

## **Kornhausbrücke, Bern Zustandsuntersuchung des Korrosionsschutzes**

Bericht Nr.:	19054
Auftraggeber:	TBA Stadt Bern
Verfasst:	David Joos
Geprüft:	Dr. Martin Brem
Datum:	31. August 2020

# Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen .....	3
2	Situation .....	3
2.1	Objektbeschreibung .....	3
2.2	Auftrag .....	3
3	Durchgeführte Untersuchungen .....	3
3.1	Bezeichnung der Bauteile und Messflächen .....	4
3.2	Visuelle Inspektion.....	5
3.2.1	Hauptbogenbrücke .....	5
3.2.2	Nebenbogenbrücken .....	8
3.2.3	Geländer und Leitplanken auf der Brückenoberseite.....	8
3.3	Schichtaufbau .....	10
3.4	Schichtdickenmessungen (DFT) .....	11
3.5	Haftungstest .....	12
3.5.1	Haftzugversuche .....	12
3.5.2	Kreuzschnitttests.....	13
4	Beurteilung.....	14
4.1	Zustandsbeurteilung .....	14
4.2	Prognose der Zustandsentwicklung.....	15
4.3	Instandsetzungsvariante.....	15
4.4	Planung von Umweltschutzmassnahmen.....	16
5	Vorschlag für weiteres Vorgehen .....	17
6	Beilage: Bilddokumentation .....	18

# 1 Grundlagen

Die SGK wurde am 12.02.2019 beauftragt Zustandsuntersuchungen an den beiden trambefahrenen Brücken zur Berner Altstadt – die Kornhausbrücke und die Kirchenfeldbrücke – durchzuführen. Dieser Bericht beinhaltet die Messungen und Resultate der Untersuchungen an der Kornhausbrücke.

Als Grundlagen dienen:

- Planunterlagen und Dokumentation der Instandsetzung der Kornhausbrücke
- Dienstleistungsvertrag mit Nr. 17994 vom 12. Februar 2019
- Die Begehung mit Messungen vom 13. Mai 2020
- Die Messungen vom 09. Juni 2020

## 2 Situation

### 2.1 Objektbeschreibung

Die Kornhausbrücke über die Aare wurde zwischen September 1895 und Juni 1898 erstellt. Es handelt sich um eine 382 m lange mehrteilige genietete Bogenbrücke mit stählernen Fachwerkbögen und obenliegender, aufgeständerter Fahrbahn. Die Hauptöffnung über der Aare hat eine Stützweite von knapp 115 m, die fünf kleinen Bogen von je gut 34 m. Die Brücke ist 12,6 m breit, die Fahrbahn liegt an der höchsten Stelle des Hauptbogens 45 m über der Aare.

In der Mitte befinden sich zwei Trampspuren. Anschliessend folgen zwei Autospuren. An den äusseren Längsträger sind jeweils Konsolen angenietet, auf welchen sich die Trottoirs für die Fussgänger befinden. Zwischen den Fachwerksystemen in der Mitte befindet sich der begehbare Dienststeg.

### 2.2 Auftrag

Der Auftrag der SGK bestand in der Zustandsuntersuchung der bestehenden Korrosionsschutzbeschichtung. Die Untersuchungen beschränken sich auf die Korrosionsschutzbeschichtung der Fachwerkträger und der Geländer sowie der Verzinkung der Fahrbahnleitplanken auf der Brücke. Untersuchungen des Brückenoberbaus (mit Ausnahme der Geländer und der Fahrbahnleitplanken) der Auflager und Widerlager und die Messung von Querschnittsminderungen waren nicht Gegenstand der Untersuchungen.

## 3 Durchgeführte Untersuchungen

Die Begehung der Kornhausbrücke wurde am 13. Mai und die Inspektion am 9. Juni 2020 durchgeführt. Die Messungen an den Fachwerkträgern wurden einerseits vom Dienststeg aus und andererseits durch Kletterer des Tiefbauamts an den aussenliegenden Stützen und den Brückenbögen ausgeführt. Diese Arbeiten wurden an vorgängig definierten Stellen durchgeführt. Die Messstellen 1 bis 3 befinden sich auf dem Hauptbogen. Die vierte Messstelle befindet sich beim letzten kleineren Bogen (Seite Sonnenbergstrasse).

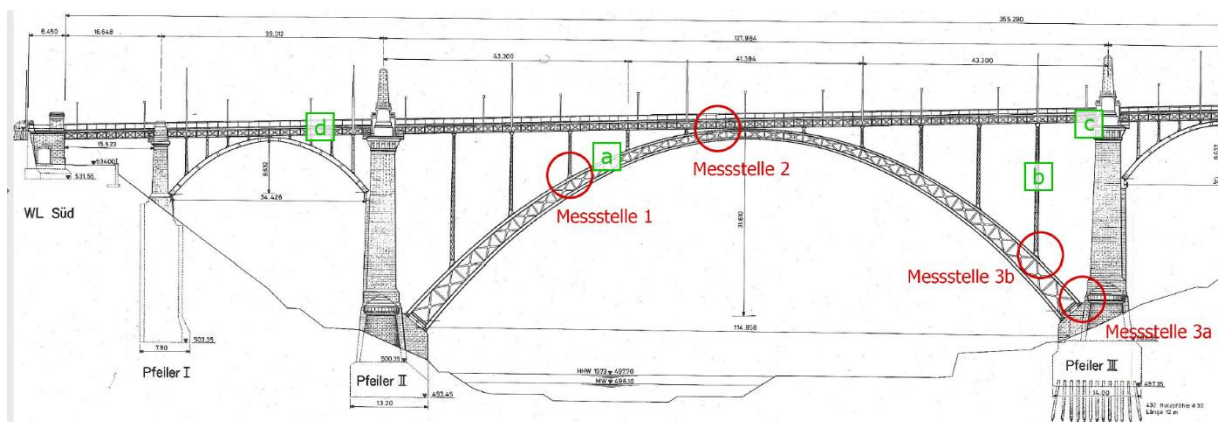
**Tabelle 1: Beschreibung der Messstellen aus Abb. 1 und Abb. 2.**

Messstelle	Beschreibung
1	Auf Höhe der 3. Stütze des Hauptbogens (Seite Kornhausplatz).
2	Auf Höhe der 5./6. Stütze des Hauptbogens (kurz vor höchster Stelle).
3a	Beim Lager des Hauptbogens beim Pfeiler III.
3b	Auf Höhe der 11. Stütze des Hauptbogens (letzte vor Pfeiler III).
4	Auf Höhe der 7. Stütze des kleinen Bogens zwischen Pfeiler VI und VII.

Die Messungen wurden teilweise an den Stützen und den Bögen durchgeführt. Da die Zugänglichkeit mit gewissen Messgeräten, wie z.B. dem Haftzuggerät dort nicht immer möglich war, wurden in den Bereichen oberhalb den Messstellen vom Dienststeg aus, ergänzende Messungen durchgeführt. Visuell waren alle Bereiche zugänglich.

### 3.1 Bezeichnung der Bauteile und Messflächen

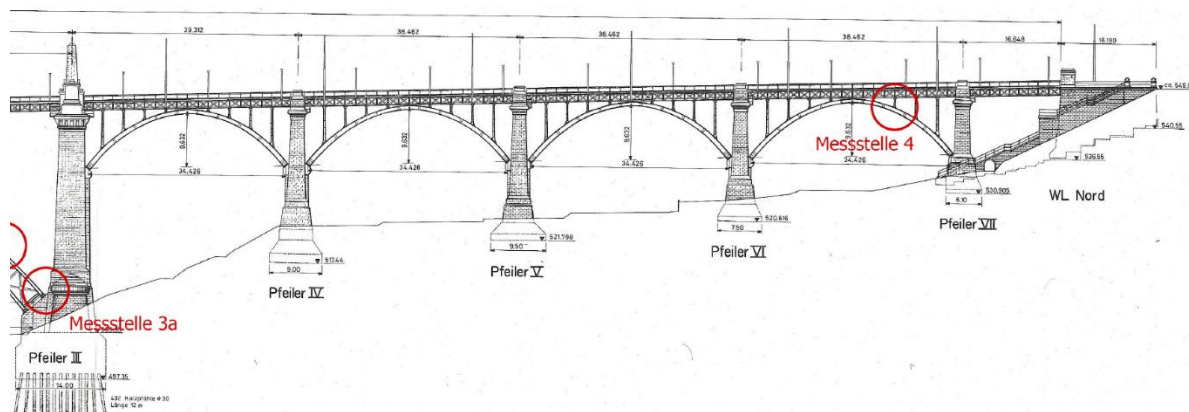
Die Stahlbrücken bestehen jeweils aus einer Fachwerkträgerkonstruktion, auf welcher sich die Fahrbahn befindet. Diese Konstruktion wird über Stahlfachwerkstützen auf den darunterliegenden Stahlfachwerkbögen abstützt. Im Innern zwischen den Stützen und den Bögen sind ebenfalls Stahlverstrebungen vorhanden. Zwischen den einzelnen Bogenbrücken stehen gemauerte Pfeiler (Römisch I bis VII). Eine Darstellung der Hauptbogenbrücke ist in Abb. 1 und der Nebenbogenbrücken in Abb. 2 dargestellt.



**Abb. 1: Darstellung der Messstellen auf dem Hauptbogen der Brücke.**

Die Hauptbrücke überspannt die Aare, womit die Bezeichnungen "Oberwasser"-Seite (OW) und "Unterwasser"-Seite (UW) zur Orientierung beigezogen werden können. Die Messungen wurden, wenn möglich beidseitig durchgeführt.

In Abb. 1 und Abb. 2 ist auch die Lage der Messstellen an den Fachwerkbögen eingezeichnet und beschriftet. In Tabelle 2 sind die Messstellen beschrieben.



**Abb. 2: (Fortsetzung) Darstellung der Messstelle 4 auf dem Bogen der Brücke zwischen den Pfeilern VI und VII.**

An diesen Stellen wurden die in den folgenden Kapiteln beschriebenen und in Tabelle 2 zusammengefassten Messungen durchgeführt. An den Stellen mit runden Markierungen wurden Messungen gemacht und z.T. Bilder aufgenommen. An den Stellen mit eckigen Markierungen wurden Bilder aufgenommen.

**Tabelle 2: Detailbeschreibung der Messstellen aus Abb. 1 und Abb. 2.**

Messstelle	Beschreibung
1	DFT (Trockenschichtdicke)
2	DFT, Haftung (Stempelabreissversuch/Kreuzschnitt), Schichtaufbau (Keilschnitt)
3a	DFT, Haftung (Stempelabreissversuch/Kreuzschnitt), Schichtaufbau (Keilschnitt)
3b	DFT, Haftung (Stempelabreissversuch/Kreuzschnitt), Schichtaufbau (Keilschnitt)
4	DFT, Haftung (Kreuzschnitt), Schichtaufbau (Keilschnitt)

Zusätzlich zu den Messungen an der Fachwerkkonstruktion unter der Brücke wurden auch die beschichteten Geländer und die verzinkten Leitplanken auf der Oberseite der Brücke untersucht. Am Tag der Messung waren die Wetterverhältnisse leicht regnerisch bei knapp 13 °C.

## 3.2 Visuelle Inspektion

Die visuelle Inspektion an den Stahlfachwerken zeigte, dass deren Korrosionsschutzbeschichtung grundsätzlich noch in einem guten Zustand befinden. Am Tag der Messung war es noch leicht regnerisch. Dadurch zeigte sich, dass die meisten Bereiche unter der Brücke vor Feuchtigkeit geschützt sind. Einige Stellen sind jedoch starker Feuchtigkeit ausgesetzt. Oftmals sind hierfür undichte Stellen im Oberbau oder in der Entwässerung verantwortlich.

### 3.2.1 Hauptbogenbrücke

Die Exposition gegenüber Feuchtigkeit nimmt von der Mitte der Brücke zu den Oberwasser- und Unterwasserseiten hin zu. Die Bogenoberseite erfährt die grösste Belastung. So läuft das Regenwasser häufig an den Stützen hinunter auf den Brückenbogen. Dort läuft das Wasser dem Bogen entlang nach unten oder bleibt auch teilweise stehen. An diesen Stellen kann sich schliesslich Wasser ansammeln und liegen bleiben. Diese Bedingungen führen zu einer erhöhten Belastung der Korrosionsschutzbeschichtung. An den kritischen Stellen wie Kanten und in Spalten können dann Korrosionserscheinungen auftreten.

Mehrheitlich werden mit dem Wasser braune Korrosionsprodukte mitgeführt, welche sich dann auf den Stahlteilen entlang den Wasserläufen ablagern. Dies erweckt den Anschein, dass der Stahl der Träger grossflächig korrodiert. Oftmals sind es aber kleinere Bereiche, an denen die Korrosion stattfindet. Die Spuren sind auf der Oberwasserseite ausgeprägter vorhanden.



**Abb. 3:** Links: Kaum Rostspuren auf der Unterwasserseite [a]  
Rechts: Rostspuren auf Bogenoberseite (Oberwasser) [a].

In Abb. 3 ist auf der linken die Bogenoberseite der Hauptbrücke unterwasserseitig und rechts oberwasserseitig an der Stelle [a] abgebildet. Dabei ist ersichtlich, dass die Oberwasserseite stärker von Korrosionserscheinungen betroffen ist als die Unterwasserseite. Abb. 4 zeigt die Einwirkung der Brutvögel, welche auf der Brückenkonstruktion ihre Nester bauen und dabei die Beschichtung mit Kot belasten. Auf der rechten Seite ist eine Stelle mit abgeplatzter Beschichtung abgebildet. Beide Bilder wurden an der Stelle [b] aufgenommen.



**Abb. 4:** Links: Vogelnester in der Konstruktion zwischen den Stützen [b]  
Rechts: Abplatzung der Beschichtung bei einer Stütze [b] (Messstelle 3b).

Abb. 5 zeigt die Auswirkung von eindringendem Wasser. An diesen Stellen wird die Beschichtung um ein Vielfaches mehr belastet als an vorwiegend trockenen Stellen. Dort zeigen sich dann die typischen Korrosionserscheinungen bei alternder Beschichtung, wie z.B. bei Nietenköpfen (Abb. 5, links) oder bei Spalten (Abb. 6, links) und Kanten (Abb. 6, rechts). Die Bilder wurden an der Stelle [c] aufgenommen.





**Abb. 5:**        **Links: Rostansätze bei nachbeschichteten Nietenköpfen [c]**  
**Rechts: Wasserlauf und Korrosion unter Trägerkonstruktion [c].**



**Abb. 6:**        **Links: Korrosion in Spalten und Rechts: Korrosion an Kanten.**



**Abb. 7:**        **Korrosion in Spalten und an Kanten bei der Messstelle 3a.**

Bei der Messstelle 3a zeigten Korrosionserscheinungen an typischen Stellen wie in Spalten und auf Kanten.



### 3.2.2 Nebenbogenbrücken

Auch auf den Bogenoberseiten der kleineren Brücken sind Wasserlaufspuren sichtbar, welche Korrosionsprodukte mitgetragen haben (Abb. 8). Hier ist der Unterschied zwischen Ober- und Unterwasserseite nicht so ausgeprägt wie beim Hauptbogen über der Aare.



**Abb. 8:** Links und rechts: Unter- und Oberwasserseite bei der Messstelle 4.

### 3.2.3 Geländer und Leitplanken auf der Brückenseite

Auf der Brückenseite hat es beschichtete Staketengeländer und feuerverzinkte Leitplanken.

Bei den Leitplanken handelt es sich um feuerverzinkte Stahlteile. Visuell fällt auf, dass es Bereiche gibt, auf denen die Zinkblume noch zu erkennen ist und andere, welche einen homogenen bräunlichen Farbton aufweisen (Abb. 9). Offensichtliche Roststellen konnten nicht gefunden werden.

Die Beschichtung der Geländer macht grundsätzlich einen guten visuellen Eindruck. Lediglich an einzelnen Stellen, hauptsächlich beim ersten Bogen zwischen Pfeiler I und II auf der Oberwasserseite sind bei den unteren Querträgern des Geländers Durchrostungen vorhanden (Abb. 10). Es konnte vor Ort keine offensichtliche Ursache für die Durchrostungen gefunden werden. Es zeigte sich aber, dass sich die Angriffe scheinbar von unten her ereignen. Dies zeigte sich an Stellen, wo die Beschichtung lediglich einen Riss aufwies, jedoch auf der Unterseite des Stahlträgers starke Korrosionsangriffe zeigte.



**Abb. 9:** Links: Durchrostete untere Geländerstange von oben und unten [d].





**Abb. 10: Durchrostete unterer Querträger von oben (links) und unten (rechts) [d].**

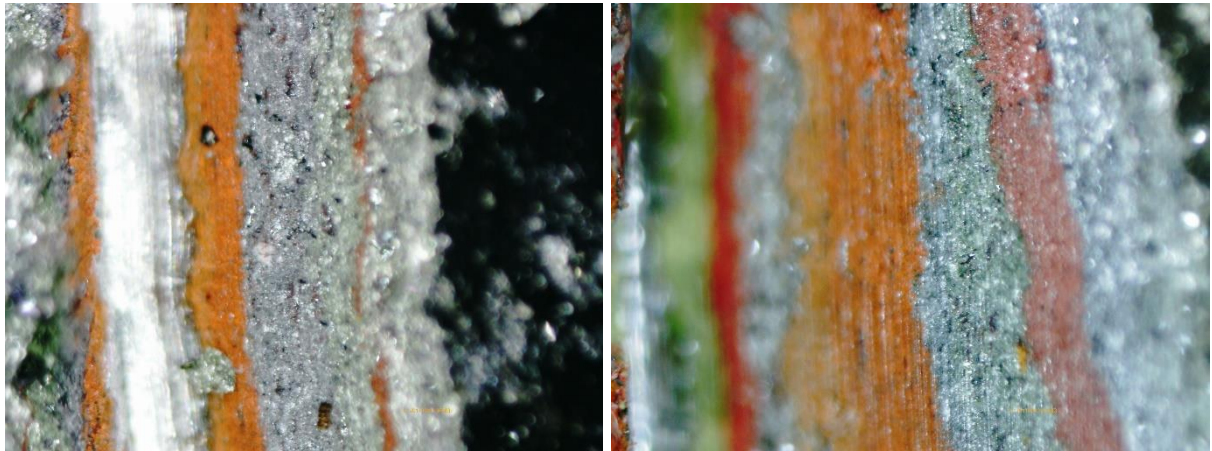
Auf der Aussenseite des Brückenoberbaus befinden sich beschichtete Stahlblenden oberhalb der Entwässerungsrinnen. Diese zeigen ebenfalls Korrosionsangriffe, ausgehend von der unteren Kante der Stahlblende. An diesen Stellen ist die Beschichtung aufgerissen und bietet keinen Schutz mehr.



**Abb. 11: Links: Durchrostete unterer Querträger von oben und unten [d].**

### 3.3 Schichtaufbau

Mittels Keilschnitten wurde der Schichtaufbau auf verschiedenen Stahlträgern ermittelt.



**Abb. 12: Beispiele des Schichtaufbaus im Keilschnitt.**

In Abb. 12 sind exemplarisch zwei Keilschnitte von der Messstellen 3a (links) und 3b (rechts) dargestellt. Dabei ist der Stahl jeweils auf der linken Seite dargestellt. Ganz rechts ist die schwarz markierte Oberfläche der Deckschicht. Aus diesen beiden Keilschnitten wird ersichtlich, dass es auf der Brücke viele verschiedene Ausführungsvarianten der Beschichtung gibt. Dies hängt primär mit den etappenweisen und partiellen Ausbesserungen zusammen, welche in der Vergangenheit ausgeführt wurden.

In der Regel wurde auf dem Stahl eine orange Bleimennige Beschichtung (A) aufgetragen. Darüber liegt eine graue Beschichtung (B). Je nach Stelle folgen 1 (C/D) bis 2 (E/F/G) weitere Lagen orange Bleimennige, resp. graue Eisenglimmer. Die Resultate der Schichtdickenbestimmung der einzelnen Lagen mittels Keilschnitt sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

**Tabelle 3: Schichtdicken der verschiedenen Beschichtungslagen.**

Messstelle – Bez.	Total [µm]	Lage [µm]						
		A	B	C	D	E	F	G
2 – 1	440	105	55	55	225			
2 – 2	240	85	80	20	55			
3b – 3	1070	50	60	115	265	300	130	150
3b – 4	570	170	135	110	155			
4 – 5	325	85	75	165				
3a – D	480	170	150	105	55			
3a – E	480	110	135	100	20	115		

### 3.4 Schichtdickenmessungen (DFT)

An diversen Stellen wurden zerstörungsfreie Schichtdickenmessungen mit einem magnetinduktiven Schichtdickenmessgerät Fischer Dualscope FMP40 durchgeführt.

Für die Messung wurden verschiedene Bereiche einzeln gemessen. Für die Auswertung der Daten wurden vergleichbare Messblöcke zusammengefasst. Die Messwerte sind in Tabelle 4 für die Stahlkonstruktion unterhalb der Brücke und in Tabelle 5 für die Strukturen auf der Brücke zusammengefasst dargestellt.

**Tabelle 4: Schichtdickenmessungen auf der Unterseite der Brücke.**

Messbereiche	Mittelwert	Min.	Max.	#Werte
Hauptbogenbrücke	398	130	897	464
MS1 (OW/UW)	470	225	867	57
MS2 (OW/UW)	400	237	726	25
MS3a (OW/UW)	395	198	641	40
MS3b (OW/UW)	407	147	954	132
Kleinere Nebbogenbrücken	381	90	988	890
MS4 (OW/UW)	418	222	834	27
Alle Messpunkte	392	90	988	1635

Aus Tabelle 4 ist ersichtlich, dass die Beschichtung auf allen Brückenteilen einen Mittelwert von knapp 400  $\mu\text{m}$  erreicht. Dabei streuen die Werte aber sehr stark. So wurden Stellen mit lediglich nicht mal 100  $\mu\text{m}$  und andere mit beinahe 1000  $\mu\text{m}$  gemessen.

Die Beurteilung der Schichtdickenmessungen wird im Kapitel 4.1 diskutiert.

**Tabelle 5: Schichtdickenmessungen auf der Oberseite der Brücke.**

Messbereiche	Mittelwert	Min.	Max.	#Werte
Leitplanke (bräunliche Bereiche)	98	89	115	30
Leitplanke (Bereiche mit Zinkblume)	117	102	150	30
Leitplanke (Seite Fussgängerweg)	127	93	166	20
Geländer Staketen	245	144	399	20
Geländer Handlauf	271	202	345	20

Bei den Messwerten von den Strukturen auf der Brücke gilt festzuhalten, dass die braunen Bereiche auf den verzinkten Leitplanken effektiv rund 20-30  $\mu\text{m}$  weniger aufweisen als die Bereiche, wo wie die Zinkblume noch erkennbar ist.



## 3.5 Haftungstest

### 3.5.1 Haftzugversuche

An den Messstellen 2, 3a und 3b wurde die Haftfestigkeit der Beschichtung mittels insgesamt 5 Stempelabreissversuchen ermittelt.



**Abb. 13:** Abgezogene Haftzugstempel B (links) und D (rechts).

Die Resultate der Haftfestigkeitsprüfungen sind in Tabelle 6 zusammengefasst und exemplarisch für die Messung in Abb. 13 anhand der Stempeln B (links) und D (rechts) abgebildet.

**Tabelle 6:** Resultate der Haftzugversuche.

Messstelle Bez.	Schichtdicke [ $\mu\text{m}$ ]	HZF [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchbild *)			
2 – A	575	5.0	85% D	15% D/Y		
3b – B	759	4.5	85% D	15% D/Y		
3b – C	426	7.5	40% D	50% D/Y	10% Y/Z	
3a – D	395	4.3	10% B	5% C	70% D	15% D/Y
3a – E	395	8.9	80% E	20% E/Y		

- \*) A: Kohäsionsbruch im Grundmaterial (Rostschicht)  
A/B: Adhäsionsbruch zwischen Grundmaterial und Beschichtung  
B, C, D, E: Kohäsionsbruch in einer Beschichtung  
B/C, C/D, D/E: Adhäsionsbruch zwischen zwei Lagen  
.../Y: Adhäsionsbruch zwischen Deckbeschichtung und Kleber  
Y: Kohäsionsbruch im Kleber  
Y/Z: Adhäsionsbruch zwischen Kleber und Stempel

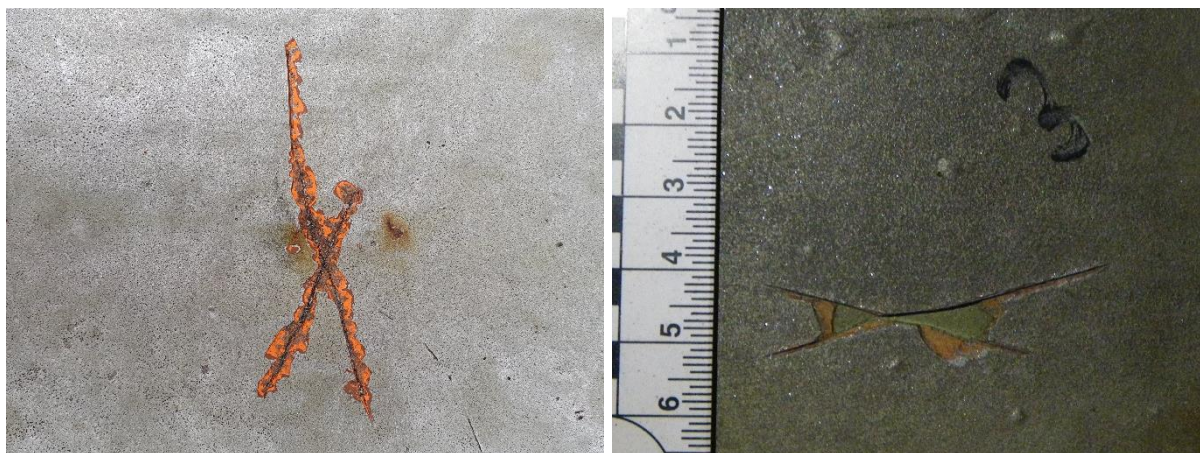
Die Haftzugfestigkeit (HZF) und Das Bruchbild, also die Information wann und wie ein Beschichtungssystem unter Last versagt, geben Aufschluss über den Verbund eines Beschichtungssystems. Ein Kohäsionsbruch erfolgt in einer Schicht und ein Adhäsionsbruch zwischen zwei Schichten.

Je nach Beschichtungssystem unterscheiden sich diese Werte zwischen 2-16 N/mm<sup>2</sup>. Werte über 4 N/mm<sup>2</sup> sind für ein Beschichtungssystem dieses Alters als gut zu erachten. Von grösserer Bedeutung ist das fehlende Auftreten von Adhäsionsbrüchen zwischen dem

Grundmaterial und der Grundbeschichtung (A/B), was aus korrosionstechnischer Sicht unerwünscht ist.

### 3.5.2 Kreuzschnitttests

An den Messstellen 2, 3a, 3b und 4 wurde die Haftfestigkeit der Beschichtung mittels insgesamt 7 Kreuzschnitttests ermittelt.



**Abb. 14:** Kreuzschnitte an den Messstellen (links) und D (rechts).

Die Resultate der Haftfestigkeitsprüfungen sind in Tabelle 6 zusammengefasst und exemplarisch für die Messung in Abb. 13 anhand der Messstellen A (links) und H (rechts) abgebildet.

**Tabelle 7:** Resultate der Kreuzschnitttests.

Messstelle	Schichtdicke [µm]	Ergebnis
2 – 1	575	Kennwert 0
2 – 2	480	Kennwert 0
3a – D	395	Kennwert 3
3a – E	395	Kennwert 1
3b – 3	1055	Kennwert 1, resp. Kennwert 4 (doppelt geschnitten)
3b – 4	570	Kennwert 3
3b – B	759	Kennwert 1, resp. Kennwert 3 (doppelt geschnitten)
3b – C	426	Kennwert 3
4 – 5	650	Kennwert 1

## 4 Beurteilung

### 4.1 Zustandsbeurteilung

Der allgemeine Zustand der Korrosionsschutzbeschichtung der Stahlfachwerke der Kornhausbrücke ist grundsätzlich in Ordnung. Diese Beurteilung beruht primär darauf, dass lediglich stellenweise Fehlstellen in der Beschichtung vorhanden sind und der Unterhalt der Brücke regelmässig erfolgt. Zudem ist die Belastung durch Feuchtigkeit primär auf die ober- und unterwasserseitigen Aussenbereiche der Brückenbogenoberseiten beschränkt. Andererseits sind kleinere Flächen vorhanden, insbesondere an geometrisch heiklen Stellen wie Kanten und Spalten, an welchen die Beschichtung durchrostet ist, was darauf hindeutet, dass die Korrosionsschutzbeschichtung ihre Schutzdauer lokal erreicht hat.

Ein Beschichtungssystem hat seine Schutzdauer erreicht, wenn Durchrostungen auftreten. Je nach dem, in welchem Umfang die Durchrostungen am Bauwerk auftreten werden unterschiedliche Sanierungsvarianten ausgeführt. Diese unterscheiden sich gemäss den Richtlinien für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten (RI-ERH-KOR) des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Deutschland) zwischen "keine Aktivitäten", "Ausbesserung", "Teilerneuerung" und "Vollerneuerung". Bei einer Ausbesserung werden lediglich die betroffenen Stellen instand gestellt. Bei einer Teilerneuerung wird zusätzlich eine neue Deckbeschichtung appliziert. Eine Vollerneuerung ist gleichbedeutend mit dem vollständigen Entfernen der Altbeschichtung und der Applikation eines neuen Korrosionsschutzsystems.

Das Erreichen der Schutzdauer ist nicht gleichbedeutend mit dem Lebensende der Struktur, sondern lediglich mit jenem des Korrosionsschutzes. Bei einer Exposition der Kategorie C4 gemäss SN EN ISO 12944-2 ist an den Stellen ohne Korrosionsschutz im ersten Jahr mit einem Korrosionsfortschritt von 400-650 g/m<sup>2</sup> oder 50-80 µm zu rechnen. Normalerweise nimmt die Korrosionsgeschwindigkeit mit der Zeit ab.

Beispielsweise wurden im Bereich des Auflagers bei der Messstelle 3a viele solche Stellen gefunden. An diesen Stellen ist die Korrosionsschutzbeschichtung lokal beschädigt und der darunterliegende Stahl korrodiert. Eindringendes Wasser führt dazu, dass die Korrosionsprodukte vom Entstehungsort über weitere Bereiche gelangen und sich flächig ablagern können.

Auch unter der Fahrbahnplatte gibt es vereinzelt Stellen, an denen die Belastung durch Feuchtigkeit höher ist als im Normalfall. Diese Stellen sind primär durch undichte Entwässerungen oder konstruktiv bedingte Wasserläufe verursacht.

Der in gewissen Bereichen optisch schlechte Eindruck aufgrund der Flächen, welche braun verfärbt sind, ist primär darauf zurück zu führen, dass Rostwasser auf die Stahlfachwerke gelangt ist und sich die Rostpartikel dort abgelagert haben.

Ob die gemessenen Schichtdicken den Vorgaben entsprechen kann an dieser Stelle nicht abschliessend beurteilt werden. Gemäss den Angaben im Dokument über das Korrosionsschutzsystem der Kirchenfeldbrücke vom 30. März 1988 (von der Kornhausbrücke ist kein entsprechendes Dokument vorhanden) waren 2x Grundierung und 2x Deckschicht für die Ausführung geplant. Eine Lage entspricht dabei in der Regel einer Dicke von 60-80 µm, womit eine Gesamtschichtdicke (NDFT) von 240-320 µm erreicht würde. Die Minimalanforderung an die Dicke eines solchen Systems wäre somit 190-250 µm (80% NDFT).

Sofern nicht genauer spezifiziert wird bei Fragen zu Beschichtungen oft die neunteilige Norm SN EN ISO 12944 angewendet. Die Anforderungen an eine Beschichtung gemäss dieser Norm



kann je nach dem, welche Umgebungsbedingungen klassifiziert wurden und welche Schutzdauer erreicht werden sollte sehr unterschiedlich ausfallen.

In der SN EN ISO 12944-5:2018 werden Angaben zur Mindestanzahl der Schichten und der Minimalen NDFT eines Beschichtungssystems gemacht. Unter der Annahme der Korrosivitätskategorie C4 und einer sehr hohen Schutzdauer ("vh", >25 Jahre) sind gemäss Tabelle B.4 mindestens 2-3 Schichten und eine Trockenschichtdicke (NDFT) von mindestens 260-300 µm erforderlich. Dies deckt sich mit den Angaben aus dem Dokument über das Korrosionsschutzsystem und den getroffenen Annahmen.

Die Prüfungen der Haftung haben gezeigt, dass der Korrosionsschutz an den Stellen, welche noch intakt sind, eine genügend hohe Haftung auf dem Stahl aufweist. Daher wird von einer Vollerneuerung des Korrosionsschutzes abgeraten, da diese nicht im Verhältnis zur vorliegenden Situation stehen würde.

## **4.2 Prognose der Zustandsentwicklung**

Im Allgemeinen ist die Korrosionsschutzbeschichtung intakt und noch in ausreichender Schichtstärke vorhanden. Es ist daher innerhalb der nächsten 10 bis 15 Jahren nicht mit einem grossflächigen Versagen des Korrosionsschutzes zu rechnen. Die Stellen, welche jedoch ein Eindringen oder Ansammeln von Wasser erlauben, sollen instandgesetzt werden, um die Belastung für die betroffene Beschichtung zu reduzieren. Unter Berücksichtigung der Exposition und der daraus resultierenden Korrosionsgeschwindigkeit ist es vertretbar, die Instandsetzung des Korrosionsschutzes im Rahmen der Sanierungsarbeiten im Jahr 2023/24 durchzuführen.

Der Zustand in den Bereichen und den Fehlstellen, wo der Stahl nicht mehr durch eine geschlossene Beschichtung geschützt wird, wird sich verschlechtern. Insbesondere in den Bereichen mit Wasserzutritt ist weiterhin eine deutliche Verschlechterung des Zustandes zu erwarten. Ausgehend von den Fehlstellen in der Beschichtung wird das Grundmaterial der Stahlfachwerkbrücke korrodieren. Die sich direkt auf der Metalloberfläche bildenden voluminösen Korrosionsprodukte begünstigen das Unterwandern und Ablösen der Beschichtung an den Rändern der Fehlstellen. Es ist somit lokal mit einer Verschlechterung der Korrosionssituation zu rechnen sofern keine Massnahmen ergriffen werden.

Es wurden keine Messungen des Materialabtrags vorgenommen. Es wird aber angenommen, dass an den Stellen, an welchen der Stahl des Grundmaterials bereits korrodiert noch kein nennenswerter Korrosionsabtrag stattgefunden hat. Sofern also ein neues Korrosionsschutzsystem innerhalb der nächsten 5 Jahren aufgebracht wird, kann die Brücke erhalten werden ohne dass grössere Ausbesserungen an den Stahlprofilen notwendig werden.

Mittels periodischer Prüfung der Altbeschichtung und entsprechender, fachgerechter Ausbesserung von Stellen, an denen das Korrosionsschutzsystem lokal die Schutzdauer erreicht hat, sollte eine Vollsanierung (entfernen der Altbeschichtung und Applikation eines neuen Korrosionsschutzsystems) der gesamten Brücke auch längerfristig vermieden werden können.

## **4.3 Instandsetzungsvariante**

An den Stellen, welche Durchrostungen zeigen ist eine Instandsetzung des Korrosionsschutzes angebracht. Als Mindestvariante ist somit eine lokale Ausbesserung des Korrosionsschutzes auszuführen. In Anbetracht der teilweise etwas knappen Mindestschichtdicken (ca. 100 µm) ist zudem in Betracht zu ziehen eine Teilerneuerung gemäss RI-ERH-KOR

durchzuführen, bei welcher zusätzlich zu den Ausbesserungen eine neue Deckbeschichtung auf der ganzen Brücke appliziert wird.

Eine Vollsanieung mit Entfernung der Altbeschichtung und Applikation eines neuen Korrosionsschutzsystems wird in Anbetracht des generellen Zustands der Altbeschichtung und dem damit verbundenen Ausmasses in Bezug auf die Entfernung der Altbeschichtung (Einhausung wegen Umweltschutz, etc.) als unverhältnismässig erachtet.

Bei den Ausbesserungen des Korrosionsschutzes werden lokal mittels mechanischer Vorbereitung von Hand die Fehlstellen der bestehenden Korrosionsschutzbeschichtung für die Applikation eines neuen Korrosionsschutzsystems vorbereitet.

Bei einer Ausweitung der Sanierungen auf eine Teilerneuerung wird vorgeschlagen die Brücke zu reinigen und anschliessend eine Deckbeschichtung auf der gesamten Brücke zu applizieren.

Die Ausbesserungen des Korrosionsschutzes der Brücke sollte mit einem Korrosionsschutz-System mit einem Eignungsnachweis für die Umweltbedingung C4 mit sehr hoher Schutzdauer sichergestellt werden. Zusätzlich ist darauf zu achten, dass die Kompatibilität der neuen Produkte mit der bestehenden Beschichtung gewährleistet ist. Die Wahl des Farbtones ist in Absprache mit den zuständigen Stellen der Denkmalpflege zu treffen.

Zusätzlich zu den Instandsetzungen des Korrosionsschutzes ist es angebracht die jeweilige Ursache für das lokale Versagen der Beschichtung abzuschätzen. Bei offensichtlichen Mängeln an der Konstruktion, welche lokal zu einem erhöhten Feuchtigkeitszutritt führt, solle eine entsprechend bauliche Instandsetzung in Betracht gezogen werden, um die Expositionssituation der betroffenen Stelle zu verbessern und nicht nur den Korrosionsschutz zu erneuern.

#### **4.4 Planung von Umweltschutzmassnahmen**

Es wurden keine Probe zur Schadstoffanalyse genommen. Aus dem Untersuchungsbericht Bericht Nr. 1334 der Firma SCE GmbH wurden insbesondere Blei, Chrom und Zink gemessen. Bei den gemessenen Mengen ist die Richtlinie für den Umweltschutz bei Korrosionsschutzarbeiten des BUWAL zu beachten.

## **5       Vorschlag für weiteres Vorgehen**

Als Mindestvariante ist der Korrosionsschutz der Brücke innerhalb der nächsten fünf Jahre lokal zu erneuern, sofern mit der bestehenden Korrosionsschutzbeschichtung die Anforderungen an den Korrosionsschutz auch in Zukunft sichergestellt werden soll.

Eine Mögliche Vorgehensweise wäre es z.B. im Frühjahr 2021 Musterflächen an den Brücken zu erstellen, um mögliche Instandsetzungsverfahren zu testen. Diese Musterflächen könnten dann nach mindestens einem Jahr (im Jahr 2022) geprüft und beurteilt werden. Dies würde noch Zeit für Anpassungen am Vorgehen bieten für eine Durchführung der Sanierung ab 2023. Dieses Vorgehen ist unabhängig von der geplanten Sanierung.

Die Oberflächenvorbereitung und die Applikation des Beschichtungssystems sind gemäss den Anforderungen der Normenreihe SN EN ISO 12944 zu begleiten und zu überwachen.

Nach erfolgter Sanierung empfiehlt sich den Stand des Korrosionsschutzes im Rahmen der periodischen Kontrollen durch den Unterhaltsdienst visuell zu prüfen. Es ist ebenfalls angebracht eine Prüfung durch eine Fachfirma periodisch durchführen zu lassen.

Dr. Martin Brem

David Joos



## 6 Beilage: Bilddokumentation



**Abb. 15:** Dienststeg bei der Hauptbrücke über die Aare, Blickrichtung Nord.



**Abb. 16:** Unterwasserseitiges Auflager des Bogens über die Aare (Pfeiler II).





**Abb. 17: Oberwasserseitiges Auflager des Bogens über die Aare (Pfeiler II).**



**Abb. 18: Oberwasserseitiger Hochpunkt des Hauptbogens.**





**Abb. 19: Oberwasserseitiger Bogen, Blickrichtung Süd.**

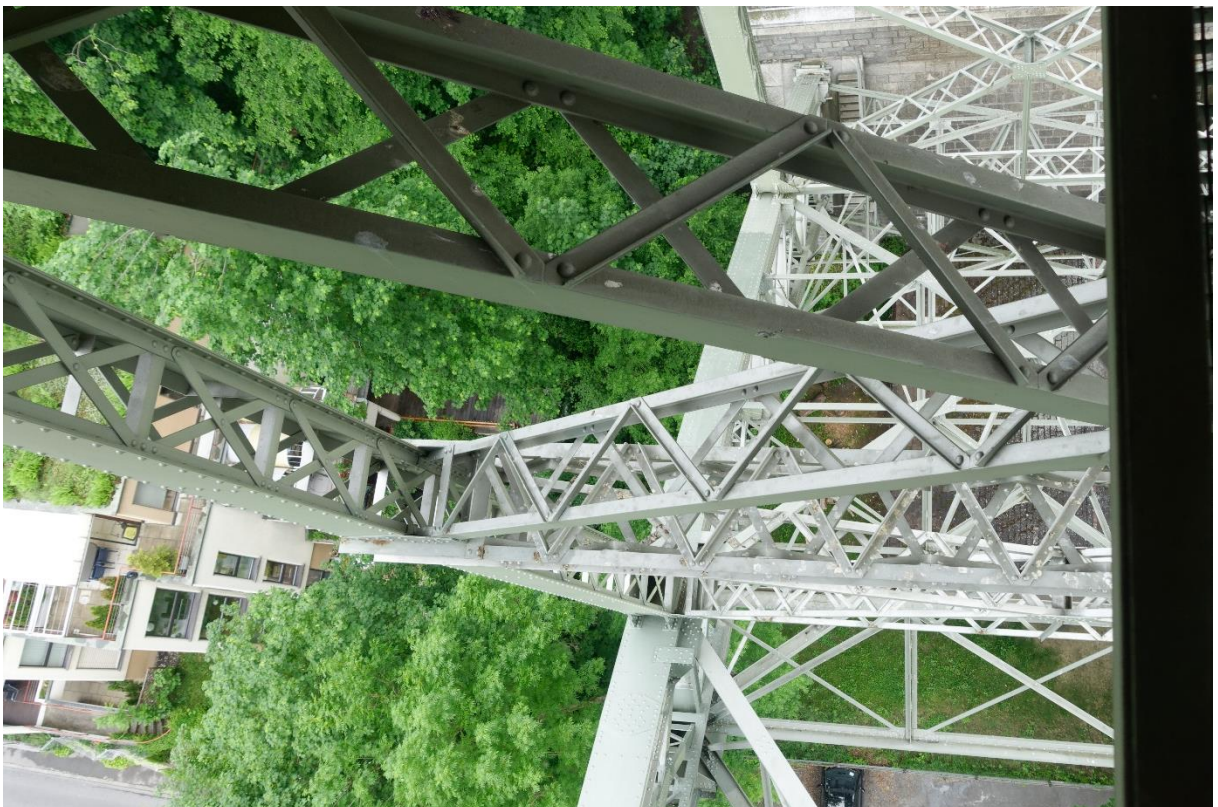


**Abb. 20: Unterwasserseitiger Bogen, Blickrichtung Süd.**





**Abb. 21: Stütze Nr. 10 der Hauptbrücke, Seite Oberwasser.**



**Abb. 22: Stütze Nr. 10 der Hauptbrücke, Seite Unterwasser.**





**Abb. 23:**      **Korrosion auf Träger. Vermutlich ausgehend von der oberen Trägerkante.**



**Abb. 24:**      **Vorbrücke ohne Bogen beim Widerlager Nord, Blickrichtung Süd.**





**Abb. 25: Nicht genügend dichte Entwässerungsdurchführung.**



**Abb. 26: Korrosion in Spalten beim Auflager Nord (Messstelle 3a).**





**Abb. 27: Korrosion an Nieten beim Auflager Nord (Messstelle 3a).**



**Abb. 28: Korrosion in Mulde beim Auflager Nord (Messstelle 3a).**