

Ingenieurbüro Raupach Bruns Wolff GmbH
Büchel 13/15 · 52062 Aachen

Stadt Übach-Palenberg
FB 6.2
Frau Simon
Rathausplatz 4
52531 Übach-Palenberg

Vorgang: B 6255
Kontakt: Herr Dr.-Ing. L. Wolff
Telefon: +49 241 94 37 74 12
Telefax: +49 241 94 37 74 16
E-mail: wolff@bauwerkserhaltung.ac

Datum: 29.11.2019

**Gutachtliche Stellungnahme
über Bauwerks- und Laboruntersuchungen im Zuge der Ist-
Zustandsfeststellung der Wurmbrücke Zweibrücken**

B 6255

Auftraggeber: Stadt Übach-Palenberg
FB 6.2
Rathausplatz 4
52531 Übach-Palenberg

Diese Gutachtliche Stellungnahme umfasst 43 Seiten.

Inhaltsverzeichnis

1	ALLGEMEINES.....	3
2	UNTERLAGEN	3
3	ORTSTERMINE.....	4
4	OBJEKT- UND LABORUNTERSUCHUNGEN	5
4.1	Allgemeines	5
4.2	Visuelle Inaugenscheinnahme	5
4.3	Bohrmehlentnahmen und Chloridgehaltsbestimmungen.....	14
4.4	Betondeckungsmessungen	18
4.5	Bestimmung der Karbonatisierungstiefe des Betons.....	20
4.6	Inspektionsstellen	22
5	BEWERTUNG DER ERGEBNISSE	22
6	VORSCHLÄGE FÜR DAS WEITERE VORGEHEN.....	26
6.1	Instandsetzungsprinzipien der RL SIB.....	26
6.2	Empfehlungen für das weitere Vorgehen	29
7	SCHLUSSBEMERKUNG.....	31
8	LITERATUR	32
9	ANHANG A: LAGEPLÄNE.....	33
10	ANHANG B: BOHRMEHLENTNAHMESTELLEN	34
11	ANHANG C: INSPEKTIONSSTELLEN.....	39

1 ALLGEMEINES

Das Ingenieurbüro Raupach Bruns Wolff (RBW) wurde am 31.07.2019 von der Stadt Übach-Palenberg, FB 6.2 (AG), auf der Grundlage unseres Angebotes A 2019-56a vom 08.07.2019 mit Bauwerks- und Laboruntersuchungen im Zuge der Ist-Zustandsfeststellung der Wurmbrücke Zweibrüggen beauftragt.

Absprachegemäß sollten im Nachgang der im Jahr 2017 durchgeführten Hauptprüfung (Unterlage A lt. Kapitel 2) und der im Jahr 2018 bereits in Teilen durchgeführten Bauwerks- und Laboruntersuchungen (Unterlage B lt. Kapitel 2) ergänzende Bauwerks- und Laboruntersuchungen an der Brückenuntersicht und den beiden Widerlagern vor dem Hintergrund ggf. möglicher Instandsetzungskonzepte durchgeführt werden.

Bereits im Zuge des ersten Ortstermins am 04.06.2019 (vgl. Kapitel 3) wurden insbesondere auch vor dem Hintergrund der in der Vergangenheit bereits festgestellten hohen Chloridgehalte an den Spannbetonbauteilen (vgl. Unterlage B lt. Kapitel 2) mögliche Varianten wie Verstärkungsmaßnahmen, Teilerneuerung unter Erhalt der Widerlager etc. angesprochen. Die von RBW durchgeführten Bauwerks- und Laboruntersuchungen sollten dazu dienen, eine erweiterte Basis für die Beurteilung solcher Varianten zu erfassen.

2 UNTERLAGEN

Zur ersten Information haben wir mit Emails von Herrn Gatzen, Ingenieurbüro Birka, vom 24.05.2019, 04.06.2019 und 19.06.2019 die folgenden Unterlagen erhalten:

- A** Datei Brückenprotokoll (28.08.2017) Wurmbrücke Zweibrüggen.pdf (Protokoll über eine Hauptprüfung im Jahr 2017 an der in Rede stehenden Brücke – 9 Seiten)
- B** Datei SBCB1145318072410360-1.pdf (Erläuterungsbericht der Ingima über Bauwerksuntersuchungen zur Notwendigkeit einer eventuellen Betoninstandsetzung vom 19.07.2018 – 15 Seiten)
- C** Scan Bauwerksbuch.pdf (Bauwerksbuch der Wurmbrücke Zweibrüggen, Stand: 01.01.1986 – 19 Seiten)
- D** 11 Digitalaufnahmen der in Rede stehenden Brücke

E Datei Brücke Bewehrung Fertigteile.pdf (Auszug aus einem Bewehrungsplan der Spannbetonfertigteile – Erstellungsdatum unbekannt)

F Datei Scan Planausschnitt 01.pdf (Schnitt des Überbaus der Brücke in Querrichtung)

Die weiteren für die Bearbeitung verwendeten Unterlagen sind in Kapitel 8 zusammengestellt.

3 ORTSTERMINE

Zur Erstellung der vorliegenden Gutachtlichen Stellungnahme wurden drei Ortstermine durchgeführt.

Ein erster Ortstermin fand am 04.06.2019 statt. Bei diesem Termin waren Mitarbeiter der Stadt Übach-Palenberg und des Ingenieurbüros Birka sowie unser Herr Bruns anwesend. Im Zuge des Ortstermins erfolgte eine gemeinsame Inaugenscheinnahme der Brückenoberseite sowie der Brückenuntersicht vom Ufer aus. Zudem wurden gemeinsam in Frage kommende Bauwerks- und Laboruntersuchungen zur Feststellung des Ist-Zustandes der Brückenuntersicht besprochen.

Die Bauwerksuntersuchungen und Probennahmen erfolgten am 04.11.2019. Bei diesem Termin waren die folgenden Personen anwesend:

2 N. N.	Technischer Betrieb – zuständig für die Verkehrssperrung (zeitweise)
Frau Simon	Stadt Übach-Palenberg (zeitweise)
Herr Egalité	Stadt Übach-Palenberg (zeitweise)
Herr Birka	Ingenieurbüro Birka (zeitweise)
Herr Gatzen	Ingenieurbüro Birka (zeitweise)
1 N. N.	Peter Cramer GmbH & Co. KG
Herr Vogel	Ingenieurbüro Raupach Bruns Wolff
Herr Dr. Wolff	Ingenieurbüro Raupach Bruns Wolff

Im Zuge dieses Ortstermins erfolgten die in den nachfolgenden Kapiteln beschriebenen Bauwerksuntersuchungen und Probennahmen.

Das Verschließen der Löcher der Bohrmehlentnahmen erfolgte am 05.11.2019. Bei diesem Termin waren die folgenden Personen anwesend:

2 N. N.	Technischer Betrieb – zuständig für die Verkehrssperrung (zeitweise)
1 N. N.	Peter Cramer GmbH & Co. KG
Herr Vogel	Ingenieurbüro Raupach Bruns Wolff
Herr Dr. Schwamborn	Ingenieurbüro Raupach Bruns Wolff

4 OBJEKT- UND LABORUNTERSUCHUNGEN

4.1 Allgemeines

Für die Bezeichnung der Spannbetonfertigteile und der Widerlager wird nachfolgend die gleiche Bezeichnung verwendet wie in Unterlage A. Diese war wie folgt (Auszug aus Unterlage A):

*„Die Fertigteilträger werden von 1 - 8 entgegen der Gewässerfließrichtung nummeriert.
Die Bezeichnung der Widerlager erfolgt entsprechend den Konstruktionszeichnungen vom 8. Dez. 1968.
Widerlager I: Flusssseite Richtung Windhausen
Widerlager II: Flusssseite Richtung Palenberg“*

4.2 Visuelle Inaugenscheinnahme

Im Zuge des Ortstermins am 04.11.2019 wurden die Brückenuntersicht sowie die beiden Widerlager bzgl. visuell erkennbarer Schäden in Form von größeren Rissen, Rostfahnen, Aussinterungen, Betonabplatzungen mit freiliegender korrodierter Bewehrung etc. in Augenschein genommen.

Zudem wurden die Betonflächen der Brückenuntersicht sowie der beiden Widerlager mit einem Hammer bzgl. Vorhandensein akustisch detektierbarer Hohllagen abgeklopft.

Die handnahe Zugänglichkeit zu den Betonflächen wurde mittels Brückenuntersichtgerät (Steggerät auf Raupenfahrwerk) ermöglicht, siehe Bild 1.



Bild 1: Sicherstellung der handnahen Zugänglichkeit zur Brückenuntersicht mittels Brückenuntersichtgerät (Steggerät auf Raupenfahrwerk)

Brückenuntersicht:

An der Brückenuntersicht waren stellenweise ausgeprägte Aussinterungen und Feuchtespuren vorhanden. Dies betraf vornehmlich die in Fahrtrichtung Windhausen rechte Brückenseite (Spannbetonfertigteile 1 bis 4), in deutlich geringerem Maße die gegenüberliegende Seite (vgl. Bild 2).



Bild 2: Beispiele für Aussinterungen, feuchtebedingte Verfärbungen sowie Rostspuren an der Brückenuntersicht, in Fahrtrichtung Windhausen rechte Seite (links) und linke Seite (rechts)

Die Aussinterungen und Durchfeuchtungen sind nicht nur in den Fugen zwischen den Spannbetonfertigteilen, sondern auch an den Spannbetonfertigteilen selber zu erkennen.

Betrachtet man diese feuchtebedingten Verfärbungen und Aussinterungen z.B. auf der in Fahrtrichtung Windhausen rechten Seite, so erkennt man, dass diese in Auflagernähe in Höhe der Oberkante Längsträger beginnen und in Richtung Brückenmitte stetig bis zur Unterkante der Längsträger zunehmen, s. Bild 3.



Bild 3: Beispiele für feuchtebedingte Verfärbungen und Aussinterungen auf der in Fahrtrichtung Windhausen rechten Seite, welche zur Brückenmitte hin stetig weiter nach unten reichen

Auffällig war, dass sich abzeichnende oder bereits erfolgte Betonabplatzungen, Hohllagen und Rostspuren vornehmlich an der in Fahrtrichtung Windhausen rechten Brückenseite vorhanden waren, in deutlich geringerem Maße an der in Fahrtrichtung Windhausen linken Brückenseite, vgl. hierzu auch Bild A1 im Anhang A.

In Teilbereichen der Brückenuntersicht waren Hinweise auf frühere Überarbeitungen, ggf. lokale Instandsetzungen o.ä. vorhanden. Hierzu zählen lokal vorhandene Beschichtungen (vgl. Bild 4 links) sowie lokale Reprofilierungen, vornehmlich an den Längsseiten der Spannbetonfertigteile (vgl. Bild 4 rechts und Bild 5). Im Bereich einer exemplarisch geöffneten Reprofilierung war allerdings keine Bewehrung sichtbar (vgl. Bild 5), so dass aus unserer Sicht nicht ausgeschlossen werden kann, dass es sich bei derartigen Reprofilierungen ggf. um Ausbesserungen von Beschädigungen im Zuge des Transportes oder Einbaus der Spannbetonfertigteile handeln könnte.



Bild 4: Beispiel für eine lokal vorhandene Beschichtung (links) und eine lokale Reprofilierung (rechts)



Bild 5: Beispiel für eine lokal vorhandene Reprofilierung (links), welche lokal geöffnet wurde (rechts), keine Bewehrung sichtbar

Im Bereich des Spannbetonfertigteils Nr. 8 waren die Stahlträger und Schrauben der Leitungstraversen stark angerostet, s. Bild 6.



Bild 6: Beispiel für eine stark verrostete Halterung einer Leitungstraverse

An insgesamt 5 der 9 Spannbetonfertigteile zeigten sich deutliche Risse, die auf sich abzeichnende Betonabplatzungen hindeuteten (s. Bild 7) bzw. es waren bereits Betonabplatzungen vorhanden. Vereinzelt war bereits korrodierte Bewehrung sichtbar (s. Bild 8).



Bild 7: Beispiele für sich abzeichnende Betonabplatzungen an Spannbetonfertigteilen



Bild 8: Beispiel für korrodierte Bewehrung (Spannstahl) am Spannbetonfertigteile 2

Im Zuge der Bauwerksuntersuchungen exemplarisch geöffnete Hohllagen sind in Abschnitt 4.6 und Anhang C dokumentiert.

Eine überschlägliche Schadenskartierung größerer Schadstellen enthält Bild A1 im Anhang A.

Widerlager II – Seite Palenberg:

Eine Übersicht über das Widerlager II – Seite Palenberg enthält Bild 9.



Bild 9: Ansicht des Widerlagers II – Seite Palenberg

In weiten Teilen der Ansichtsfläche der Widerlagerwand waren Hohllagen, Risse, Rostspuren und sich abzeichnende Betonabplatzungen vorhanden, vgl. Bild 10.



Bild 10: Beispiele für Risse, Hohllagen, Rostfahnen und sich abzeichnende Betonabplatzungen am Widerlager II – Seite Palenberg

Eine im Zuge der Bauwerksuntersuchungen exemplarisch geöffnete Hohllage am Widerlager II ist Bild C5 im Anhang C dokumentiert.

Widerlager I – Seite Windhausen:

Eine Übersicht über das Widerlager I – Seite Windhausen enthält Bild 11.



Bild 11: Ansicht des Widerlagers I – Seite Windhausen

In weiten Teilen der Ansichtsfläche der Widerlagerwand waren Hohllagen, Risse, Rostspuren und sich abzeichnende Betonabplatzungen vorhanden, vgl. Bild 12.



Bild 12: Beispiele für freiliegende Bewehrung, Risse, Hohllagen, Rostfahnen und sich abzeichnende Betonabplatzungen am Widerlager I – Seite Windhausen

4.3 Bohrmehlentnahmen und Chloridgehaltsbestimmungen

An insgesamt 14 Stellen der Brückenuntersicht und der beiden Widerlager wurde tiefengestaffelt Bohrmehl entnommen und bzgl. des Gesamtchloridgehaltes analysiert. Um Verwechslungen mit den in Unterlage B dokumentierten Entnahmestellen zu vermeiden, wurden die nachfolgend dokumentierten Entnahmestellen mit römischen Zahlen versehen.

Die Entnahmestellen verteilen sich wie folgt:

Entnahmestellen I bis VIII: Brückenuntersicht

Entnahmestellen IX bis XI: Widerlager I – Seite Windhausen

Entnahmestellen XII bis XIV: Widerlager II – Seite Palenberg

Die tiefengestaffelte Bohrmehlentnahme (3 Tiefen: 0 - 15 mm, 15 - 30 mm, 30 - 45 mm) erfolgte jeweils aus 2 Löchern (Bohrerdurchmesser von 18 mm) unter Verwendung einer Bohrmaschine mit Absaugung. Aufnahmen der Bohrmehlentnahmestellen sind in den Bildern B1 bis B14 im Anhang B enthalten. Die Lage der Bohrmehlentnahmestellen kann den Lageplänen im Anhang A entnommen werden.

Der Gesamtchloridgehalt an den Bohrmehlproben wurde am Institut für Bauforschung der RWTH Aachen University (ibac) mittels potentiometrischer Titration mit Doppelbestimmung nach HNO₃-Heißaufschluss in Anlehnung an Heft 401 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton /1/ bestimmt.

Die Umrechnung der Analyseergebnisse von M.-%/Beton auf M.-%/Zement erfolgte durch die übliche Annahme eines Zementgehaltes von 1/7 des Betons (in Masseprozent).

Zur besseren Übersicht wurden die ermittelten Chloridgehalte jeweils farblich entsprechend ihrer Höhe in Anlehnung an /2/ wie folgt markiert:

Für die Spannbetonfertigteile des Überbaus:

Grün:	Chloridgehalt $< 0,5$ M.-%/Zement
Gelb:	$0,2 \text{ M.-%/Zement} \leq \text{Chloridgehalt} < 0,5 \text{ M.-%/Zement}$
Orange:	$0,5 \text{ M.-%/Zement} \leq \text{Chloridgehalt} < 1,0 \text{ M.-%/Zement}$
Rot:	Chloridgehalt $\geq 1,0$ M.-%/Zement

Für die Widerlager:

Grün:	Chloridgehalt $< 0,5$ M.-%/Zement
Gelb:	$0,5 \text{ M.-%/Zement} \leq \text{Chloridgehalt} < 1,0 \text{ M.-%/Zement}$
Rot:	Chloridgehalt $\geq 1,0$ M.-%/Zement

Nach RL SIB /2/ ist bei Stahlbetonbauteilen ab 0,5 M.-%/Zement, bei Spannbetonbauteilen ab 0,2 M.-%/Zement ein Sachkundiger Planer für die Bewertung der festgestellten Chloridgehalte heranzuziehen.

Da am Überbau im Bereich bereits vorhandener Hohllagen und Betonabplatzungen hohe Chloridgehalte zu erwarten waren, wurden hier vorwiegend weniger auffällige Stellen beprobt, z.B. Stellen mit Aussinterungen, Hinweisen auf Durchfeuchtungen o.ä. (Ausnahme CI VII im Bereich eines Risses bzw. einer Hohllage).

In den folgenden Tabellen 1 bis 3 sind die ermittelten Chloridgehalte, getrennt nach dem Überbau und den beiden Widerlagern, zusammengestellt.

Tabelle 1: An den Bohrmehlproben aus der Brückenuntersicht bestimmte Chloridgehalte sowie weitere Angaben zu den Entnahmestellen

Probe-Nr.	Lage der Entnahmestelle / Zustand	Tiefenlage in mm	Chlorid in M.-%/z
1	2	3	4
CI I	Spannbetonfertigteile 1 Untersicht des Längsträgers, Entnahmestelle neben einer Aussinterung	0 – 15	1,13
		15 – 30	1,11
		30 – 45	0,60
CI II	Spannbetonfertigteile 3 Untersicht des Plattenbalkens, Entnahmestelle unauffällig	0 – 15	0,10
		15 – 30	0,08
		30 – 45	<0,07
CI III	Spannbetonfertigteile 4 Seitenfläche des Längsträgers, Entnahmestelle neben einer Reprofilierung	0 – 15	0,08
		15 – 30	<0,07
		30 – 45	<0,07
CI IV	Spannbetonfertigteile 5 Untersicht eines Längsträgers, Entnahme im Bereich einer ggf. feuchtebedingten Verfärbung	0 – 15	1,02
		15 – 30	0,88
		30 – 45	0,92
CI V	Spannbetonfertigteile 4 Seitenfläche des Längsträgers, Entnahme im Bereich einer ggf. feuchtebedingten Verfärbung	0 – 15	0,11
		15 – 30	0,08
		30 – 45	<0,07
CI VI	Spannbetonfertigteile 8 Untersicht des Längsträgers, Entnahmestelle neben einer Aussinterung	0 – 15	0,74
		15 – 30	0,11
		30 – 45	<0,07
CI VII	Spannbetonfertigteile 9 Untersicht des Längsträgers, Entnahmestelle neben einem Riss bzw. in einer Hohlage	0 – 15	1,13
		15 – 30	2,49
		30 – 45	3,56
CI VIII	Spannbetonfertigteile 7 Untersicht des Plattenbalkens, Entnahmestelle unauffällig	0 – 15	0,12
		15 – 30	0,09
		30 – 45	0,09

Tabelle 2: An den Bohrmehlproben aus dem Widerlager I – Seite Windhausen bestimmte Chloridgehalte sowie weitere Angaben zu den Entnahmestellen

Probe-Nr.	Lage der Entnahmestelle / Zustand	Tiefenlage in mm	Chlorid in M.-%/z
1	2	3	4
CI IX	Widerlagerwand zwischen den Längsträgern, Entnahme nahe eines korrodierten Bewehrungsstabes und Auswaschungen	0 – 15	0,97
		15 – 30	0,86
		30 – 45	1,00
CI X	Widerlagerwand Entnahmestelle unauffällig	0 – 15	1,67
		15 – 30	2,00
		30 – 45	1,49
CI XI	Widerlagerwand Entnahme neben Rissen, Hohllagen und Rostfahnen	0 – 15	0,76
		15 – 30	1,25
		30 – 45	1,28

Tabelle 3: An den Bohrmehlproben aus dem Widerlager II – Seite Palenberg bestimmte Chloridgehalte sowie weitere Angaben zu den Entnahmestellen

Probe-Nr.	Lage der Entnahmestelle / Zustand	Tiefenlage in mm	Chlorid in M.-%/z
1	2	3	4
CI XII	Widerlagerwand Entnahme neben Rissen, Hohllagen und Rostfahnen	0 – 15	0,67
		15 – 30	0,83
		30 – 45	0,85
CI XIII	Widerlagerwand Entnahmestelle unauffällig	0 – 15	0,32
		15 – 30	0,46
		30 – 45	0,29
CI XIV	Widerlagerwand Entnahme in der Nähe von Rissen, Hohllagen und Rostfahnen	0 – 15	5,12
		15 – 30	1,33
		30 – 45	0,43

4.4 Betondeckungsmessungen

Die Betondeckung der Bewehrung wurde zerstörungsfrei mittels des Betondeckungsmessgerätes Proceq Profometer PM 650 in Anlehnung an /3/ untersucht. Dieses Gerät erlaubt die Durchführung von Linienscans. Erfasst werden dabei alle leitfähigen Metalle, d.h. auch nicht magnetische Metalle, jedoch nur im oberflächennahen Bereich bis rd. 80 mm Tiefe. Bei diesen Linienscans werden jeweils die orthogonal zur Scanrichtung verlaufende Bewehrung und ihre Betondeckung in Abhängigkeit eines vorgegebenen Bewehrungsdurchmessers über die Weglänge des Scans aufgezeichnet.

Linienscans wurden im Bereich der Bohrmehlentnahmestellen in Form von zwei kurzen, jeweils rechtwinklig zu einander stehenden Scans durchgeführt.

Im Fall der Detektion der Spannstahlbewehrung an den Unterseiten der Längsträger ist zu beachten, dass diese aufgrund der großen Betondeckungen und kleinen lichten Maße zwischen den Spannlitzen vom Messgerät nicht separat detektiert werden konnten, sondern als ein großer Bewehrungsstahl erfasst wurde. Dementsprechend sind sowohl die Anzahl detektierter Bewehrungsstäbe als auch die vom Gerät zugeordnete Betondeckung in diesem Fall fehlerhaft.

Die der Auswertung der Bewehrungsscans zugrunde gelegten Bewehrungsdurchmesser sind in den Tabellenüberschriften der Tabellen 4 (Brückenuntersicht) und 5 (Widerlager) angegeben. Sofern am Objekt tatsächlich vorhandene Bewehrungsstäbe geringere Durchmesser aufweisen, wird die gemessene Betondeckung damit überschätzt, im Fall am Objekt vorliegender größerer Bewehrungsdurchmesser unterschätzt.

Abschließend sei angemerkt, dass die vorliegende Auswertung der gemessenen Betondeckungen ausschließlich vor dem Hintergrund der Bewertung des Korrosionsrisikos der Bewehrung erfolgte. Die durchgeführte Auswertung ist nicht gleichzusetzen mit der Bewertung der Betondeckung gemäß DBV-Merkblatt „Betondeckung und Bewehrung nach EC 2“ /4/.

Tabelle 4: Ergebnisse der Messungen der Betondeckung c im Bereich der Bohrmehlentnahmestellen I bis VIII an der Brückenuntersicht – der Auswertung zugrunde gelegter Bewehrungsdurchmesser: längs: 6 mm, quer 10 mm

Bohrmehl- entnahme- stelle	Scanrichtung	Anzahl Stäbe	Betondeckung in mm		Anzahl Stäbe mit einer Betondeckung in mm		
		n	MW	kEW	≤ 30	≤ 20	≤ 10
1	2	3	4	5	6	7	8
CI I	quer	1	¹⁾	29	1	0	0
	längs	5	34	25	1	0	0
CI II	quer	1	¹⁾	33	0	0	0
	längs	5	28	26	5	0	0
CI III	quer	2	50	38	0	0	0
	längs	9	47	38	0	0	0
CI IV	quer	2	35	34	0	0	0
	längs	8	25	11	5	2	0
CI V	quer	2	47	34	0	0	0
	längs	7	45	38	0	0	0
CI VI	quer	1	¹⁾	32	0	0	0
	längs	4	28	21	2	0	0
CI VII	quer	2	42	42	0	0	0
	längs	5	37	34	0	0	0
CI VIII	quer	2	45	37	0	0	0
	längs	5	31	22	1	0	0

¹⁾ Nur ein Messwert, daher Mittelwertbildung nicht möglich.

Tabelle 5: Ergebnisse der Messungen der Betondeckung c im Bereich der Bohrmehlentnahmestellen IX bis XIV an den beiden Widerlagern – der Auswertung zugrunde gelegter Bewehrungsdurchmesser: horizontal und vertikal jeweils 8 mm

Bohrmehl- entnahme- stelle	Scanrichtung	Anzahl Stäbe	Betondeckung in mm		Anzahl Stäbe mit einer Betondeckung in mm		
		n	MW	kEW	≤ 30	≤ 20	≤ 10
1	2	3	4	5	6	7	8
CI IX	horizontal	3	36	34	0	0	0
	vertikal	3	28	17	2	1	0
CI X	horizontal	3	34	30	1	0	0
	vertikal	12	24	13	8	5	0
CI XI	horizontal	6	31	24	2	0	0
	vertikal	11	27	12	7	3	0
CI XII	horizontal	7	17	6	6	5	1
	vertikal	2	33	31	0	0	0
CI XIII	horizontal	6	30	25	3	0	0
	vertikal	3	40	37	0	0	0
CI XIV	horizontal	4	10	5	4	3	3
	vertikal	2	11	11	2	2	0

4.5 Bestimmung der Karbonatisierungstiefe des Betons

Die Karbonatisierungstiefe wurde vor Ort an insgesamt sechs Stellen, verteilt über die beiden Widerlager, bestimmt. Hierzu wurden Stemmstellen in den Beton eingebracht, mit Druckluft ausgeblasen und die Stellen anschließend mit einer 1-%-igen Phenolphthaleinlösung besprüht. Die Indikatorlösung färbt sich in Abhängigkeit des pH-Wertes des Untergrundes entweder violett oder zeigt keine Verfärbung. Violette Bereiche weisen einen pH-Wert größer als 9 auf und sind somit noch nicht bzw. nicht vollständig karbonatisiert.

Die ermittelten Karbonatisierungstiefen sind in der folgenden Tabelle 6 zusammengestellt.

Tabelle 6: Zusammenstellung der an den beiden Widerlagern ermittelten Karbonatisierungstiefen

Prüfstelle	Widerlager	Karbonatisierungstiefe in mm	Bemerkung
1	2	3	4
K1	Widerlager II – Seite Palenberg	27 mm	-
K2		18 mm	-
K3		< 5 mm	-
K4	Widerlager I – Seite Windhausen	38 mm	-
K5		23 mm	-
K6		< 5 mm	Bereich ggf. reprofiliert

An Prüfstelle K6 fiel auf, dass hier ggf. eine lokale Reprofilierung der Betonoberfläche vorgenommen wurde. So war an dieser Stelle oberhalb des Betons eine dunkelgraue Feinmörtelschicht ohne erkennbares Größtkorn vorhanden, s. Bild 13. Gleichwohl lag im Bereich der Prüfstelle K6 eine Hohlstelle vor.



Bild 13: Prüfstelle K6 – augenscheinlich erfolgte hier eine lokale Reprofilierung der Betonoberfläche, eine Hohlstelle ist gleichwohl vorhanden

4.6 Inspektionsstellen

Zur exemplarischen Feststellung des Korrosionszustandes der Bewehrung wurden an der Brückenuntersicht sowie einem Widerlager insgesamt 5 Inspektionsstellen erstellt. Hierzu wurde die Bewehrung lokal durch Stemmen freigelegt bzw. bereits vorhandene Hohllagen geöffnet und die Bewehrung anschließend mittels Nadelpistole grob von anhaftendem Rost befreit. Neben der Messung der Betondeckung und der Abschätzung des korrosionsbedingten Querschnittsverlustes wurde zudem in einem Fall die Karbonatisierungstiefe im Bereich einer Inspektionsstelle (I5 – Widerlager II - Palenberg) bestimmt (vgl. hierzu Abschnitt 4.1.5).

Aufnahmen der Inspektionsstellen mit den dazugehörigen weiteren Feststellungen sind in den Bildern C1 bis C5 im Anhang C enthalten.

5 BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Bauwerks- und Laboruntersuchungen von RBW kurz zusammengefasst:

- An den Unterseiten, übergehend auf die Seitenflächen, von fünf der neun Spannbetonfertigteile liegen Risse, Hohllagen und bereits erfolgte Betonabplatzungen infolge chloridinduzierter Bewehrungskorrosion vor.
- Im Bereich der Hohllagen an den Unterseiten der Spannbetonfertigteile weisen die Spannlitzen deutliche Korrosionserscheinungen auf. Viele Drähte der Litzen in diesen Hohllagen sind bereits durchgerostet bzw. gebrochen. Bei fortgeschrittener Korrosion ist bei den Spanndrähten ein sprödes Versagen anzunehmen, siehe hierzu auch /5/. Dies sollte bei einer statischen Betrachtung der Korrosionsschäden berücksichtigt werden.

- Auch die Bügelbewehrung der Spannbetonfertigteile weist im Bereich von Hohllagen, aber auch darüber hinaus (vgl. Inspektionsstelle I3) bereits deutliche Korrosionserscheinungen auf. Zumindest an einer, ggf. auch an mehreren Stellen umschließt die Bügelbewehrung nicht alle Spannlitzen. Ob dies aus statischer Sicht problematisch ist, kann von uns nicht bewertet werden. Auch bei der nicht vorgespannten Bewehrung muss berücksichtigt werden, dass größere korrosionsbedingte Querschnittsverluste zum Verlust der Duktilität und im Versagensfall zu spröden Brüchen führen, siehe /5/.
- Die an den Bohrmehlproben aus der Brückenunterseite ermittelten Chloridgehalte zeigen ein sehr heterogenes Bild. So sind in Bereichen mit Aussinterungen oder mutmaßlich feuchtebedingten Verfärbungen teilweise sehr hohe Chloridgehalte auch bis in große Tiefen vorhanden (CI I, CI IV), teilweise sind an solchen Stellen die Chloridgehalte aber auch nur gering bis mäßig erhöht (CI V, CI VI). An visuell unauffälligen Stellen wurden keine nennenswert erhöhten Chloridgehalte festgestellt (CI II, CI III, CI VIII). Es sei an dieser Stelle noch einmal deutlich darauf hingewiesen, dass bewusst Bereiche mit bereits vorhandenen Betonabplatzungen nur stichprobenhaft beprobt wurden, da die Ergebnisse in solchen Bereichen vorhersehbar waren (vgl. CI VII).
- Aufgrund der vielerorts vorhandenen Aussinterungen und Durchfeuchtungen in den Raumfugen zwischen den Spannbetonfertigteilen muss davon ausgegangen werden, dass auch die an die Raumfugen angrenzenden Bauteilflächen der Spannbetonfertigteile, zumindest bereichsweise, einem hohen Risiko chloridinduzierter Bewehrungskorrosion ausgesetzt sind. Diese Bauteilflächen sind jedoch für eine handnahe Untersuchung nicht zugänglich.

- An beiden Widerlagern liegen ebenfalls bereits hohe Chloridgehalte vor. Im Fall des Widerlagers auf der Seite Windhausen zeigten die eigenen Untersuchungen bis in eine Tiefe von 45 mm ausnahmslos sehr hohe Werte. Zudem ist der Beton in Höhe der Bewehrung bereits in weiten Teilen karbonatisiert. Hier laufen somit karbonatisierungsinduzierte und chloridinduzierte Korrosionsprozesse ab. Hierbei ist zu beachten, dass bei karbonatisiertem Beton kein Grenzwert eines kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehaltes existiert, sondern jegliches von außen eingedrungenes Chlorid korrosionsfördernd wirkt, siehe hierzu auch /6/.

Hohllagen, Risse und Betonabplatzungen mit freiliegender korrodierter Bewehrung zeigen, dass infolge von Korrosionsprozessen bereits Schäden an den beiden Widerlagerwänden eingetreten sind.

In Unterlage B sind Ergebnisse von Chloridgehaltsbestimmungen an den Unterseiten der Spannbetonfertigteile und den beiden Widerlagern enthalten. Da in Unterlage B kein Lageplan der Entnahmestellen enthalten ist, wurde im Zuge der Bauwerksuntersuchungen versucht, anhand von Bezeichnungen auf den Spannbetonfertigteilen eine Zuordnung der in Unterlage B dokumentierten Chloridgehalte zu den am Objekt vorgefundenen Entnahmestellen vorzunehmen.

Da allerdings einige Bezeichnungen an der Brücke nicht lesbar bzw. an einigen Entnahmestellen keine Bezeichnungen vorhanden waren, war uns eine vollständige Zuordnung nicht möglich. Aufgrund der Bezeichnung der Spannbetonfertigteile in Unterlage B, beginnend mit T1 und den am Objekt vorgefundenen Bezeichnungen ist aber anzunehmen, dass die in Unterlage B gewählte Reihenfolge der Bezeichnungen mit denen in Unterlage A und damit auch der vorliegend gewählten Bezeichnung übereinstimmt, vgl. auch Abschnitt 4.1 und Bild A1 im Anhang A.

Die in Unterlage B dokumentierten Chloridgehalte bestätigen die in dieser Gutachtlichen Stellungnahme dokumentierten Chloridgehaltsbestimmungen. So liegen lt. Unterlage B an 6 der 9 Spannbetonfertigteile Chloridgehalte zumindest in der ersten Tiefenlage über dem Grenzwert der RL SIB /2/ von 0,2 M.-%/Zement vor (Fertigteile 1 bis 4).

Auch an den Widerlagern sind lt. Unterlage B deutlich erhöhte Chloridgehalte vorhanden. Wie bereits erläutert, existiert bei karbonatisiertem Beton wie im Fall der Widerlager bereichsweise gegeben, kein Grenzwert bzgl. des kritischen korrosionsauslösenden Chloridgehaltes. Die in Unterlage B dokumentierten, deutlich erhöhten Chloridgehalte an den Widerlagern sind somit als korrosionsfördernd anzusehen.

Abschließend ist deutlich darauf hinzuweisen, dass aufgrund der Konstruktion der Brücke, bestehend aus nebeneinander liegenden Spannbetonfertigteilen mit dazwischen liegenden Raumfugen und bereichsweise vorhandenen Durchfeuchtungen und hohen Chloridgehalten davon auszugehen ist, dass an deutlich mehr als den bislang bekannten Stellen erhöhte Chloridgehalte und damit ein hohes Risiko chloridinduzierter Bewehrungskorrosion vorliegen. So sind bislang nur die Austrittsstellen chloridhaltigen Wassers an der Brückenunterseite bekannt. Es muss aber davon ausgegangen werden, dass auch unterhalb des Belags auf der Brückenoberseite und an den Fugenflanken der Raumfugen zwischen den Spannbetonfertigteilen deutlich erhöhte Chloridgehalte und ggf. bereits Schäden infolge chloridinduzierter Bewehrungskorrosion vorliegen können.

Schematisch ist diese Annahme im folgenden Bild gezeigt. So muss, ohne anderslautenden Kenntnisstand, angenommen werden, dass Chloride von der Oberseite durch Undichtigkeiten im Belag, Abdichtung, Fugen oder Randanschlüssen auf die Oberseite der Spannbetonfertigteile gelangen und von dort an den Seitenflächen der Spannbetonfertigteile herunterlaufen. Hier vorhandene Schäden sind von außen ohne große Bauteilöffnungen nicht feststellbar.

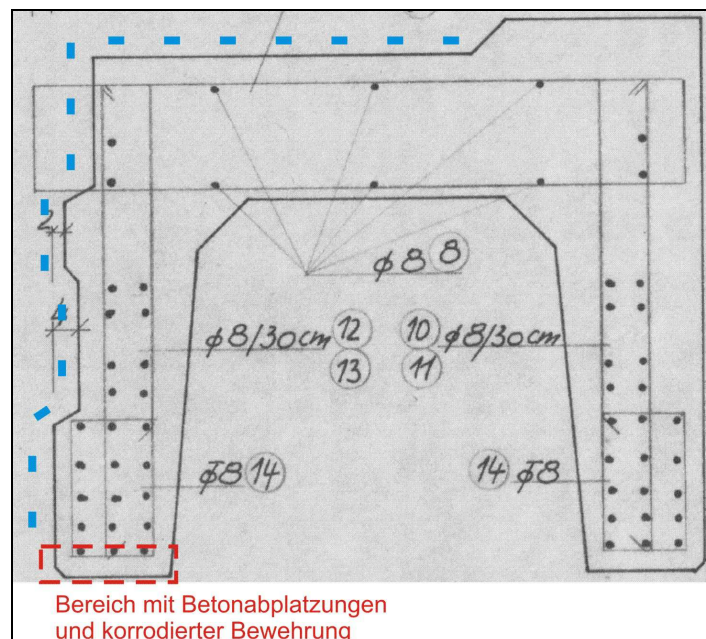


Bild 14: Auszug aus Unterlage E (Bewehrungsplan der Spannbetonfertigteile) mit beispielhafter schematischer Einzeichnung mehrfach vorgefundener Betonabplatzungen an der Unterseite der Längsträger und der möglicherweise durch Chlorideinwirkung korrosionsgefährdeten Bereiche (blau schraffiert)

Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, dass das Ausmaß an Korrosionsschäden deutlich größer ist als auf Basis der bisherigen Bauwerksuntersuchungen bekannt.

6 VORSCHLÄGE FÜR DAS WEITERE VORGEHEN

6.1 Instandsetzungsprinzipien der RL SIB

Für Bauteile, die durch chloridinduzierte Korrosion geschädigt sind (wie im vorliegenden Fall), beschreibt die RL SIB /2/ grundsätzlich die folgenden Prinzipien:

- Wiederherstellung des alkalischen Milieus „Prinzipien R-Cl“
- Begrenzung des Wassergehaltes im Beton „Prinzip W-Cl“
- Kathodischer Korrosionsschutz „Prinzip K oder KKS“
- Maßnahmen zur Chloridextraktion.

Nach /2/ ist bei dem „**Prinzip R-Cl**“ eine Repassivierung depassivierter oder korrodierender Stahloberflächen mit Hilfe alkalischer Dickbeschichtungen nicht möglich, wenn die Depassivierung auf die Einwirkung von Chloriden zurückzuführen ist. Der Beton muss in diesem Fall unabhängig von Korrosionserscheinungen an der Bewehrung überall dort bis zur Bewehrung, bzw. um einen Sicherheitszuschlag darüber hinaus, abgetragen werden, wo der für den jeweiligen Einzelfall maßgebende korrosionsauslösende Chloridgehalt überschritten ist. Im vorliegenden Fall erscheint dieses Prinzip, vorbehaltlich einer anderslautenden Einschätzung eines Tragwerksplaners, im Fall der Spannbetonfertigteile nicht anwendbar, da davon ausgegangen werden muss, dass im Zuge eines tiefgehenden Betonabtrags nennenswerte Spannkraftverluste eintreten können. Zudem muss geklärt werden, ob bereits korrodierte Bewehrung (vorgespannt und nicht vorgespannt) im Zuge einer Instandsetzung ergänzt werden muss. Weiterhin muss bedacht werden, dass ein Teil der chloridbeanspruchten Flächen (Seitenflächen beidseits der Raumfugen zwischen den Fertigteilen) nicht für einen Betonabtrag zugänglich ist.

Für die Widerlager hingegen kann das Prinzip R-Cl angewendet werden. Allerdings stellt sich hier die Frage, wie für die Dauer des Betonabtrags und der Reprofilierung die temporäre Auflagerung der Spannbetonüberbauteile sichergestellt werden kann.

Hinsichtlich des „**Prinzips W-Cl**“ nach /2/ ist zu bedenken, dass Chloride im Beton die elektrolytische Leitfähigkeit des Betons erhöhen. Auch heißt es in /2/, dass das Verfahren nur angewendet werden soll, wenn durch Probeinstandsetzungen an Referenzflächen vor Ausführung der Instandsetzungsmaßnahme die Auswirkung der Maßnahme auf den Korrosionsfortschritt der Bewehrung durch einen sachkundigen Planer überprüft worden ist. In /8/ wird zusätzlich angegeben, dass bei hohen Chloridgehalten eine ausreichende Austrocknung des Bauteils in der Regel nicht mehr zu erwarten ist. Es ist eine Anmerkung enthalten, dass bei Chloridgehalten von über 1 M.-%/Zementgehalt an der Bewehrung unter Umständen keine ausreichende Austrocknung im Beton eintritt.

Aufgrund der fortgeschrittenen Bewehrungskorrosion und der vermutlich nicht realisierbaren ausreichenden Austrocknung des Betons (u.a. über die den Raumfugen zugewandten Seitenflächen der Spannbetonfertigteile) erscheint das Prinzip W-Cl vorliegend nicht anwendbar. Auch bei den Widerlagern erscheint das Prinzip W-Cl aufgrund der fortgeschrittenen korrosionsbedingten Schäden nicht mehr anwendbar.

Das „**Prinzip K**“ basiert auf dem Prinzip des kathodischen Korrosionsschutzes. Der Korrosionsschutz erfolgt i.d.R. durch fremdstrominduzierte Polarisierung mit inerten Anoden. Details der Anwendung und Umsetzung des KKS werden in der DIN EN ISO 12696 /7/ geregelt. In größerem Umfang wird der KKS in Deutschland jedoch bei Stahlbetonbauwerken erst seit ca. 15 Jahren eingesetzt. Langzeiterfahrungen aus Projekten in Deutschland, über diesen Zeithorizont hinaus, sind daher nur sehr begrenzt verfügbar. KKS-Systeme nach DIN EN ISO 12696 /7/ müssen über die gesamte Restlebensdauer des Bauwerks gewartet, überwacht und geregelt werden, um den Korrosionsschutz sicherzustellen.

Aufgrund der fortgeschrittenen Bewehrungskorrosion erscheint das Prinzip K im vorliegenden Fall nicht mehr zielführend anwendbar, da im Vorfeld der Installation eines KKS-Systems zunächst umfangreiche Betoninstandsetzungsmaßnahmen durchgeführt werden müssten. Dies betrifft sowohl die Spannbetonfertigteile wie auch die Widerlager.

Im Fall der Spannbetonfertigteile muss bzgl. Anwendung des KKS hinterfragt werden, wie überhaupt die gesamte korrosionsgefährdete (mehrlagige) Bewehrung geschützt werden kann. So reichen hierfür auf den zugänglichen Betonoberflächen installierte Anoden vermutlich nicht aus, sondern es müssten ergänzend in die Spannbetonfertigteile eingebohrte diskrete Bohranoden vorgesehen werden. Diese jedoch ohne Risiko des Anbohrens der Spannlitzen zu installieren, erscheint kaum machbar, da die Lage sämtlicher Spannlitzen von außen zerstörungsfrei nicht detektiert werden kann. Auch muss angenommen werden, dass vermutlich nicht alle Spannlitzen miteinander und mit der nicht vorgespannten Bewehrung elektrisch leitend verbunden sind. Diese elektrische Kontinuität der Bewehrung ist aber Grundvoraussetzung für die Anwendbarkeit des KKS. Ist diese nicht gegeben, muss diese hergestellt werden, was im vorliegenden Fall aufgrund der Lage der Spannlitzen sehr aufwändig werden kann.

Der Einsatz von Maßnahmen zur Chloridextraktion ist bisher auf wenige Einzelfälle, häufig im Rahmen von Forschungsvorhaben, beschränkt. Bei diesem Verfahren werden über einen Anwendungszeitraum von einigen Wochen bis Monaten Elektroden (Anoden) temporär auf den Beton aufgebracht und Chloride mit Hilfe eines angelegten, elektrischen Feldes aus dem Beton extrahiert.

In der Mehrzahl der bekannten Praxisbeispiele wurde die elektrochemische Chloridextraktion dann angewendet, wenn ein Betonabtrag aus statischer Sicht nicht oder nur mit einem unverhältnismäßig großen Aufwand umsetzbar war oder wenn es sich um einzelne wenige chloridbelastete Bauteile handelte, so dass auch der KKS nicht wirtschaftlich erschien. Im vorliegenden Fall scheiden derartige Chloridextraktionen aus, da nicht alle chloridbelasteten Teilflächen der Spannbetonfertigteile für eine Chloridextraktion zugänglich sind. Zudem müssen auch bei diesem Verfahren alle Bewehrungselemente elektrisch leitend miteinander verbunden sein. Weiterhin besteht bei Vorspannung mit direktem Verbund bei diesem Verfahren die Gefahr einer wasserstoffinduzierten Spannungsrisskorrosion.

Zusammenfassend ergibt sich, dass aufgrund der Konstruktion der Brücke mit nebeneinanderliegenden Spannbetonfertigteilen und des Zustandes mit fortgeschrittener Bewehrungskorrosion einzelner Spannlitzen aus unserer Sicht kein Instandsetzungsprinzip der RL SIB /2/ zielsicher angewendet werden kann.

6.2 Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt erläutert, halten wir die alleinige Anwendung von Instandsetzungsprinzipien der RL SIB /2/ für die Instandsetzung der Brücke nicht für ausreichend.

Wir empfehlen als nächsten Schritt zunächst eine Betrachtung des Ist-Zustandes der Brücke aus statischer Sicht. Im Zuge der Betrachtung sollte abgeschätzt werden, welche Anzahl an Spannlitzen je Spannbetonüberbauteil vor dem Hintergrund der gegebenen Belastung der Brücke ausfallen darf. Besonders kritisch erscheinen hierbei die Spannbetonfertigteile 1 bis 4 sowie 8 und 9. Zumindest an den Spannbetonfertigteilen 2, 4 und 8 sind bereits nennenswerte Korrosionsschäden an Spannlitzen bekannt. Ggf. müssen im Anschluss an diese Betrachtung Maßnahmen zur Ablastung der Brücke vorgenommen werden, z.B. durch Beschränkung auf eine Fahrspur auf der Brücke oder Vornahme einer Lastbeschränkung.

In einem zweiten Schritt sollte seitens eines Tragwerksplaners überschlägig abgeschätzt werden, ob durch eine Verstärkung der Brücke, z.B. durch angeklebte CFK-Lamellen, korrosionsbedingte Ausfälle von Spannlitzen kompensiert werden können bzw. bis zu welchem Anteil geschädigter Spannlitzen dies technisch und wirtschaftlich sinnvoll durchführbar ist.

Sollte die Verstärkung des Überbaus technisch und wirtschaftlich nicht mehr sinnvoll erscheinen, kann beispielsweise über einen Austausch des Überbaus unter Beibehalt der Widerlager nachgedacht werden.

Hierbei sollte aus unserer Sicht aber weniger eine Instandsetzung von Teilflächen der Widerlager unter Berücksichtigung der RL SIB /2/ in Erwägung gezogen werden, sondern eher ein Rückbau des oberen Teils der Widerlager und Neuaufbau auf der bestehenden Gründung (sofern statisch zulässig). So ist ein Rückbau eines Teils der Widerlager z.B. mit Stemmhammer oder Bagger mit Meißelaufsatz i.d.R. deutlich wirtschaftlicher als die Anwendung des häufig in der Instandsetzung angewendeten Verfahrens des Hochdruckwasserstrahlens (HDW). Die reinen Netto-Kosten für den Betrieb einer HDW-Handlanze (Netto-Kosten für die bauausführende Firma ohne Nebenkosten etc.) liegen bei schätzungsweise ca. 1.500,- bis 1.800,- €/Tag. Die Abtragsleistung einer Handlanze liegt bei guten Randbedingungen bei ca. 0,5 bis 0,7 m³/d. Nicht in dieser Pauschale enthalten sind Lärmschutzmaßnahmen, Schutzmaßnahmen angrenzender Bauteile, Kosten für Auffangen, Aufbereiten und Entsorgen des Strahlwassers, Reinigen der Bauteilflächen etc. Die Summe dieser Aufwendungen kann je nach Randbedingungen ein Vielfaches der reinen Tagespauschale einer HDW-Handlanze betragen.

Ein partieller Rückbau und eine anschließende Neuerstellung von Teilen der Widerlager (sofern statisch umsetzbar) erscheinen uns daher, auf Basis des aktuellen Kenntnisstandes) aus technischer und wirtschaftlicher Sicht zielführender als eine Instandsetzung der Widerlager nach Prinzipien der RL SIB /2/.

7 SCHLUSSBEMERKUNG

Das Ingenieurbüro Raupach Bruns Wolff (RBW) wurde von der Stadt Übach-Palenberg, mit Bauwerks- und Laboruntersuchungen im Zuge der Ist-Zustandsfeststellung der Wurmbrücke Zweibrüggen beauftragt.

Die Ergebnisse der Bauwerks- und Laboruntersuchungen werden in der vorliegenden Gutachtlichen Stellungnahme dokumentiert.

Aufgrund der festgestellten Schäden an der Brücke und den Widerlagern erscheint die Anwendung von Instandsetzungsprinzipien der RL SIB /2/ nicht mehr zielführend. Aus diesem Grund erscheint auch eine Auseinandersetzung mit üblichen Kostenansätzen für die Anwendung dieser Instandsetzungsprinzipien nicht geeignet, um möglicherweise anfallende Instandsetzungskosten für die Brücke abzuschätzen.

Wir empfehlen, zunächst eine Bewertung bzgl. der Standsicherheit der Brücke unter Berücksichtigung der gegebenen korrosionsbedingten Schäden vornehmen zu lassen.

In einem zweiten Schritt sollte aus statischer Sicht abgeschätzt werden, inwieweit eine Verstärkung der Brücke zur Kompensation korrosionsbedingter Schäden an den Spannbetonbauteilen umsetzbar ist.

Gerne stehen wir dem Tragwerksplaner bzgl. der Formulierung von Annahmen für diese statischen Nachweise zur Verfügung.



Dr.-Ing. L. Wolff



Dipl.-Ing. M. Bruns

8 LITERATUR

- /1/ Springenschmid, R.: Anleitung zur Bestimmung des Chloridgehaltes von Beton. In: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton DAfStb, Heft 401. Beuth Verlag GmbH Berlin 1989
- /2/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton ; DAfStb; DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze. Teil 2: Bauprodukte und Anwendung. Teil 3: Anforderungen an die Betriebe und Überwachung der Ausführung. Teil 4: Prüfverfahren. Ausgabe Oktober 2001. Berlin : Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 2001, inklusive Ergänzungsblättern
- /3/ Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung - Merkblatt zur zerstörungsfreien Betondeckungsmessung und Bewehrungsortung an Stahl- und Spannbetonbauteilen – Merkblatt B 02 – April 2014
- /4/ DBV-Merkblatt: „Betondeckung und Bewehrung nach EC 2“ Fassung 2015, Deutscher Beton- und Bautechnikverein DBV Berlin e.V.
- /5/ Dauberschmidt, C., Fraundorfer, A., Baumgartner, A.: Einfluss chloridinduzierter Korrosion auf das mechanische Verhalten von Betonstabstählen. In: 6. Kolloquium „Erhaltung von Bauwerken“, Technische Akademie Esslingen, 22. und 23. Januar 2019
- /6/ DAfStb: Kritischer korrosionsauslösender Chloridgehalt – Positionspapier des DAfStb zum aktuellen Stand der Technik. Stand 08.Oktober 2015, abrufbar unter www.dafstb.de (Stand: 27.11.2019)
- /7/ DIN EN ISO 12696 Kathodischer Korrosionsschutz von Stahl in Beton (ISO 12696:2017); Deutsche Fassung EN ISO 12696:2017
- /8/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: DAfStb-Richtlinie „Instandhaltung von Betonbauteilen“, Teil 1 – Planung der Instandhaltung. Gelbdruck-Entwurf Stand 2016-06-14

9 ANHANG A: LAGEPLÄNE

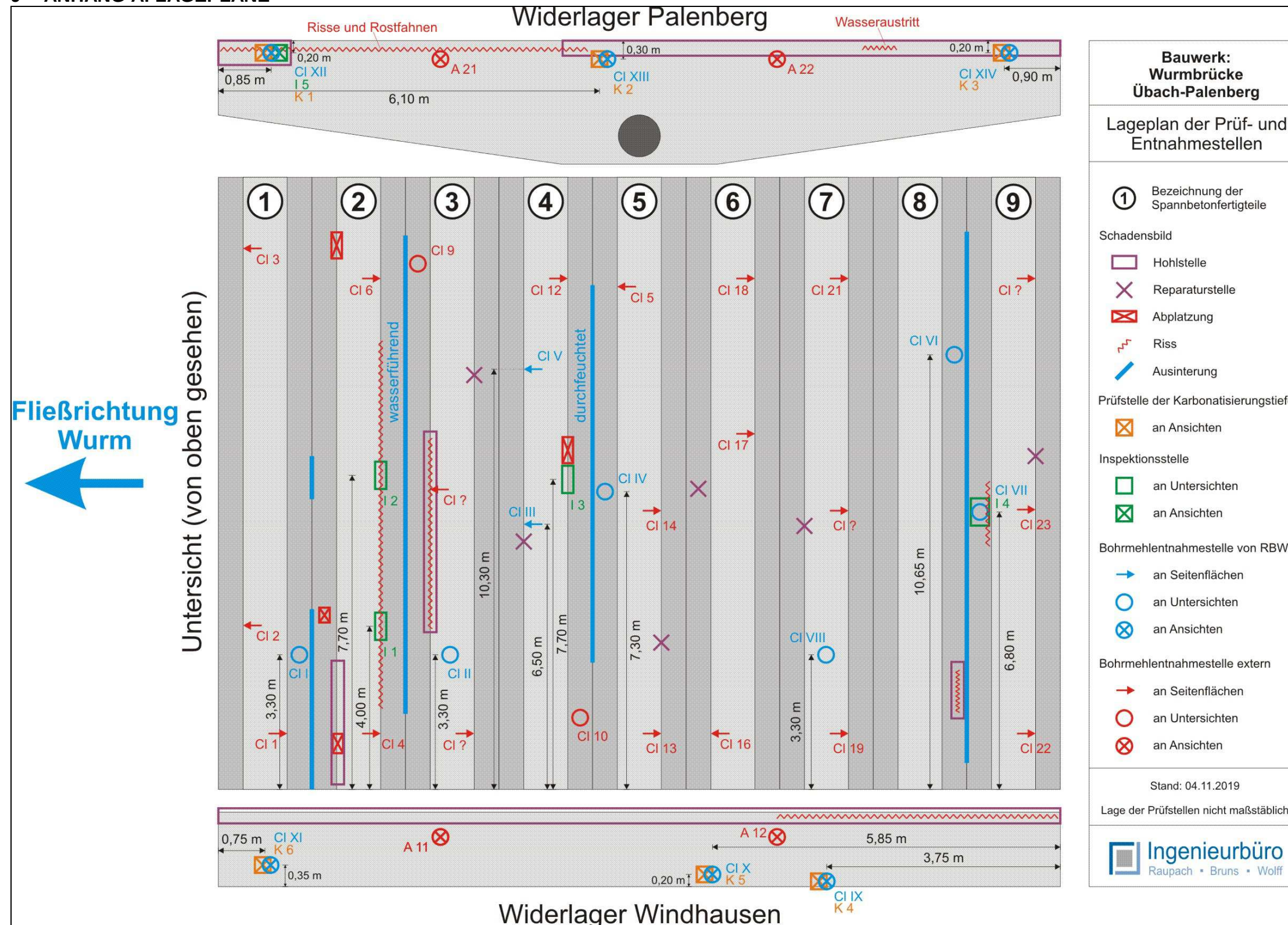


Bild A1: Grundriss der Brücken mit übersichtlicher Schadenskartierung und Lage der Untersuchungs- und Bohrmehlentnahmestellen (inkl. der Untersuchungsstellen nach Unterlage B – soweit möglich)

10 ANHANG B: BOHRMEHLENTNAHMESTELLEN



Bild B1: Bohrmehlentnahmestelle CI I - Brückenuntersicht



Bild B2: Bohrmehlentnahmestelle CI II - Brückenuntersicht



Bild B3: Bohrmehlentnahmestelle CI III - Brückenuntersicht



Bild B4: Bohrmehlentnahmestelle CI IV - Brückenuntersicht



Bild B5: Bohrmehlentnahmestelle CI V - Brückenuntersicht



Bild B6: Bohrmehlentnahmestelle CI VI - Brückenuntersicht



Bild B7: Bohrmehlentnahmestelle CI VII - Brückenuntersicht



Bild B8: Bohrmehlentnahmestelle CI VIII - Brückenuntersicht



Bild B9: Bohrmehlentnahmestelle CI IX – Widerlager I (Seite Windhausen)



Bild B10: Bohrmehlentnahmestelle CI X – Widerlager I (Seite Windhausen)



Bild B11: Bohrmehlentnahmestelle CI XI – Widerlager I (Seite Windhausen)



Bild B12: Bohrmehlentnahmestelle CI XII – Widerlager II (Seite Palenberg)



Bild B13: Bohrmehlentnahmestelle CI XIII – Widerlager II (Seite Palenberg)



Bild B14: Bohrmehlentnahmestelle CI XIV – Widerlager II (Seite Palenberg)

11 ANHANG C: INSPEKTIONSSTELLEN

			
Inspektionsstelle	Betondeckung	Chloridprofil	
I1	Ca. 40 mm (Unterseite)	Tiefe [mm]	Gehalt [M.-%/z]
Art der freigelegten Bewehrung	Zustand des Betons	0 – 15	Nicht bestimmt
1 Spannlitze	Hohlage, sich abzeichnende Betonabplatzung	15 – 30	
		30 – 45	
Korrosionszustand der Bewehrung und weitere Bemerkungen			
Eine Spannlitze wurde freigelegt. Diese wies deutliche Korrosionserscheinungen auf. Vier der fünf Drähte der Spannlitze waren im Bereich der Inspektionsstelle durchgerostet. Es ist anzunehmen, dass über den Verlauf der Spannlitze im Bereich der Hohlage alle Drähte der Spannlitze zumindest lokal durchgerostet sind.			

Bild C1: Inspektionsstelle I1 an der Seitenfläche / Unterseite eines Längsträgers des Spannbetonfertigteils 2



Inspektionsstelle	Betondeckung	Chloridprofil	
I2	Ca. 40 mm (Unterseite)	Tiefe [mm]	Gehalt [M.-%/z]
Art der freigelegten Bewehrung	Zustand des Betons	0 – 15	Nicht bestimmt
2 Spannlitzen 1 Bügel	Hohlloge, sich abzeichnende Betonabplatzung	15 – 30	
		30 – 45	
Korrosionszustand der Bewehrung und weitere Bemerkungen			
Es wurden zwei Spannlitzen freigelegt. Beide wiesen deutliche Korrosionsspuren auf. Es ist anzunehmen, dass über den Verlauf der beiden Spannlitzen im Bereich der Hohlloge alle Drähte der Spannlitze zumindest lokal durchgerostet sind. Die Bügelbewehrung verläuft oberhalb bzw. innerhalb der beiden Spannlitzen, d.h. die Spannlitzen werden im Bereich der Inspektionsstelle nicht vom Bügel umschlossen.			

Bild C2: Inspektionsstelle I2 an der Seitenfläche / Unterseite eines Längsträgers des Spannbetonfertigteils 2

Inspektionsstelle	Betondeckung	Chloridprofil	
I3	Ca. 15 mm (Unterseite) Ca. 30 mm (Seite)	Tiefe [mm]	Gehalt [M.-%/z]
Art der freigelegten Bewehrung	Zustand des Betons	0 – 15	Nicht bestimmt
1 Bügel 1 Spannlitze (nur punktuell)	Beton unauffällig	15 – 30	
		30 – 45	
Korrosionszustand der Bewehrung und weitere Bemerkungen			

Bügel mit muldenförmiger Korrosion. Korrosionsbedingter Querschnittsverlust ca. 10 bis 20 %.
Spannlitze nur sehr punktuell freigelegt, hier keine Korrosion erkennbar.

Bild C3: Inspektionsstelle I3 an der Seitenfläche / Unterseite eines Längsträgers des Spannbetonfertigteils 4



Inspektionsstelle	Betondeckung	Chloridprofil (Cl VII)	
I4	ca. 40 mm (Unterseite)	Tiefe [mm]	Gehalt [M.-%/z]
Art der freigelegten Bewehrung	Zustand des Betons	0 – 15	1,13
2 Spannlitzen 1 Bügel	Hohlage, sich abzeichnende Betonabplatzung	15 – 30	2,49
		30 – 45	3,56
Korrosionszustand der Bewehrung und weitere Bemerkungen			
Es wurden zwei Spannlitzen freigelegt. Beide wiesen deutliche Korrosionsspuren auf. Einige der Drähte der Spannlitzen waren im Bereich der Inspektionsstelle durchgerostet. Es ist anzunehmen, dass über den Verlauf der beiden Spannlitzen im Bereich der Hohlage alle Drähte der Spannlitze zumindest lokal durchgerostet sind. Der Bügel wies ebenfalls deutliche Korrosionsspuren auf. Dieser wurde jedoch nicht weiter freigelegt, so dass hier kein korrosionsbedingter Querschnittsverlust angegeben werden kann.			

Bild C4: Inspektionsstelle I4 an der Unterseite eines Längsträgers des Spannbetonfertigteils 9

Inspektionsstelle	Betondeckung	Chloridprofil (Cl XII)	
I5	ca. 15 mm	Tiefe [mm]	Gehalt [M.-%/z]
Karbonatisierungstiefe	Zustand des Betons	0 – 15	0,67
Ca. 27 mm	Hohlage, sich abzeichnende Betonabplatzung	15 – 30	0,83
		30 – 45	0,85
Korrosionszustand der Bewehrung und weitere Bemerkungen			

Vertikalstab mit deutlichen Korrosionsspuren. Korrosionsbedingter Querschnittsverlust ca. 20 bis 30 %.

Bild C5: Inspektionsstelle I5 am Widerlager II – Seite Palenberg