

Langsamverkehrsverbindung Birchli Willerzell

Machbarkeitsstudie mit Kostenschätzung



Greifensee, 04.12.2017 / **Revision 26.01.2018**

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	3
2. Allgemeines	5
2.1 Ausgangslage	5
2.2 Bestehender Willerzellerviadukt	5
2.3 Zustand des Willerzellerviadukt	6
2.4 Grundlagen + Weitere Studien	7
2.5 Auftrag Machbarkeitsstudie + Zielsetzung	8
3. Randbedingungen	9
3.1 Nutzung und Nutzungsdauer	9
3.2 Konstruktive Ausbildung + Ausrüstung	9
3.3 Weiterverwendung Unterbau	10
4. Überbau	12
4.1 Ersatz vs. Instandsetzung	12
4.2 Statische Aspekte	12
4.3 Varianten Ersatz	13
4.4 Vergleich und Beurteilung	18
5. Unterbau / Instandsetzung Joche	20
5.1 Ausgangslage	20
5.2 Zustand Bereiche über Wasser	20
5.3 Zustand Bereiche unter Wasser	21
5.4 Kathodischer Korrosionsschutz	22
5.5 Grundsatzüberlegungen zur Instandsetzung Joche	24
5.6 Massnahmenempfehlung Bereich über Wasser (Bereich A)	26
5.7 Massnahmenempfehlung Wasserwechselzone (Bereiche B/C)	27
5.8 Massnahmenempfehlung Bereich unter Wasser (Bereiche D / E)	28
5.9 Zusammenfassung Instandsetzungsbereiche + Massnahmen	29
6. Überwachung und Instandhaltung	30
7. Bauvorgang	31
7.1 Instandsetzung Joche	31
7.2 Rückbau bestehender Überbau	33
7.3 Erstellung neuer Überbau (Trägerrost)	34
7.4 approximatives Bauprogramm	34
8. Kostenschätzung	36
8.1 Methodik	36
8.2 Randbedingungen	36
8.3 Kostenzusammenstellung	38
8.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	39
9. Fazit	44
9.1 Erkenntnisse	44
9.2 Offene Punkte	44

Anhang 1 Plangrundlagen Bestand	47
Anhang 2 Analyse Stichprobe Joch 18	48
Anhang 3 Protokoll Zustandsaufnahmen Taucharbeiten	51
Anhang 4 Bericht SGK	53
Anhang 5 Bericht Kontrakorrosion zu Schutzkonzept KKS	59
Anhang 6 Detailauszug Kostenschätzung	63

1. Zusammenfassung

<i>Konzession</i>	Die Konzession des Etzelwerks lief im Mai 2017 aus. Der Betrieb ist bis 2022 mittels einer Übergangskonzession gesichert. Im Rahmen der anstehenden Konzessionsverhandlungen bildet der 1937 in Betrieb genommene Willerzellerviadukt einen wichtigen Bestandteil.
<i>Langsamverkehrsverbindung</i>	Gemäss einem Regierungsratsbeschluss des Kantons Schwyz soll der bestehende Willerzellerviadukt aus dem Kantonsstrassennetz entlassen werden. Anstelle einer Sanierung oder eines Rückbaus ist auch der Betrieb als Langsamverkehrsverbindung LVB denkbar.
<i>Inhalt Machbarkeitsstudie</i>	Im Rahmen der vorliegenden Studie wird die Machbarkeit der LVB aufgezeigt und mit welchen Kosten dabei zu rechnen ist.
<i>Alternative Instandsetzung</i>	Eine Instandsetzung des Überbaus wird in dieser Studie nicht behandelt. Für die Instandsetzung des Überbaus und der Joche kann das Massnahmenprojekt 2015 von bpp Ingenieure AG und das Gutachten zur Instandsetzung des Willerzellerviadukts von Professor Th. Vogel und P. Klein beigezogen werden.
<i>Varianten Ersatz Überbau</i>	Mit Hilfe eines Variantenstudiums wird die Bestvariante für den Ersatz des Überbaus ermittelt. Neben statischen Randbedingungen bilden die Dauerhaftigkeit und die Kosten eine massgebende Rolle. Es zeigt sich, dass die Ausbildung des Überbaus entweder als Trägerrost oder als Verbundlösung am zielführendsten erscheint.
<i>Wiederverwendung Unterbau (Foundation / Joche)</i>	Beim Unterbau wird davon ausgegangen, dass die Foundation mittels Holzpfehlen einen guten Zustand aufweist. Somit erscheint eine Weiterverwendung unter der Bedingung, dass die zukünftig einwirkenden Lasten nicht grösser sind als diejenigen von heute, zulässig. Ein 2015 erstelltes Massnahmenprojekt MP empfiehlt, die bestehenden Stahljoche instandzusetzen und weiterzuverwenden.
<i>Massnahmen Bereich über Wasser</i>	Eine Analyse des MP zeigt, dass sich die vorgesehenen Massnahmen im Wesentlichen auf den Bereich oberhalb des Seespiegels konzentrieren. Der hier vorgeschlagene Ersatz des Korrosionsschutz KS erscheint vernünftig. Aufgrund der Belastung des KS mit PCB, Schwermetallen und allenfalls Asbest (1 Stichprobe) sind hohe Sicherheitsanforderungen beim Entfernen des KS vorzunehmen, was sich direkt in den Kosten niederschlägt.
<i>Zustand Bereich unter Wasser / KKS</i>	Der Bereich unter Wasser wird vermutlich erstmalig einer vertieften Untersuchung unterzogen. Dieser Bereich ist ebenfalls mit einem KS (Erstschutz) geschützt, zusätzlich wurde seit 1954 als weiterer Schutz ein kathodischer Korrosionsschutz KKS installiert. Die durchgeführten Tauchuntersuchungen und ergänzenden Messungen am KKS zeigen, dass im Unterwasser-

	bereich keine Korrosion vorhanden ist und dass der KKS funktionstüchtig ist.
<i>Massnahmen Bereiche unter Wasser / Wechselzone</i>	Im Hinblick auf die Restnutzungsdauer wird allerdings empfohlen, die Wirkungsweise des KKS zu überprüfen und allenfalls neu zu konfigurieren. Zusätzlich sollen die Joche im Bereich des schwankenden Seespiegels (Wasserwechselzone) mit einem KS mit erhöhter Schichtdicke versehen werden. Dazu ist eine Teilabsenkung des Seespiegels unumgänglich.
<i>Bauzeit 5 Jahre, Teilabsenkung Seespiegel</i>	Für die Instandsetzung der Joche und den Ersatz des Überbaus wird mit einer Bauzeit von ca. 5 Jahren gerechnet. Damit die wirtschaftlichen Einbussen der Teilabsenkung des Seespiegels im Rahmen gehalten werden können, beschränkt sich die Instandsetzung der Joche über dem Wasser jeweils auf die Wintermonate.
<i>Kostenschätzung CHF 25 Mio (exkl. MWST)</i>	Die Grobkostenschätzung (+/-30%) zeigt, dass der Ersatz des Überbaus ca. CHF 16 Mio. kostet (inkl. Rückbau des bestehenden Überbaus und Honorare + Nebenkosten). Die Instandsetzung der Joche wird mit CHF 8.5 Mio. (inkl. Honorare + Nebenkosten) beaufschlagt. Dabei ist zu bemerken, dass aufgrund des Asbestverdachtes im Sinne einer Budgetposition CHF 2.5 Mio. für die zusätzlichen Sanierungskosten (erhöhte Sicherheitsmassnahmen und Entsorgungskosten) eingerechnet sind. Somit belaufen sich die Gesamtkosten (exkl. MWST) auf CHF 24.5 Mio.
<i>Wirtschaftlichkeitsberechnungen (LCC / Barwert)</i>	<p>Im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden die Gesamtinvestitionen über 80 Jahre zusammengestellt, diese belaufen sich (exkl. MWST) auf ca. CHF 51 Mio. (CHF 33 Mio. für den Ersatz des Überbaus, 18 Mio. für die Instandsetzung der Joche).</p> <p>Mittels der Barwertmethode kann mit einem Zinssatz von 4.5 % ein Barwert von CHF 29.5 Mio. errechnet werden. Wird der Zinssatz auf 1.44 % verringert erhöht sich der Barwert auf rund CHF 39 Mio. (jeweils Ersatz + Instandsetzung, ohne MWST).</p>
<i>Machbarkeit gegeben</i>	Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass eine Umnutzung des bestehenden Viaduktes unter Weiterverwendung der bestehenden Fundation (Holzpfähle) und Joche mit entsprechenden Massnahmen machbar ist.

2. Allgemeines

2.1 Ausgangslage

Viadukt als Teil der Konzessionsverhandlungen

Die Konzession des Etzelwerks lief Ende Mai 2017 aus. Eine Übergangskonzession regelt den Betrieb bis 31.12.2022.

Die Etzelwerk AG (EWAG), eine 100%ige Tochtergesellschaft der SBB AG ist Besitzerin des Willerzellerviadukts. Der Viadukt stellt ein wichtiges Element in den Konzessionsverhandlungen dar.

Schaffung Langsamverkehrsverbindung

Der Regierungsrat des Kantons Schwyz hat sich im September 2016 dafür ausgesprochen, den Willerzellerviadukt aus dem Kantonsstrassennetz zu nehmen. Anstelle einer Sanierung oder eines Rückbaus des Viaduktes sieht man die Schaffung einer Langsamverkehrsverbindung zwischen Birchli und Willerzell als eine zu prüfende Lösung.

2.2 Bestehender Willerzellerviadukt

Hauptabmessungen

Der vor dem Einstau des Sihlsee in den Jahren 1932 -36 erstellte Willerzellerviadukt verbindet Einsiedeln mit Willerzell und überquert den Sihlsee mit insgesamt 45 Brückenfeldern (Regelspannweite 25 m, Endfelder 20 m) mit einer Gesamtlänge von 1'150 m.



Abbildung 1 Erstellung vor Einstau Sihlsee

<i>Beschrieb bestehender Viadukt</i>	Der Überbau ist als klassischer Verbundquerschnitt ausgebildet. Dabei besteht er aus 2 durchlaufenden Stahlträgern, die mit der darüber liegenden Betonfahrbahnplatte im Verbund wirken. Die Gesamtbreite des Überbaus beträgt 5.0 m (nutzbare Breite / Fahrbahn 4.5 m). In Längsrichtung sind zur Aufnahme der Verformungen in 7 Feldern Gerbergelenke mit Fahrbahnübergängen angeordnet.
<i>Joche und Fundation</i>	Die Brücke lagert auf ausgefachten Stahljochen mit Längen zwischen 3.50 und 16.0 m, welche auf Holzpfählen fundiert sind (weiterführende Angaben siehe Kap. 3.3). Die Stahljoche sind grundsätzlich als Pendeljoche ausgebildet. Zur Längsstabilisierung sind 7 Doppeljoche vorhanden.
<i>Nutzung</i>	Der Viadukt wurde ursprünglich für eine verteilte Nutzlast von 400 kg/m ² respektive einer Einzellast von 14 to bemessen. Aktuell wird der Strassenverkehr zweisepurig im Gegenverkehr geführt, wobei die zulässigen Lasten auf 16 to beschränkt sind (Signalisation). Für den Postauto-Betrieb besteht eine Ausnahmegewilligung bis 18 to.

2.3 Zustand des Willerzellerviadukt

<i>Viadukt sanierungsbedürftig</i>	<p>Der Willerzellerviadukt ist sanierungsbedürftig (Zustandsklasse ZK 3 – 4¹). Seit Jahren wurde der Viadukt periodisch untersucht und punktuell auch saniert.</p> <ul style="list-style-type: none">▪ 2007 Sanierung Fahrbahnplatte▪ 2008 Visuell Inspektion▪ 2009 Potentialfeldmessungen▪ 2010 Inspektion Unterkonstruktion▪ 2011 Inspektion Unterkonstruktion▪ 2012 Zustandsuntersuchungen und Massnahmenkonzept▪ 2014 Studie zum Abschluss des Vorprojekts▪ 2015 Massnahmenprojekt▪ 2017 Ersatz der Fahrbahnübergänge (Sofortmassnahme)▪ Regelmässige Nivellementmessungen alle drei Jahre
------------------------------------	--

¹Der Zustand von Bauwerken und Bauteilen wird gem. gängiger Nomenklatur in 5 Zustandsklassen beschrieben:

ZK 1 guter Zustand, ZK 2 annehmbarer Zustand, ZK 3 schadhafter Zustand (bedeutende Schäden), ZK 4 schlechter Zustand (grosse Schäden) und ZK 5 alarmierende Schäden



Abbildung 2 Zustandserfassung Joche und Träger

Massnahmenprojekt 2015

Das 2015 ausgearbeitete Massnahmenprojekt zur Instandsetzung des Überbaus wie auch der Joche (Bereich über dem Wasserspiegel) ist abgeschlossen. Die Auslösung der weiteren Phasen (Submission, Realisierung) sind zurzeit sistiert.

2.4 Grundlagen + Weitere Studien

Grundlagen

Als Basis für die vorliegende Machbarkeitsstudie dienen folgende Grundlagen:

- Archivakten Erstellung Willerzellerviadukt, 1930er-Jahre
- Massnahmenkonzept 2012, Flückiger + Bosshard AG, Zürich (Stufe Vorprojekt)
- Massnahmenprojekt 2015, bpp Ingenieure AG, Schwyz (Stufe Bauprojekt)

Zusätzlich wurden seitens des Auftraggebers diverse weiterführende Unterlagen, wie z.B. langjährige Messreihen zu Setzungsverhalten, Rammprotokolle Pfähle, Messprotokolle des Kathodischen Korrosionsschutzes, etc. zur Verfügung gestellt.

Ergänzende Aufnahmen

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde erkannt, dass der Zustand der Joche unter Wasser nur beschränkt bekannt ist. Mithilfe von Tauchaufnahmen könnte diese Lücke zumindest teilweise geschlossen werden. Die Erkenntnisse der Aufnahmen halfen, die Massnahmenempfehlung für die Instandsetzung der Joche (siehe Kap. 5) zu formulieren.

weitere Studien

Weitere Studien („Bericht Prof. Dr. Fontana“ 2016, „Gutachten Prof. Dr. Brühwiler“ 2017, etc.) wurden für die Erstellung der vorliegenden Studie in Rücksprache mit dem Auftraggeber nicht berücksichtigt.

2.5 Auftrag Machbarkeitsstudie + Zielsetzung

Machbarkeitsstudie

Die Verhandlungspartner (Konzedenten und SBB) haben entschieden, im Rahmen einer Planungsgruppe die Machbarkeit und Kostenschätzung einer Langsamverkehrsverbindung zwischen Birchli und Willerzell zu ermitteln.

Die Machbarkeit soll im Rahmen einer Studie ermittelt werden. Der Ansatz ist, den Brückenoberbau (Fahrbahnplatte) sowie die unterhalb liegenden Längs- und Querträger (bis zum Jochquerträger) zurückzubauen. Die Pendeljoche sollen soweit möglich instandgesetzt und weiter verwendet werden.

Auftrag dsp

Die Planungsgruppe hat die dsp Ingenieure & Planer AG aus Greifensee mit der Durchführung einer Studie beauftragt.

Alternative Instandsetzung

Eine Instandsetzung des Überbaus wird in dieser Studie nicht behandelt. Für die Instandsetzung des Überbaus und der Joche kann das Massnahmenprojekt 2015 von bpp Ingenieure AG und das Gutachten zur Instandsetzung des Willerzellerviadukts von Professor Th. Vogel und P. Klein beigezogen werden.

3. Randbedingungen

3.1 Nutzung und Nutzungsdauer

Nutzung

Die Langsamverkehrsverbindung soll für folgende Verkehrsteilnehmer zugelassen werden:

- Fussgänger
- Inlineskater
- Fahrradfahrer
- Mofa und E-Bikes (25 km/h und 45 km/h)

Der Zugang für PKW und LKW ist zu verhindern. Als Ausnahme gelten Kommunalfahrzeuge für den Unterhalt (Maximalgewicht 5 to)

Nutzlast

Die verteilte Nutzlast der neuen Brücke wird somit unter Anwendung der Norm SIA 261:2013 Art. 9 auf 4 kN/m^2 (400 kg/m^2) beschränkt. Zudem wird eine Einzellast von 50 kN berücksichtigt, wobei diese nicht gleichzeitig mit der verteilten Nutzlast wirkt.

Die Brückenbreite inklusive Randbord und Geländer soll kleiner 5.0 m sein. Die Konstruktion ist für eine Lebensdauer von 80 Jahren zu planen.

3.2 Konstruktive Ausbildung + Ausrüstung

Markierung Fahrbahn

Die Fahrbahn für die Fahrradfahrer ist nicht richtungsgetrennt. Zwischen Fussgänger und Fahrbahn ist keine Trennung mittels einer Bodenmarkierung vorzusehen. Bei Bedarf kann diese zu einem späteren Zeitpunkt ergänzt werden.

Belag

Die Fahrbahn soll feiner Belag aufweisen, langlebig und im Unterhalt einfach sein. Somit wird er in Gussasphalt ausgebildet.

Geländer

Das Geländer soll den gängigen Normanforderungen entsprechen und wird dementsprechend min. 1.3 m hoch ausgebildet.

Entwässerung

Die Entwässerung der Brücke erfolgt dezentral über Speier direkt in den See.

Werkleitungen

Die vorhandene Schmutzwasserleitung bleibt bestehen. Weitere Werkleitungen sind zurzeit nicht vorgesehen, dennoch sollen mögliche Leitungstrassees berücksichtigt werden (Lehrrohranlage).

Beleuchtung

Der Viadukt soll keine eigentliche Strassenbeleuchtung erhalten. Eine Orientierungsbeleuchtung (z.B. unterhalb des Handlaufes, analog Fussgängerbereich neuer Steinbachviadukt) erscheint ausreichend.

3.3 Weiterverwendung Unterbau

Erstellung Pfähle

Die Brücke ruht auf Pendeljochen, die in regelmässigen Abständen von 25 bzw. 20 Metern angeordnet sind. Die Pendeljochen stehen auf zwei pyramidenförmigen geramten Pfahlgruppen von 5 bis 8 Holzpählen. Zwischen den Pendeljochen befinden sich einzelne Standjochen, die mit der doppelten Zahl von Pfählen fundiert sind. Die Pfähle stammen aus dem Höhrnen und dem Waadtland und wurden mit einer Länge von bis zu 28m mit einer Dampfframme in den Grund getrieben.



Abbildung 3 Pfahlerstellung

Zustand / Weiterverwendung Pfähle

Zustand Pfahlfundation

Über den Zustand der Pfahlfundationen kann folgendes gesagt werden:

- Die regelmässigen Nivellementmessungen über den ganzen Viadukt geben keinen Hinweis auf eine Abnahme der Qualität.
- Experten der WSL und EMPA sind klar der Meinung, dass „wenn Holzfundationen ständig im Wasser sind, dann kann davon ausgegangen werden, dass nichts oder praktisch nichts passiert. Bedingung ist, dass das Holz nie mit Luft in Verbindung kommt.“ und "wenn die Belastung abnimmt, dann umso besser".

Der Berichtverfasser teilt die gängige und anerkannte Meinung der Experten der WSL und der EMPA.

Statische Vergleichsrechnung

Eine durchgeführte statische Vergleichsrechnung zeigt, dass mit den für Langsamverkehrsbrücken anzunehmenden Nutzlasten und den zukünftigen ständigen Lasten (Eigenlasten und Auflasten wie Belag, Geländer etc.) bei einem Ersatz des Überbaus die Belastung der Pendeljoche wie auch der Foundationen tendenziell abnimmt.

Annahme Foundation weiterverwenden

In Rücksprache mit der Planungsgruppe wird somit die Annahme getroffen, dass die Pfahlfoundationen in einem annehmbaren Zustand sind und weiter verwendet werden sollen.

Empfehlung Untersuchung Pfähle alter Steinbachviadukt

Der 2015 abgebrochene alte Steinbachviadukt wurde als „Schwesterbauwerk“ ebenfalls vor dem Einstau des Sihlsees als vergleichbare Konstruktion errichtet. Die Foundation bestand auch aus gerammten Holzpählen. Während der Rückbauarbeiten wurde entschieden, die Pfahlbankette sowie die Holzpfähle nicht zurückzubauen sondern diese einzuschütten. Somit sind dort noch etliche Foundationen vergleichbarer Art vorhanden. Der Berichtverfasser empfiehlt, an einer dieser Foundationen (welche jeweils im Frühjahr trockenfallen) eine Zustandserfassung im Sinne von Ausgrabungen der Pfähle vorzunehmen und deren Zustand zu beurteilen. Aufgrund dieser Beurteilung kann die getroffene Annahme des „guten“ Zustandes der vorhandenen Holzpfähle verifiziert werden.

Verifizierung Empfehlung Massnahmenprojekt

Weiterverwendung Joche

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie soll wie schon erwähnt geprüft werden, in wie weit der Vorschlag des Massnahmenprojektes zur Weiterverwendung der Joche und den dazu notwendigen Instandsetzungsmassnahmen sinnvoll erscheint. Dabei ist ein besonderes Augenmerk auf die geforderte Restnutzungsdauer von 80 Jahre zu werfen.

4. Überbau

4.1 Ersatz vs. Instandsetzung

*Machbarkeitsstudie mit Tot-
alersatz Überbau*

Der Berichtverfasser beschränkt sich im Rahmen der Machbarkeitsstudie in Rücksprache mit dem Auftraggeber auf Lösungsvorschläge welche einen Ersatz des bestehenden Überbaus beinhalten. Die Joche sollen wie in Kap. 3.3 erwähnt soweit möglich (und sinnvoll) instandgesetzt und wieder verwendet werden.

*Alternative Instandsetzung.
Basis Massnahmenprojekt
bpp*

Als Alternative zum Totalersatz des Überbau kann eine Instandsetzung des Überbaus gesehen werden. Hierzu kann auf das ausgearbeitete Massnahmenprojekt von bpp Ingenieure AG zurückgegriffen werden, welches eine Instandsetzung des bestehenden Überbaus und der Joche beinhaltet. Dabei soll die Betonfahrbahnplatte instandgesetzt werden sowie der Korrosionsschutz der Längsträger wie auch der Joche im Überwasserbereich erneuert werden. Zusätzlich ist ein Ersatz der Abdichtung, der Beläge, der Fahrbahnübergänge und weiterer Ausrüstungsteile vorgesehen.

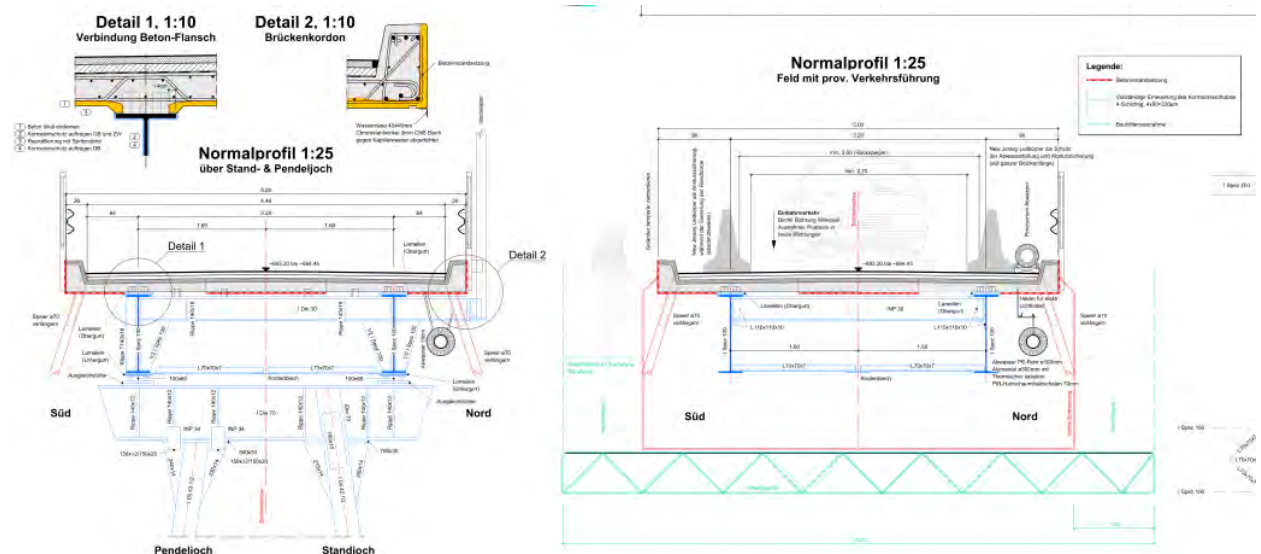


Abbildung 4 Massnahmen Überbau, Auszug Massnahmenprojekt bpp

4.2 Statische Aspekte

*Vergleich Nutzlasten ur-
sprünglich / neu*

Die Umnutzung der Brücke von einem Verkehrsträger mit einer Nutzlastbeschränkung von 16 to zu einer Langsamverkehrsbrücke für Fussgänger- und Radfahrer hat grundsätzlich eine Veränderung der Einwirkungen zur Folge.

Ein Vergleich der neu anzunehmenden Nutzlasten (siehe Kap. 3.1) mit den in der ursprünglich statischen Bemessung angenommen Lasten² zeigt allerdings, dass die Einwirkungen aus den damaligen und neuen Nutzlasten nahezu identisch sind.

*Beschränkung Belastung
Foundation*

Für eine Wiederverwendung der Stahljoche wie auch der Foundation hat das insofern einen Einfluss, dass unter Berücksichtigung der Annahmen, dass die Foundation nicht mehr belastet als heute werden soll, dass die Ständigen Lasten des neuen Überbaus (Eigengewicht + Auflast) nicht grösser sein sollten als derjenigen des heutigen Überbaus.

Aktuelle Nutzlasten 16 to

Aufgrund der vorhandenen Dokumentation zu den ursprünglich angenommen Nutzlasten kann auf einen Vergleich der neuen Nutzlasten mit den aktuell zugelassenen Nutzlasten (16 to, low-entry-bus) verzichtet werden. Die Beantwortung der Frage, inwieweit die aktuellen Nutzlasten mit den ursprünglichen Annahmen verträglich sind, ist nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.

4.3 Varianten Ersatz

Materialisierung

Für den Ersatz des Überbaus wurden Varianten in Beton- und Stahlbauweise sowie eine Kombination der beiden Materialien (Verbundkonstruktionen) entwickelt. Der Berichtverfasser erachtet die Verwendung von Holzkonstruktionen im Zusammenhang mit der geforderten Nutzungsdauer und den Anforderungen an den Komfort („feiner“ Belag) als nicht wirtschaftlich. In Rücksprache mit der Planungsgruppe wurde entschieden, Varianten in Holz nicht weiter zu untersuchen.

Statisches System

Damit die Einwirkungen auf die Joche und Pfahlfoundationen möglichst gleich bleiben (vertikale / horizontale Belastung / Verschiebungen) wird auf eine Abänderung des statischen Systems des dilatierten Durchlaufträgers verzichtet.

In einer späteren Projektphase könnte untersucht werden, ob eine Reduktion der Dilatationsabschnitte allenfalls möglich ist.

Tragkonstruktion

Variante Fachwerk

Die Variante Fachwerk wird im Wesentlichen von 2 aussenliegenden Strebenfachwerken in Stahl dominiert, welche über Querträger miteinander verbunden sind.

Die Querträger bilden dabei zugleich die Basis für die Fahrbahn, welche als orthotrophe Platte (Stahlblech mit Rippen) ausgebildet wird.

² Gem. Archivakten wurde die ursprüngliche Brücke nach der *Verordnung für betreffend der Berechnung & Untersuchung von Brücken vom 7. Juni 1913, Art. 8* bemessen. Dabei waren entweder eine verteilte Nutzlast von 400 kg/m² oder eine Einzellast von 14 to (Walze) zu berücksichtigen.

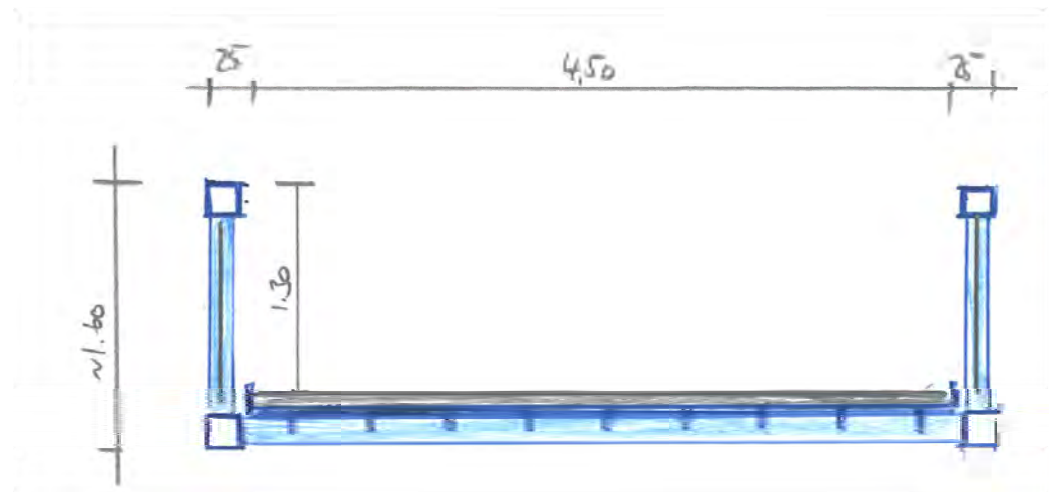


Abbildung 5 Querschnitt Variante Fachwerk

Die Gesamthöhe der Konstruktion beträgt ca. 1.6 m, wobei mit dieser Höhe die Obergurte der beiden Fachwerke geradezu als Handlauf für die Benutzer dienen kann. Die Gurte, Streben und Querträger bestehen aus Hohlprofilen (Minimierung bewitterte Oberflächen / „Schmutzecken“).

Die Öffnungen des Fachwerks müssen aus Sicherheitsgründen mit Geländersegmenten ausgefüllt werden. Alternativ kann das Geländer auch in einer separaten Ebene eigenständig ausgebildet werden.

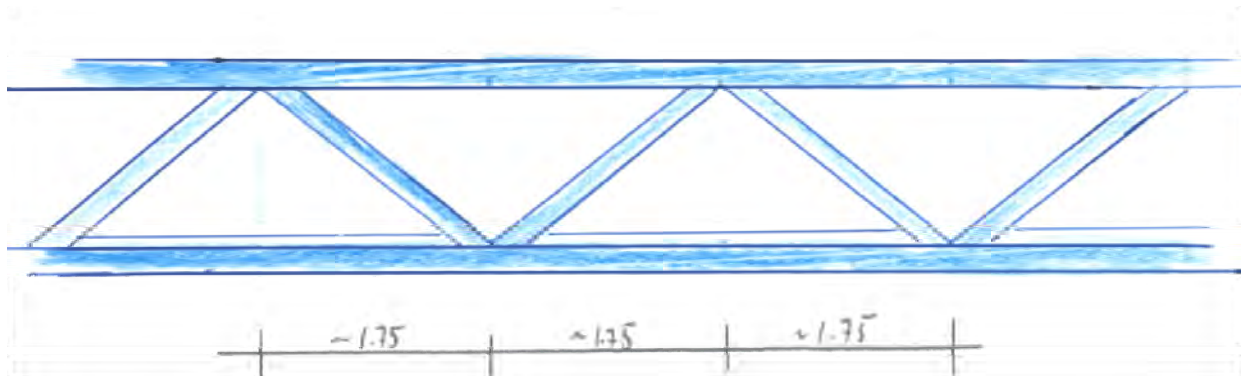


Abbildung 6 Längsschnitt Variante Fachwerk

Ausrüstung

Die Abdichtung erfolgt in Flüssigkunststoff, der Belag wird in Gussasphalt ausgeführt.

Werkleitungen (best. Schmutzwasserdruckleitung, allfällig weiter neue Leitungen) können unter der Fahrbahn unterhalb der Querträger geführt werden, sind jedoch gut einsehbar.

Eigengewicht

Das Eigengewicht (Stahlquerschnitt) beträgt ca. 220 kg/m² respektive 1'000 kg pro Laufmeter Brücke (bei einer Nutzbreite / Fahrbahnbreite von 4.5 m).

Variante Trägerrost

Tragkonstruktion

Bei der Variante *Trägerrost* besteht das Tragsystem aus 5 Längsträgern (ca. IPE 550), welche untereinander mit Querträgern (in der gleichen Ebene) verbunden sind und somit mit diesen einen eigentlichen Trägerrost bilden. Die Fahrbahn wird aus Stahlblechen gebildet, welche auf den Trägerrost geschweisst werden. Auf weitere Rippen etc. kann verzichtet werden. Die Höhe der Tragkonstruktion beträgt ca. 60 cm. Zusammen mit dem Geländer, welches im Minimum eine Höhe von 1.3 m ab Oberkante der Fahrbahn betragen muss, beträgt die sichtbare Gesamthöhe ca. 1.9 m,

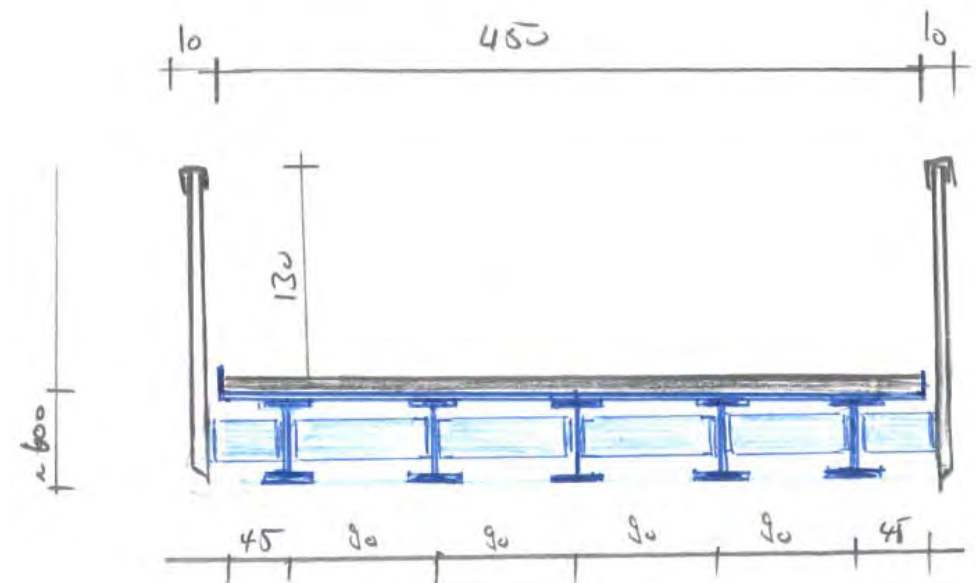


Abbildung 7 Querschnitt Variante Trägerrost

Ausrüstung

Die Ausbildung der Abdichtung wie des Belages erfolgt analog der Variante Fachwerk.

Werkleitungen (best. Schmutzwasserdruckleitung, allfällig weiter neue Leitungen) können unter der Fahrbahn je nach Ausbildung der Querträger zwischen den Längsträgern geführt werden, und sind schlecht einsehbar.

Eigengewicht

Das Eigengewicht (Stahlquerschnitt) beträgt ca. 200 kg/m² respektive 900 kg pro Laufmeter Brücke (bei einer Nutzbreite / Fahrbahnbreite von 4.5 m).

Variante Verbund

Tragkonstruktion

Die Variante *Verbund* wird analog dem schon bestehenden Querschnitt aus 2 Stahlträgern ausgebildet, welche mit der darüber liegenden Fahrbahnplatte im Verbund wirken. Als Aussteifung werden die beiden Längsträger mit Querträgern verbunden.

Die Längsträger sind aus Blechen zusammen geschweisst und weisen eine Höhe von ca. 110 cm auf. Zusammen mit der Fahrbahnplatte (Dicke variabel, 22 – 25 cm) beträgt die Höhe der Tragkonstruktion ca. 1.35 m.

Wiederum ist ein Geländer mit einer Höhe von 1.3 m ab Oberkante Fahrbahn notwendig, sodass die sichtbare Gesamthöhe ca. 2.5 m beträgt.

Ausrüstung

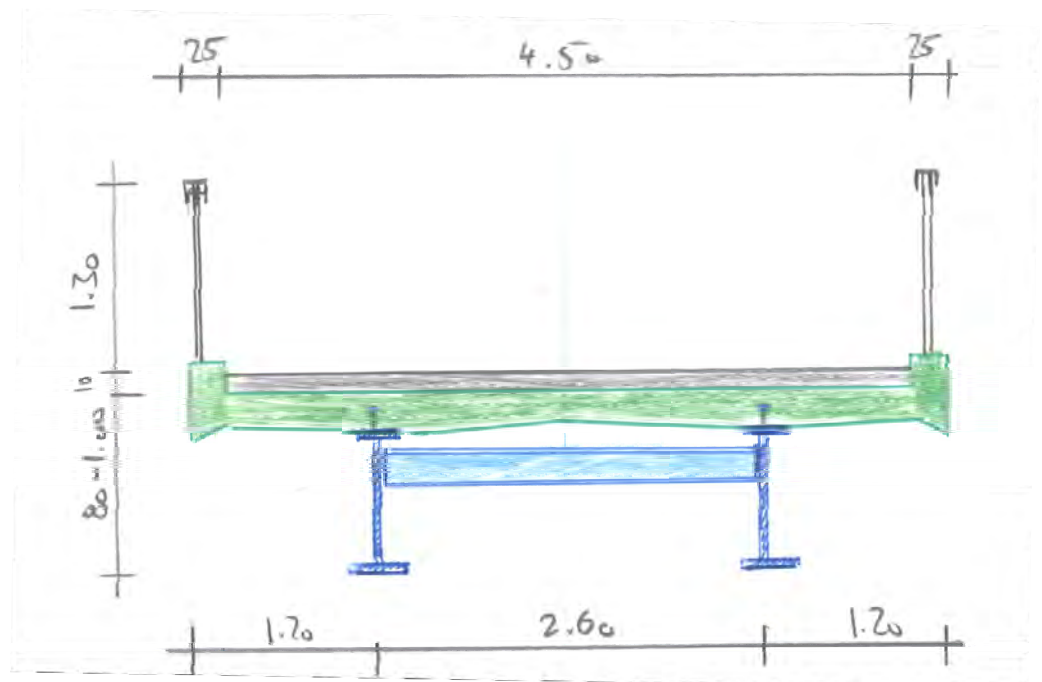


Abbildung 8 Querschnitt Variante Verbund

Die Abdichtung erfolgt mit Hilfe von Polymerbitumendichtungsbahnen, der Belag wird in Gussasphalt ausgeführt.

Werkleitungen (best. Schmutzwasserdruckleitung, allfällig weiter neue Leitungen) können unter der Fahrbahn zwischen den Längsträgern geführt werden, und sind schlecht einsehbar.

Eigengewicht

Das Eigengewicht (Verbundquerschnitt) beträgt ca. 640 kg/m² respektive 2'900 kg pro Laufmeter Brücke (bei einer Nutzbreite / Fahrbahnbreite von 4.5 m).

Variante Beton

Tragkonstruktion

Bei der Variante *Beton* wird der gesamte Querschnitt in schlaff bewehrtem Beton als 2-stegiger Plattenbalken ausgebildet.

Die Fahrbahnplatte ist maximal 25 cm stark, die ca. 40 cm breiten Stege sind ca. 1 m hoch, sodass die Höhe der Tragkonstruktion ca. 1.3 m beträgt. Zusammen mit dem Geländer (Höhe 1.3 m ab OK Fahrbahn) beträgt die sichtbare Gesamthöhe ca. 2.6 m.

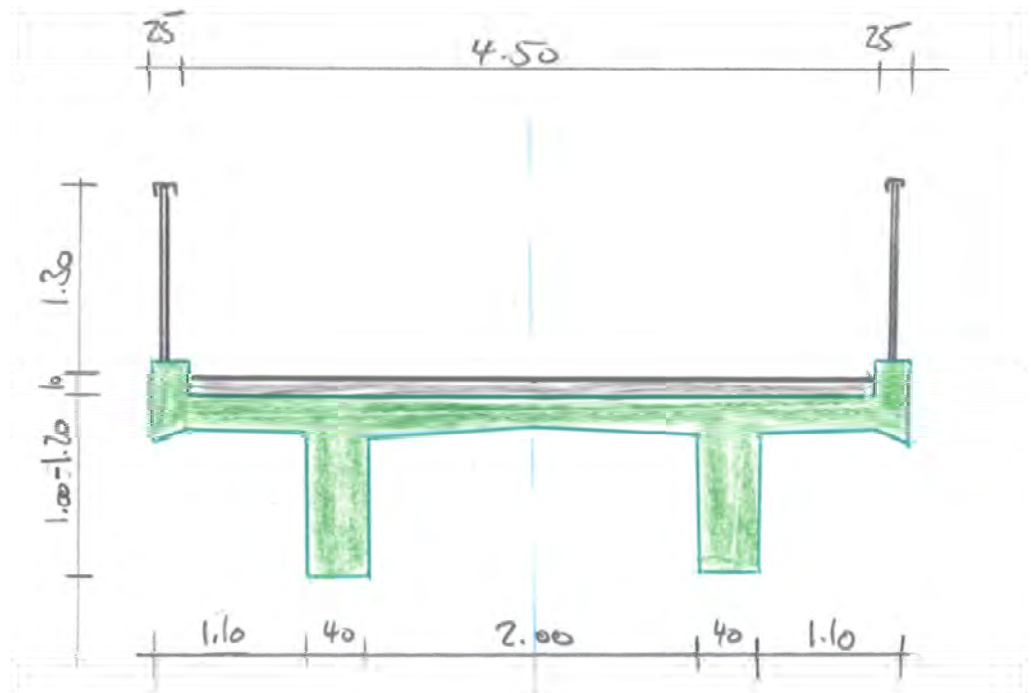


Abbildung 9 Querschnitt Variante Beton

Ausrüstung

Die Abdichtung erfolgt mit Hilfe von Polymerbitumendichtungsbahnen, der Belag wird in Gussasphalt ausgeführt.

Werkleitungen (best. Schmutzwasserdruckleitung, allfällig weiter neue Leitungen) können unter der Fahrbahn zwischen den Stegen geführt werden, und sind schlecht einsehbar.

Eigengewicht

Das Eigengewicht (Betonquerschnitt) beträgt ca. 1'100 kg/m² respektive 5'000 kg pro Laufmeter Brücke (bei einer Nutzbreite / Fahrbahnbreite von 4.5 m).

4.4 Vergleich und Beurteilung

Lastenvergleich

Lastvergleich

Aufgrund der Tatsache, dass für die Weiterverwendung der Joche und Fundation aus statischer Hinsicht harte Kriterien betreffend der zukünftigen Belastung vorherrschen, wird in einem ersten Schritt ein Lastvergleich zwischen den Varianten durchgeführt.

	Fussgänger- und Radfahrerbrücke, Nutzbreite 4.5 m				bestehende Brücke, 18 to
	Fachwerk	Trägerrost	Verbund	Beton	
Eigenlasten (Eigengewicht)	1 to / m'	0.9 to 7 m,	3 to / m'	5 to / m'	2.8 to / m'
Ausrüstung (Belag, Geländer, etc.)	1.1 to / m'				1 to / m'
Nutzlast	1.8 to / m'				2 to / m'
TOTAL	3.9 to / m'	5.9 to / m'	3.8 to / m,	7.9 to / m'	5.8 to / m'
Kommentar	Belastung kleiner als bestehende, i.o.	Belastung kleiner als bestehende, i.o.	+/- gleiche Belastung wie bestehend, i.o.	Belastung höher als bestehend, nicht weiterverfolgen	2.8 to / m'

Tabelle 1 Lastenvergleich

Beurteilung der Varianten
bzgl. Lasten

Die Variante *Beton* muss aufgrund des zu hohen Eigengewichtes und der daraus folgenden Mehrbelastung der Joche und der Fundationen verworfen werden. Die anderen Varianten werden weiterverfolgt.

Kostenvergleich

Kostenvergleich

In einem zweiten Schritt stehen die Kosten im Vordergrund. Neben einer quantitativen Beurteilung der Herstellungskosten (ohne Montage) werden auch mittels einer qualitativen Beurteilung die anfallenden Montagekosten und die zu erwartenden Unterhaltskosten verglichen.

	Fussgänger- und Radfahrerbrücke, Nutzbreite 4.5 m			(Beton)
	Fachwerk	Trägerrost	Verbund	
Kosten Überbau (Material + Herstellung)	4'400 CHF/m'	4'000 CHF/m'	3'500 CHF/m'	(3'000 CHF/m')
Kosten Montage (Pontons, Hebezeuge, Baustellenschweissung etc.)	0	0	++	(++ - +++)
Unterhaltskosten	+	0 bis +	0	0

Tabelle 2 Kostenvergleich

*Beurteilung Varianten bzgl.
Kosten*

Die Varianten *Fachwerk* und *Trägerrost* sind in vieler Hinsicht gleichwertig. Bei den Unterhaltskosten sind leichte Vorteile für die Variante *Trägerrost* erkennbar.

Die Variante *Verbund* hat gegenüber den beiden Stahlvarianten Vorteile bei den Materialkosten, welche aber allenfalls durch erhöhte Montagekosten zunichte gemacht werden.

Beurteilung Ästhetik

Beurteilung weiterer Kriterien

Eine Beurteilung der Ästhetik soll im Rahmen der Studie nicht vollzogen werden. Die Planungsgruppe ist der Meinung, dass vorerst die technische Machbarkeit und deren Kostenfolge zu klären ist und erst in einer späteren Planungsphase Fragestellungen zur Ästhetik erörtert werden sollen.

*Entscheid Variante Träger-
rost / Verbund*

Entscheid Varianten zur Weiterverfolgung

Für die Ermittlung der Kosten wird durch die Planungsgruppe entschieden, sich auf die Variante *Trägerrost* und *Verbund* zu konzentrieren und diese weiter zu verfolgen.

5. Unterbau / Instandsetzung Joche

Beizug Fachspezialisten

Im Rahmen der Erarbeitung der Machbarkeitsstudie wurde in Rücksprache mit dem Auftraggeber für Fragestellungen hinsichtlich des Zustandes der Joche (insbesondere auch der Bauteile unter Wasser) sowie für die Bewertung der möglichen Instandsetzungsmassnahmen und der Ausarbeitung einer Empfehlung die Firma Kontra Korrosion Rickenbacher GmbH, Hombrechtikon, vertreten durch Ferdi Rickenbacher beigezogen.

Zur Beurteilung des vorhandenen Kathodischen Korrosionsschutzes wurde die Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz (SGK) hinzugezogen.

5.1 Ausgangslage

Ausgangslage

Die Unterlagen zu Korrosionsschutzmassnahmen im Bereich der Joche sind dürftig und teilweise widersprüchlich.

Gemäss heutigem Kenntnisstand erhielten die Stützen 1932 als Erstschutz offenbar eine Bleimennigegrundbeschichtung mit Bitumendeckbeschichtungen.

Die erste Nutzungsphase von 1932 bis 1958 verlief ohne kathodischen Korrosionsschutz KKS. 1958 entschied man sich für einen zusätzlichen KKS. Eine Begründung ist nicht vorhanden, ebenso nicht, ob dazumal allfällige Beschichtungsausbesserungen getätigt wurden.

Eine im Jahre 2000 geplante Erneuerung der Anlage wurde nicht umgesetzt. Es ist aber davon auszugehen, dass zumindest die Opferanoden ausgetauscht wurden. Zudem wurde vermutlich der Gleichrichter nachgerüstet.

5.2 Zustand Bereiche über Wasser

*Beurteilung Erkenntnisse
Zustandsuntersuchung 2009*

Die Erkenntnisse der Zustandsuntersuchungen 2009 durch Flückiger + Bosshard AG können insofern bestätigt werden, dass der beschriebene Zustand sich mit den visuellen Eindrücken der Begehungen 2017 decken.

Ergänzende Erkenntnisse

Zusätzlich zu den bisherigen Erkenntnissen kann festgestellt werden, dass:

- die Schutzfunktion der ca. 60 Jahre alten Einkomponentenbeschichtung (mit einer ca. 60 bis 120 µm dicken und rauen Beschichtung) oberhalb des Wasserspiegels infolge Strahlung (insbesondere UV-Degradation), Abwitterung, weitgehend aufgebraucht ist;
- die atmosphärisch bewitterte Beschichtung spröde und mechanisch wenig tragfähig ist;
- und dass wegen der Bleimennige-Beschichtung sich schwerer lösliche Korrosionsprodukte gebildet haben, die ein feines Rissnetzwerk zeigen.

*Gesundheitsgefährdende
Stoffe*

Hinsichtlich der Belastung des Korrosionsschutzes durch gesundheitsgefährdende Stoffe sind jedoch Abweichungen zu den Beprobungen von 2007 / 2009 feststellbar. Bis heute wurde trotz dem (zu) hohen Chrom-Gehalt auf eine weiterführende Beprobung auf Chrom VI verzichtet.

Im Vergleich zu einer aktuell durchgeführten chemischen Analyse einer Stichprobe bei einem zufällig ausgewählten Joch (siehe Anhang 2) fällt auf, dass die PCB-Belastung gegenüber den bisherigen Proben erheblich tiefer liegt (127 ggü. 3900 mg/kg Proben Berichte F+B).

Asbest-Verdacht

Weiter muss festgestellt werden dass neben den schon bekannten gesundheitsgefährdenden Stoffe (PCB, Chrom, Blei, Zink, etc.) zusätzlich eine Asbestbelastung (5- 20 %) ermittelt wurde.

Bei der letzten (nicht dokumentierten) Teilinstandsetzung des Korrosionsschutzes der Joche, welche sich heute im „besseren“ Erscheinungsbild erkennen lässt, wurden wahrscheinlich Stellen mit besser haftender ursprünglicher Beschichtung angestrahlt und überbeschichtet.

Somit ist vermutlich zu erwarten, dass im Bereich der Teilinstandsetzung asbest-haltige Beschichtung vorhanden ist.

5.3 Zustand Bereiche unter Wasser

Bisherige Untersuchungen

Der Zustand der Bauteile unter Wasser wurde in den bisherigen Untersuchungen nie dokumentiert.

Fragenkomplexe

Zur Klärung der Frage nach dem allgemeinen Zustand des Korrosionsschutzes, zu allfälligen Ablösungen der Beschichtung und damit zum Zustand der durch den KKS abgedeckten Bereichen war im Hinblick auf ein vollständiges Grundlagenprojekt angeregt worden, alle Stützen zu untersuchen.

Tauchuntersuchungen 2017

Aufgrund der im Rahmen der Machbarkeitsstudie zeitlich und finanziell begrenzten Möglichkeiten wurden am 11. und 12.09.2017 schliesslich an vier zufällig ausgewählten Stellen - Joche Nr. 17 (Standjoch), Nr. 18 (mit KKS-Kabelrohr), Nr. 33 und Nr. 44 – Tauchuntersuchungen durchgeführt.

Nach einer Reinigung wurden neben visuell-taktiler Begutachtung zusätzlich mit einem Ultraschallgerät Profilstärken (soweit möglich) gemessen.

Die detaillierte Zustandsbeschreibung der Aufnahmen sind im Anhang 3 in protokollarischer Form ersichtlich³.

Erkenntnisse Tauchuntersuchungen

Zusammenfassend können folgende Erkenntnisse aus den Tauchuntersuchungen gezogen werden:

- Muscheln und Schlammbeleg erschweren die Zustandserhebung.

³ Die Taucharbeiten wurden zusätzlich mit Hilfe von vertonten Filmaufnahmen dokumentiert. Die Aufnahmen können beim Berichtsverfasser auf Wunsch eingesehen werden

- Nach Entfernung der Ablagerungen / Muscheln wurden keine markanten Korrosionsangriffe vorgefunden. Es wurden keine Muldenkorrosion, keine blanken Stellen und keine Rostpusteln festgestellt. Die Oberflächen sind ebenmässig mit Kalk und Beschichtungsresten versehen.
- Der Erstschutz ist zwar noch vorhanden, aber vermutlich kaum mehr wirksam als Korrosionsschutz. Er ist dünn und gequollen. Blasenbildung oder Ablösungen (Shielding-Effekte) sind nicht erkennbar, ebenso kein alkalisches Enthaften (cathodic disbonding).
- Die Fussbereiche der Joche sind intakt. Die formmässig intakten Muttern und Gewinde weisen keine markante Korrosion oder Abträge auf.
- Beim Betonsockel bei Joch Nr. 44 sind Frostschäden feststellbar. Die Betonsockel im tieferen Wasser sind aufgrund Sedimentation nicht erkennbar
- KSS: Es sind Leitungszuführungen an jeder 2. Stütze erkennbar. An der Stahlkonstruktion Joch Nr. 18 ist keine Opferanode vorhanden, jedoch ist ein Kabelabgang zu einer konischen im Boden steckenden grauen Elektrode erkennbar.

Fazit

Es kann festgehalten werden, dass der Korrosionsschutz als Gesamtheit inkl. KKS bis dato sehr wahrscheinlich wirksam ist.

5.4 Kathodischer Korrosionsschutz

Installiertes System

Wie schon erwähnt sind hinsichtlich der Detailausbildung des vorhandenen KKS Unklarheiten vorhanden. Insbesondere ist die genaue Anordnung und Materialisierung der Anoden (vmntl. Eisenbahnschienen) nur tlw. bekannt. Pläne des ausgeführten Werks existieren nicht. Aufgrund der vorhandenen Unterlagen wird zurzeit davon ausgegangen, dass die Anlage gem. folgender Skizze ausgebildet ist:

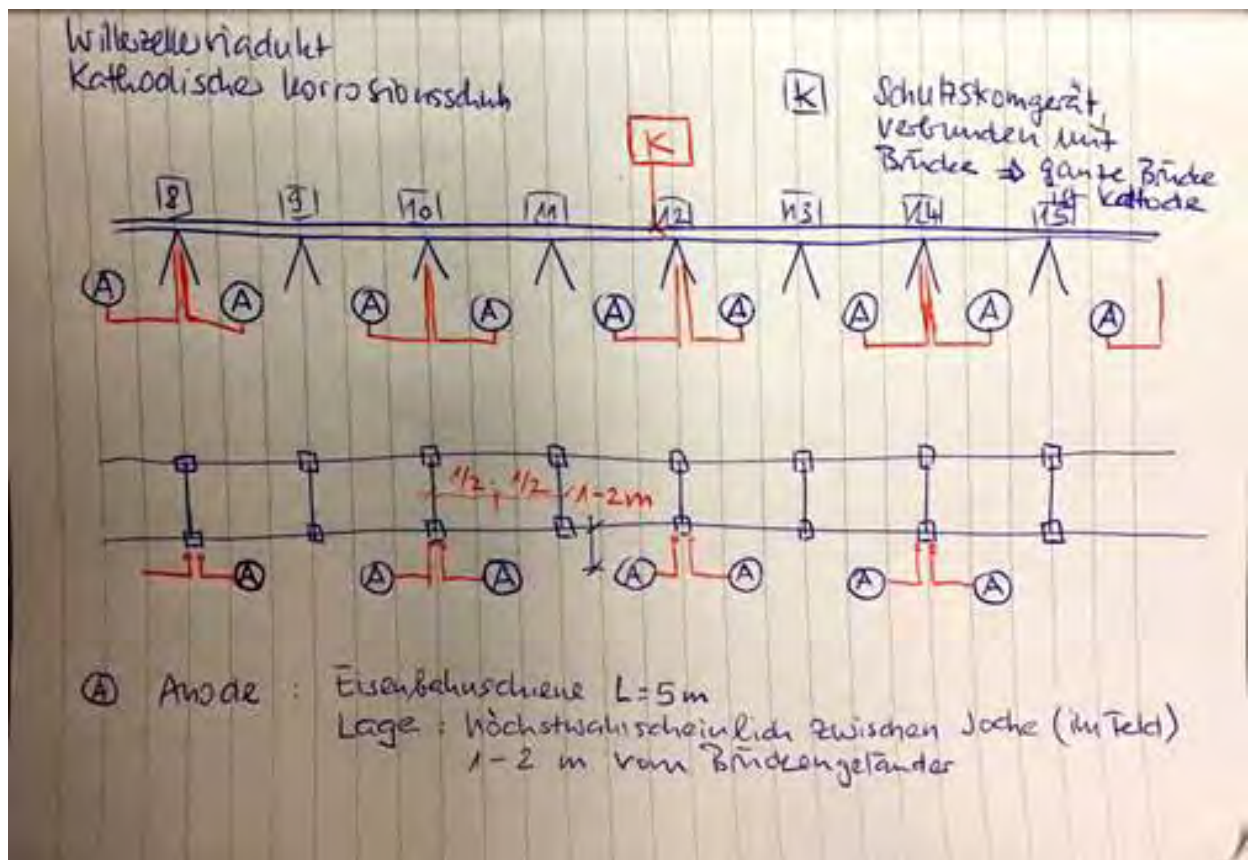


Abbildung 10 Skizze System KKS

Jährliche Messungen

Im Rahmen des Betriebsunterhaltes werden die Speisespannungen und der Strom am Gleichrichter wöchentlich geprüft und dokumentiert. Zusätzlich werden zwei- bis dreimal pro Jahr mit einer mobilen Referenzelektrode an jedem Joch die Ein- und Ausschaltpotentiale gemessen.

Aufgrund der vorhandenen Messungen kann folgendes festgestellt werden:

- Der Schutzstrom beträgt zwischen ca. 10 und 18 A. Der Wert ist abhängig vom Wasserstand. Je höher der Wasserstand, umso grösser ist die benetzte Stahlfläche und umso mehr Schutzstrom wird aufgebracht.
- Die kleinste gemessene Spannung im ausgeschalteten Zustand beträgt 0.88 V und ist höher als der zugelassene Wert von 0.85 V.
- Die Messwerte sind grundsätzlich gut.
- Die Messungen erfolgen immer direkt vor dem Joch. Die Sonde wird 1.0 m tief ins Wasser gelassen.
- Der Spannungsverlauf über die ganze Höhe und insbesondere im Bereich des Überganges zwischen Betonfundament und Fussplatte der Stahljoche wird zurzeit nicht gemessen.

<i>Ergänzende Messungen SGK 2017</i>	Im Rahmen der aktuellen Zustandsuntersuchung wurden an den Jochen 18/19 und 25/26 erneute Messungen durchgeführt, dabei wurden ergänzend mit einem Taucher der Spannungsverlauf über die gesamte Jochhöhe gemessen.
<i>Beurteilung KKS durch SGK</i>	Die Auswertung und Beurteilung dieser Messungen sind im Bericht der SGK im Anhang 4 dokumentiert. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die vorhandene Schutzanlage funktionstüchtig ist.
<i>Kommentar zu Bericht SGK</i>	<p>Die Beurteilung der SGK geht von grösseren Abtragsraten von 0.2 bis 0.4 mm/a in der ersten Nutzungsphase ohne KKS aus. Das ist einerseits aufgrund der ausgeführten Beschichtung sehr unwahrscheinlich und andererseits aufgrund der Ergebnisse der Zustandsuntersuchungen (Kap. 5.3) zumindest bei den untersuchten (wenigen) Stützen nicht der Fall.</p> <p>Die weitere Beurteilung der SGK geht u.a. von möglicher Muldenkorrosion und Folgen von Mikroorganismen, sowie von Makroelementen aus und regt eine detaillierte Überprüfung mit bruchmechanischem Ansatz an (Restwanddicken, Kerben mit Spannungsspitzen, Ermüdung, etc.). Dieses scheint aufgrund der aktuellen Situation als verfrüht.</p> <p>Angezeigt ist aber nach wie vor eine vollständige Grundlagenermittlung (Wanddicken und Zustand aller Stützen).</p>
<i>Ausblick</i>	<p>In Zukunft entsteht eine andere KKS-Schutzanforderung.</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Im Bereich der Wasserwechselzone mit zukünftiger UW-Beschichtung ist eine Zusatzbeanspruchung durch den allenfalls modifizierten KKS denkbar.▪ In der Dauertauchzone wird die dort belassene Erstschutzbeschichtung ihre Schutzfunktion fortlaufend verlieren. Der KKS muss diesen Bereich demnächst zu 100% schützen zu vermögen.▪ Das bedingt eine Überprüfung und Neuauslegung des KKS mit Berücksichtigung einer KKS-tauglichen UW-Beschichtung im Bereich der Wechselzone (noch zu evaluieren).▪ Der neu konzipierte KKS könnte ggf. bereits bei der detaillierten Zustandserfassung resp. bei der Instandsetzung der Joche (u.U. etwas vorgezogen) installiert werden (Synergien nutzen).

5.5 Grundsatzüberlegungen zur Instandsetzung Joche

<i>Instandsetzungsvarianten</i>	<p>Im Rahmen eines Variantenstudiums wurde untersucht, was für grundsätzliche Instandsetzungsvarianten zum Ersatz des Korrosionsschutzes überhaupt denkbar wären.</p> <p>Neben der Variante mit vollständiger Entleerung des Sees (Variante 1) und einer teilweisen Absenkung des Seespiegels (Variante 2) sind auch die Erstellung eines Spundwandkastens mit Abpumpen (Variante 3) oder die Einrichtung eines Caisson-Betriebes (Variante 4) denkbar. Alle Varianten gehen</p>
---------------------------------	--

danach von einer „klassischen“ Instandsetzung der Joche im Trockenen aus.

Alternativ können die Bereiche unter Wasser auch mittels einem kathodischen Korrosionsschutzes geschützt werden (Variante 5, aktuell installiert) oder allenfalls sogar unter Wasser instand gesetzt werden (Variante 6, technische Machbarkeit vmtl. jedoch nicht gegeben).

Variantenbeschrieb

Die einzelnen Varianten wurden kurz beschrieben und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile bewertet.

Variante	Beschrieb	Vorteile	Nachteile
1 maximale Seebesenkung	maximale Seebesenkung, gem. Bestandesplänen Seespiegel ca. 880 m ü. M. Einhausung / Instandsetzung ab Seegrund	vollständige, fachgerechte Instandsetzung Stahljoche möglich "maximale" Restnutzungsdauer erreichbar umweltgerecht	Produktionsausfall Befahrbarkeit Seeboden nicht zwingend gegeben (technisch / Umweltschutz) vmtl. einliges Absenken über längeren Zeitraum, politische / touristische Aspekte, "Mückengrenze"
2 thw. Seeabsenkung	teilweise Absenkung minimaler Seespiegel im "Normalbetrieb" ca. 884 m ü. M. minimaler Seespiegel 04/05 ca. 880.50 m ü. M. Einhausung / Instandsetzung ab Brücke	kleiner Produktionsausfall keine Störung Baugrund	Arbeiten zwingend von Ponton aus nur Teilinstandsetzung Stützen evtl. Einbusse bei Restnutzungsdauer
3 Spundwandkasten	Einbindung Spundwand ca. 2 x Wasserspiegelhöhe Abmessung Kasten ca. 10 x 5 m Vibrieren Bohlen ab Ponton Einhausung / Instandsetzung ab Seegrund	grundsätzlich analog Variante 1	Vibrieren Spundwände unter Brücke nicht möglich -> Rückbau Überbau vorgängig -> Hilfsmassnahmen für Stabilisierung Joche Störung Baugrund bei Vibrieren / Ziehen (sensitiver Baugrund) -> verstärkte Setzungen
4 Caisson	Einbindung in Seeboden in Abhängigkeit Seespiegel massiv geringer als bei Spundwand Luftdichte Konstruktion Absenkung Wasser respektive Aufbau Überdruckbereich Einhausung / Instandsetzung ab Seegrund	grundsätzlich analog Variante 1	"Luftdichte" Ausführung notwendig -> bei Spundwänden fraglich, ebenso bei Durchstossung Joch Risiko Druckabfall Entfernung best. Korr-Schutz i.d.R. bei Unterdruck (Umweltschutz), Caissonbetrieb bei Überdruck -> "Widerspruch"
5 kathodischer Korrosionsschutz	Schutz der Bereich unter Wasser vor Korrosion mit Fremdstrom z.Zt. Installiert	bei korrekter Wirkungsweise und unbeschädigtem best. Korrosionsschutz guter Schutz	Beschädigungen / Fehlstellen an best. Korrosionsschutz können zu Makroelementbildung führen Folge ist eine erhöhte Korrosion an diesen Stellen
6 Unterwasserarbeiten	Applikation Korrosionsschutz mit Taucher in Kombination mit respektive als Ergänzung zu Var. 2 möglich	Technische Machbarkeit aus Sicht Spezialisten nicht gegeben. Umweltschutz, Dauerhaftigkeit fraglich. Teuer, langandauernde Arbeiten. Keine aktuellen Erfahrungen.	

Tabelle 3 Vergleich Varianten Instandsetzung Joche

Variantenvergleich

In der Diskussion mit dem Anlageneigentümer zeigt sich, dass eine vollständige Absenkung des Seespiegels aus wirtschaftlichen Gründen zurzeit ausgeschlossen erscheint. Somit entfällt Variante 1.

Aufgrund der Forderung, die bestehende Foundation weiter zu verwenden und den vorherrschenden geologischen Verhältnissen mit mehrheitlich weich gelagerten Seeablagerungen erscheint das Abteufen und Ziehen der Spundwände als zu risikoreich hinsichtlich einer negativen Beeinflussung der Wirkungsweise der Foundation. Ebenso wird die technische Machbarkeit (zu geringe Höhe zwischen Rampponton und Brückenunterkante) in Frage gestellt. Somit entfällt auch Variante 3.

Das Aufziehen eines Caisson-Betriebes wird hinsichtlich der technischen Machbarkeit in Frage gestellt. Das Aufrechterhalten eines Überdrucksystems zur Absenkung des Seewassers innerhalb des Caissons steht in diametralem Widerspruch zur Tatsache, dass die Entfernung des bestehenden belasteten Korrosionsschutzes zwingend unter Unterdruck erfolgen muss. Folglich muss auch Variante 4 verworfen werden.

*Entscheid Bestvariante
mit tlw. Seespiegelabsen-
kung in Kombination mit
KKS / Applikation UW*

Aufgrund der Ausschlüsse der Varianten 1, 3 und 4 bleiben für die Instandsetzung über Wasser nur die Variante 2 mit teilweiser Absenkung des Seespiegels übrig, wie sie auch im Massnahmenprojekt empfohlen wird.

In Kombination mit der Variante 5 (KKS) erscheint dies aktuell die einzig realisierbare Variante auf welcher denn auch die nachfolgenden Massnahmenempfehlungen basieren.

*Vergleich zum Massnah-
menprojekt*

5.6 Massnahmenempfehlung Bereich über Wasser (Bereich A)

Die aktuellen Erkenntnisse zeigen, dass die im Massnahmenprojekt bpp vorgeschlagenen Massnahmen für den Bereich über Wasser (atmosphärischer bewittert, Bereich A⁴) sinnvoll erscheinen.

*Anforderungen / Aufbau
Korrosionsschutz*

Diese beinhalten eine „klassische“ Totalerneuerung des Korrosionsschutzes:

- Einhausung / Schutzanforderungen
Infolge der Belastung mit PCB, Schwermetallen und evtl. Asbest sind hohe Schutzanforderungen notwendig.
Es ist gem. Planungsgrundlage BUWAL „Umweltschutz bei Korrosionsschutzarbeiten“ min. die Einhausungsklasse 1 gefordert.⁵
- Vollflächiges Entfernen des belasteten Korrosionsschutzes.
Entfernung der Beschichtung im Freihand-Druckluftverfahren mit trockener und ölfreier Druckluft unter Verwendung eines kantigen, gebrochenen mineralischen (Mehrweg-)Strahlmittels.

⁴ Lokalisierung Instandsetzungsbereiche siehe Abbildung 11, Kap. 5.9

⁵ Verschärfungen resp. weiterführende Massnahmen infolge allfälliger Asbestbelastung sind in einer späteren Projektphase detailliert zu bestimmen.

Reinheitsgrad SA 2½ gem. SN EN ISO 8501-1; Oberflächenvergrößerung im Durchschnitt min. 16 %, Rautiefe 50 – 100 µm.

- Messen Chloridbelastung; evtl. Waschen Stahloberfläche
- Aufbringen neuer Korrosionsschutz nach AQV für Korrosionsschutz von Stahlbrücke, SBB 2011;
Korrosivitätskategorie C4, Schutzdauer > 40 Jahre

Möglicher Aufbau:

	Beschichtungsmittel	Sollschichtdicke µm	Appikation
Grundbeschichtung	Lösungsmittelarme Zinkphosphat-Grundbeschichtung 2-K-Epoxidharz-Zinkphosphatfarbe	60	Streichen / Rollen
Zwischenbeschichtung	lösungsmittelarme Zwischenbeschichtung 2-K-Epoxidharz-Eisenglimmer	2 x 80	Streichen / Rollen
Deckbeschichtung	lösungsmittelarme Deckbeschichtung 2-K-Polyurethan-Eisenglimmer	2 x 50	Streichen / Rollen
		Total 320	

Tabelle 4 Vorschlag Aufbau Korr-Schutz

5.7 Massnahmenempfehlung Wasserwechselzone (Bereiche B/C)

Wasserwechselzone erhöhte Beanspruchung
(Bereich B)

In der Wasserwechselzone (Bereich B), welche über den Bereich des variierenden Seespiegels definiert wird, wird im Grundsatz ein analoges Vorgehen wie beim Überwasserbereich vorgeschlagen.

Aufgrund der Tatsache, dass der Korrosionsschutz jedoch einer erhöhten Beanspruchung und Abnutzung (z.B. Eisbildung, UV, etc.) unterworfen wird, ist ein dementsprechend angepasster Korrosionsschutzaufbau zu wählen.

System in Wechselwirkung mit KKS

Der genaue Aufbau unterliegt dabei zudem einer Wechselwirkung mit der vorhandenen respektive zukünftigen Wirkungsweise des KKS. Somit kann der Aufbau erst nach der definitiven Überprüfung und allfälligen Neuauslegung des KKS (siehe Kap. 5.4) abschliessend definiert werden.

Randbedingungen an System

Als wichtigste Randbedingungen können aktuell jedoch festgehalten werden, dass:

- nach dem Strahlen der Salzgehalt gemessen werden und dieser unter einem definierten Grenzwert liegen muss;
- ein Barriersystem mit 800 µm Gesamtschichtdicke, ohne Grundbeschichtung, lösemittelfrei und KKS-fest gewählt werden muss;
- das System zertifiziert für Im 4 gemäss ISO 12944 sein muss;
- und eine Schutzdauer von ca. 40 Jahren erreichen muss.

Teilabsenkung Seespiegel

Damit ein möglichst umfassender Bereich der Wasserwechselzone instandgesetzt werden kann, was für die Erreichung einer hohen Restnutzungsdauer als zwingend angesehen werden muss, ist eine Teilabsenkung des Seespiegels unabdingbar.

Im Rahmen der nächsten Projektphase muss die genaue Seespiegellage für die Instandsetzungsarbeiten definiert werden.

Nicht instandgesetzter Bereich (Bereich C)

Aus betrieblichen Gründen wird die Teilabsenkung des Seespiegels für die Instandsetzungsarbeiten jedoch nicht dem minimalen Füllstand des Sees entsprechen. Deshalb verbleibt auch nach der Instandsetzung ein Übergangsbereich (Bereich C), welcher zumindest kurzzeitig atmosphärisch bewittert ist, jedoch nicht instandgesetzt ist. Ebenso wird dieser Bereich während dieser Zeit nicht durch den KKS geschützt.

Somit muss der bestehende, ursprüngliche Korrosionsschutz hier die Schutzaufgabe übernehmen. Dessen Schutzfunktion dürfte allerdings demnächst vollständig zum Erliegen kommen.

Aufgrund der vorherrschenden Exposition (Korrosivitätskategorie „C4“) kann gem. ISO 12944-3 mit sehr geringen Abtragsraten für unlegierten Stahl von 50 – 80 µm pro Jahr gerechnet werden. Unter Berücksichtigung des Umstandes, dass der Bereich C in einzelnen Jahren maximal wenige Wochen bewittert ist, wird dieser Umstand akzeptiert und eine marginale Korrosion in Kauf genommen⁶.

Aus obigen Überlegungen ist eine möglichst tiefe Absenkung für die Instandsetzung anzustreben.

5.8 Massnahmenempfehlung Bereich unter Wasser (Bereiche D / E)

Bereich Unterwasser annehmbar

Die ergänzenden Untersuchungen zum KKS zeigen, dass das System wirksam ist. Zusammen mit den Ergebnissen der Tauchaufnahmen, welche keine Korrosion zeigen (insbesondere keine Muldenkorrosion) darf man den Zustand der Bereich der Joche unter Wasser (Bereich D) sowie der Übergang zum Stützenfuss (Bereich E) der als annehmbar einstufen.

Z.Zt. keine Instandsetzungsmassnahmen

Deshalb sind zurzeit keine eigentlichen Instandsetzungsmassnahmen angezeigt.

Überprüfung KKS

Bedingung dafür ist allerdings, dass zumindest die Überprüfung des KKS zeitnah erfolgt. Basis dafür bildet eine lückenlose Aufbereitung der Grundla-

⁶ Aktuell wird seitens der SBB angenommen, dass für die Instandsetzungsmassnahmen eine Absenkung des Seespiegels auf Niveau 883.5 müM möglich ist. In den letzten 14 Jahren (2004 – 2017) lag der Seestand im langjährigen Mittel im Minimum bei ca. 884.5 müM. Der minimale Seestand lag im Einzelfall bei ca. 880.5 müM. Innerhalb der Zeitperiode 2004 – 2015 (11 Jahre) lag der Seespiegel 4 mal während total ca. 26 Wochen unterhalb der geplanten „Instandsetzungskote“ von 883.5 müM (siehe dazu Abbildung 13). Der Anteil beträgt somit ca. 5% (26 Wo gegenüber 11 Perioden à 52 Wo). Hochgerechnet auf die nächsten 80 Jahre ergibt sich so eine mögliche kumulierte Gesamtdauer von ca. 200 Wo respektive 4 Jahren. Somit ist mit einem Gesamtabtrag von weniger als 1 mm über die Restnutzungsdauer zu rechnen.

gen in Kombination mit visuellen Aufnahmen und Messungen der Wirksamkeit des KKS an sämtlichen Jochen.

Neukonzeption KKS, inkl.
Monitoring

Für die weitere Zukunft ist eine Neukonzeption des KKS wie sie unter Kap. 5.4 im Abschnitt „Ausblick“ dargestellt ist, unumgänglich. Ebenso ist ein detailliertes Überwachungskonzept / Monitoring des KKS (siehe Kap. 6) zu erarbeiten und umzusetzen.

5.9 Zusammenfassung Instandsetzungsbereiche + Massnahmen

Zusammenfassung In-
standsetzungsbereiche

Zusammenfassend sind für die Instandsetzung der Joche folgende Instandsetzungsbereiche und zugehörige Massnahmen zu unterscheiden:

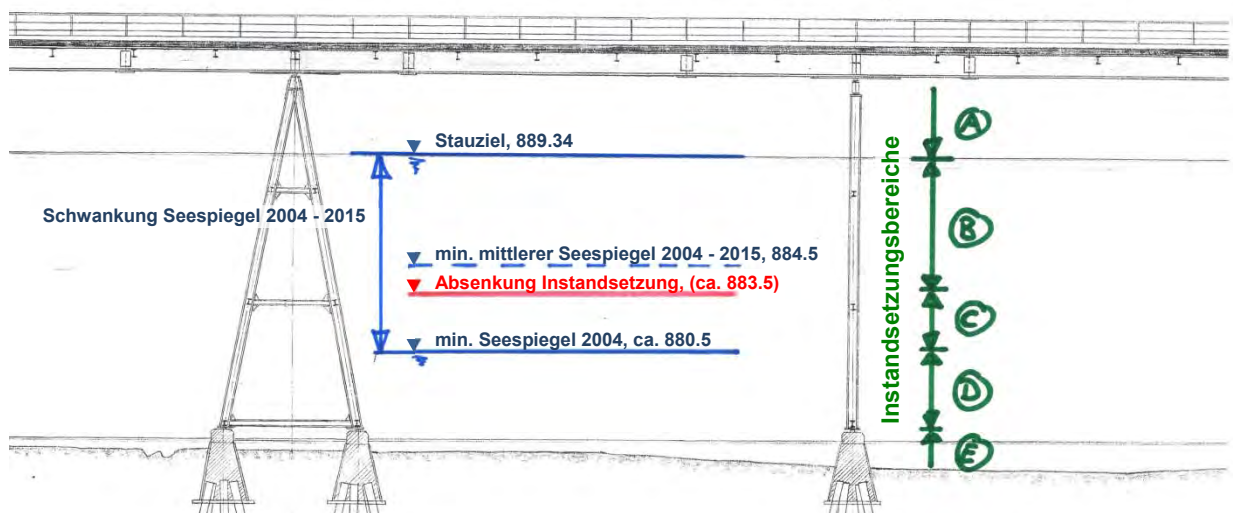


Abbildung 11 Seespiegel / Instandsetzungsbereiche

Zusammenfassung Mass-
nahmen

	Beschreibung	Kategorie	Beanspruchung, reale Schutzdauer Restschutzdauer	Absicht
(A)	Bereich mit ausschliesslich atmosphärischer Bewitterung (Joch, oberer teil der Stützen)	C3	Mässig, ca. 40 Jahre	KS-Totalerneuerung, System A
(B)	Stützen: Wechselzone mit atmosphärischer Bewitterung Süsswasserbeanspruchung	C3 Im1	Hoch ca. 40 Jahre	KS-Totalerneuerung, System B (KKS tauglich) KKS (Neuauslegung)
(C)	Stützen: ggf. Wechselzone, je nach Sanierungs-Tiefpunktkote. Wechselzone mit kurzer atmosphärischer Bewitterung (Kategorie C3) oder mit langer Süsswasserbeanspruchung (Im1)	Im1	Mässig, keine Restschutzdauer, Kompensation durch KKS	keine KS-Totalerneuerung, Belassen des bisherigen KS (Beschichtung System C), KKS (sofern eingetaucht; sonst mögliche Schwachstelle)
(D)	Stützen Dauertauchzone mit Süsswasserbeanspruchung	Im1	Gering Kompensation durch KKS	keine KS-Totalerneuerung, Belassen des bisherigen KS (Beschichtung System C), KKS
(E)	Dauertauchzone und Übergangszone - Stützenfuss zum Seegrund (Sedimente) - Stützenfuss zum Beton	Im1 Im3	Gering Kompensation durch KKS	keine KS-Totalerneuerung, Belassen der bisherigen Beschichtung, KKS

Tabelle 5 Instandsetzungsbereiche + Massnahmen

6. Überwachung und Instandhaltung

Für ein Erreichen der Restnutzungsdauer ist in einer späteren Projektphase ein Überwachungsplan sowie ein Instandhaltungsplan zu erarbeiten.

Überwachungsplan

Der Überwachungsplan soll mindestens Angaben über nachfolgende Punkte enthalten:

- die vereinbarte Nutzung (Langsamverkehr 400 kg/m², Unterhaltsfahrzeug max. 5 to)
- gezielt zu inspizierende Konstruktionsteile wie Lager, Fahrbahnübergänge, Entwässerung, Beläge / Abdichtung, etc.
- Art und Weise der Erfassung und Dokumentation des Zustandes des Korrosionsschutz Trägers / Joche, der Betonbauteile, etc. (inkl. Kurzbeurteilung)
- Inspektionsintervalle:
 - Hauptinspektion Bauteile über Wasser, visuell alle 5 Jahre
 - Inspektion Bauteile unter Wasser, mit Taucher, alle 10 Jahre, mit erhöhtem Intervall in den ersten 15 Jahren (alle 5 Jahre), Beurteilung Zustandsentwicklung Joche unter Wasser, Wirksamkeit KKS etc.
- Überwachungskonzept / Monitoring KKS:
 - Laufendes Monitoring in „Echtzeit“ inkl. Auswertung + Beurteilung
 - jährliche „globale“ Messung
 - Detailmessung Joche im 5-Jahresrhythmus tlw. in Kombination der Inspektion Bauteile unter Wasser (inkl. Intensivierung Intervall in den ersten 15 Jahren zur Erfassung einer möglichen noch unbekannten zeitlichen Entwicklung bei sämtlicher Joche)
Die in Kap. 5.8 erwähnten Aufnahmen und Messungen können dabei als Ausgangswerte dienen.

Instandhaltungsplan

Der Instandhaltungsplan beinhaltet mindestens:

- Angaben zum betrieblichen Unterhalt wie Reinigung und Wartung der Fahrbahnübergänge, der Lager, der Entwässerung, Ausbesserung von „Gebrauchsschäden“ am Korrosionsschutz, des Belags, der Geländer etc. und deren Periodizität (i.d.R. jährlich).
- Angaben zum baulichen Unterhalt wie die Instandsetzungen (Korrosionsschutz, Betonbauteile, Beläge, Abdichtung, etc.) und deren Periodizität.
- Beschreibung der Massnahmen für den Betrieb und Ersatz KKS (Anoden, Gesamtsystem, Messtechnik, etc.) und deren Periodizität.

7. Bauvorgang

7.1 Instandsetzung Joche

*Bauvorgang über Wasser /
Wasserwechselzone*

Für die Instandsetzung der Joche im Bereich über dem Wasser (ca. 1 m über abgesenktem Seespiegel) sind im Wesentlichen folgende Arbeitsschritte auszuführen:

- Einrüstung / Einhausung min. Klasse 1, luftdicht, klimatisiert, mit Filter / Schleusen etc.
- Entschichten best. Korrosionsschutz mittels Trockensandstrahlen inkl. fachgerechter Entsorgung belastetes Strahlschutt
- Grobreinigung Joche, Freigabe „Schadstofffrei“
- Vorbereitung Kanten (nach ISO 8501-3: P2-P3)
- Schichtweise Applikation neuer Korrosionsschutz
- Ausrüstung

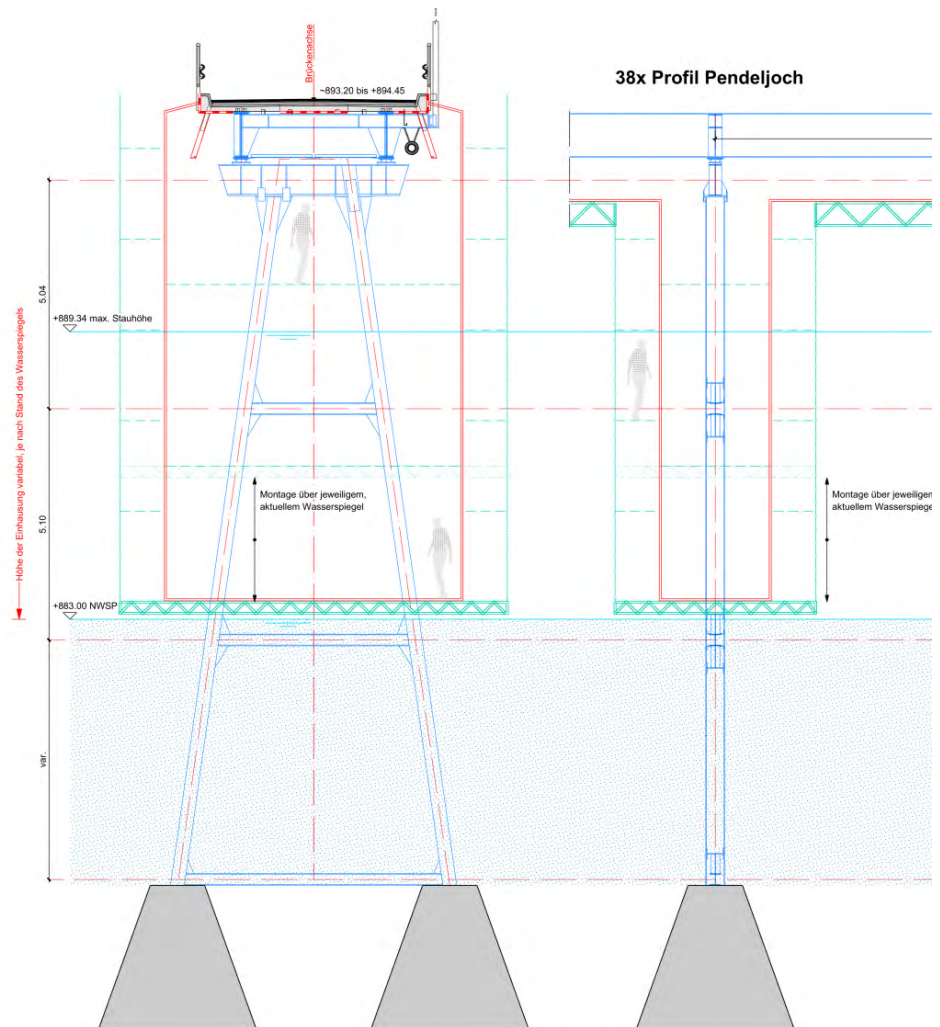


Abbildung 12 Einhausung Joche, Auszug aus Massnahmenprojekt bpp

Bausaison über Wasser
Winter

Damit die wirtschaftlichen Konsequenzen einer Teilabsenkung des Seespiegels tragbarer werden ist der Zeitrahmen der Instandsetzung der Joche im Bereich über Wasser respektive im Wasserwechselzonenbereich jeweils ab Mitte Februar – Mitte April (vor Einsetzen der Schneeschmelze) anzusetzen.

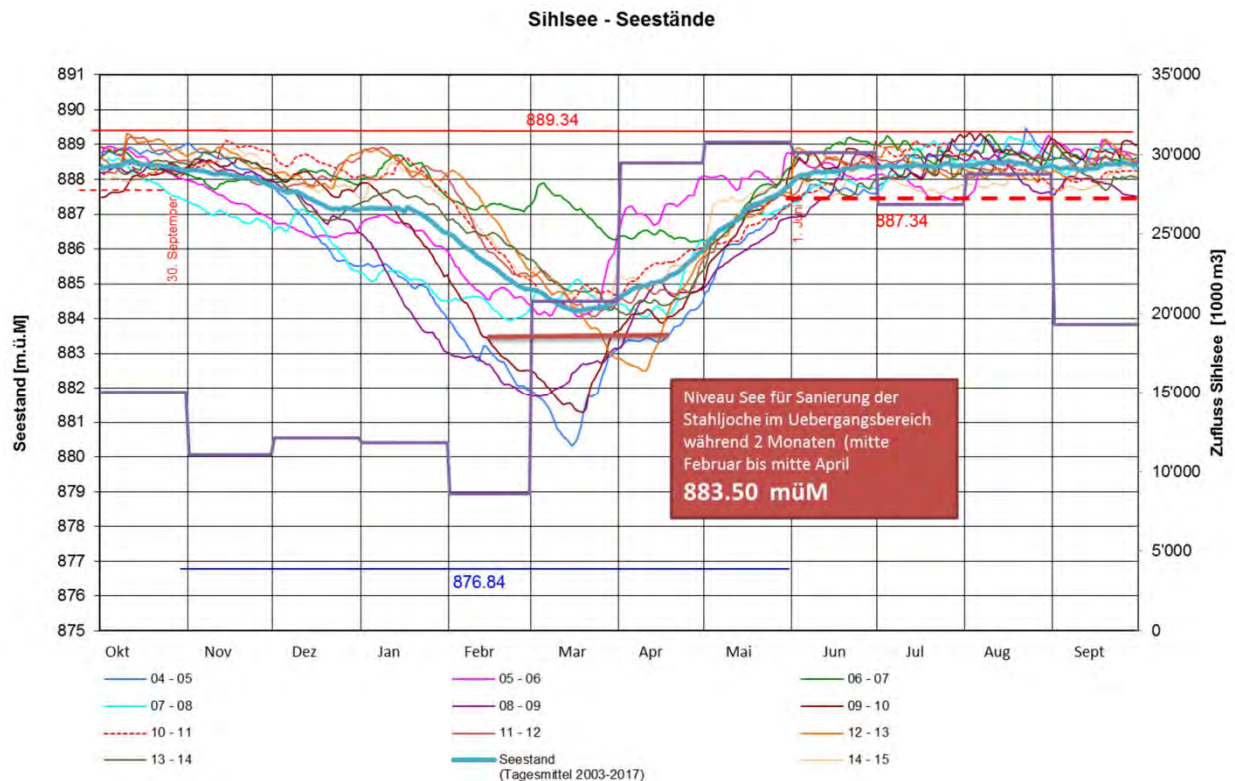


Abbildung 13 Seespiegelverlauf 2004 – 2014, mittlerer Seespiegelverlauf sowie Absenkziel Teilabsenkung Instandsetzung

Bauzeit

Als Folge dieses beschränkten Zeitraumes für die Instandsetzung der Überwasserbereiche (Seespiegel Tiefstand) und zur wirtschaftlichen Optimierung des notwendigen Materialbedarfs für die Einrüstung werden vermutlich nur jeweils 8 – 10 Joche gleichzeitig instandgesetzt. Somit erstrecken sich die Arbeiten über mehrere Jahre / Bausaisons.

7.2 Rückbau bestehender Überbau

Rückbauvorgang

Der Rückbau des Überbaus kann analog der Rückbauarbeiten des alten Steinbachviaduktes erfolgen.

Dabei wird der Überbau zuerst feldweise durchtrennt und danach mittels eines ballastierten Pontons ausgeschwommen. Am Seeufer wird eine Anlegestelle erstellt, bei der die Überbauteile zerteilt, verladen und fachgerecht entsorgt werden.

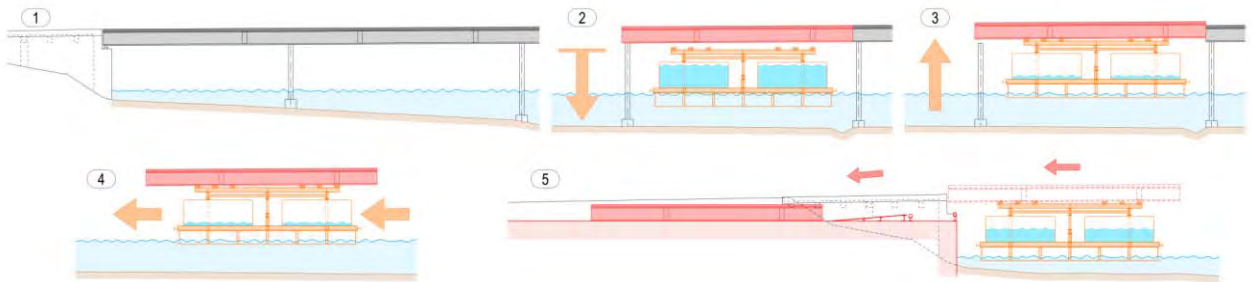


Abbildung 14 Schema Rückbau (Quelle: ewp AG)

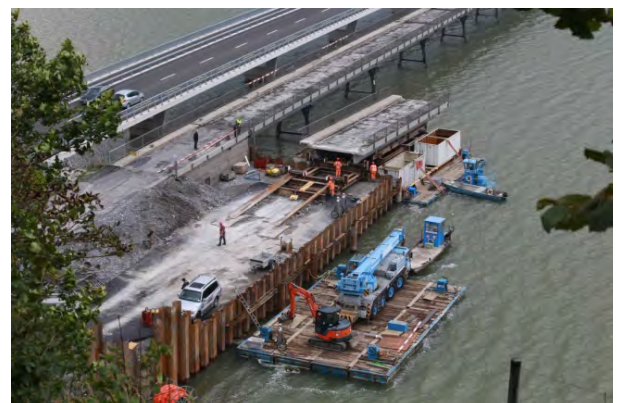


Abbildung 15 Impressionen Rückbau Steinbachviadukt

Stabilisation Pendeljoche

Während des Rückbaus sind die freiliegenden Pendeljoche zu stabilisieren. Denkbar wäre es denkbar, die Stabilisation analog dem Verfahren beim Steinbachviadukt mittels einer temporären Einschüttung des Jochfusses mit Kiesmaterial (unter Wasser) auszuführen. Nachteilig an diesem Verfahren sind die spätere Freilegung der Jochfüsse mittels Saugbagger o.ä. sowie die Beschädigung des vorhandenen Korrosionsschutzes wie auch der Installationen des Kathodischen Korrosionsschutzes unter Wasser.

Als Alternative müssen somit die Joche mittels Abspannungen (Seile o.ä.) über die rückwärtigen Joche (welche noch mit dem bestehenden oder neuen Überbau verbunden sind) stabilisiert werden.

Das genaue Verfahren ist in einer nächsten Projektierungsphase zu vertiefen und festzulegen.

7.3 Erstellung neuer Überbau (Trägerrost)

Bauvorgang

Die Erstellung des Überbaus kann alternierend zum Ausschwimmen des alten Überbaus erfolgen. Dabei kann ebenfalls der ballastierte Ponton zu Hilfe genommen werden.

Das alternierende Versetzen hilft zudem die Anzahl der jeweils zu stabilisierenden Joche auf ein Minimum zu begrenzen.

Sind zwei Überbauteile jeweils versetzt kann der Formschluss mithilfe von Baustellenschweissungen vollzogen werden. Danach erfolgen die Applikation der Abdichtung, das Einbringen des Belages und die Montage der Ausrüstung.

Bausaison Sommer

Für den Rückbau wie auch die Erstellung des Überbaus ist aufgrund der geringen Seetiefe und des notwendigen Tiefgangs des Pontons ein hoher Seespiegel erforderlich, wie er jeweils in den Sommer- und Herbstmonaten vorherrscht. Ebenso kann die Erreichbarkeit der Anlegestellen respektive die Ausbildung der Anlegestellen vereinfacht werden.

7.4 approximatives Bauprogramm

Abhängigkeit Seespiegel

Wie obige Ausführungen zum Bauablauf zeigen, herrscht eine hohe Abhängigkeit zwischen den Bauarbeiten, dem Baufortschritt und dem Seespiegelverlauf.

Der Berichtverfasser empfiehlt daher, die Seespiegelstände frühzeitig mit dem Anlagenbetreiber festzulegen. Allenfalls bestehen Möglichkeiten die Seespiegelstände für die auszuführenden Arbeiten zu „optimieren“.

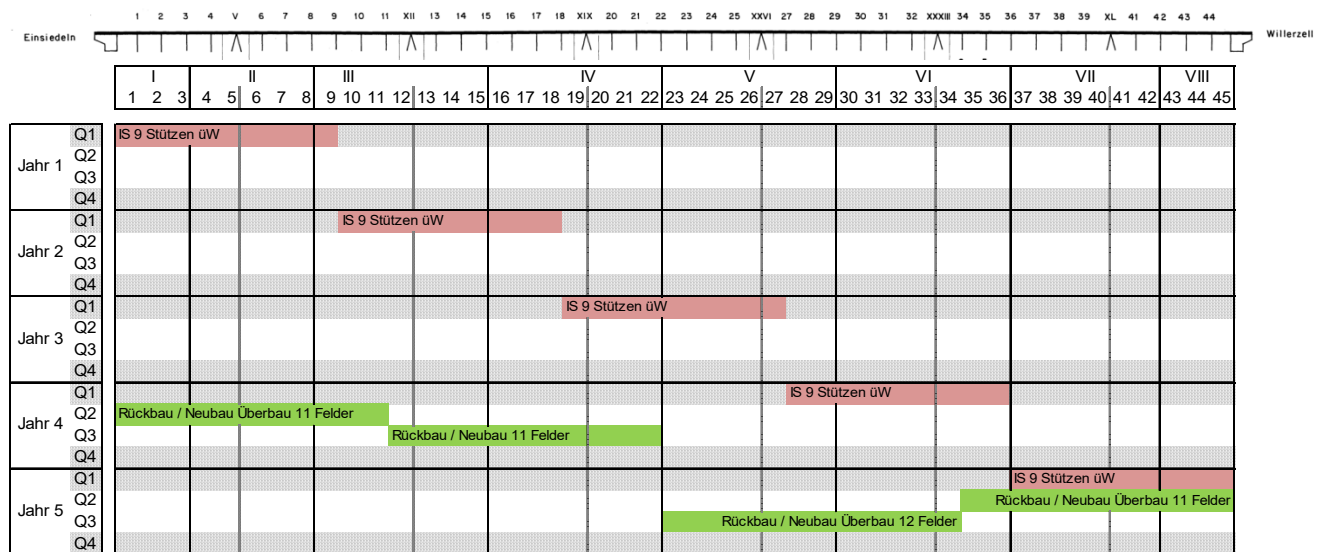


Abbildung 16 approximates Bauprogramm

Bauzeit

Wie ersichtlich ist, ist mit einer Bauzeit von mind. 5 Jahren zu rechnen.

Verkehrsführung

Ob die Brücke während der Instandsetzung der Joche zumindest einspurig befahrbar bleibt, ist in einer späteren Projektierungsphase vertieft abzuklären. Zum jetzigen Zeitpunkt geht der Berichtverfasser von einer Totalsperre aus.

Beim Rückbau und Ersatz des Überbaus ist eine Totalsperre unumgänglich.

8. Kostenschätzung

8.1 Methodik

Basis / Vergleichskosten

Die vorliegende Kostenschätzung umfasst den Totalersatz des Überbaus (inkl. Rückbau des bestehenden Überbaus) und die umfassende Instandsetzung der bestehenden Joche.

Als Basis dienen Vergleichskosten und Erfahrungswerte ähnlicher Bauwerke und Arbeiten, wobei beim Anteil der Montagekosten gewisse Unsicherheiten bestehen.

Für den Ersatz des Korrosionsschutzes der Joche über Wasser liegt eine Richtofferte eines darauf spezialisierten Unternehmens vor.

Für den Rückbau des bestehenden Überbaus werden die angefallenen Kosten des Rückbaus des alten Steinbachviadukts als Vergleichswerte hinzugezogen. Dabei wird davon ausgegangen, dass ein analoger Rückbauvorgang zur Ausführung gelangt und dass die Belastung des vorhandenen Korrosionsschutzes vergleichbar ist.

Gliederung Kostenschätzung

Die Kostenschätzung wird in 4 Teile gegliedert. Neben den Kosten für den Ersatz des Überbaus (Teil A) werden die Instandsetzung der Joche (Teil C) und die Honorare + Nebenkosten für den Ersatz des Überbaus (Teil B) und für die Instandsetzung der Joche (Teil D) getrennt ausgewiesen

Varianten Trägerrost / Verbund, Nutzbreite 4.5 / 3.5 m

Die Kosten werden für die beiden Varianten „Trägerrost“ und „Verbund“ ermittelt und gegenübergestellt. Dabei wird in erster Linie von einer Nutzbreite (Fahrbahnbreite) von 4.5 m ausgegangen.

Auf Wunsch des Auftraggebers wird zusätzlich aufgezeigt, was eine Verringerung der Nutzbreite von 1 m von 4.5 m auf 3.5 m auf Seiten der Kosten für beide Varianten für einen Einfluss hat.

8.2 Randbedingungen

Randbedingungen

Es gelten folgende Randbedingungen.

- Die Genauigkeit der Kostenschätzung beträgt $\pm 30\%$. Als Preisbasis gilt der 1. September 2017.
- Die Kosten für die Instandsetzung des Korrosionsschutzes der Joche und die Entsorgung des anfallenden belasteten Strahlgutes basieren auf den materiotechnologischen Untersuchungen des Massnahmenprojektes (PCB-haltiges Material).
- Für die allfällig entstehenden Zusatzkosten infolge Asbestverdachts sind Kosten im Sinne einer Budgetposition eingerechnet. Für eine detaillierte Kostenberechnung sind die aktuell vorhandenen materiotechnologischen Untersuchungen zu wenig aussagekräftig.

- Es wird angenommen, dass keine weiteren umweltgefährdenden Materialien und Altlasten (insbesondere Beläge mit zu hohem PAK-Gehalt) zu entsorgen sind.
- Für allfällig notwendige Verstärkungsmassnahmen an den Jochen werden Kosten im Sinne einer Budgetposition eingerechnet.
- Übergeordnete Kosten für Regie (5% der Baukosten), Prüfungen / Qualitätssicherung (2%) und die allgemeine Baustelleneinrichtung (12%) werden separat ausgewiesen.
- Die Kosten für Unvorhergesehenes (15%) werden berücksichtigt und separat ausgewiesen.
- Honorare und Nebenleistungen werden mit 22% der Baukosten berücksichtigt.
- Die Mehrwertsteuer (8%) wird separat ausgewiesen.

Nicht eingerechnet

Nicht in den Kosten eingerechnet werden:

- Kosten für Unvorhergesehenes werden nicht berücksichtigt.
- Kosten für die Anpassung der Widerlagerbereiche und Zulaufstrecken werden nicht berücksichtigt.
- Kosten für (temporären) Landerwerb, Gebühren etc. werden nicht berücksichtigt.
- Kosten für temporäre Signalisationen, Verkehrsführungen und Sperren werden nicht berücksichtigt.
- Bei den Kostenannahmen (Einheitspreise) werden keine kurzfristigen Markteinflüsse (insbesondere beim Stahlpreis) berücksichtigt.
- Eine Teuerung wird nicht berücksichtigt

8.3 Kostenzusammenstellung

Zusammenstellung

Nachfolgend die Zusammenstellung der Kosten für die 4 Varianten (Trägerrost / Verbund / 4.5 m / 3.5 m) sowie die Instandsetzung der Joche. Für eine detaillierte Aufschlüsselung der Kosten wird auf den Anhang 3 verwiesen.

Zusammenstellung Kostenschätzung, Genauigkeit +/- 30%		Trägerrost 4.5 m	3.5 m	Verbund 4.5 m	3.5 m
A Ersatz Überbau					
		13'133'000	11'576'000	13'421'000	11'808'000
A1 Übergeordnet (Regie 5% , QS 2%, allgemeine Baustelleneinrichtung 12%)		2'097'000	1'848'000	2'143'000	1'885'000
A2 Tragstruktur		4'000'000	3'200'000	3'592'000	2'870'000
A3 Belag + Abdichtung		880'000	672'000	880'000	672'000
A4 Lager + Fahrbahnübergänge		591'000	591'000	591'000	591'000
A5 Ausrüstung (Geländer, Beleuchtung)		2'310'000	2'310'000	2'310'000	2'310'000
A6 Montage		2'490'000	2'190'000	3'140'000	2'715'000
A7 Rückbau best. Überbau		765'000	765'000	765'000	765'000
B Honorare + Nebenkosten Ersatz Überbau		2'890'000	2'547'000	2'953'000	2'597'000
Zusammenstellung 1 Ersatz Überbau					
Gesamtkosten brutto, exkl. MWST		16'023'000	14'123'000	16'374'000	14'405'000
MWST 8%		1'281'840	1'129'840	1'309'920	1'152'400
Gesamtkosten netto, inkl. MWST		17'304'840	15'252'840	17'683'920	15'557'400
C Instandsetzung Joche					
			6'954'000		
C1 Übergeordnet (Regie 5% , QS 2%, allgemeine Baustelleneinrichtung 12%)			1'110'000		
C2 Einhausung / Gerüste			2'208'000		
C3 Erneuerung Korrosionsschutz			644'000		
C4 Entsorgung Strahlgut			92'000		
C5 Erneuerung Kathodischer Korrosionsschutz (erst 2033)			200'000		
C6 BUDGET Verstärkungen			200'000		
C8 BUDGET Asbest			2'500'000		
D Honorare + Nebenkosten Instandsetzung Joche			1'531'000		
Zusammenstellung 2 Instandsetzung Joche					
Gesamtkosten brutto, exkl. MWST			8'485'000		
MWST 8%			678'800		
Gesamtkosten netto, inkl. MWST			9'163'800		
ZUSAMMENSTELLUNG 3 ERSATZ ÜBERBAU + INSTANDSETZUNG JOCHE					
Gesamtkosten brutto, exkl. MWST		24'508'000	22'608'000	24'859'000	22'890'000
MWST 8%		1'960'640	1'808'640	1'988'720	1'831'200
Gesamtkosten netto, inkl. MWST		26'468'640	24'416'640	26'847'720	24'721'200

Tabelle 6 Kostenzusammenstellung

8.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Methodik

Im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die beiden Varianten Trägerrost und Verbund mit jeweils einer Nutzbreite von 4.5 m gegenübergestellt.

In einem ersten Schritt werden dabei die Investitionskosten über die gesamte Nutzungsdauer unter Berücksichtigung der üblichen Lebensdauern der einzelnen Bauteile sowie den Kosten der Überwachung (Hauptinspektionen) abgeschätzt.

In einem zweiten Schritt erfolgt dann eine dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung nach dem Verfahren der Barwertmethode durchgeführt.

Lebensdauer Bauteile

Für sämtliche Bauteile werden in einer späteren Projektierung im Rahmen der Nutzungsvereinbarung die Nutzungsdauern der einzelnen Bauteile definiert.

Die üblichen Nutzungsdauern der wichtigsten Bauteile werden nachfolgend kurz aufgelistet. Dabei gilt zu beachten, dass zum Erreichen der aufgeführten Nutzungsdauern ein üblicher betrieblicher und baulicher Unterhalt im Rahmen der Instandhaltung notwendig ist.

Bauteil	Nutzungsdauer	Ersatz bei 80 Jahre Gesamtnutzungsdauer
Tragkonstruktion	80 – 100 Jahre	kein Ersatz
Lager	50 Jahre	1 x Ersatz
Abdichtung	50 Jahre	1 x Ersatz
Belag, Schutz-/Binderschicht	50 Jahre	1 x Ersatz
Korrosionsschutz KKS	40 Jahre	1 x Ersatz
Korrosionsschutz (Beschichtung)	25 - 40 Jahre	2 x Ersatz
Belag, Deckschicht	25 Jahre	2 x Ersatz
Fahrbahnübergänge	25 Jahre	2 x Ersatz
Geländer	25 Jahre	2 x Ersatz

Tabelle 7 übliche Nutzungsdauer Bauteile

Überwachung

Unter Berücksichtigung der Annahmen unter Kap. 5 und 7 wird angenommen, dass für die Überwachung in der Regel alle 5 Jahre eine Hauptinspektion (visuelle Aufnahme / Beurteilung von Schäden über Wasser) durchgeführt wird. Zusätzlich sollte alle 10 Jahre eine umfassende Aufnahme der Bauteile unter Wasser (Taucher) durchgeführt werden.

Die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes wird wie bisher jährlich überprüft. Zusätzlich sollen alle 5 Jahre Detailmessungen der Joche durchgeführt werden (tlw. in Kombination mit den Tauchuntersuchungen).

Investitionskosten
Trägerrost Nutzbreite 4.5 m

Für die Variante Trägerrost, Nutzbreite 4.5m werden die Investitionskosten und Überwachung für den Überbau über die gesamte Nutzungsdauer wie folgt abgeschätzt:

Investitionskosten (in TCHF)		über die gesamte Nutzungsdauer, Basisjahr 2023, Nutzungsdauer 80 Jahre																
Trägerrost, Breite 4.5 m		2023	2028	2033	2038	2043	2048	2053	2058	2063	2068	2073	2078	2083	2088	2093	2098	2103
A Überbau		13133					3695	3083				4500		3083				
A1	Übergeordnet																	
	Regie 5%	552					155	130				189		130				
	Prüfungen / QS 2%	221					62	52				76		52				
	allg. Baustelleneinrichtung 12%	1'324					373	311				454		311				
A2	Tragstruktur																	
	Stahl	3'000																
	Korrosionsschutz	1'000						1000						1000				
A3	Belag + Abdichtung																	
	Abdichtung	400										400						
	Belag	480					480					480						
A4	Lager + Fahrbahnübergänge																	
	Lager	276										276						
	FBÜ	315					315					315						
A5	Ausrüstung																	
	Geländer	990					990					990						
	Beleuchtung	440					440					440						
	Werkleitung	880					880					880						
A6	Montage																	
	Potons / Baustelleneinrichtung Wasserbau	90						90						90				
	Transport / Montage Stahlbau	1'500						1500						1500				
	Versetzen / Einschwimmen Stahlbau	900																
A7	Rückbau (Basis Rückbau Steinbachviadukt)																	
	Potons / Baustelleneinrichtung Wasserbau	90																
	Rückbau	675																
A8	Unvorhergesehenes																	
	keine Kosten berücksichtigt																	
B Honorare + Nebenkosten		2'890	10	10	10	10	823	688	10	10	10	1000	10	688	10	10	10	
B1	Honorare Ingenieur	1839					517	432				630		432				
	Hauptinspektion / Überwachung Überbau		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
B2	Honorare OBL / Bauherr	657					185	154				225		154				
B3	Nebenkosten	394					111	92				135		92				
ZUSAMMENSTELLUNG TRÄGERROST 4.5 m																		
Gesamtkosten brutto pro Periode, exkl. MWST		16'023	10	10	10	10	4'518	3771	10	10	10	5'500	10	3'771	10	10	10	
Gesamtkosten brutto über gesamte Lebensdauer, exkl. MWST																		33'693

Tabelle 8 Investitionskosten über 80 Jahre für Variante Trägerrost, Nutzbreite 4.5 m

Investitionskosten
Verbund Nutzbreite 4.5 m

Für die Variante Verbund, Nutzbreite 4.5m werden die Investitionskosten und Überwachung für den Überbau über die gesamte Nutzungsdauer wie folgt abgeschätzt:

Investitionskosten (in TCHF)		über die gesamte Nutzungsdauer, Basisjahr 2023, Nutzungsdauer 80 Jahre																
Verbund, Breite 4.5 m		2023	2028	2033	2038	2043	2048	2053	2058	2063	2068	2073	2078	2083	2088	2093	2098	2103
A Überbau		13421						3695	2663.6				4500		2663.6			
A1 Übergeordnet	Regie 5%	564					155	112					189		112			
	Prüfungen / QS 2%	226					62	45					76		45			
	allg. Baustelleneinrichtung 12%	1'353					373	269					454		269			
A2 Tragstruktur	Stahl	1'500																
	Korrosionsschutz	500						500							500			
	Beton	420						126							126			
	Schalung	672						202							202			
	Bewehrung	500						150							150			
A3 Belag + Abdichtung	Abdichtung	400											400					
	Belag	480					480						480					
A4 Lager + Fahrbahnübergänge	Lager	276											276					
	FBU	315					315						315					
A5 Ausrüstung	Geländer	990					990						990					
	Beleuchtung	440					440						440					
	Werkleitung	880					880						880					
A6 Montage	Potons / Baustelleneinrichtung Wasserbau	90						90							90			
	Transport / Montage Stahlbau vor Ort	750						750							750			
	Versetzen / Einschwimmen Stahlbau pro Feld	900																
	"Lehrgerüst"	1'400						420							420			
A7 Rückbau (Basis Rückbau Steinbachviadukt)	Potons / Baustelleneinrichtung Wasserbau	90																
	Rückbau	675																
A8 Unvorhergesehenes	keine Kosten berücksichtigt																	
B Honorare + Nebenkosten		2'953	10	10	10	10	823	596	10	10	10	1000	10	596	10	10	10	10
B1 Honorare Ingenieur		1879					517	373				630		373				
	Hauptinspektion / Überwachung Überbau		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
B2 Honorare OBL / Bauherr		671					185	133				225		133				
B3 Nebenkosten		403					111	80				135		80				
ZUSAMMENSTELLUNG VERBUND 4.5 m																		
Gesamtkosten brutto pro Periode, exkl. MWST		16'374	10	10	10	10	4'518	3'260	10	10	10	5'500	10	3'260	10	10	10	
Gesamtkosten brutto über gesamte Lebensdauer, exkl. MWST																		33'021

Tabelle 9 Investitionskosten über 80 Jahre für Variante Verbund, Nutzbreite 4.5 m

*Investitionskosten
Instandsetzung Joche*

Für die die Instandsetzung der Joche werden die Investitionskosten und Überwachung über die gesamte Nutzungsdauer wie folgt abgeschätzt:

Investitionskosten (in TCHF) Instandsetzung Joche		über die gesamte Nutzungsdauer, Basisjahr 2023, Nutzungsdauer 80 Jahre																
		2023	2028	2033	2038	2043	2048	2053	2058	2063	2068	2073	2078	2083	2088	2093	2098	2103
C Instandsetzung Joche		6'954						3503		238				3503				
C1 Übergeordnet																		
Regie 5%		292						147		10				147				
Prüfungen / QS 2%		117						59		4				59				
allg. Baustelleneinrichtung 12%		701						353		24				353				
C2 Einhausung / Gerüste																		
Gerüst		1'518						1518						1518				
Einhausung Klasse 1		690						690						690				
C3 Erneuerung Korrosionsschutz																		
Entfernen Korr-Schutz		414						414						414				
Applikation Korr-Schutz		230						230						230				
C4 Entsorgung																		
Belastest Strahlgut		92						92						92				
C5 Kathodischer Korrosionsschutz																		
Anpassung / Erneuerung KKS		200								200								
C6 BUDGET Verstärkungen																		
Budgetposition		200																
C7 BUDGET ASBEST																		
Budgetposition		2'500																
C8 Unvorhergesehenes																		
keine Kosten berücksichtigt																		
D Honorare + Nebenkosten		1'531	30	45	30	45	30	815	30	97	30	45	30	815	30	45	30	
D1 Honorare Ingenieur		974						490		33				490				
Hauptinspektion Joche			10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Taucharbeiten Hauptinspektion				20		20		20		20			20		20		20	
Überwachung / Monitoring KKS			10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Taucharbeiten Detailinspektion KKS (tlw. In Kombination Taucharbeiten HI)			10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	
D2 Honorare OBL / Bauherr		348						175		12				175				
D3 Nebenkosten		209						105		7				105				
ZUSAMMENSTELLUNG																		
Gesamtkosten brutto pro Periode, exkl. MWST		8'485	30	45	30	45	30	4'318	30	335	30	45	30	4'318	30	45	30	0
Gesamtkosten brutto über gesamte Lebensdauer, exkl. MWST																		17'876

Tabelle 10 Investitionskosten über 80 Jahre für Instandsetzung Joche

Barwertmethode

Die dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung wird nach dem Verfahren der Barwertmethode (auch Kapitalwertmethode genannt) durchgeführt. Dabei werden Investitionen (= Kosten für Erhaltungsmassnahmen), die zu bestimmten Zeitpunkten über einen Zeitraum (= Nutzungsdauer 80 Jahre) getätigt werden, durch Abzinsung auf den Beginn des betrachteten Zeitraums (= Beginn der Nutzungsdauer ab 2023) vergleichbar gemacht. Dabei kann der Wert der Investitionen mit einem Zinssatz zur Berücksichtigung der Teuerung nominalisiert werden.

Der Barwert der Investitionen ist die Summe der Barwerte aller einzelnen, auf den Beginn des Zeitraums abgezinsten Investitionen:

$$\sum_{i=1..k} I_i \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{z}{100}\right)^n}$$

mit z : Zinssatz in %,

n : Anzahl Jahre (Nutzungsdauer),

i : Investition zu einem gegebenen Zeitpunkt,

k : Anzahl Investitionen

Interpretation im Zusammenhang der Nutzungsdauer

Bei der Barwertmethode handelt sich um ein rechnerisch einfaches Verfahren, das eine leichte Interpretation ermöglicht, da die Grössen in Geldeinheiten ausgedrückt werden. Hingegen ist eine zuverlässige Prognose für langfristig gültige Zinssätze unmöglich, denn die langfristige Entwicklung einer Volkswirtschaft kann nicht vorausgesagt werden. Entsprechend sind die Ergebnisse, vor allem für eine Nutzungsdauer von mehr als 30 Jahren, mit Vorsicht zu interpretieren.

Zinssatz

Für den vorliegenden Fall werden nachfolgend zwei Angaben von Zinssätzen betrachtet:

- Die SBB AG verwendet einen Zinssatz von 4.5% für die Abzinsung von Investitionen.
- Die Konzedenten verwenden einen Zinssatz für die Abzinsung von 1.44%.

Barwerte

Unter Verwendung dieser Zinssätze und der über die Nutzungsdauer anfallenden Kosten für die Erhaltungsmassnahmen gemäss *Tabellen 6 – 8* ergeben sich für die beiden Varianten die Barwerte in der *Tabelle 9*. Diese Zahlen sind wie folgt zu verstehen: Je kleiner der Barwert, umso wirtschaftlicher ist die Variante.

Barwert (in TCHF)		Trägerrost, 4.5 m		Verbund, 4.5 m		Vergleich Barwert Ersatz Überbau	Instandsetzung Joche	
		Investitionen		Investitionen			Investitionen	
		Total	Barwert	Total	Barwert		Total	Barwert
Zinssatz Vorschlag SBB	4.50%	33'693	19'442	33'021	19'620	1.01	17'876	10'124
Zinssatz Vorschlag Konzedenten	1.44%		25'995		25'796	0.99		13'571

Tabelle 11 Barwerte Ersatz Überbau (Nutzbreite 4.5 m) und Instandsetzung Joche

Ergebnisse + Diskussion

Die Ergebnisse der Tabelle ergeben folgende Feststellungen:

- Die Gesamtsumme der Investitionen ist über eine Nutzungsdauer von 80 Jahren betrachtet bei beiden Varianten vergleichbar.
- Ebenso zeigt die Wirtschaftlichkeitsrechnung, dass bei beiden Zinssätzen der Barwert nahezu identisch ist.
- Somit kann aus wirtschaftlicher Sicht keine Variante bevorteilt werden.

9. Fazit

9.1 Erkenntnisse

Machbarkeit gegeben

Die vorliegende Studie zeigt auf, dass eine Umnutzung des bestehenden Viaduktes in eine Langsamverkehrsverbindung machbar ist.

Eine weitere Verwendung der bestehenden Joche und Foundation wird aufgrund des heutigen Kenntnisstandes empfohlen. Damit die Restnutzungsdauer der Joche auf 80 Jahre ausgelegt werden kann, sind allerdings Massnahmen notwendig (Erneuerung Korrosionsschutz unter Berücksichtigung ergänzender Aufnahmen, Erneuerung / Anpassung Kathodischer Korrosionsschutz, periodische Überwachung, angemessener baulicher wie auch betrieblicher Unterhalt).

Soll der Überbau ersetzt werden, sind neben einer Beschränkung der Nutzlast auf 400 kg/m^2 die Eigenlasten des neuen Querschnitts zu begrenzen (auf maximal derjenigen des bestehenden Überbaus). Überbauten in Stahl- oder Verbundbauweise sind deshalb zu bevorzugen.

9.2 Offene Punkte

Offene Punkte

Für das weitere Vorgehen (Erarbeitung eines Vorprojektes) sind aus Sicht des Berichtverfassers folgende Punkte vertieft zu behandeln:

- *Zustand Holzpfähle*

Wie in Kap. 3.3 beschrieben, sollte die Annahme der uneingeschränkten Funktionstüchtigkeit der Pfahlfoundation verifiziert werden.

- *Tragsicherheit Joche*

Ob eine statische Überprüfung der Joche bis heute durchgeführt wurde, ist unbekannt. Für die vorliegende Machbarkeitsstudie wurde mit Plausibilitätsüberlegungen (Lastvergleiche) aufgezeigt, dass wenn keine Fehler in der ursprünglichen Bemessung vorliegen, die Tragsicherheit mit der Umnutzung der Brücke nicht tangiert wird.

Ebenso wird aufgrund der durchgeführten visuellen Begutachtung und den vorhandenen Messresultate davon ausgegangen, dass bei den Stahlprofilen keine oder nur sehr geringfügige Querschnittsverluste vorliegen, welche keine wesentlichen Änderungen in der Ausnutzung der Profile und somit im vorhandenen Tragsicherheitsniveau mit sich bringen.

In wie weit diese Überlegungen mit ergänzenden Aufnahmen (Messung Profildicken) und statischen Berechnungen unterlegt werden müssen, ist in einer nächsten Phase zu klären.

- *Reduktion Dilatationsabschnitte*
Abklärung mittels statischer Berechnungen, ob Reduzierung Anzahl Dilatationsabschnitte denkbar ist.
- *Wirksamkeit / Überprüfung System KKS*
Die Wirksamkeit des KKS wurde untersucht. Neben einer globalen Betrachtung wurden an vereinzelter Jochen detaillierte Messungen vorgenommen, die die Annahme erhärten, dass die Wirksamkeit gegeben ist.
Im Hinblick auf die zukünftige Restnutzungsdauer wird dennoch empfohlen, eine Überprüfung des bestehenden Systems unter Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklung der Bereiche unter Wasser wie auch der neuen Beschichtung in der Wasserwechselzone durchzuführen.
Als Basis für diese Abklärungen dienen eine lückenlose Dokumentation des Bestandes (bestehendes System KKS, visueller Zustand aller Joche, Detailmessungen über Jochhöhe).
- *Definition System Korrosionsschutz Wasserwechselzone*
Da die Systemwahl des Korrosionsschutzes in der Wasserwechselzone in Abhängigkeit zum System KKS steht, ist im Zusammenhang der Überprüfung und allfälligen Neukonzeption des KKS auch das Beschichtungssystem zu evaluieren.
- *Ergänzende Untersuchungen*
Hinsichtlich der divergierenden chemischen Analyseresultate sollen weitere Beprobungen Klarheit verschaffen. Dabei soll ein besonderes Augenmerk auf die Belastung durch Chrom-6 und Asbest gelegt werden.
Weiter wird empfohlen Profildickenmessungen an den Jochen (über und unter Wasser) durchzuführen.
- *Überwachungsplan und Instandhaltungsplan*
In einer nächsten Phase sind ein Überwachungsplan wie auch ein Instandhaltungsplan insbesondere für die Joche detailliert zu erarbeiten. Dabei ist ein besonderes Augenmerk auf das Überwachungskonzept / Monitoring des KKS zu legen.
- *Teilabsenkung Seespiegel*
Die genaue Seespiegellote für die Instandsetzung der Joche in der Wasserwechselzone / Bereich über Wasser ist zu definieren. Eine mögliche tiefste Absenkung des Seespiegels für die Instandsetzung miniert den Bereich der Joche in der Wasserwechselzone, welcher nicht instandgesetzt werden kann (Bereich C) und ist somit anzustreben.

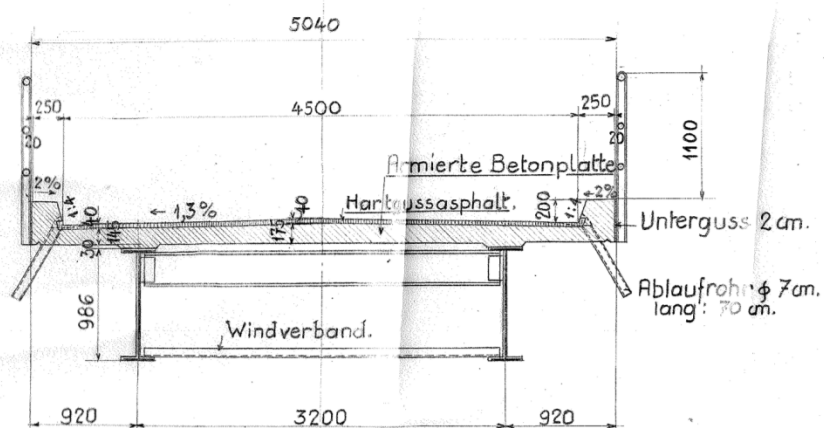
- *Bauprogramm*
Die Leistungsannahmen als Basis des Bauprogrammes sind mit einem Unternehmer zu verifizieren.
- *Kosten / Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen*
In einer nächsten Phase sind, sofern sich der Verdacht auf Asbest erhärtet, die Kosten für die Instandsetzung der asbesthaltigen Abschnitte detailliert zu erheben.

dsp Ingenieure & Planer AG
Roman Juon

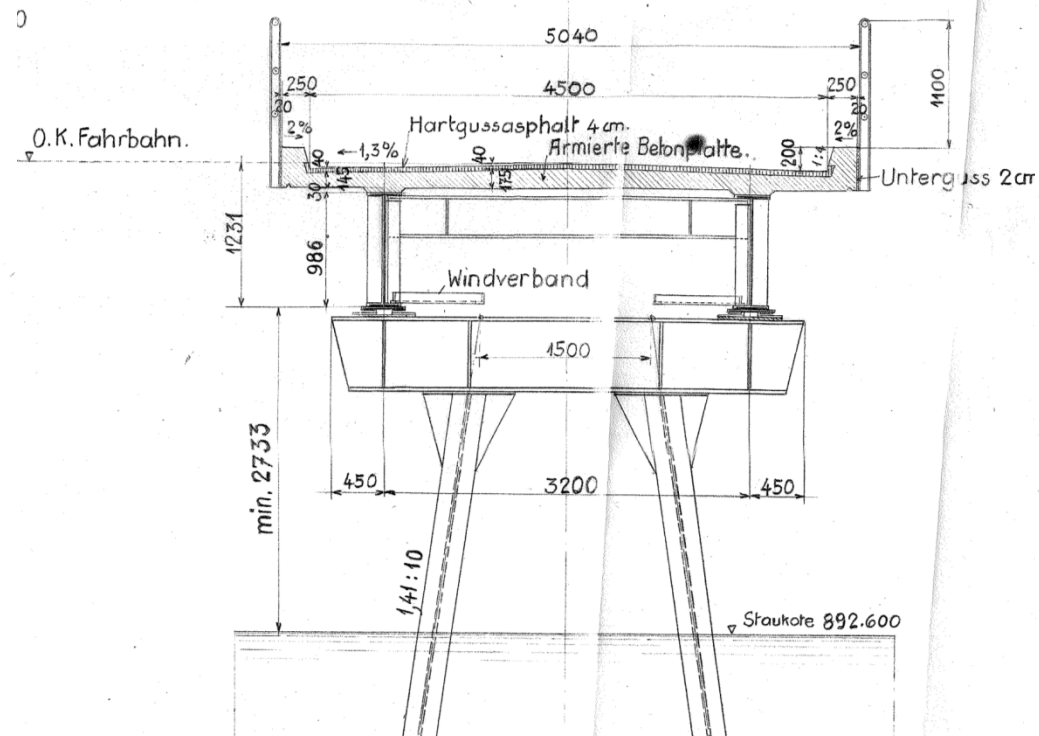
The technical drawing consists of three main parts:

- Top View (Plan View):** A horizontal cross-section of the bridge spanning from station 0+00 to 4+50. It shows the bridge deck, piers, and abutments. Key features include:
 - Joch 17 and Joch 18:** Two adjacent spans between piers 16 and 19.
 - Joch 33:** A single span between pier 32 and pier 34.
 - Joch 44:** A single span between pier 43 and pier 45.
 - Dimensions:** Various span lengths are indicated, such as 20.0 + 23.0 = 43.00 m and 7.25.0 + 175.00 m.
 - Elevations:** The bridge deck is at elevation 215.00 m, and the water level is at 892.60 m.
- Middle View (Longitudinal Section):** A side view of the bridge structure, labeled "Längenschnitt in der Brückenaxe 1:200". It shows the profile of the bridge deck, the height of the piers, and the water level. Key features include:
 - Pier Numbers:** Piers are numbered from 19 to 26.
 - Span Lengths:** Individual span lengths are given, such as 15.90 m, 5.55 m, 3.57 m, 5.58 m, 3.57 m, 3.57 m, and 25.00 m.
 - Elevations:** The bridge deck is at 215.00 m, and the water level is at 892.60 m.
- Bottom View (Cross-Section):** Two detailed cross-sections of the bridge piers, labeled "Pendel Joch" and "Stand Joch". They show the structural details of the piers, including the deck, the water level, and the foundation. Key features include:
 - Pier Dimensions:** The width of the piers is 15.00 m.
 - Elevations:** The bridge deck is at 215.00 m, and the water level is at 892.60 m.

Mitte Öffnung.



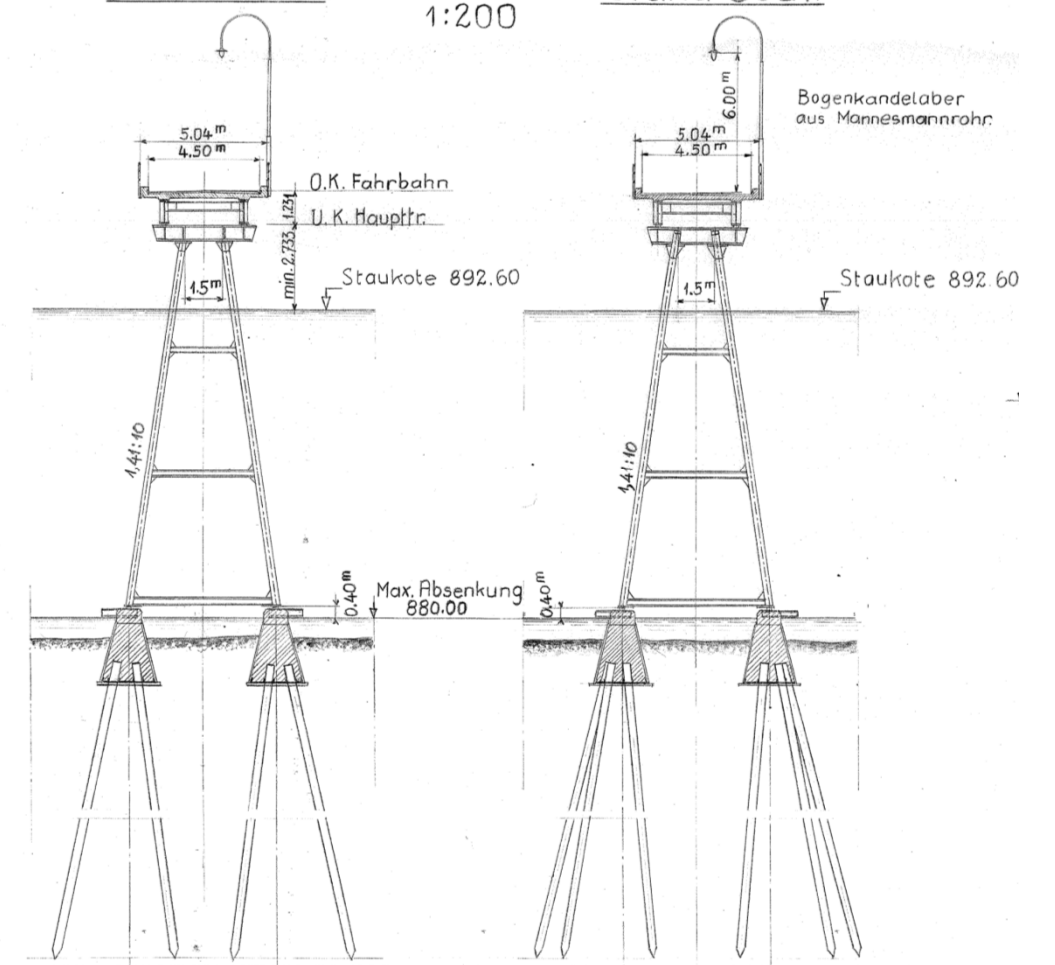
beim Joch.



Pendel Joch.

1:200

Stand Joch.



dsp INGENIEURE & PLANER AG | SIA/USIC

Anhang 2 Analyse Stichprobe Joch 18

bachema

Bachema AG
Analytische Laboratorien

Schlieren, 16. Oktober 2017
SIS

Kontra Korrosion Rickenbacher GmbH
Etzelstrasse 31
8634 Hombrechtikon

Untersuchungsbericht

Objekt: Beschichtungsprobe, Willerzell

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akreditiert nach
ISO 17025
SIS-Nr. 8064

Auftrags-Nr. Bachema	201709355
Proben-Nr. Bachema	41539
Tag der Probenahme	
Eingang Bachema	11. Oktober 2017
Probenahmeort	Willerzell
Entnommen durch	Kontra Korrosion Rickenbacher GmbH

Auftraggeber	Kontra Korrosion Rickenbacher GmbH, Etzelstrasse 31, 8634 Hombrechtikon
Rechnungsadresse	Kontra Korrosion Rickenbacher GmbH, Etzelstrasse 31, 8634 Hombrechtikon
Bericht an	Kontra Korrosion Rickenbacher GmbH, F. Rickenbacher, Etzelstrasse 31, 8634 Hombrechtikon
Bericht per e-mail an	Kontra Korrosion Rickenbacher GmbH, F. Rickenbacher, info@kontrakorrosion.ch

Freundliche Grüsse
BACHEMA AG



Annette Rust
Dr. sc. nat. / Dipl. Umwelt-Natw. ETH

201709355 / 16. Oktober 2017

Seite 1/4



Bachema AG
Analytische Laboratorien

Objekt: Beschichtungsprobe, Willerzell
Auftraggeber: Kontra Korrosion Rickenbacher GmbH
Auftrags-Nr. Bachema: 201709355

Probenübersicht

Bachema-Nr.	Probenbezeichnung	Probenahme / Eingang Labor
41539 F	Sihlseebrücke Willerzell, Stützen	/ 11.10.17

Legende zu den Referenzwerten

Korrosionsschutz	Umweltschutz bei Korrosionsschutzarbeiten - Planungsgrundlagen, Vollzug Umwelt, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL, heute BAFU), Bern 2004. VSKF: Meldeformular Korrosionsschutzarbeiten an Objekten im Freien des VSKF (Verband Schweizerischer Korrosionsschutz-Firmen). Cercl'Air: Empfehlung Nr. 30 Umweltschutzmassnahmen bei der Instandhaltung des Korrosionsschutzes von Stahltragwerken der Elektrizitätsübertragung, Präzisierung der Vollzugshilfen, Cercl'Air (Schweizerische Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute) 2014.
------------------	---

Bachema AG
Rüttelstrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akreditiert nach
ISO 17025
STE-Nr. 0064

Abkürzungen

W	Wasserprobe
F	Feststoffprobe
TS	Trockensubstanz
<	Bei den Messresultaten ist der Wert nach dem Zeichen < (kleiner als) die Bestimmungsgrenze der entsprechenden Methode.
*	Die mit * bezeichneten Analysen fallen nicht in den akkreditierten Bereich der Bachema AG oder sind Fremdmessungen.

Akkreditierung



Auszugsweise Vervielfältigung der Analysenresultate sind nur mit Genehmigung der Bachema AG gestattet.
Detailinformationen zu Messmethode, Messunsicherheiten und Prüfdaten sind auf Anfrage erhältlich (s. auch Dienstleistungsverzeichnis oder www.bachema.ch).



Bachema AG
Analytische Labordienste

Objekt: Beschichtungsprobe, Willerzell
Auftraggeber: Kontra Korrosion Rickenbacher GmbH
Auftrags-Nr. Bachema: 201709355

Probenbezeichnung

Sihlsee- brücke Willerzell, Stützen 41539					Korrosions- schutz	
---	--	--	--	--	-----------------------	--

Proben-Nr. Bachema
Tag der Probenahme

Elemente und Schwermetalle

Chrom-VI (basische Extraktion, DIN 15192)* ICP-MS	mg/kg TS	Cr-VI	<10				100 (Cerc'l Air)	
Schwermetalle (semiquantitativ)* XRF			s. Anhang					

PCB

PCB 28 (TS)	mg/kg TS	<0.2						
PCB 52 (TS)	mg/kg TS	<0.2						
PCB 101 (TS)	mg/kg TS	0.7						
PCB 118 (TS)	mg/kg TS	<0.2						
PCB 138 (TS)	mg/kg TS	2.1						
PCB 153 (TS)	mg/kg TS	1.6						
PCB 180 (TS)	mg/kg TS	1.9						
PCB Summe n. VVEA / AltIV	mg/kg TS	27					100	
PCB Summe (nach Fugenrichtlinie)	mg/kg TS	19						
PCB Typisierung		Aroclor 1260 oder Clophen A 60						
Chlorparaffine (semiquantitativ)*	g/kg	0.7						

Asbest

Asbest Nachweis		nachge- wiesen						
Asbest	%	5-20						
Asbest – Art		Chrysotil						
Bemerkung		--						

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)
Akkreditiert nach
ISO 17025
STS-Nr. 0064

Anhang 3 Protokoll Zustandsaufnahmen Taucharbeiten

Im Sinne einer protokollarischen Auflistung sind nachfolgend die Aufnahmen der Stützen durch den Taucher aufgeführt.

Joch Nr. 44

1. Pendelstütze, H-Profil mit 20.46 mm Wanddicke Luftseite.
2. Grob-Reinigung und Entfernung von Ablagerungen mit Handschuh; danach Reinigung mit Kärcher, danach Drahtbürste und Hartmetallschaber.
3. Fussbereich: Pendelstütze mit Fussplatte, durchgesteckte Ankerschrauben mit einer Mutter. Gewinde sichtbar. Ankerschrauben stecken in einer weiteren Platte, diese ist wiederum mit Ankern befestigt, welcher in einer dritten Flanschplatte, Einlegeteil, befestigt sind. Insgesamt sind 8 Anker mit sichtbarem Gewinde und je einer Mutter zu erkennen.
4. Im Fussbereich befindet sich also eine Spaltkonfiguration. Ob die zurückversetzten Stahloberflächen in diesem Spalt Korrosion zeigen, kann nicht festgestellt werden (Zugänglichkeit, Sichtverhältnisse)
5. Einlege-Stahlplatte und Betonsockel sind bedeckt mit Ablagerungen im weiteren Sinn (Schlamm, Seekreide, Muscheln). Dunkelgrau-hellgrauer Gesamteindruck nach Reinigung (Beschichtung/Ablagerungen).
6. Keine eindeutige Beschichtung identifizierbar nach Reinigung.
7. Ein sichergestelltes „Ablagerungsfragment“ ist ca. 2 - 3 mm dick und wasserseitig dunkelgrau, stahlseitig schwarz, biegsam. Das weist auf einen Rest des Bitumenanstrichs (Erstschutz) hin.
8. Nach Reinigung mit Drahtbürste, Hartmetallschaber: Ebene Plattenoberflächen; keine Rostpusteln, keine Rostknollen.
9. keine blanken Stellen mit Muldenkorrosion zu erkennen. Sechskant der Mutter zeigt seine Form, dito die Gewinde.
10. Betonsockel mit Ablagerungen und mit Frostschäden (insbesondere Oberseite und entlang Kanten). Keine Muscheln (Wassertiefe ca. 3 m).
11. Keine US-Wanddickenmessungen vom Taucher, da Gerät noch nicht angeliefert worden war.

Joch Nr. 33

1. Muscheln ab ca. 3.4 m Wassertiefe.
2. Grob-Reinigung und Entfernung von Ablagerungen mit Handschuh; danach Kärcher.
3. bis 11.60 m Wassertiefe: ca. 1 m hoch Schlamm. Sicht sehr schlecht.
4. Reinigung (mit Kärcher, ca. 130 bar):
5. Nach der Reinigung sind (knapp) zu erkennen resp. zu vermuten: eine dunkle Beschichtung mit grauen bis schwarzen Ablagerungen
6. intakte Sechskantschraubenköpfe-Kanten, grau. Offenbar feuerverzinkte Schrauben; wahrscheinlich ohne Beschichtung.
7. Unterwasser: Ablagerungen und Beschichtung lässt sich mit dem Hartmetallschaber recht gut vom Untergrund Stahl entfernen.

8. Beschichtung ist gequollen, weich und nicht vollständig versprödet. Der Schauber hängt nicht ein, da keine Stellen mit Unterwanderung und/oder Ansätze mit Korrosion) und rutscht kontinuierlich ohne stottern.
9. An exponierten eher konkaven Stellen sind keine helleren, metallisch blanke Partien zu finden.
10. Keine Opferanoden gefunden, kein Hüllrohr für KKS vorhanden.

Joch Nr. 18

1. Muscheln ab ca. 3.4 m Wassertiefe.
2. Grob-Reinigung und Entfernung von Ablagerungen mit Handschuh; danach Kärcher.
3. Der Taucher kann mit dem Handschuh danach keine Unebenheiten auf Stahloberflächen erspüren. Es sind offensichtlich keine Rostpusteln oder gar -knollen vorhanden.
4. Im Bereich wechselnder Wasserpegel Stützen mit Bewuchs. Im Bereich der Dauereintauchtiefe unterhalb des „Tidenhubs“ und oberhalb des Bodenschlammes sind die Stützen ca. 2 cm dick mit Muscheln belegt.
5. Reinigung (mit Kärcher, ca. 130 bar).
6. Nach der Reinigung sind (knapp) zu erkennen resp. zu vermuten: eine dunkle Beschichtung mit grauen bis schwarzen Ablagerungen
7. intakte Sechskantschraubenköpfe-Kanten, grau. Offenbar feuerverzinkte Schrauben; wahrscheinlich ohne Beschichtung.
8. Ein sichergestelltes Ablagerungsfragment ist ca. 1 mm dick und dunkelgrau, flexibel und leicht.
9. An exponierten eher konkaven Stellen sind keine helleren, metallisch blanke Partien zu finden.
10. Keine Opferanoden (gemäss Skizze) gefunden, kein Hüllrohr für KKS vorhanden.
11. Zustand Sockel: unter Schlamm nicht eruierbar (ca. 1m hoher Schlamm); vermutlich etwa eben zum Seeboden.

Joch 17

1. Keine direkt an der Stahlkonstruktion befestigten Opferanoden (wie gemäss eines Plandetails mit Handeintragungen)
2. Bei jeder zweiten Stütze führt ein Kabelschutzrohr nach unten. So auch bei Nr. 17.
3. Am Stützenfuss gehen ab diesem Kabelhüllrohr drei dickere m-lange Kabel weg, welche zu einer konischen im Boden steckenden grauen Elektrode führen.

Anhang 4 Bericht SGK

SGK[®]

Technoparkstrasse 1
CH-8005 Zürich
Tel. +41 44 213 15 90
Fax +41 44 213 15 91
www.sgk.ch

Schweizerische Gesellschaft
für Korrosionsschutz

Société Suisse de Protection
contre la Corrosion

Swiss Society for
Corrosion Protection

Kontrolle KKS Stahlstützen Willerzeller Viadukt, Sihlsee

Bericht Nr.:	17179
Auftraggeber:	SBB AG
Verfasst:	David Joos
Geprüft:	Dr. Markus Büchler
Datum:	10. November 2017

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen	3
2	Situation	3
3	Messungen und Resultate.....	3
4	Beurteilung.....	5
5	Massnahmen	6

1 Grundlagen

Die SGK wurde beauftragt als unabhängige Instanz den kathodischen Korrosionsschutz (KKS) der Stahlstützen des Willerzeller Viadukts zu kontrollieren.

Als Grundlagen dienen:

- Planunterlagen der Brücke
- Gutachten mit Bericht-Nr.: E16/09 vom 6. Juni 2017 von Prof. Dr. Eugen Brühwiler
- Messprotokoll der Corroprot AG zu den Messungen vom 16.05.2017
- Die Messungen vom 25.10.2017
- Telefongespräch mit Herr Nachbar vom 9.11.17 in Bezug auf die zu treffenden Massnahmen

Dieser Bericht ersetzt jenen vom 1.11.2017

2 Situation

Das Willerzeller Viadukt ist eine 1115 Meter lange Brücke ins Willerzell. Die Stahlbrücke steht auf 44 Stahlstützen, von welchen 38 als Pendeljoche und 6 als Standjoche ausgebildet wurden. Sie wurde ab 1932 gebaut und mit der Flutung des Sihlsees 1937 in Betrieb genommen.

Gemäss der Broschüre «Das Etzelwerk» (1981) wurde für die beiden Sihlsee-Viadukte ein leichter Brückentyp gewählt, da der aus Torf und Seeschlamm bestehende Untergrund des Sihlsees eine geringe Tragfähigkeit aufweist. Der Oberbau ruht auf den Pendeljochen, die in regelmässigen Abständen von 20 bzw. 25 Metern angeordnet sind. Die Pendeljoche stehen auf zwei pyramidenförmig gerammten Pfahlgruppen von 5 bis 8 Holzpählen. Zwischen den Pendeljochen befinden sich regelmässig verteilt die Standjoche, die mit der doppelten Zahl von Pfählen fundiert sind.

Die Stahlstützen sind mit einem Korrosionsschutzanstrich versehen und werden über einen Gleichrichter kathodisch geschützt. Die KKS Anlage ist seit 1958 in Betrieb. Als Anoden wurden Eisenbahnschienen auf dem Seegrund deponiert.

Im Rahmen des Betriebsunterhalts werden die Speisespannung und der Strom am Gleichrichter wöchentlich geprüft und dokumentiert. Zusätzlich werden zwei- bis dreimal pro Jahr mit einer mobilen Referenzelektrode an jeder Stütze die Ein- und Ausschaltpotenziale gemessen.

Im Rahmen der Zustandserfassung wurde die Firma Corroprot AG beauftragt, die Ein- und Ausschaltpotenzialwerte erneut zu messen. Diese Messung galt es von einer unabhängigen Instanz zu wiederholen, da die Firma, welche die ursprüngliche KKS Anlage installiert hatte von der Corroprot AG übernommen wurde.

Zum Zeitpunkt der Messung war der See voll. Die Wasseroberfläche lag bei 888.6 m.ü.M.

3 Messungen und Resultate

Für die Messung wurden zwei Pendel- und Standjochpaare (18/19 und 25/26) ausgewählt. Die Wahl fiel auf diese beiden Paare, da sie im Protokoll zu den Messungen vom 16.05.2017 der Corroprot AG die schlechtesten Werte aufweisen.

Die Wassertemperatur lag bei ca. 13°C und die Messung des spezifischen Widerstands hat einen Wert von rund 55 Ω m ergeben.

Für die Potenzialmessung wurde einem Taucher eine mobile Kupfer/Kupfersulfat Referenzelektrode (CSE) mitgegeben. Dieser platzierte diese zwischen den Holmen der Joche im Wasser 1 m unterhalb der Wasseroberfläche, in der Mitte zwischen Wasseroberfläche und dem Seegrund und in ca. 0.5 m Entfernung von den zwei, respektive 4 Sockeln der Pendel- respektive der Standjoche.

Für die Ermittlung des Gradienten wurden zusätzlich zu den Messungen bei den Stützen auf 5 m, 10 m, 15 m und 20 m zwischen den Stützen jeweils 1 m unter der Wasseroberfläche (Abb. 1, grüne Punkte) die Potenziale gemessen.

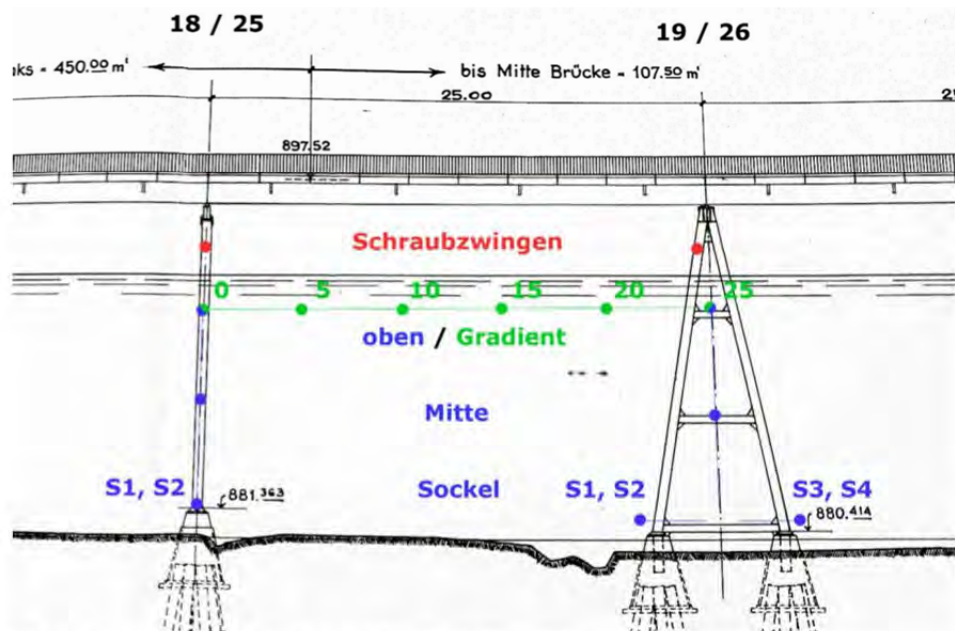


Abb. 1: Planausschnitt mit eingezeichneten Messpunkten.

Die Messresultate sind in folgender Tabelle 1 zusammengefasst. Daraus ist ersichtlich, dass die Potenzialwerte bei allen Stützen mit zunehmender Tiefe negativer werden. Die Einschalt-potenziale reichen von knapp -1.0 V_{CSE} bis knapp -1.3 V_{CSE} und sind im Mittel rund -1.16 V_{CSE} . Die Ausschalt-potenziale liegen zwischen -0.92 V_{CSE} und -1.04 V_{CSE} (Mittelwert bei -1.00 V_{CSE}).

Tabelle 1: Resultate der Potenzialmessung (Werte in V_{CSE}).

Ort	Stütze 18		Stütze 19		Stütze 25		Stütze 26	
	E_{on}	E_{off}	E_{on}	E_{off}	E_{on}	E_{off}	E_{on}	E_{off}
Oben	-1.19	-1.02	-1.00	-0.92	-1.21	-1.00	-0.99	-0.92
Mitte	-1.21	-1.03	-0.98	-0.93	-1.24	-1.02	-0.99	-0.94
S1	-1.25	-1.04	-1.14	-1.02	-1.28	-1.04	-1.17	-1.00
S2	-1.27	-1.04	-1.17	-1.02	-1.29	-1.04	-1.16	-1.01
S3	-	-	-1.15	-1.03	-	-	-1.17	-1.00
S4	-	-	-1.18	-1.00	-	-	-1.16	-1.03

Tabelle 2: Resultate der Gradientenmessung (Werte in V_{CSE}).

Struktur	Distanz	Gradient Stütze 18 → 19		Gradient Stütze 25 → 26	
		E_{on}	E_{off}	E_{on}	E_{off}
Pendeljoch	0 m	-1.19	-1.02	-1.21	-1.00
	5 m	-1.27	-1.02	-1.27	-1.02
	10 m	-1.26	-1.01	-1.25	-1.03
	15 m	-1.22	-1.00	-1.23	-1.06
	20 m	-1.14	-0.97	-1.15	-0.98
Standjoch	25 m	-1.00	-0.92	-0.99	-0.92

Bei den Gradientenmessung zeigt sich bei beiden Stützenpaare eine geringe Absenkung des Potenzials zwischen den Stützen.

4 Beurteilung

Die Potenzialmessungen der Stützen des Willerzeller Viadukts haben ergeben, dass die kathodische Schutzanlage funktionstüchtig ist. Die Messungen der Firma Corroprot AG vom 16.05.2017 konnten bestätigt werden.

Die gemessenen Ausschaltpotenzialwerte zeigen, dass sich an der Stahloberfläche im Wasser ein Zustand eingestellt hat, bei dem von Sauerstoffverarmung und pH-Wert Erhöhung ausgegangen werden kann. Dies bildet die Grundlage für einen wirksamen kathodischen Korrosionsschutz. Der Taucher bestätigte, dass auf der Stahloberfläche Kalkablagerungen, Sedimente vorhanden sind. Diese bilden die Voraussetzung für einen wirksamen KKS.

Der gemäss Norm SN EN 12954 geforderte Grenzwert von $-0.85 V_{CSE}$ wird für das Ausschaltpotenzial erreicht. Aufgrund der homogenen Verhältnisse im Wasser kann von vernachlässigbaren Ausgleichsströmen ausgegangen werden, sodass eine Approximation der IR-freien Potenziale mit Hilfe der Ausschaltpotenzialmessung zulässig ist.

Daraus kann gefolgert werden, dass an vielen Fehlstellen in der Beschichtung eine Verkalkung, eine pH-Wert Erhöhung und eine Passivierung erfolgt ist. Damit wurden an diesen Stellen die Bedingungen vergleichbar zu Stahl in Beton geschaffen. An diesen Fehlstellen kann aufgrund der SN EN 12954 von einer Korrosionsgeschwindigkeit kleiner als 0.01 mm/Jahr ausgegangen werden. Allerdings kann aufgrund der Messungen nicht garantiert werden, dass der kathodische Korrosionsschutz an allen Fehlstellen in der Beschichtung wirksam ist. Dies trifft insbesondere in folgenden Fällen nicht zu:

- a) Die elektrische Verbindung zwischen den Bauteilen ist unterbrochen
- b) Die Kalkschicht konnte sich nicht bilden
- c) Bakteriell beeinflusste Korrosion erfolgte während den ersten Jahren ohne KKS unter den schlecht belüfteten Bedingungen. Solche Korrosionsstellen können nachträglich nicht durch einen KKS geschützt werden.

Die Situation für den KKS ist bei vollständig gefülltem See grundsätzlich am ungünstigsten. Bei sinkendem Pegel verbessert sich die Schutzwirkung auf die eingetauchten Teile der Brücke. Weiter sei darauf hingewiesen, dass mit dem KKS nur Bauteile geschützt werden, welche im Wasser eingetaucht sind. Diejenigen Metallteile welche nur zeitweise im Wasser liegen werden auch nur während der Eintauchzeit durch den KKS geschützt.

5 Massnahmen

Es gibt keine Erfahrungswerte mit KKS Anlagen über eine gesamte Nutzungsdauer von 160 Jahren. Aufgrund der aktuell vorliegenden Daten kann jedoch von einer günstigen Korrosionsschutzsituation ausgegangen werden, wenn die Bedingungen a), b) oder c) nicht erfüllt sind.

Eine Erneuerung der Beschichtung würde eine Bewertung der aktuell vorliegenden Korrosionssituation ermöglichen und ideale Voraussetzungen für die Nutzung der Brücke für weitere 80 Jahre schaffen.

Ein Betrieb der Brücke ohne Erneuerung der Beschichtung und somit ohne umfassende Zustandserfassung kann nur gerechtfertigt werden, wenn eine Risikobewertung vorgenommen wird. Dies erfordert die Berücksichtigung der statischen Situation, der Spannungszustände sowie der Ermüdung bei allenfalls verringertem Stahlquerschnitt. Die Integritätsbewertung von erdverlegten und eingetauchten kathodisch geschützten Strukturen geht dabei üblicherweise wie folgt vor. Die Korrosionsgeschwindigkeit in den ersten Jahrzehnten ohne KKS wird mit einem Wert von 0.2 bis 0.4 mm/Jahr sowie 0.01 mm/Jahr während dem wirksamen Betrieb mit KKS angenommen. Bei Bewertungen basierend auf Ausschaltpotenzialen, bei welchen die Fälle a), b) oder c) nicht immer ausgeschlossen werden können, wird üblicherweise bei der Integritätsbewertung über die gesamte Nutzungsdauer eine Korrosionsgeschwindigkeit von 0.2 bis 0.4 mm/Jahr angenommen.

Basierend auf der statischen Betrachtung sind Instandsetzungskonzepte zu erstellen. Dabei stehen zum Beispiel folgende Ansätze im Vordergrund:

- 1) Die vereinzelt möglichen Querschnittsverluste haben keine statische Relevanz und das Bauwerk kann ohne Erneuerung der Beschichtung weiter betrieben werden.
- 2) Die stärker beanspruchten Standjochpaare sind neu zu beschichten und in Bezug auf den Korrosionszustand und die statische Situation zu bewerten.
- 3) Basierend auf den Ergebnissen von 2) sind sämtliche Stützen zu reparieren und neu zu beschichten.

Bei einer allfälligen teilweisen oder vollständigen Erneuerung der Beschichtung ist ein System zu verwenden, welches für die Verwendung mit KKS zugelassen ist. Ausserdem ist sicherzustellen, dass die elektrische Längsleitfähigkeit innerhalb aller wasserberührten Metallteile gewährleistet bleibt.

Dr. Martin Brem

Dr. Markus Büchler

Anhang 5 Bericht Kontrakorrosion zu Schutzkonzept KKS



dsp Ingenieure und Planer AG
Herr Roman Juon

Hombrechtikon, 20.01.2018

Neukonzessionierung Etzelwerk - Willerzeller Viadukt
Erhaltungsmassnahmen Stahlstützen
Stellungnahme zum Schutzkonzept mit kathodischem Korrosionsschutz KKS ab 2023

Sehr geehrter Herr Juon

Nachfolgend erhalten Sie unsere Stellungnahme zum Korrosionsschutz mittels kathodischem Korrosionsschutz KKS für die nächste Nutzungsetappe von ca. 80 Jahren (ab 2023).

Situation von 1932 bis 2017

Das bisherige Beschichtungssystem besteht aus aktiver Grundbeschichtung (Bleimennige) und Reste einer Bitumendeckbeschichtung. Im Jahr 1958, nach rund einem Vierteljahrhundert „Eigenkorrosion“ sei ein kathodischer Schutz KKS installiert worden. Dieser hätte im Jahr 2000 erneuert werden sollen.

Situation 2017

Die Gesamtheit der Korrosionsschutzmassnahmen, Beschichtung plus KKS, haben bis zum heutigen Zeitpunkt ihre Aufgabe erfüllt. Das wird belegt durch:

- 1) Periodische Prüfprotokolle des gesamten KKS-Systems (ausgeführt vom Werk, sowie punktuell auch von der Firma Corroprot als Lieferant von einem Teil der Anlage): das Schutzkriterium wird durchwegs erfüllt
- 2) Aktuelle Messungen durch Dritte (SGK) an ausgewählten Stützen sowie und insbesondere beim kritischen Übergang am Stützenfuss bestätigen, dass das Schutzkriterium „vor Ort“ tatsächlich erfüllt ist.
- 3) Zusätzlich haben Tauchgänge und das Reinigen mit Hochdruckwasserstrahl an ausgewählten Stützen die Messresultate insofern bestätigt, als dass visuell intakte Zustände auf verschiedenen Koten vorgefunden wurden, trotz arger Sichtverhältnisse (nach dem Hochdruckreinigen) und trotz Ablagerungen beim Stützenfuss.

Unter den entfernten Ablagerungen, Muscheln etc. kam eine ebenmässige Oberfläche ohne Muldenkorrosion zum Vorschein. Orientierende Wanddickenmessungen mit Ultraschall als Linienmessungen ergaben konstante Wanddicken. Das Beschichtungssystem ist weitgehend abgebaut, weich (gequollen), mit Reste der Bitumenbeschichtung, immer noch anhaftend und ohne Abblätterungen. Bei den Fundamenten konnten visuell intakte Sechskantschraubverbindungen festgestellt werden.

KONTRA KORROSION Rickenbacher GmbH

Etzelstrasse 31 CH-8634 Hombrechtikon
Telefon 0041 55 244 15 11 Mobile 0041 76 583 15 11 info@kontrakorrosion.ch www.kontrakorrosion.ch
Bank: Credit Suisse, Zürich IBAN CH80 0483 5037 3924 5100 0 Clearing-Nr. 4835 BIC / Swift: CRESCHZZ80A

Neukonzessionierung Etzelwerk - Willerzeller Viadukt Erhaltungsmassnahmen Stahlstützen

Stellungnahme zum Schutzkonzept mit kathodischem Korrosionsschutz KKS ab 2023

- 4) Im dauernd eingetauchten Bereich ist die aktuelle Beschichtung zwar noch vorhanden, aber in der Funktionswirkung weitgehend aufgebraucht. Dank des KKS, der die mittlerweile entstandenen Unzulänglichkeiten der Beschichtung kompensiert, ist noch keine technisch relevante Korrosion festzustellen. Das bedeutet insgesamt, nach ca. 80 Jahren Nutzung, dass dazumal ein enorm leistungsfähiges System realisiert worden ist.

Situation ab ca. 2023

Bei den Stützen sind folgende Zonen für den Korrosionsschutz (KS) zu betrachten (mit Angabe der Korrosivitätskategorie gemäss ISO 12944, Bereiche für den kathodischen Korrosionsschutz hinterlegt)

	Beschreibung	Kategorie	Beanspruchung, reale Schutzdauer Restschutzdauer	Absicht
(A)	Bereich mit ausschliesslich atmosphärischer Bewitterung (Joche, oberer teil der Stützen)	C3	Mässig, ca. 40 Jahre	KS-Totalerneuerung, System A
(B)	Stützen: Wechselzone mit atmosphärischer Bewitterung Süsswasserbeanspruchung	C3 Im1	Hoch ca. 40 Jahre	KS-Totalerneuerung, System B (KKS tauglich) KKS (Neuauslegung)
(C)	Stützen: ggf. Wechselzone, je nach Sanierungs-Tiefpunktkote. Wechselzone mit kurzer atmosphärischer Bewitterung (Kategorie C3) oder mit langer Süsswasserbeanspruchung (Im1)	Im1	Mässig, keine Restschutzdauer, Kompensation durch KKS	keine KS-Totalerneuerung, Belassen des bisherigen KS (Beschichtung System C), KKS (sofern eingetaucht; sonst mögliche Schwachstelle)
(D)	Stützen Dauertauchzone mit Süsswasserbeanspruchung	Im1	Gering Kompensation durch KKS	keine KS-Totalerneuerung, Belassen des bisherigen KS (Beschichtung System C), KKS
(E)	Dauertauchzone und Übergangszone - Stützenfuss zum Seegrund (Sedimente) - Stützenfuss zum Beton	Im1 Im3	Gering Kompensation durch KKS	keine KS-Totalerneuerung, Belassen der bisherigen Beschichtung, KKS

Neukonzessionierung Etzelwerk - Willerzeller Viadukt Erhaltungsmassnahmen Stahlstützen

Stellungnahme zum Schutzkonzept mit kathodischem Korrosionsschutz KKS ab 2023

Beurteilung

Bereich (B) mit KKS-tauglicher, hochwertiger Beschichtung

In diesem Bereich ist die Korrosionsbelastung aus zwei Korrosivitätskategorien auszuhalten und zusätzlich diejenige des KKS. Letzterer wird zunächst lediglich für die Schadstellen benötigt, sodass dafür weniger Schutzstrom benötigt wird als heute. Gleichzeitig kann sich der Schutzstrom bei abgesenktem Pegelstand auf den untersten Bereich (D) und (E) konzentrieren, was dann von Vorteil ist.

Zu erwartende Schutzdauer des Beschichtungssystems: mit flankierenden Massnahmen ca. 40 Jahre

Bereich (C) Übergangsbereich Sanierung

Umfasst die Sanierung nicht den ganzen Bereich (B) verbleibt theoretisch dieser Bereich (C), der im Grenzfall für kurze Zeitdauer nicht eingetaucht und dann folglich ohne KKS wäre.

Die Schutzfunktion der Beschichtung in diesem Bereich dürfte demnächst vollständig erliegen. Sobald das eingetroffen ist, beginnt die Korrosion am Stahl. Für den ausgetauchten Bereich gilt dann ebenfalls die Korrosivitätskategorie vom Bereich (A) mit „C3“. In der Nähe des Wasserspiegels kann maximal die Kategorie „C4“ angenommen werden.

Dazu folgende Ergänzungen:

Gemäss ISO 12944-3 beträgt die mittlere Abtragsrate für unlegierten Stahl in der Korrosivitäts-Kategorie „C4“ 50 bis 80 µm pro Jahr.

Bereich (D) Dauertauchzone

Grundsätzliches zum Korrosionsschutzsystem mit Beschichtung

In diesem Bereich wird der Rest der bestehenden Beschichtung aus Bleimennige und Bitumen belassen.

Diese Einkomponenten-Beschichtung mit zwei Schichten basiert auf dem Prinzip einer aktiven und oberflächentoleranten Grundbeschichtung (Bleimennige), appliziert direkt auf die Walzhaut, und einer extrem hydrophoben, flexiblen und ebenfalls oberflächentoleranten Deckbeschichtung.

Dieses System entspricht überhaupt nicht den heute angewendeten modernen, lösemittelfreien Zweikomponenten-Beschichtungssystemen, welche als reaktiv härtende Systeme zwar sehr diffusionsdicht sind, aber hohe Elastizitätsmodule und geringe Grenzdehnungen aufweisen. Diese isolierenden und Barriere bildenden Beschichtungen sind aus Umweltschutz- und Applikationsgründen völlig anders konzipiert als das bestehende System.

Die Gesamtschichtdicke des bestehenden Systems ist (für heutige Verhältnisse) dank der speziellen Grundbeschichtung und des Bitumens sehr dünn. Dieses System ist, trotz der hydrophoben Wirkung des Bitumens, im heutigen Zustand sehr diffusionsoffen, gequollen, aufgeweicht. Es verhindert somit nicht (mehr) den Transport von Wasserdampf, gelösten Sauerstoff oder von Ladungsträgern zur Grundbeschichtung und auch diese nicht (mehr) zum Stahl. Damit ist es vollflächig „durchlässig“ für den KKS.

Das bestehende Beschichtungssystem von diesem Typ weist noch einen Vorteil auf: Der Abbau des Systems erfolgt von aussen nach innen. Der innere Zusammenhang der einzelnen Filme und die Filmfestigkeit des dünnen und gequollenen Systems als Ganzes ist geringer als die Haftung zum Untergrund. Insgesamt entstehen bei solchen Beschichtungssystemen keine Filmablösungen vom Untergrund. Unter sich ablösenden Beschichtungen kann der KKS nicht wirken.

Für den KKS ist diese bestehende „undichte“ Beschichtung ohne Isolationswirkung schon heute fast nicht mehr existent. Die neue Auslegung im Bereich (B) ist folglich auf der Basis „vollflächig blanker Stahl“ zu machen. Abschirmeffekte durch ablösende Beschichtung sind keine zu erwarten.

Neukonzessionierung Etzelwerk - Willerzeller Viadukt Erhaltungsmassnahmen Stahlstützen

Stellungnahme zum Schutzkonzept mit kathodischem Korrosionsschutz KKS ab 2023

Neuauslegung

Mit KKS lässt sich blanker Stahl im Wasser auch ohne Korrosionsschutz (z.B. in Form von einer Beschichtung) recht einfach und über lange Zeiträume schützen.

Bei Objekten wie vorliegend gelangt mitunter nicht der gesamte Schutzstrom ins zu schützende Bauwerk, sondern entweicht zum Teil in andere Strukturen.

Aus den oben beschriebenen Gründen muss der KKS nach der Totalerneuerung des Korrosionsschutzes im Bereich (B) neu ausgelegt werden (ggf. mit Zoneneinteilung).

Erfahrungen mit KKS

Die Grundlagen des kathodischen Schutzes gehen im Schiffsbau bis zum Jahr 1761 zurück. Edison hatte 1890 versucht, Schiffe mit Fremdstrom zu schützen, scheiterte aber an den Anodenmaterialien und Stromquellen.

KKS mit Fremdstromanoden werden seit 1936 in Europa angewendet. Weltweit wurden und werden sehr viele Anlagen erfolgreich mit KKS geschützt.

Wirksamkeit KKS

Eine blanke Stahlkonstruktion benötigt mehr Schutzstrom als eine Konstruktion mit einer möglichst vollständigen und dichten Beschichtung. Deshalb ist Letzteres die Standardlösung. Hier käme diese Lösung im Bereich (B) zur Anwendung, sodass ein beträchtlicher Teil mit einem reduzierten Schutzstrom auskäme.

Durch den aufgeprägten Schutzstrom wird die Stahlkonstruktion in einen Potentialbereich „geschoben“ bei der die Metallauflösung auf technisch vernachlässigbare und kaum mehr messbare Werte absinkt (Metallabtrag unter 0.01 mm pro Jahr).

Mit einer geeigneten Anodenanlage ist sicherzustellen, dass alle Bereiche erfasst werden. Bei Objekten wie vorliegend gelangt mitunter nicht der gesamte Schutzstrom ins zu schützende Bauwerk, sondern entweicht zum Teil in andere Strukturen.

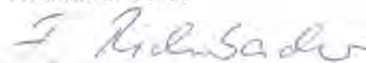
Der umgebende Elektrolyt „See“ ist sehr homogen. Der Schutzstrom erreicht die im Wasser stehende Konstruktion besser als beispielsweise bei erdvergrabenen Rohrleitungen mit KKS, die mit inhomogener Bettung, Felsriegeln, trockenen Sandgebieten etc. zu kämpfen haben.

Insgesamt wird der KKS die immer eingetauchten Bereiche zu schützen vermögen. Bedingungen sind, dass vorgängig der IST-Zustand der Struktur und der Anlage aufgenommen, sowie die Wirksamkeit der neuen KKS-Anlage periodisch und fachmännisch geprüft werden.

Im Rahmen der Hauptinspektion ist nicht nur der Bereich (A), sondern sind auch die eingetauchten Bereiche (C) bis (D) zu inspizieren, damit eine finale Aussage zur Funktionalität der KKS-Anlage einerseits und zum Zustand der Stahlkonstruktion abgegeben werden kann (dies gilt auch im Rahmen des neuen Baugesetzes resp. der Bauprodukteverordnung (BauPV) SR 933.01: / Bauwerke müssen als Ganzes und in ihren Teilen für ihren Verwendungszweck tauglich sein, wobei insbesondere der Gesundheit und der Sicherheit von Personen während des gesamten Lebenszyklus der Bauwerke Rechnung zu tragen ist)

Für weitere Fragen stehen wir gerne zur Verfügung.

Freundliche Grüsse



Ferdi Rickenbacher
Ing. FH

Anhang 6 Detailauszug Kostenschätzung

Kostenschätzung (in CHF)									
Trägerrost, Breite 4.5 m		Ausmass				Menge		E-Preis	Genauigkeit +/- 30%
		Länge	Breite	Höhe	Gewicht	Stk	Anteil		
A Überbau									13'133'000
A1	Übergeordnet (Regie, QS, allgemeine Baustelleneinrichtung)								2'097'000
	Regie						5%	5 %	552'000
	Prüfungen / QS						2%	2 %	221'000
	allg. Baustelleneinrichtung						12%	12 %	1'324'000
A2	Tragstruktur								4'000'000
	Stahl	1'115.0				900.0		1'000 to	3'000
	Korrosionsschutz	1'115.0				900.0		1'000 to	1'000
A3	Belag + Abdichtung								880'000
	Abdichtung	1'115.0	4.5					5'000 m2	80
	Belag	1'115.0	4.5	0.1	2.4			1'200 to	400
A4	Lager + Fahrbahnübergänge								591'000
	Lager					92.0		92 Stk	3'000
	FBÜ					16.0		70 m	4'500
A5	Ausrüstung (Geländer, Beleuchtung)								2'310'000
	Geländer	1'115.0				2.0		2'200 m	450
	Beleuchtung	1'115.0				2.0		2'200 m	200
	Werkleitung	1'115.0						1'100 m	800
A6	Montage								2'490'000
	Potons / Baustelleneinricht					1.0		1 PL	90'000
	Transport / Montage Stahlbau vor Ort	1'115.0				900.0		1'000 to	1'500
	Versetzen / Einschwimmen Stahlbau pro Feld					45.0		45 Stk	20'000
A7	Rückbau (Basis Rückbau Steinbachviadukt)								765'000
	Potons / Baustelleneinricht					1.0		1 PL	90'000
	Rückbau					45.0		45 Stk	15'000
A8	Unvorhergesehenes (15%)								
	gem. Vorgaben Bauherrschaft werden keine Kosten für Unvorhergesehenes berücksichtigt						0%		
B Honorare + Nebenkosten									2'890'000
B1	Honorare Ingenieur						14%		1'839'000
	Überwachung								
B2	Honorare OBL / Bauherr						5%		657'000
B3	Nebenkosten						3%		394'000
ZUSAMMENSTELLUNG TRÄGERROST 4.5 m									
Gesamtkosten brutto, exkl. MWST									16'023'000
MWST 8%									8%
Gesamtkosten netto, inkl. MWST									17'304'840

Kostenschätzung (in CHF)											
Trägerrost, Breite 3.5 m					Ausmass		Menge	Einheit	E-Preis	Genauigkeit +/- 30%	
					Länge	Breite	Höhe	Gewicht	Stk	Anteil	
A Überbau										11'576'000	
A1	Übergeordnet (Regie, QS, allgemeine Baustelleneinrichtung)									1'848'000	
	Regie	Annahme 5 % (A2 - A7)					5%	5 %		486'000	
	Prüfungen / QS	Annahme 2 % (A2 - A7)					2%	2 %		195'000	
	allg. Baustelleneinrichtung	Annahme 12 % (A2 - A7)					12%	12 %		1'167'000	
A2	Tragstruktur									3'200'000	
	Stahl	1'115.0				700.0		800 to	3'000	2'400'000	
	Korrosionsschutz	1'115.0				700.0		800 to	1'000	800'000	
A3	Belag + Abdichtung									672'000	
	Abdichtung	1'115.0			3.5			3'900 m2	80	312'000	
	Belag	1'115.0			3.5	0.1	2.4	900 to	400	360'000	
A4	Lager + Fahrbahnübergänge									591'000	
	Lager	2 Stück pro Joch / Widerlager					92.0	92 Stk	3'000	276'000	
	FBÜ	16 Übergänge			4.5		16.0	70 m	4'500	315'000	
A5	Ausrüstung (Geländer, Beleuchtung)									2'310'000	
	Geländer	1'115.0					2.0	2'200 m	450	990'000	
	Beleuchtung	1'115.0					2.0	2'200 m	200	440'000	
	Werkleitung	1 Leitung (Lehrrohr + Aufhängung)			1'115.0			1'100 m	800	880'000	
A6	Montage									2'190'000	
	Potons / Baustelleneinricht	pro Feld					1.0	1 PL	90'000	90'000	
	Transport / Montage Stahlbau vor Ort	1'115.0				700.0		800 to	1'500	1'200'000	
	Versetzen / Einschwimmen Stahlbau pro Feld						45.0	45 Stk	20'000	900'000	
A7	Rückbau (Basis Rückbau Steinbachviadukt)									765'000	
	Potons / Baustelleneinricht	pro Feld					1.0	1 PL	90'000	90'000	
	Rückbau	pro Feld					45.0	45 Stk	15'000	675'000	
A8	Unvorhergesehenes (15%)										
	gem. Vorgaben Bauherrschaft werden keine Kosten für Unvorhergesehenes berücksichtigt							0 %			
B Honorare + Nebenkosten										2'547'000	
B1	Honorare Ingenieur		Annahme 15 %				14%			1'621'000	
B2	Honorare OBL / Bauherr		Annahme 5 %				5%			579'000	
B3	Nebenkosten		Annahme 2 %				3%			347'000	
ZUSAMMENSTELLUNG TRÄGERROST 3.5 m											
Gesamtkosten brutto, exkl. MWST										14'123'000	
MWST 8%										8%	1'129'840
Gesamtkosten netto, inkl. MWST										15'252'840	

Kostenschätzung (in CHF)											
Verbund, Breite 4.5 m				Ausmass		Menge Einheit		E-Preis	Genauigkeit +/- 30%		
				Länge	Breite	Höhe / D	Gewicht Stk	Anteil			
A Überbau										13'421'000	
A1	Übergeordnet (Regie, QS, allgemeine Baustelleneinrichtung)									2'143'000	
	Regie	Annahme 5 % (A2 - A7)					5%	5 %	564'000		
	Prüfungen / QS	Annahme 2 % (A2 - A7)					2%	2 %	226'000		
	allg. Baustelleneinrichtung	Annahme 12 % (A2 - A7)					12%	12 %	1'353'000		
A2	Tragstruktur									3'592'000	
	Stahl	Erstellung	1'115.0			410.0		500 to	3'000	1'500'000	
	Korrosionsschutz	Erstellung	1'115.0			410.0		500 to	1'000	500'000	
	Beton		1'115.0	5.0	0.25			1'400 m3	300	420'000	
	Schalung		1'115.0	5.0				5'600 m2	120	672'000	
	Bewehrung	Annahme 180 kg/m3				180.0		250 to	2'000	500'000	
A3	Belag + Abdichtung									880'000	
	Abdichtung		1'115.0	4.5				5'000 m2	80	400'000	
	Belag	Annahme 10 cm	1'115.0	4.5	0.1	2.4		1'200 to	400	480'000	
A4	Lager + Fahrbahnübergänge									591'000	
	Lager	2 Stück pro Joch / Widerlager				92.0		92 Stk	3'000	276'000	
	FBÜ	16 Übergänge		4.5		16.0		70 m	4'500	315'000	
A5	Ausrüstung (Geländer, Beleuchtung)									2'310'000	
	Geländer		1'115.0			2.0		2'200 m	450	990'000	
	Beleuchtung		1'115.0			2.0		2'200 m	200	440'000	
	Werkleitung	1 Leitung isoliert + Aufhängung)	1'115.0					1'100 m	800	880'000	
A6	Montage									3'140'000	
	Potons / Baustelleneinricht	pro Feld				1.0		1 PL	90'000	90'000	
	Transport / Montage Stahlbau vor Ort		1'115.0			410.0		500 to	1'500	750'000	
	Versetzen / Einschwimmen Stahlbau pro Feld					45.0		45 Stk	20'000	900'000	
	"Lehrgerüst"		1'115.0	5.0				5'600 m2	250	1'400'000	
A7	Rückbau (Basis Rückbau Steinbachviadukt)									765'000	
	Potons / Baustelleneinricht	pro Feld				1.0		1 PL	90'000	90'000	
	Rückbau	pro Feld				45.0		45 Stk	15'000	675'000	
A8	Unvorhergesehenes										
	gem. Vorgaben Bauherrschaft werden keine Kosten für Unvorhergesehenes berücksichtigt							0%			
B Honorare + Nebenkosten										2'953'000	
B1	Honorare Ingenieur	Annahme 15 %					14%			1'879'000	
	Überwachung										
B2	Honorare OBL / Bauherr	Annahme 5 %					5%			671'000	
B3	Nebenkosten	Annahme 2 %					3%			403'000	
ZUSAMMENSTELLUNG VERBUND 4.5 m											
Gesamtkosten brutto, exkl. MWST										16'374'000	
MWST 8%										8%	1'309'920
Gesamtkosten netto, inkl. MWST										17'683'920	

Kostenschätzung (in CHF)										
Verbund, Breite 3.5 m					Ausmass		Menge	Einheit	E-Preis	Genauigkeit +/- 30%
					Länge	Breite	Höhe	Gewicht	Stk	Anteil
A Überbau										11'808'000
A1	Übergeordnet (Regie, QS, allgemeine Baustelleneinrichtung)									1'885'000
	Regie	Annahme 5 % (A2 - A7)						5%	5 %	496'000
	Prüfungen / QS	Annahme 2 % (A2 - A7)						2%	2 %	198'000
	allg. Baustelleneinrichtung	Annahme 12 % (A2 - A7)						12%	12 %	1'191'000
A2	Tragstruktur									2'870'000
	Stahl	1'115.0				380.0		400 to	3'000	1'200'000
	Korrosionsschutz	1'115.0				380.0		400 to	1'000	400'000
	Beton	1'115.0			4.0	0.25		1'100 m3	300	330'000
	Schalung	1'115.0			4.0			4'500 m2	120	540'000
	Bewehrung	Annahme 180 kg/m3				180.0		200 to	2'000	400'000
A3	Belag + Abdichtung									672'000
	Abdichtung	1'115.0			3.5			3'900 m2	80	312'000
	Belag	1'115.0			3.5	0.1	2.4	900 to	400	360'000
A4	Lager + Fahrbahnübergänge									591'000
	Lager	2 Stück pro Joch / Widerlager					92.0	92 Stk	3'000	276'000
	FBÜ	16 Übergänge					16.0	70 m	4'500	315'000
A5	Ausrüstung (Geländer, Beleuchtung)									2'310'000
	Geländer	1'115.0					2.0	2'200 m	450	990'000
	Beleuchtung	1'115.0					2.0	2'200 m	200	440'000
	Werkleitung	1'115.0			1 Leitung (Lehrrohr + Aufhängung)			1'100 m	800	880'000
A6	Montage									2'715'000
	Potons / Baustelleneinricht	pro Feld					1.0	1 PL	90'000	90'000
	Transport / Montage Stahlbau	1'115.0				380.0		400 to	1'500	600'000
	Versetzen / Einschwimmen Stahlbau	pro Feld					45.0	45 Stk	20'000	900'000
	"Lehrgerüst"	1'115.0			4.0			4'500 m2	250	1'125'000
A7	Rückbau (Basis Rückbau Steinbachviadukt)									765'000
	Potons / Baustelleneinricht	pro Feld					1.0	1 PL	90'000	90'000
	Rückbau	pro Feld					45.0	45 Stk	15'000	675'000
A8	Unvorhergesehenes (15%)									
	gem. Vorgaben Bauherrschaft werden keine Kosten für Unvorhergesehenes berücksichtigt							0%		
D Honorare + Nebenkosten										2'597'000
D1	Honorare Ingenieur	Annahme 15 %						14%		1'653'000
D2	Honorare OBL / Bauherr	Annahme 5 %						5%		590'000
D3	Nebenkosten	Annahme 2 %						3%		354'000
ZUSAMMENSTELLUNG VERBUND 3.5 m										
Gesamtkosten brutto, exkl. MWST										14'405'000
MWST 8%										8% 1'152'400
Gesamtkosten netto, inkl. MWST										15'557'400

Kostenschätzung (in CHF)											
Instandsetzung Joche				Ausmass		Menge		Einheit	E-Preis	Genauigkeit +/- 30%	
				Länge	Breite	Höhe / D	Gewicht	Stk	Anteil		
C Instandsetzung Joche										6'954'000	
C1	Übergeordnet (Regie, QS, allgemeine Baustelleneinrichtung)									1'110'000	
	Regie	Annahme 5 % (C2 - C7)						5%	5 %	292'000	
	Prüfungen / QS	Annahme 2 % (C2 - C7)						2%	2 %	117'000	
	allg. Baustelleneinrichtung	Annahme 12 % (C2 - C7)						12%	12 %	701'000	
C2	Einhausung / Gerüste									2'208'000	
	Gerüst	pro Joch						46.0	46 Stk	33'000	1'518'000
	Einhausung Klasse 1	pro Joch						46.0	46 Stk	15'000	690'000
C3	Erneuerung Korrosionsschutz									644'000	
	Entfernen Korr-Schutz	pro Joch						46.0	46 Stk	9'000	414'000
	Applikation Korr-Schutz	pro Joch						46.0	46 Stk	5'000	230'000
C4	Entsorgung									92'000	
	Belastest Strahlgut	pro Joch						46.0	46 Stk	2'000	92'000
C5	Kathodischer Korrosionsschutz									200'000	
	Anpassung / Erneuerung Kathodischer Korrossionsschutz 2033						1.0	1 gl	200'000	200'000	
C6	BUDGET Verstärkungen									200'000	
	Budgetposition für allfällig notwendige Verstärkungen						1.0	1 gl	200'000	200'000	
C7	BUDGET ASBEST									2'500'000	
	Budgetposition für erhöhte Schutzmassnahmen + Entsorgung						1.0	1 gl	2'500'000	2'500'000	
C8	Unvorhergesehenes (15%)										
	gem. Vorgaben Bauherrschaft werden keine Kosten für Unvorhergesehenes berücksichtigt						0%	0 %			
D Honorare + Nebenkosten Instandsetzung Joche										1'531'000	
D1	Honorare Ingenieur	Annahme 15 %						14%		974'000	
	Überwachung										
D2	Honorare OBL / Bauherr	Annahme 5 %						5%		348'000	
D3	Nebenkosten	Annahme 2 %						3%		209'000	
ZUSAMMENSTELLUNG Instandsetzung Joche											
Gesamtkosten brutto, exkl. MWST										8'485'000	
MWST 8%										8%	678'800
Gesamtkosten netto, inkl. MWST										9'163'800	