PAK-Belastung festgestellt. Die Oberflächenzugfestigkeiten erfüllen teilweise nicht die Anforderungen der ZTV-ING.

3.4 Fahrbahn

Bei den Belagsöffnungen konnte keine Abdichtung festgestellt werden. Anfallendes Wasser kann somit ungehindert in das Bauwerk eindringen. Dies wird durch die sichtbaren Durchfeuchtungen bestätigt. Durch den Frost-Tausalzwechsel kommt es dann zu den visuell sichtbaren Frostschäden.

Durch die Erkenntnisse der visuellen und der technischen Untersuchung kann zusammenfassend folgende Aussage getroffen werden:

- **Aufgrund der Untersuchungsergebnisse ist die Dauerhaftigkeit und Verkehrssicherheit des Bauwerks nicht mehr gegeben. Die Standsicherheit des Bauwerks ist nicht mehr im vollem Umfang gegeben.**

- **Aufgrund der vorgefundenen Schäden und der desolaten Substanz des Bauwerkes wird ein Neubau des Bauwerks empfohlen, da eine wirtschaftliche Instandsetzung nicht mehr möglich ist. Diesem Vorhaben sollte eine umfangreiche Bodensondierung vorangehen.**

4. Erklärung

Gemäß Instandsetzungsrichtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (Ausgabe 10-2001) sind die Beurteilung und Planung von Schutz- und Instandsetzungsarbeiten durch einen sachkundigen Planer durchzuführen.

Hiermit bestätige ich, dass der Bearbeiter dieses Berichts, die in der Instandsetzungsrichtlinie geforderte Sachkunde besitzt.
Die Bewertung des Ist-Zustands wurde von mir in Kooperation mit dem Bearbeiter dieses Berichtes ausgearbeitet.

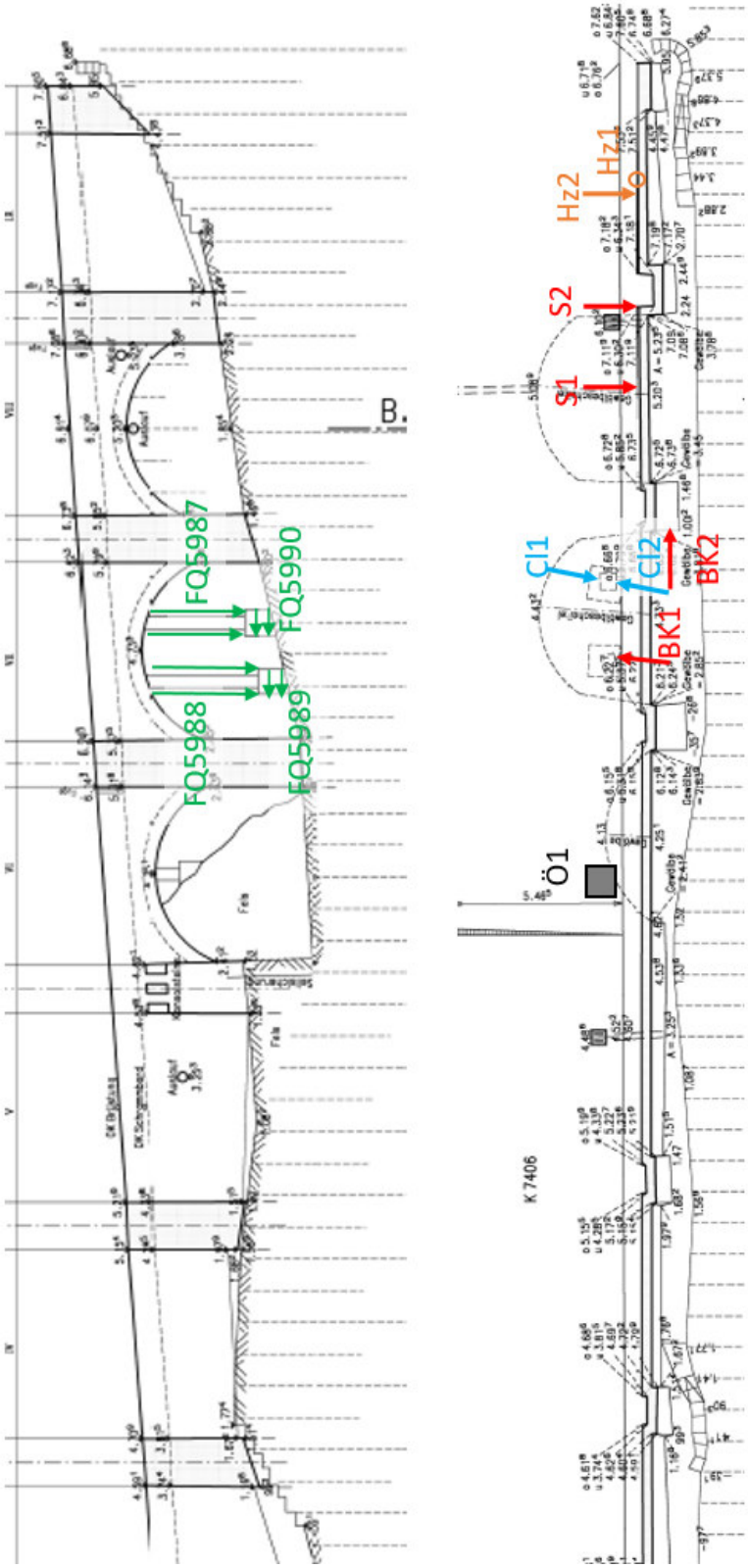
Dipl.- Ing. (FH) Matthias Fischer

Geschäftsführer

Ingenieurgesellschaft der
Bauwerkserhaltung mbH

5. Anhang

A1. Prüfplan

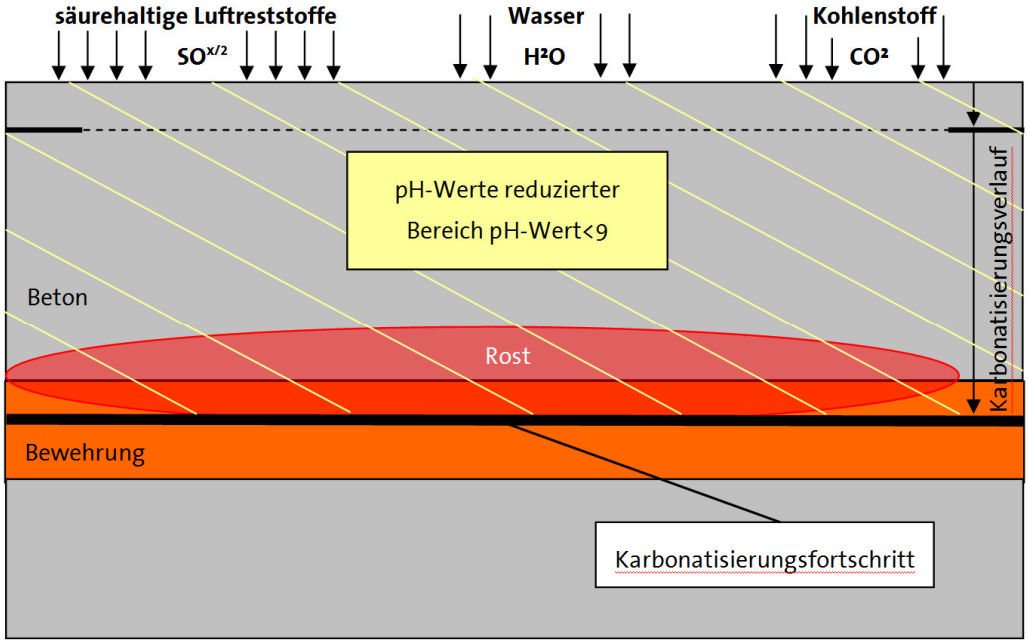


A2. Schadensursache Karbonatisierung

Karbonatisierung ist die chemische Umwandlung von dem bei der Hydratation entstandenen Calciumhydroxid in Calciumkarbonat. Dieser Prozess wird durch Kohlenstoffdioxid verursacht, das aus der Luft in den Beton diffundiert.

$$Ca(OH)_2 + CO_2 + H_2O \rightarrow CaCO_3 + 2\ H_2O$$

Bei der Hydratation des Zements entsteht das feindispers ausfallende Calciumhydroxid ($Ca(OH)_2$). Dieses ist verantwortlich für die hohe Alkalität des Zementsteins mit einem ph-Wert von über 12. Bei der Karbonatisierung wandelt das eindringende CO_2 das im Porenwasser enthaltene Calciumhydroxid in neutral reagierendes Calciumcarbonat ($CaCO_3$) um. Je nach Porenstruktur des Zementsteins (W/Z-Wert-abhängig) und Umgebungsbedingungen des Bauteils (Temperatur, CO_2 - Konzentration in der Luft, relative Luftfeuchte, etc.) kann die Kohlensäure einige Millimeter bis wenige Zentimeter in den Beton eindringen (Karbonatisierungstiefe). Mit steigender Karbonatisierungstiefe steigt sowohl die Betonfestigkeit als auch die Dichtigkeit der Betonoberfläche. Somit ist die Karbonatisierung an sich kein Schädigungsprozess für den Beton, sondern bringt sogar positive Eigenschaften mit sich. Die pH-Wert absenkende Begleiterscheinung der Karbonatisierung kann jedoch Schädigungsprozesse nach sich ziehen. Grundsätzlich ist Beton hochalkalisch (pH-Wert >12) und bildet dadurch eine Passivschicht (auch Passivierung), die den Bewehrungsstahl vor elektrochemischer Korrosion schützt. Durch die Karbonatisierung jedoch verliert der Beton dieses alkalische Milieu und die Passivschicht wird teilweise oder vollständig aufgehoben. Die Folge ist, dass bei Anwesenheit von Feuchtigkeit die Bewehrung oberflächlich rosten kann, was mit einer Volumenvergrößerung und gegebenenfalls mit einem Absprengen der Betonüberdeckung verbunden ist.



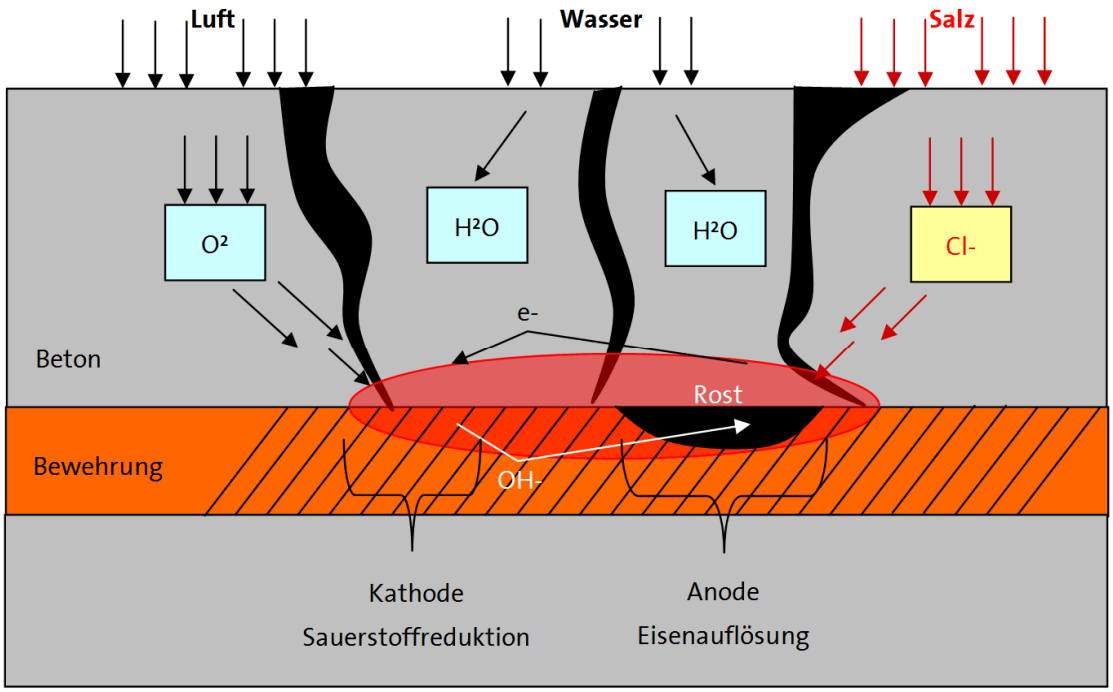
A3. Schadensursache Chloride

Chloride kommen in Form von Auftausalzen vor. Begünstigt wird das Eindringen der Chloride in den Beton durch einen schadhaften oder nicht vorhandenen Oberflächenschutz, durch fehlende oder schadhafte Fugenabdichtungen, durch Risse im Beton und durch eine nicht ausreichende Schadwasserbeseitigung.

Gelangen Chloride in den Beton, kann dies bei einer Überschreitung des korrosionsauslösenden Chloridgehalts in Höhe der Bewehrung, in Verbindung mit Wasser und Sauerstoff, zu einer Lochfraßkorrosion am Bewehrungsstahl führen.
Dabei wird die Passivierungsschicht der Stahloberfläche zerstört und der Stahl zeigt punktuell kraterähnliche Auflösungsstellen (Lochfraß).

Im folgenden Schaubild werden die 2 Teilprozesse verdeutlicht, die bei der chloridinduzierten Korrosion ablaufen.

- Bei der **Sauerstoffreduktion an der Kathode** werden mit Hilfe der an der Anode frei gewordenen Elektronen Hydroxylionen (OH-) gebildet. Bei diesem Teilprozess sind keine Auswirkungen bzw. Schädigungen zu erwarten.
- Im zweiten Teilprozess, der **Eisenauflösung an der Anode (Oxidation)**, entstehen Rostprodukte, indem der Bewehrungsstahl Verbindungen mit den Hydroxilionen eingeht. Dieser Teilprozess ist für die Auflösung des Stahls verantwortlich.



A4. Einordnung Altbetonklassen

Nach den Technischen Regeln Instandhaltung von Betonbauwerken des Deutschen Institutes für Bautechnik sind Betone aufgrund ihrer Eigenschaften (Druckfestigkeit und Haftzugfestigkeit) in Altbetonklassen einzuteilen.

Die Einteilung erfolgt nach folgender Tabelle [3]:

	1	2	3	4
	Altbetonklasse	Druckfestigkeit 1)	Oberflächenzugfestigkeit 2)	
			Mittelwert	kleinster Einzelwert
		[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	A1 3)	≤ 10	< 0,8	< 0,5
2	A2	> 10	≥ 0,8	≥ 0,5
3	A3	> 20	≥ 1,2	≥ 0,8
4	A4	> 30	≥ 1,5	≥ 1,0
5	A5	> 75	≥ 2,5	≥ 2,0

A5. Ergänzende Bilder

Material Sondieröffnung B2 (Brüstung)

Abbildung 34: Material Sondieröffnung B2

➔ Es befindet sich ein sehr poröses/ verwittertes Material hinter der Spritzbetonschale. Die Zementleimmatrix ist hier bereits komplett aufgelöst. Die Brüstung wird in diesen Bereichen nur durch den Spritzbeton gehalten. Die Standsicherheit im Falle eines anprallenden Fahrzeuges ist hier mit sehr nicht mehr gegeben.

Bohrloch Bohrkern BK1 (Stütze)

Abbildung 35: Bohrloch Bohrkern BK1

➔ In der nachträglich eingebauten Stütze wurde ein „moderner“ gut verdichteter Beton eingebaut.

Bohrloch Bohrkern BK2 (Gewölbe)

Abbildung 36: Bohrloch Bohrkern BK2

➔ Im Bereich von Bohrkern BK2 wurde mit einem Injektionsmörtel unbekannter Art gearbeitet

A6. Schadstoffe

PAK

Parameter	Einheit		Bestimmungs -grenze	Methode
PAK (EPA) :				
Naphthalin	mg/kg	56	0,5	DIN ISO 18287
Acenaphthylen	mg/kg	< 0,9	1	DIN ISO 18287
Acenaphthen	mg/kg	5,5	0,5	DIN ISO 18287
Fluoren	mg/kg	7,1	0,5	DIN ISO 18287
Phenanthren	mg/kg	4,8	0,5	DIN ISO 18287
Anthracen	mg/kg	1,0	0,5	DIN ISO 18287
Fluoranthen	mg/kg	< 0,5	0,5	DIN ISO 18287
Pyren	mg/kg	< 0,5	0,5	DIN ISO 18287
Benz(a)anthracen	mg/kg	< 0,5	0,5	DIN ISO 18287
Chrysen	mg/kg	< 0,5	0,5	DIN ISO 18287
Benzo(b)fluoranthen	mg/kg	< 0,5	0,5	DIN ISO 18287
Benzo(k)fluoranthen	mg/kg	< 0,5	0,5	DIN ISO 18287
Benzo(a)pyren	mg/kg	< 0,5	0,5	DIN ISO 18287
Dibenzo(a,h)anthracen	mg/kg	< 0,5	0,5	DIN ISO 18287
Benzo(g,h,i)perylen	mg/kg	< 0,5	0,5	DIN ISO 18287
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	mg/kg	< 0,5	0,5	DIN ISO 18287
Summe PAK gesamt	mg/kg	74,4		DIN ISO 18287

PCB

Parameter	Einheit		Bestimmungs -grenze	Methode
PCB :				
PCB 28	mg/kg	< 0,1	0,1	DIN ISO 10382
PCB 52	mg/kg	< 0,1	0,1	DIN ISO 10382
PCB 101	mg/kg	< 0,1	0,1	DIN ISO 10382
PCB 118	mg/kg	< 0,1	0,1	DIN ISO 10382
PCB 138	mg/kg	< 0,1	0,1	DIN ISO 10382
PCB 153	mg/kg	< 0,1	0,1	DIN ISO 10382
PCB 180	mg/kg	< 0,1	0,1	DIN ISO 10382
Summe 6 PCB (DIN)	mg/kg	-		
Summe 6 PCB *5	mg/kg	-		
Summe PCB nachgewiesen	mg/kg	-		

Zusammenfassung der verwendeten Prüfmethoden:

DIN ISO 10382	2003-05
DIN ISO 18287	2006-05

A7. Verwendete Regelwerke

[1] ZTV-ING: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Stand: Dezember 2017

[2] Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungsrichtlinie) des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb), Ausgabe Oktober 2001; inkl. Berichtigung Instandsetzungs-Richtlinie 2002-01 und Berichtigung Instandsetzungs-Richtlinie 2005-12 und der Berichtigung Instandsetzungs-Richtlinie 2014-09

[3] Technische Regeln Instandhaltung von Betonbauwerken des Deutschen Institutes für Bautechnik, Ausgabe Mai 2020

[4] DIN 1045:2008: Teil 1-4 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Deutsches Institut für Normung

[5] DIN EN 12504-2:2012-12: Prüfung von Beton in Bauwerken. Teil 2: Zerstörungsfreie Prüfung – Bestimmung der Rückprallzahl, Deutsches Institut für Normung

[6] DIN 18551: 2005: Spritzbeton – Herstellung, Bemessung, und Konformität, Deutsches Institut für Normung

[7] Merkblatt B3, Elektrochemische Potentialmessung zur Detektion von Bewehrungsstahl-korrosion, Überarbeitete Fassung: April 2008, DGZfP – Fachausschuss für Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen, Unterausschuss Korrosionsnachweis bei Stahlbeton,

[8] Auswirkung von Chloriden im Beton, Abhängigkeit von Betoneigenschaften, Prof. Dr.-Ing. Michael Raupach, Institut für Bauforschung der RWTH Aachen, ibac

[9] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK: Risiko von Betonabplatzungen infolge Bewehrungskorrosion, Forschungsauftrag AGB2002/015 auf Antrag der Arbeitsgruppe Brückenforschung (AGB), Oktober 2006

[10] Historische technische Regelwerke für den Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau, Frank Fingerloos, Ausgabe 2009 Ernst & Sohn

[11] Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Hoch- und Ingenieurbauten aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton- Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004, Deutsches Institut für Normung

[12] Handbuch Brückenbau, Karsten Geißler, Ernst & Sohn Verlag, 1. Nachdruck 2017