

Im Auftrag der
Fachgruppe Willerzellerviadukt
Konzedenten
SBB AG

Neukonzessionierung Etzelwerk

Erhaltung Willerzellerviadukt für den motorisierten Verkehr

Gutachten



Prof. Thomas Vogel
Kreuzareal 5
8180 Bülach

Tel +41 44 633 31 34
Fax +41 44 633 10 64
vogel@ibk.baug.ethz.ch


Pascal Klein
Dipl. Ing. ETH/SIA/USIC
Culmannstrasse 26
8006 Zürich
Tel +41 44 262 66 84
Fax +41 44 262 66 83
pklein@klein-engineering.ch

Version	Datum	Stand	Bearbeitung
Schlussversion	02.03.2018	02.03.2018	TV, PK, Input AG Willerzellerviadukt

Zusammenfassung

Die Fachgruppe Willerzellerviadukt hat uns den Auftrag erteilt, aufgrund der vorliegenden Akten zu prüfen, ob eine Instandsetzung des Viadukts für Varianten mit und ohne Fahrbahnverbreiterung für eine Nutzungsdauer von weiteren 80 Jahren möglich ist. Wir haben die Unterlagen studiert und die bisherigen Kontrollmessungen, Instandsetzungen, Überprüfungen und Erhaltungsstudien bewertet.

Schlussfolgerungen:

- Infolge mutmasslich schlechtem Zustand der Stahlkonstruktion ist das höchstzulässige Gewicht für Fahrzeuge per sofort von 16 t auf 3.5 t zu beschränken bis Gewissheit über die Tragsicherheit der Gerbergelenke besteht. Falls die Tragsicherheit der Gerbergelenke durch eine detaillierte Inspektion und allenfalls erforderliche Instandsetzung belegt werden kann, kann die Beschränkung relativiert oder aufgehoben werden.
- Eine Erhaltung des Viadukts ist möglich, sofern die Instandsetzung der Stahlkonstruktion innerhalb der nächsten 5 Jahre abgeschlossen wird.
- Die Pfahlfundationen aus Holz scheinen intakt zu sein – es konnten keine exzessiven Setzungen erkannt werden. Da die Pfahlfundationen jedoch nicht überprüfbar sind, darf die Last darauf nicht erhöht werden.
- Eine Verbreiterung der Fahrbahn um max. 90 cm ist mit entsprechendem technischem Aufwand möglich.
- Die Instandsetzung der Fahrbahn ist nicht dringend, da diese vor zehn Jahren bereits grundlegend aufgearbeitet wurde.
- Die Verstärkung der Fahrbahnkonstruktion mit einer Schicht Ultra-Hochleistungs-Faserbeton (UHFB) ist eine gute Option.

Kosten der anstehenden, initialen Instandsetzung (+/- 30%) ohne Mehrwertsteuer:

Phase		Diskontsatz	0%	1.44%	4.5%
1	Überbau Stahlkonstruktion	CHF	6'272'000	6'547'000	7'157'000
2	Unterbau Jochkonstruktionen	CHF	8'592'000	8'716'000	8'979'000
3	Überbau Fahrbahnplatte				
	- ohne Verbreiterung (Var. I)	CHF	5'969'000	4'817'000	3'084'000
	- mit Verbreiterung (Var. II)	CHF	7'716'000	6'227'000	3'987'000
Total					
	- ohne Verbreiterung (Var. I)	CHF	20'833'000	20'080'000	19'220'000
	- mit Verbreiterung (Var. II)	CHF	22'580'000	21'490'000	20'123'000

Haftungsausschluss:

Unsere Betrachtungen gründen auf den erhaltenen Unterlagen. Wir haben keine eigenen Zustandserfassungen vorgenommen. Wir übernehmen deshalb keine Haftung für die Integrität der Tragstruktur.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
1 Ausgangslage.....	6
1.1 Der Willerzellerviadukt.....	6
1.2 Neukonzessionierung Etzelwerk	6
1.3 Auftrag	6
1.4 Parallele Mandate	7
2 Grundlagen.....	8
2.1 Bauwerk.....	8
2.2 Kontrollmessungen	8
2.3 Instandsetzungen.....	8
2.4 Überprüfungen und Erhaltungsstudien	9
3 Prinzipielle Überlegungen.....	13
3.1 Zukünftiges Verkehrsregime.....	13
3.2 Erhaltungsstrategie	13
3.3 Tragwerksbezogene Prinzipien	14
3.4 Projektabgrenzungen	16
4 Überprüfungen.....	17
4.1 Tragsystem und Einwirkungen	17
4.2 Gebrauchstauglichkeit.....	19
4.3 Tragsicherheit	23
4.4 Fazit.....	25
5 Instandsetzungsvarianten	26
5.1 Einwirkungen.....	26
5.2 Variante I, Instandsetzung mit gegebener Breite	26
5.3 Variante II, Verbreiterung um wirtschaftlich sinnvolles Mass	27
5.4 Variante III, Verbreiterung um 1.5 m für Langsamverkehr	28
6 Variantenstudium.....	30
6.1 Variante I, Instandsetzung mit nutzbarer Breite 4.50 m	30
6.2 Variante II, Verbreiterung auf nutzbare Breite 5.40 m.....	32
7 Chancen und Risiken.....	34
7.1 Kostenrisiken von Bauarbeiten.....	34
7.2 Risiken von nicht inspizierbaren Bauteilen	34
8 Kosten	37
8.1 Erhaltungsstrategie	37
8.2 Initiale Instandsetzungskosten	38
8.3 Kosten späterer Erhaltungsmassnahmen.....	40
8.4 Kosten von Überwachung und Instandhaltung	41
8.5 Rückbaukosten nach Ablauf der Nutzungsdauer.....	42
8.6 Lebenszykluskosten.....	42
8.7 Von Dritten ermittelte Kosten.....	43
9 Schlussfolgerungen	46
9.1 Sichernde Sofortmassnahmen	46
9.2 Erhaltungswert	46

9.3	Dauerhaftigkeit	46
9.4	Kostenschätzung.....	47
9.5	Wirtschaftlichkeit	47
9.6	Flexibilität	47
10	Literatur	48
10.1	Normative Dokumente.....	48
10.2	Projektspezifische Dokumente	48
10.3	Pläne.....	50
10.4	Kontrollmessungen	50
10.5	Richtofferten.....	51
10.6	Übrige Unterlagen	51
	Anhänge.....	52
	Anhang A1.....	52
	Anhang A2.....	52
	Anhang A3.....	52

1 Ausgangslage

1.1 Der Willerzellerviadukt

Der Willerzellerviadukt verbindet Einsiedeln mit Willerzell und überquert den Sihlsee mit insgesamt 45 Brückenfeldern mit einer Gesamtlänge von 1'115 m. Er wurde vor dem Stau des Sihlsees in den Jahren 1935/36 erstellt. Er hat eine nutzbare Breite von 4.50 m und eine Lastbeschränkung von 16 to [33]. Er gehört der Etzelwerk AG als Konzessionsnehmerin und damalige Verursacherin. Über den Viadukt führt die Hauptstrasse Birchli–Willerzell.

1.2 Neukonzessionierung Etzelwerk

Mit der Neukonzessionierung des Etzelwerks ab 2023 soll die Eigentümerschaft des Willerzellerviadukts (bzw. eines Ersatzbauwerks) überprüft werden.

Die Fachgruppe Willerzellerviadukt setzt sich aus Vertretern der Konzedenten des Etzelwerks und der SBB zusammen. Die Fachgruppe hat von den Regierungsbehörden und der SBB folgenden Auftrag erhalten:

- a) Die Arbeitsgruppe prüft, ob es machbar ist, den bestehenden Willerzellerviadukt in Stand zu stellen;
- b) Sie berichtet, für wie viele Jahre die Instandstellung möglich ist und
- c) legt ihre Kostenschätzung vor.
- d) Sie prüft als Variante eine Ergänzung des bestehenden Willerzellerviadukts für Fussgänger und den Langsamverkehr.
- e) Auch dafür legt sie die Kostenschätzung vor.

1.3 Auftrag

Die Fachgruppe Willerzellerviadukt hat uns folgenden Auftrag erteilt:

- a) Beurteilung aufgrund der vorliegenden Akten, ob eine Instandsetzung für die folgenden Instandsetzungsvarianten möglich ist:
 - Fahrbahnbreite 4.5 m (Status quo);
 - Fahrbahnbreite zwischen 4.5 und 6 m, so dass bestehende Foundationen genügen;
 - Fahrbahnbreite 6 m plus 1.5 m für Langsamverkehr (insgesamt 7.5 m Fahrbahnbreite, allenfalls nur Begründung, weshalb nicht möglich/sinnvoll).

Weitere Randbedingungen sind:

- Zugelassene Einzelfahrzeuge 16 t (Postauto 18 t)
 - Nutzungsdauer 80 Jahre
 - Höchstgeschwindigkeit 60 km/h
- b) Abgabe einer Kostenschätzung für jede untersuchte Variante
 - c) Risikoüberlegung zu nicht inspizierbaren Bauteilen.

1.4 Parallele Mandate

Das Ingenieurbüro dsp Ingenieure & Planer AG führte gleichzeitig ein Variantenstudium für eine neue Fuss- und Radwegbrücke durch unter Verwendung der Stützen und Fundationen des jetzigen Willerzellerviadukts als Kernstück der Langsamverkehrsverbindung Birchli–Willerzell. Zwischenresultate lagen vor ([41]-[43]); der Bericht [40] stand uns in der definitiven Fassung am 05.12.2017 zur Verfügung.

2 Grundlagen

2.1 Bauwerk

Das Bauwerk ist durch Projekt- und Ausführungspläne in den Massstäben 1:1000 bis 1:50 dokumentiert [44]-[47].

Weitere Details sind aus den Ausführungsplänen der Instandsetzung 2007 [48]-[50] ersichtlich.

Über Planung und Ausführung, insbesondere der Pfahlfundationen, wurde umfassend publiziert [18]-[24], [27], [28]; zudem sind ein Bericht zum Bauprojekt mit Kostenvoranschlag [25] und der Werkvertrag aus der Bauzeit vorhanden [26].

2.2 Kontrollmessungen

Die Setzungen der Brückenjoche wurden regelmässig entsprechend dem Stand der Technik gemessen und dokumentiert [51]-[58]. In Abbildung 3 sind die unterschiedlichen Messresultate über Brückenlänge und Zeit aggregiert. Anhang A3 enthält eine detailliertere Auswertung der Kontrollmessungen.

2.3 Instandsetzungen

Nach [33] p. 6 wurden bisher folgende Instandsetzungen durchgeführt:

- **1977 Fahrbahnplatte**
 - Ersatz der Fahrbahnübergänge
 - Einbau einer Derbigum-Folie als Abdichtung
 - Ersatz des einschichtigen Gussasphaltbelags durch einen zweischichtigen Asphaltbelag
 - lokale Betoninstandsetzung der Fahrbahnplatte
- **1979 Stahlkonstruktion**
 - Teilsanierung Korrosionsschutz Stahlbau Brückenuntersicht
- **1994 Randabschlüsse**
 - Instandsetzung der Fahrbahnränder und der Randborde
 - Erneuerung Korrosionsschutz der Geländer und Montage einer Leitplanke [30]
- **bis 2006**
 - Lokale Betoninstandsetzungen der Randborde
- **2007 Fahrbahnplatte**
 - Vollständige Betoninstandsetzung der Fahrbahnplattenoberseite
 - Betoninstandsetzung der Randborde
 - Erneuerung der Abdichtung mit PBD-Bahnen
 - Ersatz des Fahrbahnbelags durch einen zweischichtigen Gussasphalt von total 7.5 cm
 - Verguss der Randfugen
 - Sanierung von drei Fahrbahnübergängen

Diese Instandsetzung hatte zum Ziel, die Nutzungsdauer für weitere 15-20 Jahre zu gewährleisten und ist mit Ausführungsplänen [50] dokumentiert.

Nach Aussagen in der Sitzung der Arbeitsgruppe vom 31.08.2017 wurden dieses Jahr die Dichtungsprofile bei den Fahrbahnübergängen ersetzt.

Bezüglich Auflasten misst der heutige zweischichtige Gussasphalt (7.5 cm) 3.5 cm mehr als der in den Bauplänen eingezeichnete Hartgussasphalt (4 cm). Dies entspricht einer zusätzlichen Flächenlast von 0.84 kN/m^2 (84 kg/m^2).

2.4 Überprüfungen und Erhaltungsstudien

2.4.1 Erweiterungsstudie 1976

Im Jahr 1976 führte die Sektion Brückenbau der Generaldirektion SBB im Rahmen in einer Erweiterungsstudie [29] statische Untersuchungen durch und kam zu folgenden Folgerungen:

- a) Eine durchgehende Fahrbahnverbreiterung auf 5.40 m mit Trottoirkonsole ist infolge ungenügender Tragkraft mehrerer Pfahlfundationen nicht möglich.
- b) Einzelne Ausweichstellen können geschaffen werden, jedoch nicht über allen Standjochen. [...]
- c) An den bestehenden unverbreiterten Brückenquerschnitt kann ein Gehsteg in leichter Stahlkonstruktion mit Gitterrostbelag angebaut werden [...]. Die Gehwegbreite von 1.30 m liegt an der Grenze der statischen Verträglichkeit. Es ist möglich, dass eine detaillierte Nachrechnung des Brückentragwerkes für die auftretenden Torsionsbeanspruchungen zu einer Verringerung der zulässigen Breite auf etwa 1.0 m führt.
- d) [...]
- e) [...]

2.4.2 Statische Überprüfung für schwerere Postautos

Im Jahr 2009 überprüfte das Ingenieurbüro Flückiger + Bosshard AG, ob die dreiachsigen Low-Entry-Busse vom Typ KUB 2-2 zugelassen werden können, obwohl sie ein Gesamtgewicht von 23.8 t aufweisen. Als massgebend erwies sich die Fahrbahnplatte, da die beiden Hinterachsen lediglich einen Abstand von 1.50 m aufweisen. Die berechneten Traglastfaktoren γ (nach heutiger Nomenklatur Erfüllungsgrade n) liegen zwischen $n = 0.93$ für die untere Längsbewehrung und $n = 1.44$ für Durchstanzen. Bei Berücksichtigung des Verbundes erwiesen sich die Längsträger nicht als kritisch.

Der Bericht [31] empfahl

- "[...] die generelle Beschränkung des Strassenverkehrs auf ein zulässiges Gesamtgewicht der Lastwagen bis max. 18 t aufrecht zu erhalten."¹
- "[...] das Befahren des Willerzeller Viadukts mit 3-achsigen Low-Entry-Bussen mit einem Gesamtgewicht bis 23.8 t" zuzulassen, da in den kritischen Schnitten Umlagerungsmöglichkeiten bestehen."²

Mit der nach Norm SIA 269 [10] möglichen Reduktion des Lastbeiwerts für ständige Lasten von $\gamma_{G,sup} = 1.35$ auf $\gamma_{G,sup,act} = 1.20$ dürften überall Erfüllungsgrade über 1.0 resultieren.

¹ signalisiert sind 16 t.

² Welche Lastbeschränkung verfügt und publiziert wurde und wie die Kantonspolizei diese Empfehlung angesichts der signalisierten 16 t umsetzt, ist uns nicht bekannt.

2.4.3 Zustandsuntersuchung und Massnahmenkonzept 2012

Im Jahr 2012 führte das Ingenieurbüro Flückiger + Bosshard AG eine Zustandsuntersuchung durch und erstellte auf deren Grundlage ein Massnahmenkonzept in Varianten [32].

Tabelle 1 stellt die bauteilbezogenen Zustandsbeurteilungen auf Grund der in den Jahren 2009 und 2010 durchgeführten Inspektionen dar und Tabelle 2 den verwendeten Schlüssel für die Zustandsklassen.

Bauteil	Zustand	Zustandsmerkmal Stahlbau	Zustand
Längs- und Querträger, Windverband	3 bis 4	Verfärbungen am Korrosionsschutz	3
Fahrbahnübergänge	4	Abplatzungen Korrosionsschutz	2 bis 3
Lager	4	Korrosionsstellen Stahlbauteile	2 bis 4
Jochkonstruktion	3 lokal 4	Querschnittsverluste Stahlbauteile	2 bis 3
Fahrbahnplattenuntersicht	2 lokal 3	Nieten / Schrauben	1
Randbordunter- und -aussenseite	2 lokal bis 4		
Randbordoberseite	2 lokal 3		
Widerlager	2 lokal 3		
Belag und Randfugen	2		
Geländer	2 bis 3		
Entwässerung	3		
Werkleitungen	2		

Tabelle 1 Zustandsklasse pro Bauteil, bzw. bezüglich Zustandsmerkmal beim Stahlbau

Klasse	Beschreibung	Schäden	Massnahmen
1	guter Zustand	keine / geringfügige	
2	akzeptabler Zustand	unbedeutende	
3	schadhafter Zustand	bedeutende	
4	schlechter Zustand	grosse	erforderlich
5	alarmierender Zustand		dringlich

Tabelle 2 Beschreibung der Zustandsklassen und zugehörige Massnahmen

Die Prognose der Zustandsentwicklung hielt fest, dass sich innerhalb von 15 Jahren die Prognosen um etwa eine halbe Klasse verschlechtern werden, d.h.:

- ca. 60% der Konstruktion von Zustand 3 zu Zustand 3 bis 4
- ca. 30% der Konstruktion von Zustand 3 bis 4 zu Zustand 4
- ca. 10% der Konstruktion von Zustand 4 zu Zustand 4 bis 5.

Daraus folgt dass innerhalb dieses Zeitraumes Massnahmen erforderlich und zum Teil auch dringlich sein werden.

Die untersuchten Varianten umfassten vier unterschiedlich ausgedehnte Erneuerungen des Korrosionsschutzes mit unterschiedlichen Restnutzungsdauern, den Ersatz des Überbaus mit Instandsetzung des Unterbaus und einen vollständigen Ersatz.

2.4.4 Bauprojekt 2015

Basierend auf [32] arbeitete das Ingenieurbüro bpp Ingenieure AG ein Bauprojekt aus, das folgende bauliche Massnahmen vorsieht ([33] p. 4):

- vollflächiges Entfernen des PCB- und schwermetallhaltigen Korrosionsschutzes innerhalb eines eingehausten Hängegerüsts) inkl. Joche bis zur Wasseroberfläche
- Aufbringen eines neuen 4-schichtigen Korrosionsschutzes (Korrosivitätskategorie C4)
- Ersatz der Dichtprofile bei den Fahrbahnübergängen (13 Stück)
- Betoninstandsetzungen an der Brückenuntersicht, den Randborden und den Widerlagern.
- Verlängern der Entwässerungsrohre (Speier)
- Ersatz der bestehenden Abwasser-Druckleitung

Mit Ausnahme der in 2.3 erwähnten Auswechslung von Dichtungsprofilen wurden diese Massnahmen bis heute noch nicht ergriffen.

2.4.5 Abgeltung für Transaktion

Prof. H.R. Schalcher ermittelte im Dezember 2015 in einem Gutachten die Abgeltungen, die bei einer Transaktion der Verkehrsanlagen im Rahmen der Neukonzessionierung fällig werden. Bei dieser Studie war der Willerzellerviadukt ausdrücklich ausgenommen, da sein Abbruch vorgesehen war. In einer Ergänzung [34] bestimmte er im Februar 2016 die entsprechenden Werte auch für den Willerzellerviadukt.

Eine wichtige Vorgabe ist der verwendete Mittelwert des Diskontsatzes von 1.44%.

2.4.6 Zustandsbeurteilung Stahlbau 2016

Im Februar 2016 besichtigten die Professoren M. Fontana und A. Frangi den Viadukt unter anderem von einem Schiff aus, um eine Drittmeinung zu den Erkenntnissen von [32] abgeben zu können. Der schlechte Zustand des Korrosionsschutzes, insbesondere in den Bereichen, die infolge leckender Fahrbahnübergänge durch Tausalz beaufschlagt wurden, wurde bestätigt [35].

Die beiden Experten schlugen vor:

- die Inspektionsintervalle auf ein halbes Jahr zu verkürzen,
- diejenigen Dichtungsprofile zu ersetzen, die nicht schon 2007 ersetzt worden waren,
- die Nutzung auf Personenwagen bis 3.5 t Gewicht zu beschränken.

Die ersten beiden Empfehlungen wurden nach Aussagen in der Sitzung der Arbeitsgruppe vom 31.08.2017 umgesetzt, die dritte noch nicht.

2.4.7 Strategien für eine zukünftige Nutzung 2017

Im Juni 2017 verfasste Prof. E. Brühwiler von der EPFL (ETH Lausanne) in Eigeninitiative ein Gutachten über die Erhaltungswürdigkeit des Willerzellerviadukts unter verschiedenen Aspekten und den aktuellen Zustand [36]. Er zeigt auf, wie der Viadukt für eine Nutzungsdauer von weiteren 80 Jahren mit der heutigen Breite instandgesetzt (Strategie A) oder auf

5.50 m nutzbare Breite verändert (Strategie B) werden könnte. Für beide Strategien setzt er auf Ultra-Hochleistungs-Faserbeton (UHFB) als Abdichtung und Versiegelung von Fahrbahnplatte und Konsolkopf in Strategie A und zusätzlich als Werkstoff für die Verbreiterung bei Strategie B. Er weist initiale Baukosten für beide Varianten aus und schlägt einen Kostenteiler zwischen dem Inhaber der jetzigen Konzession und dem zukünftigen Eigentümer vor. Er beleuchtet kurz auch eine Kapazitätserhöhung für Stassen- und Langsamverkehr durch eine Verbreiterung der Fahrbahnplatte auf 6.50 m und einen separaten Steg für den Langsamverkehr.

In einem Brief an den Regierungsrat des Kantons Schwyz [39] nimmt er zu einigen Argumenten Stellung, die dieser in Beantwortung [38] einer Interpellation im Kantonsrat [37] gegen das Gutachten eingebracht hatte.

3 Prinzipielle Überlegungen

3.1 Zukünftiges Verkehrsregime

Das zukünftige Verkehrsregime, d.h. z.B. die Frage, ob neben dem öffentlichen Verkehr weiterhin auch der Individualverkehr zugelassen werden soll, wird offengelassen. Solche Festlegungen können während der Nutzungsdauer immer wieder ändern und sind deshalb keine verlässlichen Grundlagen für eine Bemessung bzw. Überprüfung.

Für statische Berechnungen reicht die Angabe eines maximalen Fahrzeuggewichts (im vorliegenden Fall 16 t) und die Definition der Bereiche, die für den Strassenverkehr zugänglich sind ([8] Ziffer 9.1.3).

3.2 Erhaltungsstrategie

3.2.1 Prioritäten

Die bisherige Erhaltungsstrategie ging davon aus, dass Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Willerzellerviadukts nur bis zum Ablauf der jetzigen Konzession zu gewährleisten sind.

Soll der Willerzellerviadukt weitere 80 Jahre seinen Dienst erfüllen ist ein Umdenken erforderlich.

Aus den Ausführungen in 2.4 folgt, dass beim Stahlbau der Korrosionsschutz möglichst schnell ersetzt werden muss, um weitere Querschnittsverluste bei den tragenden Bauteilen, insbesondere bei den Gerbergelenken, zu vermeiden. Diese Arbeiten bedingen zwar eine Einhausung, können aber unter Verkehr durchgeführt und fast beliebig etappiert werden, wenn die Erschliessung vom See her über eine schwimmende Plattform erfolgt.

Die Massnahmen an den Brückenjochen sind weniger dringend, sind jedoch vorzugsweise bei tiefem Seespiegel durchzuführen und können ebenfalls beliebig etappiert werden.

Massnahmen an der Oberseite des Überbaus sind hingegen nicht dringend, bedingen aber eine vollständige Sperrung des Viadukts. Jede Etappierung verlängert somit auch die erforderliche Sperrzeit.

Aus diesen Prioritäten ergibt sich die Unterteilung in drei Instandsetzungsphasen gemäss Abbildung 1, unabhängig davon, welche Variante gewählt wird.

3.2.2 Montagebauweise

Ein feldweiser Ersatz des Korrosionsschutzes in einer Werkstattsituation wäre zwar kostengünstiger, aber nur sinnvoll, wenn vorher die Fahrbahnplatte entfernt würde. Damit würde praktisch das Konzept resultieren, das im parallelen Mandat untersucht wird (siehe 1.4). Deshalb wird dieses Konzept nicht weiterverfolgt, sondern der möglichst integrale Erhalt der Fahrbahnplatte angestrebt.

Ausbauteile (Geländer, Maste etc.) können jedoch demontiert, im Werk ertüchtigt und wieder montiert werden, wie dies bereits in der Vergangenheit durchgeführt wurde.

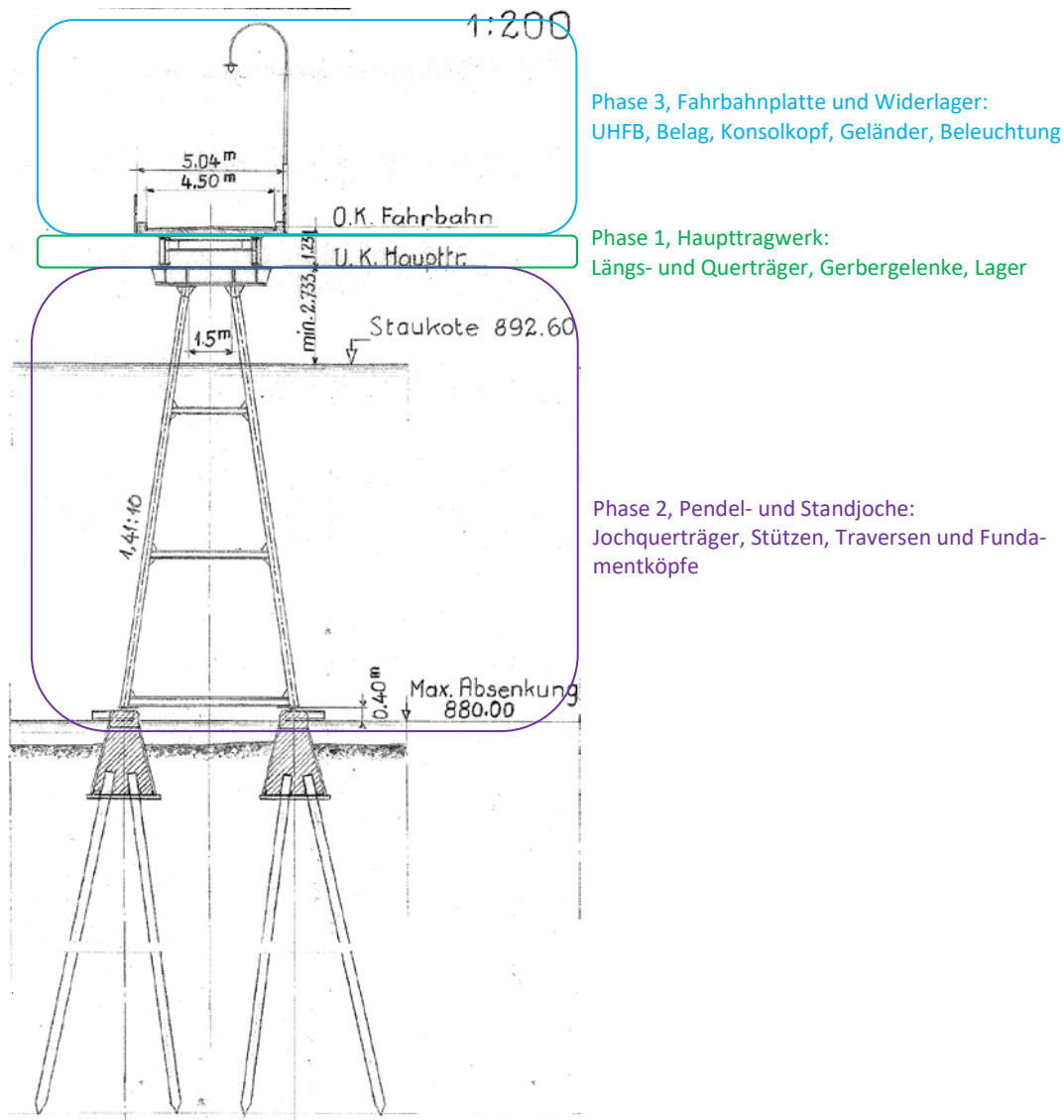


Abbildung 1 Systemabgrenzung der Instandsetzungsphasen 1 bis 3, eingezeichnet in [44]³

3.3 Tragwerksbezogene Prinzipien

3.3.1 Verzicht auf Fundamentverstärkungen

Alle Erhaltungsvarianten basieren auf dem Bestreben, die jetzigen Foundationen – insbesondere die Pfählungen – beizubehalten und weder zu stören noch zu verstärken. Da die Pfahlfoundationen während den Bauarbeiten laufend an die vorgefundenen Verhältnisse angepasst worden waren, kann nicht davon ausgegangen werden, dass sie wesentliche Tragreserven aufweisen. Ausserdem wurden die ständigen Lasten bereits 1977 mit dem Ersatz des Belags vergrössert (vgl. 2.3).

Alle Erhaltungsvarianten für den Überbau gehen deshalb davon aus, dass die ständigen Lasten und die (kurzfristigen) Verkehrslasten nicht zunehmen dürfen.

³ Alle Höhenkoten auf den Plänen aus der Bauzeit basieren noch auf dem alten Horizont des Repère Pierre du Niton von 376.86 m. Der neue Horizont, der 1902 eingeführt wurde, basiert auf 373.60 m. Alle Höhenangaben auf aktuellen Plänen sind somit um 3.26 m kleiner.

Bei den ständigen Lasten steht als Reserve die Reduktion der heutigen Belagsstärke von 8 cm zur Verfügung, bei den Verkehrslasten, die nur für den Nachweis der Tragsicherheit relevant sind, die Möglichkeiten der Aktualisierung gemäss Norm SIA 269 [10] und 269/1 [11].

3.3.2 Vergütung der Betonoberflächen

Die Erhaltung von Betonkonstruktionen muss zum Ziel haben, die Betonoberflächen so auszubilden, dass

- kein tausalzbelastetes Strassenwasser in bewehrte Betonteile eindringen kann
- allfällige Tragfähigkeitsbedürfnisse oder -defizite mit Bewehrungen in einer Reprofilierungs- oder Aufdopplungsschicht abgedeckt werden können
- die Zusatzlasten minimal gehalten werden können.

Ultra-Hochleistungs-Faserbeton (UHFB) mit Schichtstärken von 30 mm (unbewehrt) bis 50 mm (bewehrt), wie er auch von Prof. Brühwiler in [36] vorgeschlagen wird, erfüllt diese Anforderungen in idealer Weise. Mit dem Merkblatt SIA 2052 [16] besteht eine normative Grundlage, die den anerkannten Stand der Technik festhält. Es gibt auch Bauunternehmungen, die sich auf diese neue Technologie eingestellt haben und die gestellten Anforderungen erreichen.

Die bisherige von den Ausmassen her grösste Anwendung von UHFB war die Verstärkung des 2.1 km langen, 45 Jahre alten Autobahnviadukts beim Schloss Chillon am Genfersee in den Jahren 2014 und 2015 [36]. Im Rahmen des Erhaltungsprojekts A4 Küssnacht–Brunnen projektiert das Bundesamt für Strassen im Moment die Ertüchtigung der Autobahnviadukte Boli, Linden und Mettlen mit einer Gesamtlänge von rund 1.0 km zwischen Küssnacht und Arth, die im Jahr 2021 ausgeführt werden soll [36], [64].

Ein konventioneller Aufbau von Abdichtung und Belag mit Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen (PBD) und Gussasphalt (GA) bzw. Heissmischtragschicht (HMT) wäre mindestens 115 mm dick und somit zu schwer.

3.3.3 Anpassung des Dilatationskonzepts

Das bisherige Dilatationskonzept basiert auf Einhängerträgern in jedem siebten Feld, die in Längsrichtung mit je einem gehaltenen und einem beweglichen Gelenk gelagert sind. Ursprünglich bestanden die Fahrbahnübergänge aus aufgeschraubten, kanelierten Abdeckblechen im Höhenbereich des Belags. 1977 wurden Fahrbahnübergänge mit Einfach- bzw. Doppel-Dehnprofilen eingebaut, die langfristig nicht dicht sind und eine Eindringmöglichkeiten für tausalzbelastetes Strassenwasser darstellen. Trotz erfolgtem Auswechseln der Dichtungsprofile sind langfristig Fahrbahnübergänge auf dem heutigen Stand der Technik erforderlich.

Die Längsbewegungen bei den (in Längsrichtung) festen Gelenken resultieren einzig aus den gegenseitigen Verdrehungen der Trägerenden infolge Verkehrsbelastungen. Nach unseren Berechnungen betragen diese unter Lastmodell 1 maximal 2.57 mrad. Wird nun der Fahrbahnübergang aufgehoben, die Aufschriftung der Fahrbahnplatte im Sinne eines Betongelenks ausgebildet und über den Gelenkbereich durchgezogen, resultieren infolge der Exzentrizität zum Gelenk von ca. 0.65 m Horizontalbewegungen von 1.67 mm. Damit im Betongelenk kein übermässiger Zug auftritt, müssen die festen Gelenke so viel Spiel zulassen. Allenfalls sind sie durch Elastomer-Blocklager zu ersetzen, die eine beschränkte Schubsteifigkeit aufweisen.

Die in Längsrichtung beweglichen Gelenke ermöglichen die saisonale Längenänderung der bis zu 175 m langen Dilatationsabschnitte. Um nicht den Unterbau unnötig zu zwingen, sind dort nach wie vor Fahrbahnübergänge erforderlich. Für solche Situationen werden heute Gleitfingerfugen eingesetzt, die eine minimale Bauhöhe aufweisen. Sie sind zwar nicht dicht, aber mit einer integrierten Entwässerungsrinne versehen.

3.4 Projektabgrenzungen

Sowohl bei einem Ersatz, wie er von dsp Ingenieure & Planer AG gemäss 1.4 untersucht wurde, als auch bei einer Instandsetzung und allenfalls Verbreiterung des Überbaus werden die Pfeilerjoche instandgesetzt und die Pfahlfundationen nicht angerührt. Die diesbezüglichen Untersuchungen und Überlegungen von dsp in [40] werden deshalb übernommen, allenfalls kommentiert und ergänzt.

Uns ist bekannt, dass in der Diskussion über den Erhalt des Willerzellerviadukts weitere Vorschläge und Studien vorliegen; diese spielen aber für die nachfolgenden rein technischen Überlegungen keine Rolle.

4 Überprüfungen

Für die Überprüfung des bestehenden Tragwerks kommt die Norm SIA 269 [10] zur Anwendung.

4.1 Tragsystem und Einwirkungen

4.1.1 Modellierung und Abgrenzung

Für eine unabhängige Bestimmung der Fundationskräfte wurde ein Stabsystem im Programm Statik-7 (Cubus AG) modelliert. Von der Brücke wurden sieben Spannweiten von 25.00 m betrachtet, die Einhängerträger von 13.90 m Länge wurden beidseitig berücksichtigt und aussen vertikal auf Federn gelagert, so dass ein repräsentativer Abschnitt mit einer Gesamtlänge von 188.90 m entsteht. Durch diese Systemabgrenzung ergeben sich ein Standjoch in der Mitte und je drei Pendeljoche auf jeder Seite. Die Fahrbahn wird als Trägerrost mit Fahrbahnplatte im Verbund modelliert.

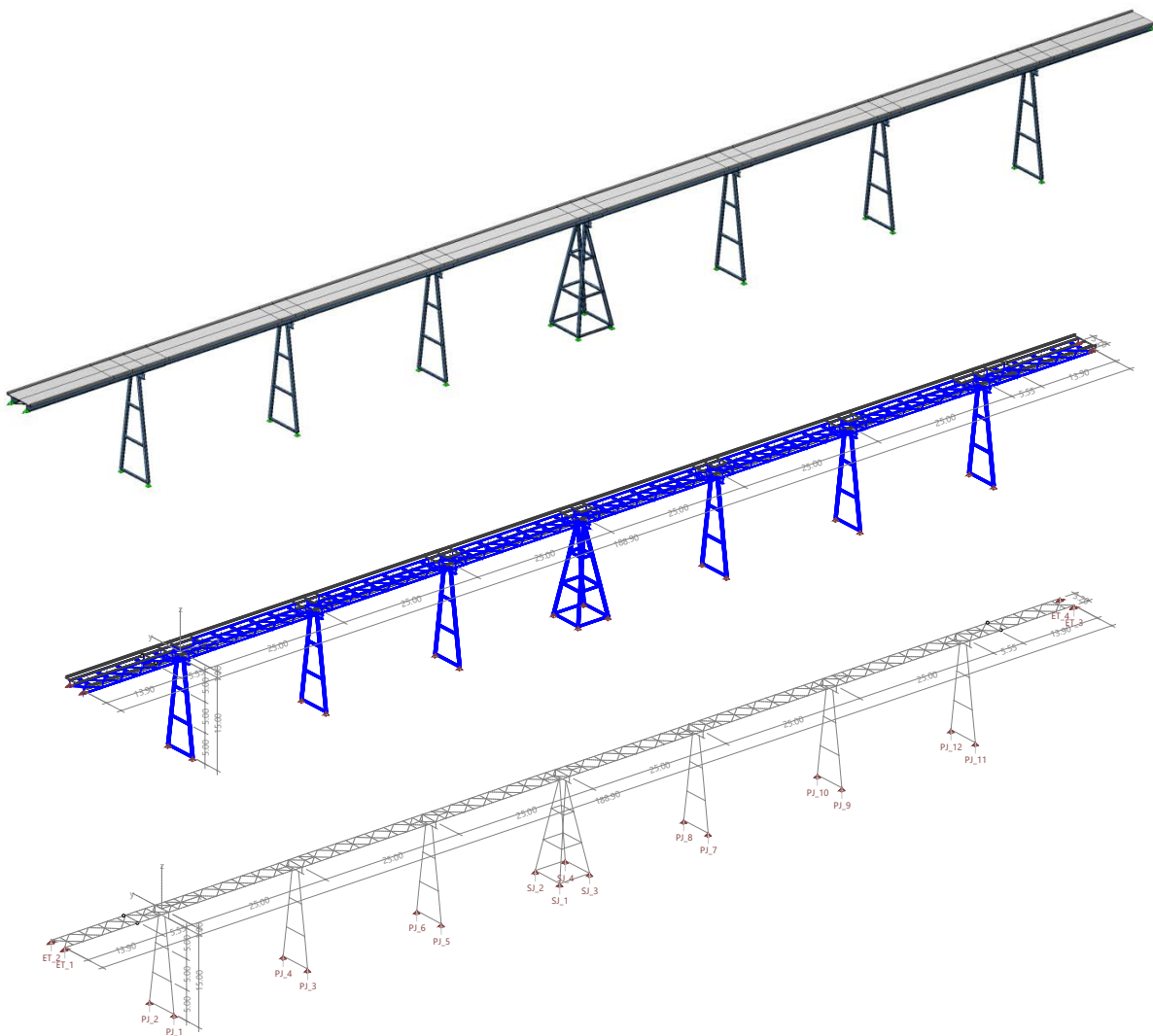


Abbildung 2 Stabmodell Statik-7

4.1.2 Eigen- und Auflasten

Falls in einer späteren Bearbeitungsphase nachgewiesen werden kann, dass die planmässigen Abmessungen eingehalten wurden, kann für den Nachweis der Tragsicherheit der Lastbeiwert auf $\gamma_{G,sup,act} = 1.20$ für ständige Einwirkungen anstelle von $\gamma_{G,sup} = 1.35$, wie für Neubauten üblich, verwendet werden. Die Raumlasten werden aus Norm SIA 261 [8], Anhang A entnommen. Für Überlegungen zur Gebrauchstauglichkeit (Setzungen) spielen Lastbeiwerte keine Rolle.

4.1.3 Strassenverkehr

Die Norm SIA 269/1 [11] für bestehende Bauten schafft keinen direkten Zusammenhang zwischen zugelassenen oder geometrisch möglichen Fahrzeugen und zu berücksichtigenden Lastmodellen. Deshalb wird wie in [42] eine Weisung des Tiefbauamts Graubünden [17] verwendet, die einen solchen Zusammenhang herstellt, und die sich bewährt hat.

Damit wird mit den Beiwerten, Anfahr- und Bremskräften gemäss Tabelle 3 gerechnet:

Modell	α_{Q1}	α_{Q2}	α_{q1}	α_{q2}	$QA_k = QB_k$
18 t TBA GR (ICOM)	0.7 nur eine Achslast	0.3	0.7 nur eine Achslast	0.7	150 kN

Tabelle 3 Beiwerte, Anfahr- und Bremskräfte zum Lastmodell nach Norm SIA 261 [8]

4.1.4 Abschränkungen

Die Norm SIA 261 [8] schreibt in Tabelle 20 für Brücken aller Verkehrsarten eine durch Personen verursachte horizontale Kraft auf die Abschränkung von $q_k = 1.6$ kN/m vor. Diese Kraft ist auf mindestens 3.0 kN/m erhöht werden, wenn ein Menschengedränge möglich ist; sie kann um höchstens 50% reduziert werden, wenn kein Menschengedränge möglich ist.

4.1.5 Anprall von Strassenfahrzeugen

Im gefährdeten Bereich befinden sich ausser den Kandelabern keine anderen Tragwerke. Die Normen SIA 261 [8], SIA 269/1 [11] und die Richtlinie des Bundesamts für Strassen [1] regeln lediglich den Anprall auf solche, abhängig davon, ob ein Fahrzeugrückhaltesystem vorhanden ist. Die Richtlinie des ASTRA zu Fahrzeugrückhaltesystemen [2]-[4] enthält keine Einwirkungen, mit denen Pfosten und Befestigungen bemessen werden könnten, sondern konstruktive Vorschriften.

4.2 Gebrauchstauglichkeit

4.2.1 Durchbiegungen

Die Durchbiegungen sind nicht kritisch und führen unseres Wissens zu keinen Reaktionen der Benutzer.

4.2.2 Pfahlkräfte

Die Pfahlkräfte ergaben sich als Resultat der eigenen Berechnungen an einem Stabstatikmodell. Für den Zustand der Gebrauchstauglichkeit (ständige Lasten + Verkehr) ergaben sich kein Zug in den Pfählen, ähnliche Maxima bei allen Pendeljochen und kleinere Maxima bei den Standjochen.

Die berechneten Pfahlkräfte wurden mit denjenigen von Locher AG im Jahr 1976 verglichen, die in [47] überliefert sind. Für die ständigen Lasten lagen jene Kräfte bei den Pendeljochen 29% und bei den Standjochen 47% höher, für den damaligen Lastfall H nach Norm SIA 161 [6] bei den Pendeljochen 50% und bei den Standjochen 11%.

Diese Diskrepanzen sind ein weiteres Argument dafür, die Lasten auf die Foundationen nicht zu erhöhen.

4.2.3 Setzungen

4.2.3.1 Aufzeichnungen

Das Setzungsverhalten der Pfahlfoundationen wurde über die Jahre sehr genau aufgezeichnet. Es liegen mehrere Dokumente zu diesem Thema vor:

- Setzungsmessungen Locher & Cie AG, Setzungen ab 23.9.36 bis Sept. 1941 und ab 23.9.36 bis Sept. 1976 (Daten in Absolutwerten, Einheit mm bei allen Jochen Ober- und Unterwasserseite) [46]
- Setzungen der Kontrollpunkte 1971-2000, Etzelwerk AG (Angabe der Höhenkoten, Einheit mm bei allen Jochen Ober- und Unterwasserseite) [52]
- Setzungsmessungen 2000-2007, Etzelwerk AG (Angabe der Höhenkoten, Einheit mm bei allen Jochen Ober- und Unterwasserseite) [56]
- Kontrollmessung NOK vom 6. Dezember 2007, Etzelwerk AG (Angabe der Höhenkoten, Einheit mm bei allen Jochen Ober- und Unterwasserseite) [57]
- Kontrollmessung axpo vom 13. September 2016, Etzelwerk AG (Angabe der Höhenkoten, Einheit mm bei allen Jochen Ober- und Unterwasserseite) [58]

Die Messpunkte gingen bei den Instandsetzungen der Fahrbahnplatte in den Jahren 1977 und 2007 zwangsläufig verloren, da sie auf den Randborden angeordnet sind. Es wurde deshalb jeweils eine Kontrollmessung vorher/nachher vorgenommen, so dass nur allfällige Setzungsdifferenzen während der Bauzeiten nicht in die Messungen eingeflossen sind.

Da die oben erwähnten Setzungsmessungen nicht über die gesamten 80 Jahre der bisherigen Lebensdauer in aufsummierter Form vorlagen, haben wir die Daten in einer grossen Tabelle zusammengefasst (Anhang A3). Daraus konnte einerseits eine Darstellung der Gesamtsetzungen über die Brückenlänge (Ober- und Unterwasser) analog [46] gewonnen werden. Andererseits erlaubt die Ausgabe von Zeit-Setzungs-Diagrammen für die massgebenden Achsen eine Beurteilung, inwieweit die Setzungen über die Periode von 80 Jahren abgeklungen sind.

	Axe	23.09.1936	von/bis 23.09.1936 30.06.1941	von/bis 23.09.1936 02.04.1976	von/bis 23.09.1936 12.11.1979	von/bis 23.09.1936 30.10.1984	von/bis 23.09.1936 02.05.1989	von/bis 23.09.1936 18.05.1993	von/bis 23.09.1936 19.09.1997	von/bis 23.09.1936 02.10.2001	von/bis 23.09.1936 16.07.2007	von/bis 23.09.1936 04.11.2008	von/bis 23.09.1936 11.09.2012	von/bis 23.09.1936 13.09.2016
Pendeljoch	2 OW	0	7	36	36	62	62	63	64	63	65	63	63	62
Pendeljoch	6 OW	0	19	43	40	38	42	40	43	39	45	44	43	41
Standjoch	12 OW	0	15	39	39	39	44	43	44	41	46	46	44	44
Pendeljoch	18 OW	0	11	36	34	35	38	38	44	40	47	46	44	42
Pendeljoch	22 OW	0	8	31	27	27	28	29	34	32	49	50	49	48
Pendeljoch	25 OW	0	10	36	32	30	34	35	33	36	42	42	43	40
Pendeljoch	32 OW	0	21	49	44	49	51	44	44	44	50	48	49	48
Pendeljoch	39 OW	0	6	17	11	10	12	6	4	7	6	5	4	2
Pendeljoch	2 UW	0	8	17	25	14	14	15	16	15	18	19	18	17
Pendeljoch	6 UW	0	21	44	55	54	57	56	59	56	62	66	64	63
Standjoch	12 UW	0	17	41	48	48	51	50	56	53	58	62	59	59
Pendeljoch	18 UW	0	12	37	43	43	45	42	49	45	51	55	53	53
Pendeljoch	22 UW	0	8	30	41	38	42	36	40	38	28	31	30	28
Pendeljoch	25 UW	0	10	37	48	47	50	45	45	48	54	58	59	57
Pendeljoch	32 UW	0	21	51	60	55	59	57	59	59	65	69	69	68
Pendeljoch	39 UW	0	6	17	23	23	25	19	20	22	21	20	20	20

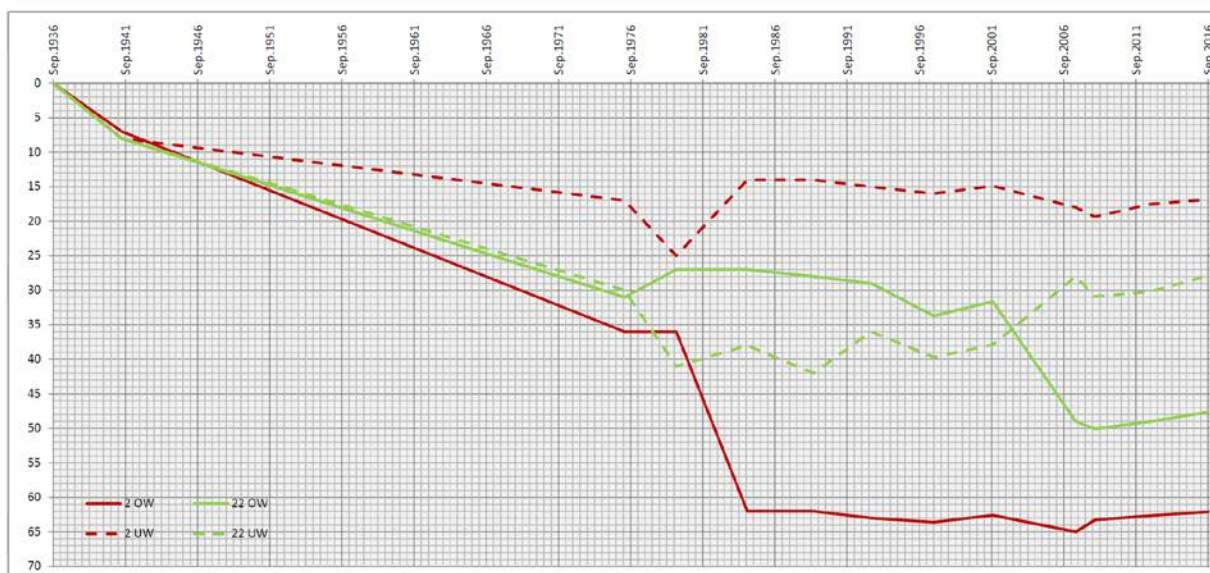
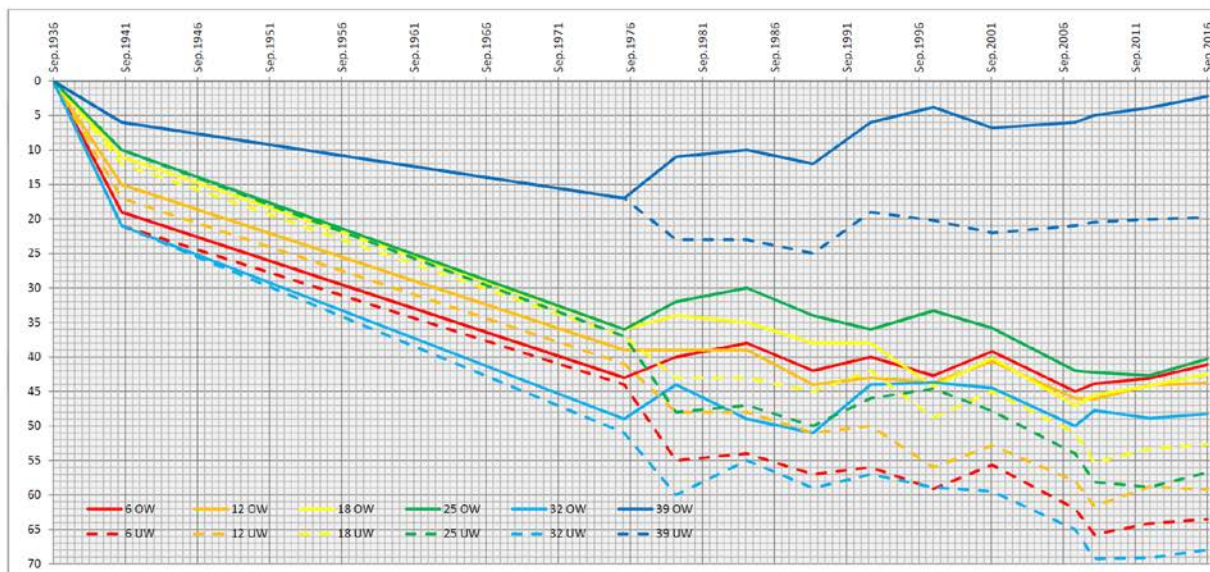


Abbildung 3 Setzungen der Brückenjoche über die bisherige Nutzungsdauer

4.2.3.2 Resultate

Wie aus Abbildung 3 bzw. Anhang A3 ersichtlich, betragen die maximalen Setzungen über die bisherige Nutzungsdauer (23.09.1936-13.09.2017) 68 mm (bei Pendeljoch 32). Weitere grosse Setzungen traten bei den Pendeljochen 2 (62 mm), 6 (63 mm) und 29 (60 mm) auf.

Die grössten Setzungsdifferenzen traten mit 37 mm zwischen den Pendeljochen 2 und 3 und mit 32 mm zwischen dem Pendeljoch 29 und dem Standjoch 30, d. h. über jeweils 20 m Distanz auf.

In Querrichtung betragen die grössten Setzungsdifferenzen 45 mm beim Pendeljoch 2 und 37 mm beim Pendeljoch 29.

4.2.3.3 Überlegungen zum Setzungsverhalten

Bei der Betrachtung der Gesamtsetzungen über die Brückenlänge fällt auf, dass die unterwasserseitigen Setzungen (Darstellung gestrichelt) in den meisten Jochachsen höher ausfallen als die entsprechenden oberwasserseitigen Werte (Darstellung ausgezogen).

Zeit-Setzungs-Kurven würden für die Jochachsen mit den höchsten Setzungswerten ausgegeben. Sie sind in Abbildung 3 dargestellt (zwischen 1946 und 1971 liegen keine separaten Werte vor, der Verlauf wurde deshalb linear interpoliert). In den Achsen 6/12/18/25/32/39 betragen die unterwasserseitigen Setzungen jeweils rund 10-15 mm mehr als auf der Oberwasserseite. Einzig in den Achsen 2 und 22 ist es umgekehrt, auch alle anderen, hier nicht dargestellten Joche neigen eher Richtung Unterwasserseite. Da sowohl die Foundationen als auch die Belastungen zur Jochachse symmetrisch sind, muss angenommen werden, dass dies etwas mit der Fliessrichtung des Gewässers zu tun hat (Wasser-, Eis-, Schwemmgutdruck).

In Abbildung 3 sind im oberen Diagramm die Joche 6/12/18/25/32/39 dargestellt. Sie weisen maximale Setzungen von über 60 mm auf und neigen Richtung Unterwasserseite. Im unteren Diagramm sind die beiden gegenläufigen Joche 2 und 22 aufgezeichnet, die sich in die andere Richtung neigen. Hier fällt vor allem Joch 2 mit einer auffallend grossen Differenz von fast 45 mm auf. Dies ist verwunderlich, auch weil dieses Joch nur sehr kurze Pfähle aufweist (Abbildung 4).

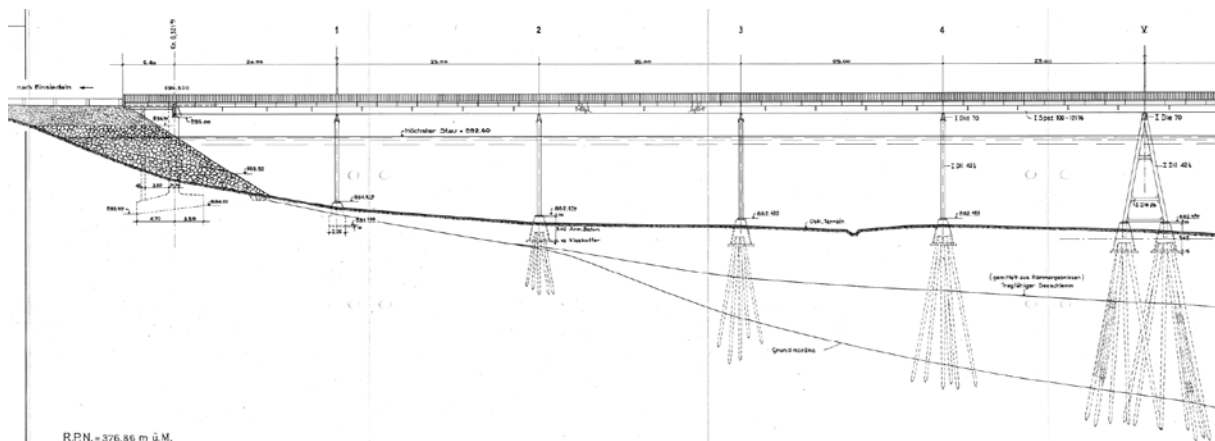


Abbildung 4 Ausschnitt aus [45], Widerlager Einsiedeln und Joche 1 bis V.

Grundsätzlich kann aber aus allen vorliegenden Zeit-Setzungs-Diagrammen der Schluss gezogen werden, dass die Setzungen unter den vorliegenden Vertikallasten abgeklungen sind. Die verbleibenden Auf- und Abbewegungen können auf andere Einflüsse zurückgeführt werden, die im Folgenden diskutiert werden.

4.2.3.4 Einfluss des Seespiegels

Für die Messungen ab 1971 wurde jeweils auch der Seespiegel angegeben. Dieser beeinflusst die Resultate offenbar nur in geringem Mass. In den Jahren 1976, 1977 und 1996 wurden mehrere Messkampagnen in unterschiedlichen Jahreszeiten mit Wasserstandsschwankungen bis rund 6.0 m durchgeführt. Der Einfluss auf die Resultate bewegte sich in der Grössenordnung von 5 mm.

Die letzten Messungen wurden jeweils im Herbst am Ende des hydrologischen Jahres bei einem Seespiegel von 888.250 m durchgeführt.

Der Einfluss des Seespiegels hat eine lang- und eine kurzfristige Komponente, d.h. der Stand am Messtag allein sagt nicht alles aus.

Es kann festgehalten werden, dass der Seespiegel einen Einfluss hat, der allerdings von untergeordneter Bedeutung und kaum exakt bezifferbar ist.

4.2.3.5 Einfluss der Temperatur

Die Messpunkte auf der Fahrbahn liegen im Mittel ungefähr 17 m über dem Stützenfuss. Ein Temperaturunterschied von 6 °C bewirkt deshalb eine Verlängerung/Verkürzung von 1 mm. Bei einer angenommenen mittleren Temperaturdifferenz (über/unter Wasserspiegel) von 12-18 °C beträgt dieser Einfluss max. 3 mm und ist deshalb auch von untergeordneter Bedeutung.

4.2.3.6 Vergleich Festjoche / Pendeljoche

Die Vertikallasten sind auf beiden Jochtypen fast identisch; die Festjoche weisen allerdings doppelt so viele Pfähle auf. Sie sollten sich dementsprechend weniger setzen. Trotzdem lässt sich dieser Einfluss aus der grafischen Darstellung nicht herauslesen.

4.2.3.7 Messgenauigkeit

Die Höhenaufnahmen wurden bezüglich der Fixpunkte 100/101 und 300/301 gemacht. Gemäss Begleitschreiben zu den Kontrollmessungen der NOK 2007 [57] wurden allerdings Differenzen zwischen diesen Fixpunkten von rund 5 mm festgestellt. Die Punkte 300/301 wurden deshalb im Jahr 2007 neu bestimmt. Einige Messpunkte wurden auch beschädigt und mussten im Lauf der Zeit erneuert werden. Die Genauigkeit der Messungen darf deshalb nicht überschätzt werden (± 3 mm).

4.2.3.8 Widerlager

Die Joche in Widerlagernähe sind z.T. flach fundiert. Sie weisen Setzungen in der gleichen Grössenordnung auf wie die Pfahlfundationen im Mittelfeld der Brücke.

Beim Pendeljoch 2 wurden nur sehr kurze Pfähle verwendet. Zudem sind das die Fundationen mit der höchsten Lage des Pfahlbanketts, wodurch hier die Gefahr des Trockenfallens bei Tiefstwasserstand am grössten ist (grösste Bedrohung für Holzpfähle). Die Pfähle im Mittelfeld sind permanent unter Wasser – im Gegensatz zum Steinbachviadukt besteht beim Willerzellerviadukt die Gefahr des Trockenfallens der Seebodenfundationen kaum.

4.2.4 Fazit

Das gesamte Ausmass der Setzungen über die 80 Jahre Betriebsdauer liegt in einem normalen Bereich. Die Setzungen sind abgeklungen. Aus den Resultaten können keine Schäden an den Fundationen hergeleitet werden. Es kann allerdings auch keine Aussage zu den Tragreserven gemacht werden.

Unseres Wissens stören die Setzungen und Setzungsdifferenzen nicht und beeinträchtigen somit auch nicht die Gebrauchstauglichkeit.

4.3 Tragsicherheit

4.3.1 Fahrbahnplatte

Die Tragsicherheit der Fahrbahnplatte wurde im Jahr 2009 überprüft, auch für die dreiachsigen Low-Entry-Busse vom Typ KUB 2-2 [31], vgl. 2.4.2. Wir haben keine zusätzlichen Berechnungen durchgeführt.

4.3.2 Hauptträger

Die statische Überprüfung lieferte als Nebenresultat elastisch berechnete Spannungen auf Bemessungs- bzw. Überprüfungsniveau. Die extremalen Werte (Zug: $\sigma = 149.7 \text{ N/mm}^2$, Druck: $\sigma = -182.5 \text{ N/mm}^2$) liegen deutlich unter dem Überprüfungswert von Flusstahl gemäss Norm SIA 269/3 [13]:

$$f_{y,act} = f_y / \gamma_{M,act} = f_y / (\gamma_{M1} \cdot k_{yM}) = 235 \text{ N/mm}^2 / (1.05 \cdot 1.05) = 213 \text{ N/mm}^2$$

Diese ist ein Hinweis, dass die Tragsicherheit auch formal nachgewiesen werden könnte.

4.3.3 Geländer

Wie aus dem Ausführungsbericht [30] ersichtlich, wurde das Geländer 1994/95 demontiert, instandgesetzt und mit einer Leitplanke versehen. Die Geländerpfosten (heute nicht mehr produziertes Profil UNP 105, Abstand 2.50 m) sind mit drei Schrauben am Konsolkopf befestigt. Bei einer horizontalen Kraft von der Brücke her auf die Abschränkung wirken zwei Schrauben (gemäss Schraubensymbol in Beilage 4 von [30] Durchmesser 16 mm) auf Zug mit einem Hebelarm von 235 mm, der dem Schraubenabstand entspricht. Eine überschlägige Berechnung zeigt, dass die Tragsicherheit wohl nachgewiesen werden kann. In einer späteren Phase sind die fehlenden Grundlagen zu beschaffen und der Nachweis explizit zu führen. Wie in 4.1.4 erwähnt, besteht bei der Einwirkung Spielraum bei der Einschätzung der von Menschengedränge. Nach Norm SIA 269/1 [11] können auch Risikoüberlegungen einfließen.

Die nachträglich an die UNP-Profile angebrachte Leitplanke entspricht etwa dem System 21 (Leitschranke mit Planke Profil A und Handlauf 60/140 mm, Pfostenabstand 2.00 m) nach [2]. Der Biegewiderstand des vorliegenden Pfostenprofils UNP 105 ist etwa 40% grösser als derjenige des üblicherweise verwendeten IPE 100. Somit ist das Biegemoment auf die Befestigungen auch 40% grösser, wenn der Pfosten bei einem Anprall ins Fließen gerät. Nach [4] beträgt der Hebelarm (Schraubenabstand) der Befestigung mit Fussplatte beim Normdetail 150 mm, im vorliegenden Fall jedoch 235 mm, d.h. 57% mehr. Somit sollten die vorliegenden Pfosten inklusive Befestigung den üblichen Anforderungen genügen.

4.3.4 Joche

Die Joche haben wir nicht überprüft, da dies bereits in früheren Überprüfungen geschehen ist und auch Gegenstand des Parallelprojekts [40] ist.

4.3.5 Fundationen

4.3.5.1 Tragwiderstände

Die Pfahlfundationen sind gut dokumentiert, sowohl bezüglich Bemessung als auch bezüglich Anpassungen bei den Rammarbeiten. Grundlage für die Bemessung waren sechs Probelastungen, die erlaubten, Pfahlanzahl, -durchmesser und -längen sowie die zulässigen Eindringtiefen τ_{\max} beim Erreichen der Solltiefe pro Fundament festzulegen [23]. Dort wo τ_{\max} überschritten wurde, wurde sogleich reagiert mit Verlängerung der Pfähle

oder Erhöhung der Pfahlanzahl. Wichtigster Parameter ist die Annahme, über welche Länge eine Mantelreibung wirkt, da diese im Bereich der Torfschicht vernachlässigbar klein ist.

Im Rahmen der Überprüfung wurde bei den Reibungspfählen der äussere Tragwiderstand (Mantelreibung) abgeschätzt, bei den in die Grundmoräne eingebundenen der innere Tragwiderstand (Normalspannung im Pfahlschaft).

4.3.5.2 Äusserer Tragwiderstand

Für die Joche 2 bis 33 liegt ein ausführlicher Bericht über die Rammarbeiten [19] vor, dem insbesondere die definitive Anzahl Pfähle, der Bereich ihrer Durchmesser und Beobachtungen während des Rammens entnommen werden können. Dem Ausführungsplan [45] kann zudem die Mächtigkeit der nicht tragfähigen Torfschicht entnommen werden.

Bei der Bemessung wurde aus den Resultaten der Pfahlversuche [23] für die spezifische Mantelreibung eine Tragfähigkeitsgrenze $r_T = 36.0 \text{ kN/m}^2$ bestimmt und mit einem Sicherheitsgrad $n_T = 2$ abgemindert. Als Setzungsgrenze wurde aus den Versuchen ein Wert $r_S = 22.0 \text{ kN/m}^2$ bestimmt und mit einem Sicherheitsgrad $n_S = 1.5$ abgemindert. Damit werden die Setzungen massgebend und es ergibt sich eine zulässige spezifische Mantelreibung $r_S/n_T = 14.7 \text{ kN/m}^2$. Der daraus berechnete Reibungswiderstand auf Gebrauchsniveau beträgt 233 bis 324 kN pro Pfahl.

Nach Norm SIA 267 [9] wird der Nachweis auf dem Bemessungsniveau geführt. Die Werte auf Tragfähigkeitsniveau sind dabei lediglich um den Widerstandsbeiwert $\gamma_{M,a} = 1.3$ abzumindern. Zusätzlich ist ein Umrechnungsfaktor η_a zu berücksichtigen. Da die Bemessung auf statischen Pfahlbelastungsversuchen basiert, kann der Umrechnungsfaktor $\eta_a = 1.0$ gesetzt werden. Nach Norm SIA 269/7 ([14] Ziffer 4.2.2) dürfen auch die Ergebnisse von früheren Pfahlbelastungsversuchen verwendet werden. Damit ergibt sich auf Bemessungs- bzw. Überprüfungsniveau ein spezifischer Reibungswiderstand von $r_{S,act} = r_S \cdot \eta_a / \gamma_{M,a} = 22.0 \cdot 1.0 / 1.3 \text{ kN/m}^2 = 16.9 \text{ kN/m}^2$. Der so berechnete Reibungswiderstand auf Überprüfungsniveau beträgt 269 bis 374 kN pro Pfahl.

4.3.5.3 Innerer Tragwiderstand

Der innere Tragwiderstand der Pfähle wird bei denjenigen Pfahlbanketten massgebend, die infolge günstiger Baugrundverhältnisse, d.h. Pfahlspitzen in der Grundmoräne, mit weniger Pfählen auskommen. Für den Pfahldurchmesser ist in [19] lediglich ein Bereich überliefert. Der innere Tragwiderstand für Druckbeanspruchung wurde mit dem kleinsten Pfahldurchmesser, der Festigkeitsklasse C20 und der Feuchtekategorie 3 bestimmt.

4.3.6 Auswirkungen

Die Auswirkungen ergaben sich als Resultat der eigenen Berechnungen an einem Stabstatikmodell. Im Grenzzustand der Tragsicherheit Typ 2⁴ ergab sich teilweise Zug in den Pfählen von maximal 138 kN pro Pfahlgruppe. Dies ist nicht weiter schlimm, da die Pfähle in den Pfahlbanketten einbetoniert sind und deren Gewicht, das den Zug reduziert, noch nicht berücksichtigt ist.

Die maximalen Reaktionen in den Pfahlbanketten wurden mit den Lastbeiwerten für Neubauten bestimmt; d.h. die mögliche Reduktion der Beiwerte gemäss 4.1.2 wurde nicht ausgenützt.

⁴ Ungünstige Kombination von mit Lastbeiwerten erhöhten Auswirkungen

4.4 Fazit

Das Verhältnis von Widerstand und Auswirkung pro Pfahlbankett ergibt den Erfüllungsgrad n , der grösser als 1.0 sein sollte. Unsere Berechnungen ergaben folgende Resultate:

- Die äussere Tragfähigkeit der Pfahlfundationen ergibt knappe Erfüllungsgrade zwischen 0.99 und 1.06 für die Pendeljoche 27 bis 29 und solche zwischen 1.24 und 2.24 für alle übrigen, genauer untersuchten Pfahlbankette. Mit einem Ansatz der Lastbeiwerte für bestehende Tragwerke (vgl. 4.1.2) sollte der Nachweis für alle Pfahlfundationen möglich sein.
- Die innere Tragfähigkeit der in der Grundmoräne eingebundenen Pfähle ergibt Erfüllungsgrade von 2.28 und mehr.

5 Instandsetzungsvarianten

5.1 Einwirkungen

Die Gültigkeit der Normen für Instandsetzungen und Veränderungen ist in Norm SIA 269 [10] Ziffer 0.1.5 geregelt.

Da gemäss den Überlegungen in 3.2 die Fahrbahnplatte erhalten werden soll, ist sie ein bestehendes Bauteil, so dass für deren Überprüfung die Normen SIA 269 [10] und SIA 269/1 [11] zur Anwendung kommen.

Die Verbreiterung um beidseits 0.45 m (Variante II) bzw. 1.50 m (Variante III) ist im Sinne der Norm SIA 469 [15] eine Erweiterung oder übergeordnet eine Veränderung. Dieser Begriff wird auch in der Norm SIA 260 [7] definiert und in den Erhaltungsnormen [10]-[14] verwendet. Eine Veränderung bedingt neue Tragwerksteile, die gemäss den Normen SIA 260 [7] und SIA 261 [8] zu behandeln sind.

5.1.1 Eigen- und Auflasten

Neue Beläge sind neue Auflasten und nach [11] Ziffer 2.1.4 gemäss SIA 260 [7] zu behandeln.

5.1.2 Strassenverkehr

Die Tragsicherheitsnachweise für das instandgesetzte Tragwerk werden mit demselben Lastmodell wie in der Überprüfung geführt (siehe Tabelle 3).

5.1.3 Nicht motorisierter Verkehr

Die Einwirkungen auf die Verbreiterung um 1.5 m in Variante III werden nach Norm SIA 261 [8], Kapitel 9 gewählt, da diese durch eine feste Abschränkung von der Strassenverkehrsfläche abgetrennt werden soll. Das heisst, dass eine Flächenlast $q_k = 4 \text{ kN/m}^2$ oder eine Einzellast $Q_k = 10 \text{ kN}$ mit einer quadratischen oder kreisförmigen Aufstandsfläche von 0.10 m Seitenlänge bzw. von 0.11 m Durchmesser Aufstandsfläche 0.10 x 0.10 m aufgebracht wird.

5.2 Variante I, Instandsetzung mit gegebener Breite

5.2.1 Konzept

Minimale Massnahmen um sowohl das Erscheinungsbild als auch die Funktion des jetzigen Viadukts beizubehalten.

Der Viadukt wird dann instandgesetzt, wenn es vom Zustand her erforderlich ist, d.h. in folgenden Phasen (vgl. Abbildung 1):

1. Erneuerung des Korrosionsschutzes und allenfalls notwendige Verstärkungen der Hauptträger möglichst bald (d.h. vor Ablauf der jetzigen Konzession, da der Zustand der Stahlbauteile unterhalb der Dilatationsfugen kritisch ist).
 2. Erneuerung des kathodischen Korrosionsschutzes und der Beschichtung der Pendel- und Standjoche bei entsprechender Gelegenheit.
 3. Ersatz des Belags und Instandsetzung von Konsolköpfen, Fahrbahnplatte, Geländer etc., wenn die Nutzungsdauer des Belags erreicht ist, d.h. ca. 2030.
- Weitere Instandsetzungen nach Ablauf der Nutzungsdauern der jeweiligen Bauteile.

Die Anforderungen an instandgesetzte Bauteile entsprechen weitgehend den heutigen.

Damit sich die nutzbare Brückenbreite durch die Ummantelung der Konsolköpfe nicht weiter reduziert, wird der Überdeckungsbeton beim Schrammbord unter Freilegung der vorhandenen Bewehrung mit Hochdruckwasserstrahlen abgetragen und anschliessend mit UHFB reprofiliert.

5.3 Variante II, Verbreiterung um wirtschaftlich sinnvolles Mass

5.3.1 Konzept

Die Wirtschaftlichkeit einer Verbreiterung ohne Erhöhung der Anzahl Fahrspuren ist nur gegeben, wenn die Foundationen nicht verstärkt werden müssen. Wünschbar wäre eine Verbreiterung auf eine nutzbare Breite von 6.0 m, da diese Breite den Minimalanforderungen für Bergstrassen im Kanton Schwyz entspricht. Andererseits weisen Bergstrassen keine Geraden von über 1000 m Längen mit dem entsprechenden Risiko von Raserexzessen auf. Deshalb wurde vereinbart, die Nutzbreite soweit zu vergrössern bis ein Kostensprung eintritt und dadurch ein wirtschaftliches Optimum überschritten wird.

Ein solcher Kostensprung tritt bei einer Fahrbahnbreite von 5.40 m ein, da bei breiteren Brücken nach Norm SIA 269/1 [11] Ziffern 10.2.1.5 nicht nur ein fiktiver Fahrstreifen von 3.0 m Breite, sondern die ganze Fahrbahnbreite mit einer verteilten Belastung zu beaufschlagen ist. Bei Breiten $b \geq 5.40$ m wären zudem nach Norm SIA 261 [8] Tabelle 9 zwei Achslastgruppen zu berücksichtigen.⁵

Die Verbreiterung geschieht durch die Ergänzung der Fahrbahnplatte um einen jeweils ca. 0.45 m breiten Streifen. Ein vorfabriziertes Betonelement gewährleistet sowohl den Konsolkopf, die (verlorene) Schalung der Untersicht als auch die Stirnschalung des Plattenstreifens. Um an der hoch beanspruchten Ober- und Innenseite der Konsolkopf Querfugen zu vermeiden, werden diese Flächen mit einer zusätzlichen Schicht UHFB aufgedoppelt.

Die Instandsetzungsphasen sind analog zur Variante I wie folgt:

1. Erneuerung des Korrosionsschutzes der Hauptträger möglichst bald (d.h. vor Ablauf der jetzigen Konzession, da der Zustand der Stahlbauteile unterhalb der Dilatationsfugen kritisch ist.
2. Erneuerung des kathodischen Korrosionsschutzes und der Beschichtung der Pfeiler bei entsprechender Gelegenheit.
3. Ersatz des Belags, Instandsetzung von Fahrbahnplatte, Geländer etc. und Verbreiterung der Brücke mit neuen vorfabrizierten Konsolköpfen, wenn die Nutzungsdauer des Belags erreicht ist, d.h. ca. 2030.
- Weitere Instandsetzungen nach Ablauf der Nutzungsdauern der jeweiligen Bauteile.

⁵ In [36] bedingt die Verbreiterung auf 5.50 m Nutzbreite eine Verstärkung der Druckgurte der Stahlträger, und gemäss [39] wird den Foundationen eine Mehrbelastung von 5% zugemutet.

5.4 Variante III, Verbreiterung um 1.5 m für Langsamverkehr

5.4.1 Konzept

Folgende Argumente führen zum Schluss, dass eine Verbreiterung um 1.50 m unter den gegebenen Randbedingungen nicht sinnvoll ist.

5.4.1.1 Anordnung der Verbreiterung

Eine beidseitige Verbreiterung des Brückenquerschnitts um 0.75 m für den Langsamverkehr kann dessen Bedürfnisse nicht abdecken, da eine solche Breite keinerlei Ausweichen innerhalb des Langsamverkehrsstreifens erlauben würde. Ohne Abschränkungen gegenüber der Fahrbahn wäre im Begegnungsfall ein Ausweichen auf diese zwar möglich, die Sicherheit gegenüber dem motorisierten Verkehr jedoch nicht gewährleistet.

Damit bleibt als Option nur eine einseitige Auskragung an die bestehende Brücke von 1.50 m Breite übrig.

5.4.1.2 Baustoff und Bauweise

Um die ständigen Lasten klein zu halten, ist nur eine Leichtkonstruktion denkbar.

- Gitterroste, wie sie bereits 1977 in [29] vorgeschlagen wurden, bringen kaum den erforderlichen Komfort und werden insbesondere von Tieren (Pferde, Hunde, etc.) ungern begangen.
- Riffelbleche vereisen bei entsprechender Witterung sofort und sind deshalb ebenfalls nicht geeignet.
- Holzbohlen sind wenig dauerhaft und die Aufnahme einer Einzellast von $Q_k = 10 \text{ kN}$, die auf einer kleinen Aufstandsfläche gefordert wird, stellt eine hohe Hürde dar (vgl. 5.1.3).
- Bei Kunststofffahrbahnen bestehen noch wenige Erfahrungen und die anzunehmende Einzellast stellt ebenfalls eine hohe Hürde dar.

Somit verbleibt als mögliche Variante eine orthotrope Stahlplatte mit Gussasphaltschicht.

5.4.1.3 Lastenbilanz

Eine orthotrope Stahlplatte mit Gussasphaltschicht wiegt etwa 2 kN/m^2 . Dies entspricht einer Zunahme der ständigen Einwirkungen um 6.3%, die überdies mit einer Exzentrizität von 3.25 m wirken. Da der Achsabstand der Pfahlbankette lediglich 2.86 m beträgt, werden die darunterliegenden Pfahlfundationen mit 107% der Zusatzlast belastet, was eine Erhöhung um über 11% darstellt. Eine solche liegt mit Sicherheit ausserhalb dem, was noch toleriert werden könnte.

Noch extremere Verhältnisse herrschen bei den Verkehrslasten (vgl. 5.1.3). Die anzusetzende Flächenlast von 4 kN/m^2 ergibt eine Linienlast von 6 kN/m , was 31.7% der bisherigen Verkehrslast darstellt.

5.4.1.4 Querverschub zur Reduktion der Exzentrizität

Ein Querverschub des ganzen Überbaus um die Exzentrizität zu reduzieren würde einen vorgängigen Umbau der Joche bedingen. Auch müsste der Verschub für die ganze Brücke gleichzeitig oder bei aufwendigen Verstärkungen im Gelenkbereich für Abschnitte von jeweils 175 m mit eingeschränkter nutzbarer Breite geschehen. Solche Aktionen sind nicht unmöglich, aber teuer und risikobehaftet und entschärfen das Faktum der unzulässigen Lasterhöhung nur teilweise.

5.4.2 Fazit

Aus all diesen Überlegungen geht hervor, dass eine Verbreiterung des bestehenden Viadukts um 1.5 m für Langsamverkehr weder sinnvoll noch mit dem in 3.3.1 begründeten Verzicht auf Fundamentverstärkungen technisch machbar und wirtschaftlich ist.

6 Variantenstudium

6.1 Variante I, Instandsetzung mit nutzbarer Breite 4.50 m

6.1.1 Statische Berechnungen

Die zusätzlichen statischen Berechnungen beschränken sich auf einen Vergleich der Einwirkungen am Überbauquerschnitt (Abbildung 5):

Gegenüber dem Status quo nimmt die ständige Last um 4% zu und die Verkehrslasten bleiben gleich. Die Last pro Joch vergrössert sich damit um 2.3%.

6.1.2 Arbeitsschritte Phase 1 (siehe auch [40])

- Absenken der Kanalisationsleitung um rund 1.80 m (prov. über ganze Länge)
- Entfernen der Brückenbeleuchtung
- Montage eines Arbeitsgerüsts über mehrere Spannweiten (z.B. 5x25 m = 125 m)
- Installation der Einhausung
- Vollflächiges Entfernen des PCB- und schwermetallhaltigen Korrosionsschutzes im Freihand-Druckluftstrahlverfahren
- Messen der Chloridbelastung
- Reinigen der Stahloberflächen
- Freilegen der Übergangsbereiche zwischen Stahl und Betonplatte (Untersicht)
- Zustandserfassung Tragkonstruktion
- Aufbringen der notwendigen Verstärkungen v.a. im Bereich der Gerbergelenke
- Reparatur/Ersatz der Lagerkonstruktionen
- Reparatur/Ersatz der Fahrbahnübergangskonstruktionen
- Schweissnahtkontrollen Ultraschall und Eindringprüfung
- Instandsetzung der Übergangsbereiche zwischen Stahl und Betonplatte (Untersicht)
- Aufbringen neuer Korrosionsschutz
- Wiedermontage der Brückenbeleuchtung
- Verschieben des Arbeitsgerüsts
- Wiedermontage der Kanalisationsleitung nach erfolgten Arbeiten.

6.1.3 Arbeitsschritte Phase 2

Bereiche über Wasser:

- Montage Zugangsplattformen
- Installation der Einhausung
- Vollflächiges Entfernen des PCB- und schwermetallhaltigen Korrosionsschutzes im Freihand-Druckluftstrahlverfahren
- Messen der Chloridbelastung
- Reinigen der Stahloberflächen
- Zustandserfassung Tragkonstruktion
- Aufbringen der notwendigen Verstärkungen
- Schweissnahtkontrollen Ultraschall und Eindringprüfung

- Aufbringen neuer Korrosionsschutz
- Verschieben der Zugänge und Einhausungen
- analoges Vorgehen in der Wechselzone mit erhöhten Anforderungen gemäss Bericht dsp [40]

Bereiche unter Wasser:

- Kathodischen Korrosionsschutz weiterführen, überwachen und allenfalls modifizieren gemäss Bericht dsp [40]

6.1.4 Arbeitsschritte Phase 3

- Demontage und Instandsetzung Brückenausrüstung (Entwässerung, Geländer und Kandelaber)
- Entfernen und Abtransport des Gussasphalts
- Entfernen der PBD-Abdichtung
- Einbauen Schutzgerüst wasserdicht (für Hochdruckwasserstrahlen und Schalen/Betonieren des Konsolkopfes)
- Aufrauen der Beton- und bestehenden Reprofiliermörteloberflächen mittels Hochdruckwasserstrahlen
- Abtrag loser Beton bei Fahrbahnplatte und Konsolköpfen (bei beschädigten Stellen)
- Abtrag des Überdeckungsbetons des Schrammbords, d. h. an der Innenseite der Konsolköpfe
- Entfernen der bestehenden Fahrbahnübergänge
- Ersatz der Hälfte der Dilatationen (Einfach-Dehnprofile) durch UHFB-Betongelenk
- Reduktion Spaltbreite bei ursprünglichen Doppel-Dehnprofilen auf Minimum mit Konstruktionsbeton; Einbau neuer Fahrbahnübergänge (z.B. TENSA®FLEX Typ RC 100 bzw. Typ RC 200) mit integrierter Entwässerungsrinne auf neuer Kote.
- Ausfräsen 30 cm Nut zwischen Rand- und Mittelbereich UHFB (Verzahnung mit Bestand)
- Schalen der Konsolköpfe
- Betonieren der UHFB Etappe Konsolkopf (siehe Abbildung 5), Handeintrag

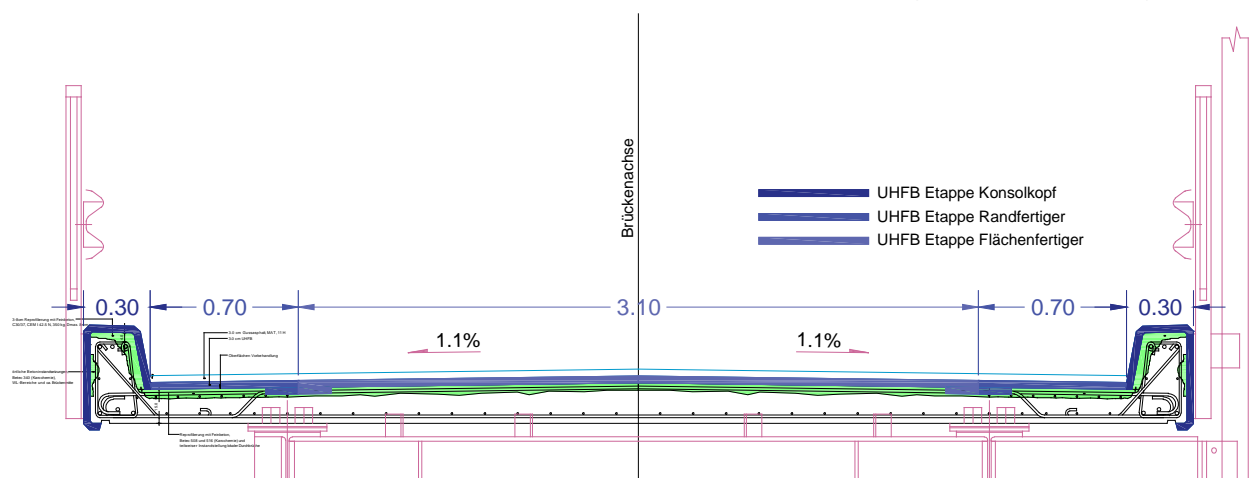


Abbildung 5 Variante I, Arbeitsschritte Phase 3

- Reprofilieren Bestand und Auftrag 4 cm-Schicht leicht bewehrter UHFB.
- Betonieren der UHFB Etappe Randfertiger (0.70 m breit beidseitig neben Konsolkopf, siehe Skizze), mit Randfertiger Implanis bis Mitte Verzahnungsnut. Der Randfertiger fährt in der Mitte und baut seitlich ein.
- Betonieren der UHFB Etappe Flächenfertiger (3.10 m breit im Mittelbereich, siehe Skizze), mit Flächenfertiger Implanis bis Mitte Verzahnungsnut (Flächenfertiger fährt mit Raupenauflagern auf den vorgängig erstellten Randbereichen 0.70 m
- Aufbringen 3.5 cm Gussasphalt (kann allenfalls entfallen, wenn UHFB-Technologie bis dann erlaubt, Rillen auszubilden).
- Ausbildung der Randfugen (Fugenmasse z.B. Febrag-DS164/SNV) abgestreut.
- Wiedermontage Brückenausrüstung (neue Kernbohrungen in Konsolkopf).

6.2 Variante II, Verbreiterung auf nutzbare Breite 5.40 m

6.2.1 Statische Berechnungen

Die zusätzlichen statischen Berechnungen beschränken sich auf einen Vergleich der Einwirkungen am Überbauquerschnitt (Abbildung 6):

Gegenüber dem Status quo nimmt die ständige Last um 5.3% zu und die Verkehrslasten bleiben gleich. Die Last pro Joch vergrößert sich damit um 3%.

6.2.2 Arbeitsschritte Phase 1

analog zu Variante I (vgl. 6.1.2)

6.2.3 Arbeitsschritte Phase 2

analog zu Variante I (vgl. 6.1.3)

6.2.4 Arbeitsschritte Phase 3

- Demontage und Instandsetzung Brückenausrüstung (Entwässerung, Geländer und Kandelaber)
- Entfernen und Abtransport des Gussasphalts
- Entfernen der PBD-Abdichtung
- Einbauen Schutzgerüst wasserdicht (für Hochdruckwasserstrahlen und Schalen/Betonieren des Konsolkopfes)
- Abbruch des bestehenden Konsolkopfs inkl. Fahrbahnplatte, Aufräumen der Beton- und bestehenden Reprofiliermörteloberflächen. Durch den Einsatz von Hochdruckwasserstrahlen bleibt die bestehende Bewehrung erhalten.
- Versetzen von vorfabrizierten hohlen Konsolkopf-Elementen (Gewichtsreduktion) in die Schalung.
- Ausbetonieren des ca. 0.45 m breiten Streifens der Fahrbahnplatte mit Konsolkopf-Elementen als Stirnschalung, Ausbilden einer Nut als UHFB-Stoss.
- Entfernen der bestehenden Fahrbahnübergänge
- Ersatz der Hälfte der Dilatationen (Einfach-Dehnprofile) durch UHFB-Betongelenk
- Reduktion Spaltbreite bei ursprünglichen Doppel-Dehnprofilen auf Minimum mit Konstruktionsbeton; Einbau neuer Fahrbahnübergänge (z.B. TENSA®FLEX Typ RC 100 bzw. Typ RC 200) mit integrierter Entwässerungsrinne auf neuer Kote.

- Schalen der Ummantelung der Konsolköpfe.
- Betonieren der UHFB Etappe Konsolkopf (siehe Abbildung 6), Handeintrag

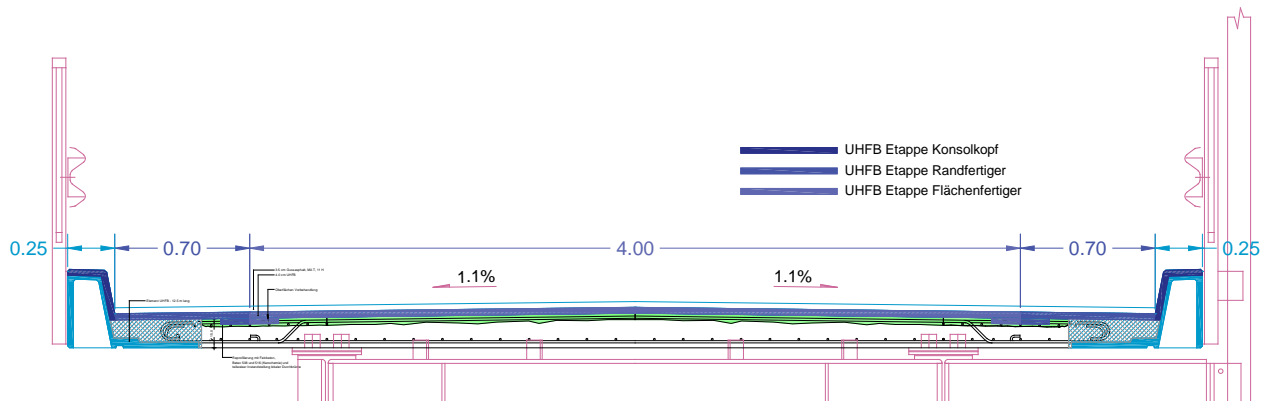


Abbildung 6 Variante II, Arbeitsschritte Phase 3

- Reprofilieren Bestand und Auftrag 4 cm-Schicht bewehrter UHFB.
- Betonieren der UHFB Etappe Randfertiger (0.70 m breit beidseitig neben neuem Konsolkopf, siehe Skizze), mit Randfertiger Implanzia bis Mitte Verzahnungsnut. Der Randfertiger fährt in der Mitte und baut seitlich ein.
- Betonieren der UHFB Etappe Flächenfertiger (4.00 m breit im Mittelbereich, siehe Skizze), mit Flächenfertiger Implanzia bis Mitte Verzahnungsnut (Flächenfertiger fährt mit Raupenauflagern auf den vorgängig erstellten Randbereichen 0.70 m
- Aufbringen 3.5 cm Gussasphalt (kann allenfalls entfallen, wenn UHFB-Technologie bis dann erlaubt, Rillen auszubilden).
- Ausbildung der Randfugen (Fugenmasse z.B. Febrag-DS164/SNV) abgestreut.
- Wiedermontage Brückenausrüstung (neue Kernbohrungen für die Geländerpfosten in den Stossbereichen der Konsolkopf-Elemente)

7 Chancen und Risiken

7.1 Kostenrisiken von Bauarbeiten

7.1.1 Vergleich mit Neubau

Wie aus Tabelle 6 ersichtlich, sind die Kosten einer Instandsetzung tiefer als ein Neubau, weil an einen solchen höhere Anforderungen (z. B. bezüglich Breite, Verkehrslast, Abschränkungen, Beleuchtung etc.) gestellt würden. Andererseits wären die Betriebsunterbrüche kürzer, wenn ein Neubau in einer parallelen Linienführung erstellt werden könnte.

Auch ein Neubau hat Erstellungsrisiken, da der Baugrund lokale Inhomogenitäten aufweisen kann.

7.1.2 Risiken von Altlasten

Gemäss der Machbarkeitsstudie von dsp [40] wurde bereits 2015 im Rahmen des Massnahmenprojekts in einer Probe der Korrosionsschutz-Beschichtung Asbest gefunden. Wir haben deshalb analog zu dsp für dessen fachgerechte Entfernung und Entsorgung einen Betrag von 2.5 Mio CHF in die Kosten eingerechnet.

7.1.3 Kostenrisiken zukünftiger Bauarbeiten

Bei einer Lebenszyklus-Betrachtung sind Kosten zu schätzen, die zum Teil fern in der Zukunft anfallen. Eine solche Schätzung hat eine beschränkte Genauigkeit, da Marktverhältnisse, Technologien und behördliche Vorschriften ändern können.

Da die Bauphasen 1 und 2 gemäss Abbildung 1 noch vor Ablauf der jetzigen Konzession durchzuführen ist, werden bei Antritt der neuen Konzession für diese Phasen keine Ausführungs- und Kostenrisiken mehr bestehen.

7.2 Risiken von nicht inspizierbaren Bauteilen

7.2.1 Foundationen

Foundationen sind in der Regel nicht inspizierbar und werden doch gebaut, weil es keine Alternativen gibt.

Die grösste Gefährdung von Foundationen in Gewässer ist die Kolkbildung, die im vorliegenden Fall infolge der vernachlässigbar kleinen Fliessgeschwindigkeiten im Stausee nicht auftritt.

7.2.2 Holzpfähle

Holzpfähle sind dauerhaft, wenn sie ständig mit Wasser gesättigt sind. Dies ist im vorliegenden Fall sichergestellt, da die Stauhaltung einen minimalen Wasserstand (880 m ü. M.) sicherstellt, der über der Kote der Pfahlbankette liegt. Dadurch sind die Pfähle bei minimalem Wasserstand auch nicht durch Wellenschlag gefährdet.

7.2.2.1 Sondierungen an vergleichbarem Objekt

Wie auch in [40] erwähnt, haben wir vorgeschlagen bei tiefem Wasserstand bei den nicht mehr gebrauchten Pfahlfoundationen des alten Steinbachviadukts Kernbohrungen in die Pfähle abzuteufen, um den guten Zustand des Pfahlholzes unter den konkreten Umweltbedingungen zu verifizieren.

Diese Kosten sind in der Kostenschätzung für Phase 2 berücksichtigt (Anhang A2, p. 2/6).

7.2.2.2 Empirische Analyse

Die Norm SIA 269 [10] stellt für solche Fälle die empirische Analyse zur Verfügung. Deren Ziffer 6.3.3.2 lautet:

"Bei einer empirischen Analyse darf eine genügende Tragsicherheit vermutet werden, wenn alle folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Es sind keine Schädigungen und Mängel feststellbar, welche die Tragfähigkeit mindern.
- Das Tragwerk hat über eine längere Nutzungsdauer ein befriedigendes Tragverhalten gezeigt.
- Ähnliche Erfahrungen mit dem Tragverhalten von vergleichbaren Tragwerken liegen vor.
- Für die Restnutzungsdauer sind keine Änderungen der Nutzung vorgesehen.
- Das Risiko eines Tragwerksversagens und dessen Folgen können als akzeptierbar eingestuft werden."

Im vorliegenden Fall sind die ersten vier Bedingungen sicher erfüllt. Einzig die letzte ist genauer zu beurteilen. Grundlage dazu bieten die Kriterien, die für ergänzende Sicherheitsmassnahmen zu beachten sind ([10] Ziffer 7.5.1). Tabelle 4 zeigt, wie diese Kriterien für den Willerzellerviadukt bewertet werden können.

Kriterium gemäss [10] Ziffer 7.5.1	Bewertung für den Willerzellerviadukt
Bedeutung des Tragwerks und Schadenpotenzial	Der Willerzellerviadukt stellt nicht die einzige Verbindung nach Willerzell dar. Ein Ausfall wäre zu verkraften, der Schaden wäre auf den Viadukt oder Teile davon beschränkt.
Art des Tragwerkversagens	Ein Versagen einer Pfahlfundation wäre ein langsamer Prozess, der sich durch zunehmende und sichtbare Setzungen ankündigen würde.
Überwachbarkeit des Tragverhaltens	Das Tragverhalten kann durch periodische Nivellements, wie dies bereits heute geschieht, einfach überwacht werden.
Kontrollierbarkeit der Nutzung	Durch die beschränkte nutzbare Breite ist ein Kreuzen von zwei schweren Lastwagen praktisch ausgeschlossen. Es kann wohl kaum verhindert werden, dass einzelne Fahrzeuge die Lastbeschränkung missachten. Ein Stau solcher Fahrzeuge mit minimalen Abständen kann wohl eher ausgeschlossen werden, da er der Polizei eine ideale Gelegenheit böte, ein Überschreiten der Lastbeschränkung zu ahnden.
Kosten-Risiko-Überlegungen	Solche Überlegungen finden ihren Niederschlag in den Prämien entsprechender Versicherungen. Der Kanton Schwyz hat keine eigene kantonale Gebäudeversicherung, sondern basiert auf der Privatassekuranz. Wie weit diese auch Infrastrukturbauwerke versichert, ist uns nicht bekannt. Durch eine diesbezügliche Anfrage liesse sich das Risiko beziffern.
Möglichkeiten der Schadenbegrenzung	Die Sperrung des Viadukts für den Verkehr ist einfach durchführbar. Damit kann Personenschaden vermieden werden. Der Willerzellerviadukt ist durch die Dilatationen in unabhängige Abschnitte unterteilt. Durch das Aushängen eines Einhänge-trägers – was von einer schwimmenden Plattform aus relativ schnell geschehen könnte – liesse sich ein progressiver Einsturz vermeiden.

Tabelle 4 Kriterien für ergänzende Sicherheitsmassnahmen

7.2.2.3 Fazit

Die Risiken der nicht inspizierbaren Pfahlfundation sind begrenzt und beherrschbar. Ergänzende Sicherheitsmassnahmen sind zum Teil bereits implementiert und können das Risiko weiter senken. Somit können das Restrisiko eines Tragwerksversagens und dessen Folgen akzeptiert werden

7.2.3 Risiken des kathodischen Korrosionsschutzes (KKS)

Die Machbarkeitsstudie von dsp [40] basiert auf der Annahme, dass die Joche unterhalb des Wasserspiegels für weitere 80 Jahre mittels eines z.T. erneuerten KKS erhalten werden können. Diese Annahme wird gestützt durch das Schreiben der KONTRA KORROSION Rickenbacher GmbH vom 20.01.2018 ([40], Anhang 5) und weitgehend auch durch den Bericht der Schweizerischen Gesellschaft für Korrosionsschutz vom 10.11.2017 ([40], Anhang 4).

Wir haben diesen Beurteilungen von ausgewiesenen Spezialisten nichts beizufügen.

7.2.4 Risiken der heutigen Stahlkonstruktion – Gerbergelenke

Gerbergelenke werden heute kaum mehr angewendet, da sie höchst anfällig und nicht redundant sind. Sie liegen meist im Bereich der grössten Beschädigungen unterhalb der Fahrbahnübergänge und stellen typischerweise das schwächste Element im Längstragwerk dar. Deren Versagen hätte den Absturz eines Einhängerträgers, d.h. einen Teileinsturz des Viadukts zur Folge (Abbildung 7).

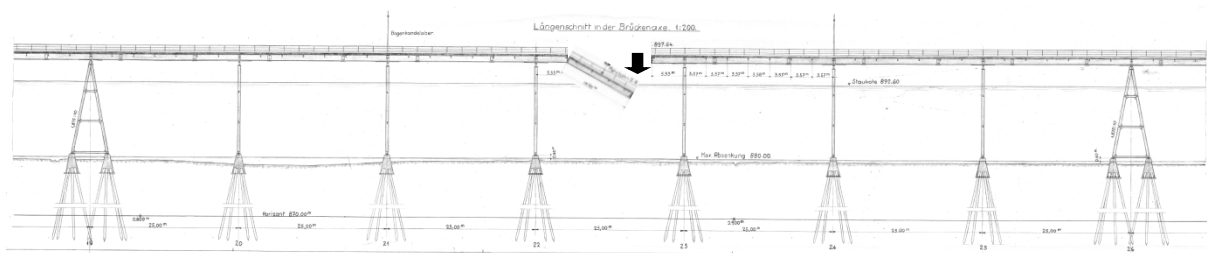


Abbildung 7 Versagensmechanismus bei Ausfall eines Gerbergelenks

Der Zustand der Stahlkonstruktion ist nach unserer Meinung in diesen Zonen schlecht bis alarmierend (Abbildung 8). Die Massnahmen gemäss dem Bericht der Professoren Fontana und Frangi [35] sind deshalb umzusetzen.



Abbildung 8 Zustand Bereich Gerbergelenk (aus [35])

8 Kosten

8.1 Erhaltungsstrategie

Den Kostenschätzungen wird die Erhaltungsstrategie, wie sie in Abbildung 9 dargestellt ist, zugrunde gelegt.

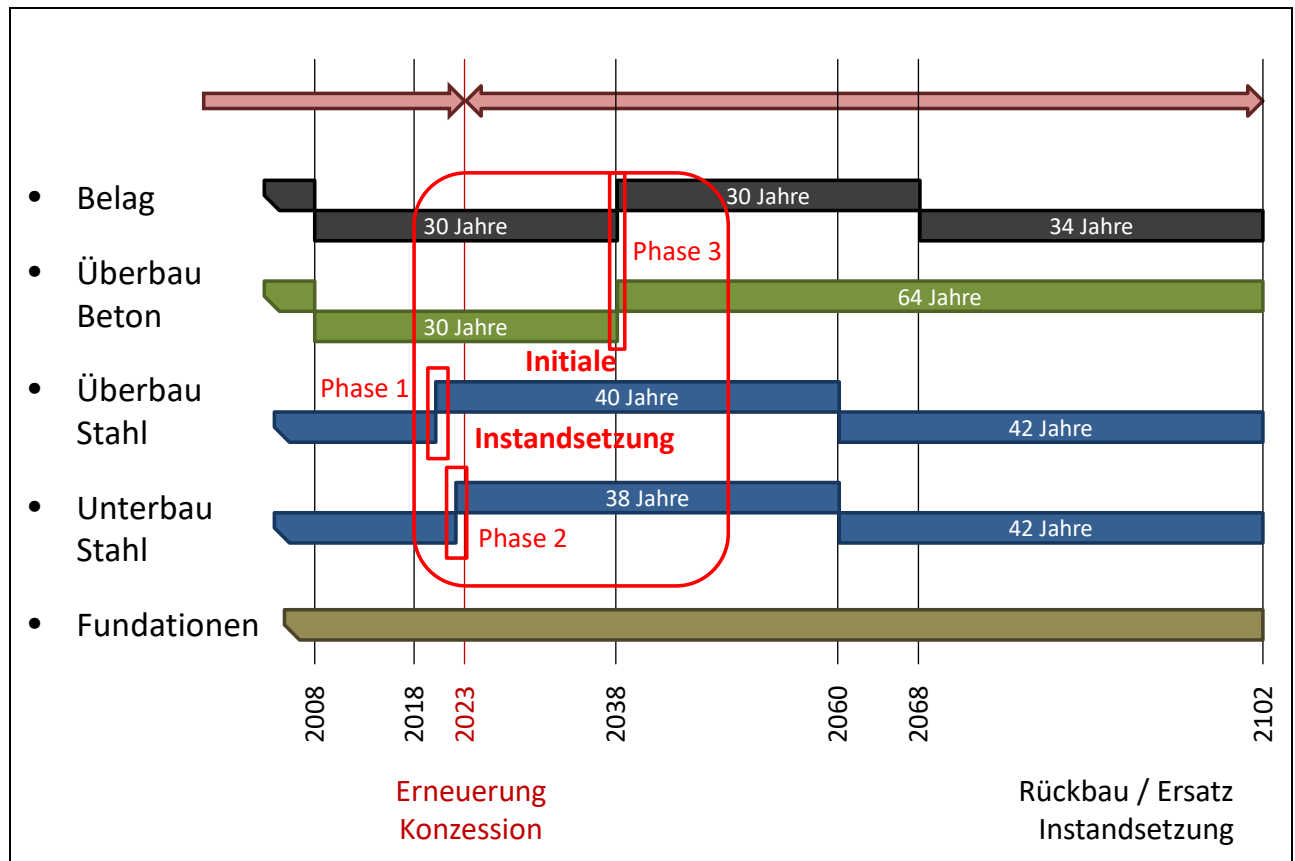


Abbildung 9 Erhaltungsstrategie

Die initiale Instandsetzung umfasst den Ersatz des Korrosionsschutzes und allfällige lokale Verstärkungen des Überbaus (Phase 1, ca. 2020), die Massnahmen am Stahlbau des Unterbaus (Phase 2, ca. 2022) und den nächsten Ersatz des Belags und die bei dieser Gelegenheit auszuführende Instandsetzung/Erweiterung des Betonüberbaus (Phase 3, ca. 2038).

Sowohl Korrosionsschutz als auch Belag müssen in der Restnutzungsdauer noch einmal erneuert bzw. ausgewechselt werden.

Wird Phase 3 vorgezogen, um z.B. die Brücke bereits früher verbreitern zu können, fällt allenfalls auch beim Betonüberbau eine weitere Instandsetzung an.

8.2 Initiale Instandsetzungskosten

8.2.1 Etappierung

Wie in 3.2.1, 5.2 und 5.3 erläutert, sollten die Instandsetzungen in verschiedenen Phasen durchgeführt werden, so dass deren Kosten zu verschiedenen Zeitpunkten anfallen. Phase 1 und Phase 2 sind bei beiden verbliebenen Instandsetzungsvarianten identisch; lediglich in Phase 3 unterscheiden sich die Varianten I und II.

8.2.2 Methodik

Die initialen Instandsetzungskosten wurden in Anlehnung an den elementbasierten Baukostenplan Tiefbau (eBKP-T) der CRB [5] ermittelt. Die erreichbare Genauigkeit beträgt $\pm 30\%$. Auf Wunsch der Auftraggeber werden im Text alle Kosten ohne Mehrwertsteuer aufgeführt.

8.2.3 Instandsetzungs- und Erweiterungskosten

8.2.3.1 Phase 1 (*Korrosionsschutz/Verstärkungen Hauptträger*)

Die Instandsetzungskosten der Phase 1 wurden weitgehend aus dem Bauprojekt für eine Instandsetzung von bpp Ingenieure AG [33] übernommen und betragen CHF 6'272'000. Details sind aus Tabelle 5 und Seite 1/6 im Anhang A2 ersichtlich.

8.2.3.2 Phase 2 (*Joche*)

Die Instandsetzungskosten der Phase 2 basieren unter anderem auf Richtofferten ([61] und [63]) und entsprechen weitgehend den Kosten, die dsp in [40] ausweist⁶. Sie betragen CHF 8'592'000. Details sind aus Tabelle 5 und Seite 2/6 im Anhang A2 ersichtlich.

8.2.3.3 Phase 3, Variante I (*Überbau, nutzbare Breite 4.50 m*)

Die Instandsetzungskosten der Phase 3 für Variante I wurden auf Grund von Schätzungen und einer Richtofferte [62] ermittelt und betragen CHF 5'969'000. Details sind aus Tabelle 5 und Seite 3/6 und 4/6 im Anhang A2 ersichtlich.

8.2.3.4 Phase 3, Variante II (*Überbau, nutzbare Breite 5.40 m*)

Die Instandsetzungs- und Erweiterungskosten der Phase 3 für Variante II wurden auf Grund von Schätzungen und einer Richtofferte [62] ermittelt und betragen CHF 7'716'000. Details sind aus Tabelle 5 und Seite 5/6 und 6/6 im Anhang A2 ersichtlich.

8.2.4 Plausibilitätsüberlegungen

Die Kosten der initialen anstehenden Instandsetzung (Phasen 1-3) belaufen sich somit auf CHF 20'833'000 für Variante I und auf CHF 22'580'000 für Variante II.

Gemäss Tabelle 6 ergibt dies Kosten von CHF 3'664 bzw. 3'432 pro m² Brückenfläche. Bezieht man diese Kosten auf eine Zeitdauer von 40 Jahren (2020-2060), ergeben sich Jahreskosten von CHF 91.60 bzw. 85.80 pro m² und Jahr. Verglichen mit Wiederherstellungskosten von CHF 5'200/a⁷ ergibt dies 1.76 bzw. 1.65%, was im üblichen Rahmen liegt.

⁶ Die Rückstellung für allfälliges Entfernung und Entsorgung von Asbest (vgl. 7.1.2) ist in Pos. O4.3 enthalten und pro Brückenpfeiler aufgeführt.

⁷ In Anlehnung an den in [34] verwendeten Wert von CHF 5'182/m².

Hauptgruppe	Elementgruppe	Variante	I & II		I & II		I		II	
		Phase	1		2		3		3	
			Korrosionsschutz Hauptträger		Joch		Überbau 4.50 m		Überbau 5.40 m	
		Text	Haupt- gruppe [CHF]	Element- gruppe [CHF]	Haupt- gruppe [CHF]	Element- gruppe [CHF]	Haupt- gruppe [CHF]	Element- gruppe [CHF]	Haupt- gruppe [CHF]	Element- gruppe [CHF]
L		Vorbereitung Tiefbau	2'941'838		3'499'856		2'068'676		2'111'068	
	L1	Untersuchung, Aufnahme, Messung		236'838		498'856		86'163		128'556
	L2	Baustelleneinrichtung		1'505'000		1'483'000		661'250		661'250
	L3	Provisorium						60'000		60'000
	L4	Rückbau Bauwerk						525'263		525'263
	L6	Gerüst		1'200'000		1'518'000		736'000		736'000
O		Konstruktion Kunstbauten	2'231'139		3'568'895		1'680'750		2'986'770	
	O1	Fundament				224'895		12'240		24'480
	O4	Unterbau Brücke				3'144'000		28'560		53'040
	O5	Überbau Brücke		2'151'139				1'590'450		2'859'750
	O6	Brückenlager, Fahrbahnübergang		80'000				49'500		49'500
	O7	Spezialkonstruktion				200'000				
Q		Leitungsbau	20'000							
	Q1	Entwässerung, Kanalisation		20'000						
R		Fahrbahn					517'115		613'818	
	R1	Oberbau Strasse						408'015		489'618
	R2	Markierung, Signal						109'100		124'200
S		Betriebs-, Sicherheitsanlage					51'750		62'100	
	S2	Beleuchtung						51'750		62'100
T		Ausrüstung					622'500		622'500	
	T1	Rückhaltesystem						562'500		562'500
	T4	Wasser-, Gas-, Druckluftanlage						60'000		60'000
V		Planungskosten	1'038'595		1'413'750		988'158		1'279'251	
	V1	Planer		778'947		1'060'313		741'119		959'438
	V3	Auftraggeber		259'649		353'438		247'040		319'813
W		Nebenkosten zu Erstellung	40'000		209'000		40'000		40'000	
	W1	Bewilligung, Gebühr		10'000		70'000		10'000		10'000
	W2	Versicherung, Garantie		20'000		70'000		20'000		20'000
	W4	Öffentlichkeitsarbeit		10'000		69'000		10'000		10'000
Total exkl. Mehrwertsteuer		gerundet	6'271'572		8'691'501		5'968'949		7'715'507	
Mehrwertsteuer			6'272'000		8'592'000		5'969'000		7'716'000	
Z		Mehrwertsteuer	501'726		695'320		477'516		617'241	
	Z1	Mehrwertsteuer		501'726		695'320		477'516		617'241
Total inkl. Mehrwertsteuer			6'773'298		9'386'821		6'446'465		8'332'748	

Tabelle 5 Initiale Instandsetzungskosten nach eBKP-T

Variante Nutzbare Breite		Variante I 4.50 m	Variante II 5.40 m
Länge	[m]	1'115	1'115
Breite	[m]	5.10	5.90
Brückenfläche	[m ²]	5'687	6'579
Wiederbeschaffungswert	[CHF/m ²]	5'200	5'200
	[CHF]	29'569'800	34'208'200
Kosten initiale Instandsetzung	[CHF]	20'833'000	22'580'000
	[CHF/m ²]	3'664	3'432
Zugehöriger Zeitraum	[a]	40	40
Jahreskosten	[CHF/a]	520'825	564'500
	[CHF/m ² a]	91.59	85.81
Bruchteil Wiederbeschaffungswert	[%]	1.76	1.65

Tabelle 6 Plausibilität der initialen Instandsetzungskosten

8.3 Kosten späterer Erhaltungsmassnahmen

Die Kosten weiterer Instandsetzungen und Instandhaltungen werden auf Grund der zu erwartenden Arbeiten geschätzt. Die Arbeitsgattungen entsprechen denjenigen der initialen Instandsetzungen, jedoch werden nicht alle Positionen im selben Umfang notwendig sein. Die erreichbare Genauigkeit beträgt ebenfalls $\pm 30\%$. Alle Kosten im Text sind ohne Mehrwertsteuer aufgeführt.

8.3.1 Erneuerung Korrosionsschutz

Etwa im Jahr 2060 wird der Korrosionsschutz aller Stahlteile zu überprüfen und auszubessern oder zu ersetzen sein. Die diesbezüglichen Kosten wurden aus Phasen 1 und 2 der initialen Kosten hergeleitet und belaufen sich auf CHF 9'302'000. Details sind aus Tabelle 7 ersichtlich.

8.3.2 Ersatz Belag

Etwa im Jahr 2068 wird es notwendig sein, den Belag zu ersetzen, die Konsolköpfe und die Geländer instand zu setzen. Die diesbezüglichen Kosten wurden aus Phase 3 der initialen Kosten hergeleitet und belaufen sich auf CHF 2'848'000 für Variante I und CHF 3'168'000 für Variante II. Details sind aus Tabelle 7 ersichtlich.

Hauptgruppe	Element- gruppe	Variante	I & II		I		II	
		Phase	Erneuerung Korrosionsschutz		Ersatz Belag 4.50 m		Ersatz Belag 5.40 m	
		Text	Haupt- gruppe [CHF]	Element- gruppe [CHF]	Haupt- gruppe [CHF]	Element- gruppe [CHF]	Haupt- gruppe [CHF]	Element- gruppe [CHF]
L		Vorbereitung Tiefbau	4'802'484		984'633		1'016'582	
	L1	Untersuchung, Aufnahme, Messung		353'484		27'108		31'802
	L2	Baustelleneinrichtung		1'731'000		661'250		661'250
	L3	Provisorium				60'000.-		60'000.-
	L4	Rückbau Bauwerk				136'275		163'530
	L6	Gerüst		2'718'000		100'000		100'000
O		Konstruktion Kunstbauten	2'721'877		164'020		291'670	
	O1	Fundament		224'895		12'240		24'480
	O4	Unterbau Brücke		644'000		28'560		53'040
	O5	Überbau Brücke		1'626'582		113'320		204'250
	O6	Brückenlager, Fahrbahnübergang		26'400		9'900		9'900
	O7	Spezialkonstruktion		200'000				
Q		Leitungsbau	20'000					
	Q1	Entwässerung, Kanalisation		20'000				
R		Fahrbahn			517'115		613'818	
	R1	Oberbau Strasse				408'015.-		489'618
	R2	Markierung, Signal				109'100.-		124'200
S		Betriebs-, Sicherheitsanlage			51'750		62'100	
	S2	Beleuchtung				51'750.-		62'100
T		Ausrüstung			622'500		622'500	
	T1	Rückhaltesystem				562'500		562'500
	T4	Wasser-, Gas-, Druckluftanlage				60'000		60'000
V		Planungskosten	1'508'872		468'004		521'334	
	V1	Planer		1'131'654		351'003		391'000
	V3	Auftraggeber		377'218		117'001		130'333
W		Nebenkosten zu Erstellung	249'000		40'000		40'000	
	W1	Bewilligung, Gebühr		80'000		10'000		10'000
	W2	Versicherung, Garantie		90'000		20'000		20'000
	W4	Öffentlichkeitsarbeit		79'000		10'000		10'000
Total exkl.			9'302'233		2'848'021		3'168'004	
Mehrwertsteuer		gerundet	9'302'000		2'848'000		3'168'000	
Z		Mehrwertsteuer	744'179		227'842		253'440	
	Z1	Mehrwertsteuer		744'179		227'842		253'440
Total inkl. Mehrwertsteuer			10'046'412		3'075'863		3'421'444	

Tabelle 7 Kosten späterer Instandsetzungen nach eBKP-T

8.4 Kosten von Überwachung und Instandhaltung

Die Überwachung umfasst nach [7] Beobachtungen, Inspektionen und Kontrollmessungen.

Die Instandhaltung bezweckt nach [7] das Bewahren der Gebrauchstauglichkeit durch regelmässige Massnahmen und umfasst den betrieblichen sowie den planbaren regelmässigen baulichen Unterhalt.⁸

Für Überwachung und Instandhaltung wurden pro Jahr 0.2% des Wiederbeschaffungswerts angesetzt.

⁸ Die Abgrenzung von betrieblichem und baulichem Unterhalt ist nicht scharf, sondern von der Organisation von Eigentümer und Benutzer abhängig.

8.5 Rückbaukosten nach Ablauf der Nutzungsdauer

Für die Rückbaukosten wird die Schätzung von 4 Mio CHF, d.h. 712 CHF/m², aus dem Bericht von Prof. Schalcher [34] übernommen und auf die neuen Brückenbreiten umgerechnet. Daraus ergeben sich folgende Rückbaukosten (Genauigkeit ±30%):

- Variante I: CHF 4'048'000
- Variante II: CHF 4'683'000

8.6 Lebenszykluskosten

Für die Lebenszykluskosten werden nicht nur die Baukosten, sondern auch die baulichen Instandhaltungs-, die Instandsetzungs- und die Rückbaukosten ermittelt. Da diese Kosten zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen werden, sind sie mit einem kalkulatorischen Zinssatz auf denselben Zeitpunkt zu diskontieren (Barwertmethode).

Für den Zeitpunkt des Auftretens der Kosten werden die Annahmen von Abbildung 9 verwendet. Eine Verschiebung um ± einige Jahre ist jedoch nicht entscheidend, da bei den Ungenauigkeiten ohnehin die Streubreiten der Kostenschätzungen dominieren.

Im vorliegenden Fall sind lediglich zukünftige Kosten, d.h. solche, die während der angenommenen Restnutzungsdauer von 80 Jahren anfallen, von Belang. Mit den Auftraggebern wurde vereinbart, die Diskontierung auf den Zeitpunkt des Beginns der neuen Konzession (01.01.2023) einerseits mit dem von Prof. Schalcher in [34] vorgeschlagenen Diskontsatz von 1.44%, andererseits mit 4.5%, wie ihn die SBB AG für Abzinsung von Investitionen verwenden, durchzuführen.

Tabelle 8 enthält die Aufzinsungs- und Diskontierungsfaktoren für die einmalig auftretenden Kosten sowie den Rentenbarwertfaktor für die jährlich auftretenden Instandhaltungskosten.

Jahr	Grundlage	Bauphase	Faktoren	Diskontsatz		
				0%	1.44%	4.50%
2020	Kosten [CHF]	Instandsetzung Phase 1	Aufzinsung~	1.0	1.0438	1.1412
2022	Kosten [CHF]	Instandsetzung Phase 2	Aufzinsung~	1.0	1.0144	1.0450
2038	Kosten [CHF]	Instandsetzung Phase 3	Diskontierungs~	1.0	0.8070	0.5167
2060	Kosten [CHF]	Erneuerung Korrosionsschutz	Diskontierungs~	1.0	0.5892	0.1962
2068	Kosten [CHF]	Ersatz Belag	Diskontierungs~	1.0	0.5255	0.1380
2018 -2102	Jahreskosten [CHF/a]	Instandhaltung	Rentenbarwert~	85.0	53.2203	28.2527
2102	Kosten [CHF]	Rückbau	Diskontierungs~	1.0	0.3186	0.0296

Tabelle 8 Aufzinsungs-, Diskontierungs- und Rentenbarwertfaktoren auf den Zeitpunkt der Neukonzession (01.01.2023)

Tabelle 9 enthält die auf den 1.1.2023 diskontierten Barwerte der Kosten der verschiedenen Bauetappen. Die Summe der Instandsetzungskosten der Phasen 1 bis 3 ergibt die initialen Instandsetzungskosten gemäss Abbildung 9.

Variante Nutzbare Breite		Variante I 4.50 m			Variante II 5.40 m		
Jahr	Diskontsatz	nominal 0%	1.44%	4.50%	nominal 0%	1.44%	4.50%
2020	Instandsetzung Phase 1	6'272'000	6'547'000	7'157'000	6'272'000	6'547'000	7'157'000
2022	Instandsetzung Phase 2	8'592'000	8'716'000	8'979'000	8'592'000	8'716'000	8'979'000
2038	Instandsetzung Phase 3	5'969'000	4'817'000	3'084'000	7'716'000	6'227'000	3'987'000
2020-2038	Initiale Instandsetzung	20'833'000	20'080'000	19'220'000	22'580'000	21'490'000	20'123'000
2060	Erneuerung Korrosionsschutz	9'302'000	5'481'000	1'825'000	9'302'000	5'481'000	1'825'000
2068	Ersatz Belag	2'848'000	1'497'000	393'000	3'168'000	1'665'000	437'000
2018-2102	Instandhaltung	5'027'000	3'147'000	1'671'000	5'815'000	3'641'000	1'933'000
2103	Rückbau	4'048'000	1'290'000	120'000	4'683'000	1'492'000	138'000
2018-2102	Übrige Erhaltungskosten, Rückbau	21'225'000	11'415'000	4'009'000	22'968'000	12'279'000	4'333'000
Lebenszykluskosten		42'058'000	31'495'000	23'229'000	45'548'000	33'769'000	24'456'000

Tabelle 9 Gerundete Barwerte der Kosten pro Bauphase und der Lebenszykluskosten [CHF]

Somit beträgt der Barwert der initialen Instandsetzungskosten je nach Diskontsatz CHF 20'080'000 bzw. CHF 19'220'000 für Variante I und CHF 21'490'000 bzw. CHF 20'123'000 für Variante II.

8.7 Von Dritten ermittelte Kosten

8.7.1 Massnahmenkonzept 2012

Das Ingenieurbüro Flückiger + Bossart AG ermittelte im Jahr 2012 im Rahmen des Massnahmenkonzepts [32] verschiedene Varianten von der Teilinstandsetzung für 15 Jahre bis zum Totalersatz. Am ehesten vergleichbar ist ihre Variante 4 mit 100% Erneuerung des Korrosionsschutzes (C4) für eine Restnutzungsdauer von 50 Jahren. Daneben umfasst sie den Ersatz der Dichtprofile bei den Fahrbahnübergängen, aber nur lokale Betoninstandsetzung an der Fahrbahnplattenuntersicht, an der Aussenansicht der Randborde und an den Widerlagern.

Die Baukosten wurden auf CHF 3'810'000 geschätzt, die Gesamtkosten (inkl. Verkehrsführung, Signalisation, Zustandsuntersuchung und Massnahmenkonzept, Projektierung, Bauleitung, Nebenkosten, Qualitätssicherung, Überwachung der Gesamtstaub-, Blei- und PCB-Immission auf CHF 4'400'000 ($\pm 20\%$, inkl. MwSt.).

8.7.2 Bauprojekt 2014

Das auf [32] basierende Bauprojekt des Ingenieurbüros bpp Ingenieure AG wies für denselben Arbeitsumfang folgenden Kostenvoranschlag ($\pm 10\%$, inkl. MwSt.) aus:

• Bauhauptarbeiten	CHF	9'774'000
• Baunebenarbeiten	CHF	28'080
• Dienstleistungen	CHF	552'960
• Landerwerb, Entschädigungen, Gebühren	CHF	13'000
• TOTAL	CHF	10'368'040

8.7.3 Grundlagen Neukonzessionierung

Im Rahmen der Studie Erschliessung Willerzell des Tiefbauamts des Kantons Schwyz wurde auch eine Variante "Sanierung" betrachtet. Die Kosten hierfür stammen aus den Grundlagen des Themenpakets 1 "Sihlsee und Infrastruktur" für die Neukonzessionierung Etzelwerk. Die Erstellungskosten für die Variante "Sanierung" werden auf 24.5 Mio. CHF geschätzt und umfassen die Sanierung der Tragkonstruktion, eine spätere Zwischensanierung des Oberbaus, einen späteren Rückbau des Viadukts und Ersatz der heute am Viadukt hängenden Schmutzwasserleitung. Die Breite der Fahrbahn beträgt weiterhin 4.5 m und die Nutzlast 16 Tonnen. Für die Restnutzungsdauer der Variante „Sanierung“ wurden rund 40 Jahren angenommen (nach [38]).

Diese Kosten stimmen einigermaßen mit den von uns berechneten für eine initiale Instandsetzung mit der heutigen Nutzbreite (Variante I) von 20.833 Mio. CHF überein.

8.7.4 Strategien für eine zukünftige Nutzung 2017

Prof. Brühwiler bezeichnet in seinem Gutachten [36] die vollständige Instandsetzung als Strategie A und die Verbreiterung auf 5.50 m als Strategie B und weist folgende Kosten aus (ohne MwSt.):

		Strategie A	Strategie B
• Erneuerung des Korrosionsschutzes	CHF	6.5 Mio	6.5 Mio
• Ertüchtigung der Fahrbahnplatte	CHF	1.7 Mio	3.5 Mio
• Umbau Gerbergelenke	CHF	0.5 Mio	0.5 Mio
• Ausrüstungsteile	CHF	0.3 Mio	0.3 Mio
• TOTAL	CHF	9.0 Mio	10.8 Mio

Die Erneuerung des Korrosionsschutzes umfasst lediglich den Überbau und den Kopfbereich der Joche und entspricht somit unserer Phase 1 und einem kleinen Anteil an Phase 2. Die Kosten liegen in derselben Grössenordnung wie die von uns ermittelten für Phase 1 (6.773 Mio. CHF).

Die Kosten für die Arbeiten am Überbau (Strategie A \approx Variante I, Strategie B \approx Variante II) decken wohl einige Positionen ab, die wir auch ermittelt haben; andere fehlen jedoch oder wurden unterschätzt, wie

- Abbruch und Entsorgung von Gussasphalt und Bitumendichtungsbahnen (0.525 Mio. CHF)
- eine wasserdichten Gerüstung unter den Betonierarbeiten (0.736 Mio. CHF)
- neue Beläge auf Brücke und Widerlager (0.408 bzw. 0.490 Mio. CHF)
- die Instandsetzung der Joche über den Kopfbereich hinaus (Schwerpunkt unserer Phase 2, 8.592 Mio CHF)
- Planungs- und Nebenkosten.

8.7.5 Machbarkeitsstudie Langsamverkehrsverbindung mit Kostenschätzung 2017

Die Ingenieurfirma dsp Ingenieure und Planer AG bestimmte in [40] Gesamtkosten für eine Fuss- und Radwegbrücke mit neuem Überbau und Verwendung der bestehenden Pfahljoche und Foundationen mit zwei verschiedenen Tragsystemen und Brückenbreiten von 3.5 bzw. 4.5 m.

Die Kosten für die Brückenbreite 4.5 m mit Genauigkeit $\pm 30\%$ schlüsseln sich wie folgt auf:

Ersatz Überbau		Trägerrost	Verbund
• Baukosten	CHF	13'133'000	13'421'000
• Honorare und Nebenkosten	CHF	2'890'000	2'953'000
• Gesamtkosten exkl. MwSt	CHF	16'023'000	16'374'000

Diese Kosten können direkt mit unseren Instandsetzungskosten des Überbaus (Phasen 1 und 3, Variante I) verglichen werden (12.241 Mio. CHF exkl. MwSt).

Instandsetzung Joche		beide Varianten
• Baukosten	CHF	6'954'000
• Honorare und Nebenkosten	CHF	1'531'000
• Gesamtkosten exkl. MwSt	CHF	8'485'000

Diese Kosten können direkt mit unseren Instandsetzungskosten der Joche (Phase 2) verglichen werden (8.592 Mio. CHF).

8.7.6 Wiederbeschaffungswert

Da der Wiederbeschaffungswert als Grundlage verschiedener Anteile der Lebenszykluskosten dient, werden in der Folge bereits ermittelte Kosten eines Neubaus aufgeführt.

In Massnahmenkonzept von Flückiger + Bosshart AG [32] werden für einen Totalersatz der bestehenden Brücke 35 Mio. CHF aufgeführt.

Prof. Schalcher bestimmt in [34] auf Grund der Einheitskosten des Steinbachviadukts (CHF 5'182/m²) für den Willerzellerviadukt Neubaukosten von CHF 28'889'700. Dazu zählt er 4.0 Mio. CHF für Pfahlfoundationen und 4.0 Mio. CHF für den Abbruch der bestehenden Brücke, was schliesslich CHF 36'889'700 ergibt.

8.7.7 Abbruchkosten

Die Abbruchkosten von ca. 4.0 Mio CHF würden auch anfallen, wenn der Viadukt nach Ablauf der jetzigen Konzession abgebrochen würde (Ohnehin-Kosten).

9 Schlussfolgerungen

9.1 Sichernde Sofortmassnahmen

Sichernde Sofortmassnahmen sind umzusetzen, wenn ihre Berechtigung nicht widerlegt werden kann.

Die Professoren Fontana und Frangi empfehlen in [35] unter anderem, die aktuell zulässige Nutzlast (Postauto 18 t) auf Personenkraftwagen (3.5 t) zu beschränken. Sie begründen diese Empfehlung mit der starken Reduktion der Beanspruchung der Stahlkonstruktion bei Reduktion der Nutzlast. Wir übernehmen diese Empfehlung, da sie die ausgewiesenen Fachleute sind und wir – im Gegensatz zu ihnen – die entsprechenden Bauteile nicht inspiziert haben.

Falls die Tragsicherheit der Gerbergelenke durch eine detaillierte Inspektion und allenfalls erforderliche Instandsetzung belegt werden kann, kann die Beschränkung relativiert oder aufgehoben werden.

9.2 Erhaltungswert

Die Erhaltung des Willerzellerviadukts ist sinnvoll.

Der Willerzellerviadukt ist ein Zeuge des Ausbaus der Wasserkraft in der Zwischenkriegszeit, um von ausländischen Energieimporten unabhängiger zu werden.

Nach dem Abbruch des ersten Steinbachviadukts ist der Willerzellerviadukt der einzige verbliebene Zeuge einer materialeffizienten Verbundbauweise weit über den Sihlsee hinaus.

Trotz der eingeschränkten Breite wird der Viadukt in der Bevölkerung von allen Verkehrsteilnehmern geschätzt. In der Periode 2011-2016 sind auf dem Willerzellerviadukt keine Strassenverkehrsunfälle mit Personenschaden rapportiert [65].

Im Übrigen wird auf die Argumentation von Prof. Brühwiler ([36], Kapitel 3.2) verwiesen, der auf diesem Gebiet ein ausgewiesener Experte ist.

9.3 Dauerhaftigkeit

Die Erhaltung des Willerzellerviadukts für weitere 80 Jahre ist möglich.

Voraussetzung für den Weiterbestand des Willerzellerviadukts ist, dass die Instandsetzungen Phase I (Überbau Stahl) unverzüglich, d.h. sicher vor Ablauf der Konzession, in Angriff genommen werden.

Die Instandsetzungen Phase II (Unterbau Stahl) sind – allenfalls unter Einbezug übergeordneter Ziele und Randbedingungen – zeitlich festzulegen und zu planen. Für die Jochbereiche unter dem Tiefstwasserspiegel sind Alternativen und Ergänzungen zum KKS einzubeziehen.

Die Instandsetzung (Variante I) und allfällige Erweiterung (Variante II) des Überbaus, d.h. die Phase 3 kann hinausgeschoben werden, bis die Gebrauchstauglichkeit des jetzigen Belags nicht mehr gewährleistet ist oder die Verbreiterung von der Nutzung her erforderlich ist.

Sowohl der Korrosionsschutz der Stahlkonstruktion als auch der Belag sind innerhalb der nächsten 80 Jahre ein weiteres Mal zu erneuern bzw. zu ersetzen. Der genaue Umfang der erforderlichen Arbeiten kann später bestimmt werden, da bei solchen Arbeiten die Fixkosten überwiegen.

9.4 Kostenschätzung

Die Ermittlung der initialen Instandsetzungskosten und der Lebenszykluskosten entspricht dem aktuellen Stand der Technik.

Die Ermittlung der Kosten mittels des elementbasierten Baukostenplans Tiefbau stellt sicher, dass nichts Wichtiges vergessen geht. Viele Positionen beruhen zwar auf Schätzungen, aber durch die Vielzahl der Schätzungen sinkt die Streuung der Summe.

Plausibilitätsüberlegungen und Vergleiche mit anderen Kostenschätzungen zeigen, dass die Resultate belastbar sind.

9.5 Wirtschaftlichkeit

Die Erhaltung des Willerzellerviadukts ist wirtschaftlich.

Ein Ersatz des Willerzellerviadukts durch eine moderne Brücke analog zum Steinbachviadukt würde neue und zusätzliche Bedürfnisse wecken und käme wesentlich teurer zu stehen.

Der Vergleich mit der Machbarkeitsstudie von dsp zeigt, dass bezüglich einem neuen Überbau, der infolge der ausgenützten Tragkapazität der bestehenden Foundationen auf 4.50 m Breite beschränkt ist, beträchtliche Kosteneinsparungen möglich sind.

Die Nutzung (Kantons- bzw. Bezirksstrasse oder Langsamverkehrsverbindung) ist für die Instandsetzungskosten nicht entscheidend, da sie kaum die Instandsetzungszyklen sondern allenfalls den Instandsetzungsumfang beeinflusst. Wir können uns auch eine Kombination vorstellen (siehe auch 9.6).

9.6 Flexibilität

Die Lastannahmen erlauben eine flexible Nutzung des Willerzellerviadukts.

Da keine Bestrebungen bestehen, schwere Lastwagen zuzulassen, reichen die heutigen Lastannahmen für alle andern Nutzungen aus. Um die Brücke für Fussgänger und Radfahrer sicher und attraktiver zu machen, wäre es möglich den Verkehr mit baulichen Einbauten zu verlangsamen.

10 Literatur

10.1 Normative Dokumente

- [1] ASTRA (2005): *Anprall von Strassenfahrzeugen auf Bauwerksteile von Kunstbauten – Ergänzungen zur Norm SIA 261 Einwirkungen auf Tragwerke*, Richtlinie, Bundesamt für Strassen, 50 pp.
- [2] ASTRA (2013a): *Fahrzeugrückhaltesysteme – Teil A Projektierungsgrundlagen*, Richtlinie ASTRA 11005, Ausgabe 2013, V3.00, 18 pp.
- [3] ASTRA (2013b): *Fahrzeugrückhaltesysteme – Teil B Detailprojektierung und Bauausführung*, Richtlinie ASTRA 11005, Ausgabe 2013, V3.00, 122 pp.
- [4] ASTRA (2013c): *Fahrzeugrückhaltesysteme – Teil C Bauteile*, Richtlinie ASTRA 11005, Ausgabe 2013, V3.00, 148 pp.
- [5] CRB (2017): *Baukostenplan Tiefbau eBKP-T*, Schweizer Norm 506 512, SIA/VSS, CRB Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung, Zürich, 60 pp.
- [6] SIA 161 (1974): *Stahlbauten*; Norm, Ausgabe 1974, Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein Zürich, 40 pp.
- [7] SIA 260 (2013): *Grundlagen der Projektierung von Tragwerken*; Norm, Ausgabe 2013, Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 44 pp.
- [8] SIA 261 (2014): *Einwirkungen auf Tragwerke*; Norm, Ausgabe 2014, Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 114 pp.
- [9] SIA 267 (2013): *Geotechnik*; Norm, Ausgabe 2013, Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 110 pp.
- [10] SIA 269 (2011): *Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken*; Norm, Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 28 pp.
- [11] SIA 269/1 (2011): *Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen*; Norm, Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 24 pp.
- [12] SIA 269/2 (2011): *Erhaltung von Tragwerken – Betonbau*; Norm, Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 44 pp.
- [13] SIA 269/3 (2011): *Erhaltung von Tragwerken – Stahlbau*; Norm, Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 32 pp.
- [14] SIA 269/7 (2011): *Erhaltung von Tragwerken – Geotechnik*; Norm, Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 20 pp.
- [15] SIA 469 (1997): *Erhaltung von Bauwerken*, Norm, Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 20 pp.
- [16] SIA 2052 (2016): *Ultra-Hochleistungs-Faserbeton (UHFB) – Baustoffe, Bemessung und Ausführung*, Merkblatt, Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 48 pp mit Korrigenda C1 10 pp.
- [17] Tiefbauamt Graubünden (2017): *Weisungen Überprüfung*, Weisungen Kunstbauten 2017, 19 pp.

10.2 Projektspezifische Dokumente

- [18] Etzelwerk A.-G., Baubüro Seegebiet (1933): *Probepfählung für die Seeübergänge*, 14.11.1933, 4 pp., 3 Fotos.
- [19] Etzelwerk A.-G (1935): *Viadukte im Seegebiet. Bericht über die Beobachtungen bei der Pfählung 1935*, 20.12.1935, pp. 1-14, 16-23.

- [20] Etzelwerk AG, Meinrad Fuchs (2002): Begleitbrief zu Unterlagen und Auszügen aus dem Bauprojekt, Kostenvoranschlag und Werkvertrag, 17.09.2002.
- [21] Krause, O. (1938): *Das Etzelwerk, erbaut 1932-1937* (Titelblatt), M. Theiler-Helbling, Wollerau, 1938.
- [22] Jacky W. (1936): *Die Bauarbeiten am Etzelwerk*, erweiterter Sonderdruck aus der Schweiz. Baumeister-Zeitung "Hoch- und Tiefbau", Zürich, Nr. 34, 35, 36/1936, 2 pp. (Auszug).
- [23] Hürzeler, H. (1938): *Baugrunduntersuchungen und erdbauliche Erfahrungen beim Bau des Etzelwerkes*, Vortrag gehalten am Erdbaukurs der Eidg. Techn. Hochschule Zürich 1938, 8 pp.
- [24] Krause, O. (1935): *Vom Bau des Etzelwerkes*, Sonderdruck aus "Wasser- und Energiewirtschaft", Heft 3/4, 1935. pp. 7-8.
- [25] Etzelwerk A.-G.: *Bau-Projekt und Kostenvoranschlag*, pp. 16-18 mit Beilagen.
- [26] Etzelwerk A.-G. (1934): *Werkvertrag*, 07.12.1934, 13 pp.
- [27] NN (1939): *Die Untergrundbeschaffenheit der Sihltalmoore*, Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich, Band 15, 1939, pp. 50-60.
- [28] Wichser, O. (1947): *Nouveaux ponts-routes sur le Sihlsee (Suisse)*, L'Ossature Métallique, Nr. 6, 1947, pp. 267-272.
- [29] Generaldirektion SBB Sektion Brückenbau (1976): *Erweiterungsstudien 1976*, 24.05.1977, 8 pp.
- [30] Nordostschweizer Kraftwerke (1996): *Willerzellerviadukt, Sanierungen 1994-95*, Ausführungsbericht Geländersanierung, 17.01.1996, 12 pp. inkl. Beilagen 1-6.
- [31] Flückiger + Bosshard AG (2009): *Statische Überprüfung für 3-achsige Low-Entry-Busse*, 28.07.2009, 11 pp.
- [32] Flückiger + Bosshard AG (2012): *Stahlkonstruktion und Fahrbahnplattenuntersicht*, Zustandsuntersuchung und Massnahmenkonzept in Varianten, 05.04.2012, 36 pp. mit Anhängen A bis F 27 pp.
- [33] bpp Ingenieure AG (2015): *Instandsetzung Brückenuntersicht*, Technischer Bericht Bauprojekt, 16.03.2015, 29 pp. mit Anhängen A1-A4.
- [34] Prof. Dr. H. R. Schalcher (2016): *Ermittlung der Abgeltung für die Transaktion des Willerzellerviadukts*, 13.02.2016, 7 pp.
- [35] F-Ingenieure GmbH (2016): *Zustandsbeurteilung (Stahlbau) und Empfehlung zum weiteren Vorgehen*, 31.03.2016, 9 pp.
- [36] Prof. Dr. E. Brühwiler, MCS EPFL (2017): *Generelle Überprüfung des heutigen Zustands und Strategien für die zukünftige Nutzung des Viadukts*, 06.06.2017, 21 pp.
- [37] Dr. Simon Stäuble (2017): *Willerzellerviadukt – Opfer der Verhandlungspolitik?*, Interpellation I 2/17 im Schwyzer Kantonsrat, 03.02.2017, 1 p.
https://www.sz.ch/public/upload/assets/26087/I_2_17_Willerzellerviadukt.pdf
- [38] Regierungsrat des Kantons Schwyz (2017): *Willerzellerviadukt – Opfer der Verhandlungspolitik?, Beantwortung der Interpellation I 2/17*, Beschluss Nr. 510/2017, Schwyz, 04.07.2017, 5 pp.
https://www.sz.ch/public/upload/assets/29865/510_2017_Interpellation_2_17_Willerzellerviadukt.pdf
- [39] Prof. Dr. E. Brühwiler, MCS EPFL (2017): *Beantwortung der Interpellation I 2/17; Richtigstellungen und Präzisierungen*, 21.07.2017, 2 pp.

- [40] dsp Ingenieure & Planer (2017): *Langsamverkehrsverbindung Birchli Willerzell – Machbarkeitsstudie mit Kostenschätzung*, 04.12.2017, REV 26.01.2018, 67 pp.
- [41] dsp Ingenieure & Planer (2017): *Langsamverkehrverbindung Birchli–Willerzell*, erweiterte Studie, Arbeitssitzung, Präsentation, 13.06.17, 20 pp.
- [42] dsp Ingenieure & Planer (2017): *Langsamverkehrverbindung Birchli–Willerzell*, erweiterte Studie, Arbeitssitzung, Präsentation, 05.07.17, 16 pp.
- [43] dsp Ingenieure & Planer (2017): *Langsamverkehrverbindung Birchli–Willerzell*, erweiterte Studie, Arbeitssitzung, Präsentation, 16.08.17, 25 pp.

10.3 Pläne

- [44] Etzelwerk A.G., Pfäffikon (1934): Viadukte im Seegebiet, *Willerzeller-Viadukt*, Ansicht und Schnitte, 1:1000, 1:200, 1:50, 21.12.1934.
- [45] Etzelwerk A.-G (1939). *Willerzeller Viadukt – Gesamt-Ansicht seeabwärts*, M 1.200, Projekt Nr. 4274, Ausführungsplan, 03.02.1939
- [46] Locher und Cie AG (1976): *Sihlsee-Viadukt Willerzell*, Etzelwerk AG, *Setzungsmessungen*, Plan Nr. 108 574, 22.09.1976.
- [47] Locher und Cie AG (1976): *Sihlsee-Viadukt Willerzell*, Etzelwerk AG, *Pfahlkräfte*, 21.10.1976.
- [48] Flückiger+Bosshard AG (2009): *Willerzeller Viadukt – Querschnitte 1:5 / 1:25 (Ost und West)*; Pläne ausgeführtes Bauwerk, Plan Nr. 0148.9.1, 26.06.2009.
- [49] Flückiger+Bosshard AG (2009): *Willerzeller Viadukt – Fahrbahnübergänge 1:5 ; (Ost und West)*; Pläne ausgeführtes Bauwerk, Plan Nr. 0148.9.2, 26.06.2009.
- [50] Flückiger+Bosshard AG (2009): *Willerzeller Viadukt – Grundriss 1:500*; Pläne ausgeführtes Bauwerk, Plan Nr. 0148.9.3, 26.06.2009.

10.4 Kontrollmessungen

- [51] Etzelwerk AG (1976): *Willerzellerviadukt, Zeit-Setzungsdiagramme 1935-1976*, 5 pp.
- [52] Etzelwerk AG (2000): *Sihlsee-Viadukt Willerzell, Setzungen der Kontrollpunkte 1971-2000*, 27 pp.
- [53] Nordostschweizer Kraftwerke (2000): *Setzungsbeobachtungen am Steinbach- und Willerzellerviadukt*, Technischer Bericht zu den Kontrollmessungen vom Mai 2000, 26.06.2000, 5 pp.
- [54] Nordostschweizer Kraftwerke (2000): *Setzungsbeobachtungen am Steinbachviadukt*, Technischer Bericht zur Kontrollmessung vom 24. November 2000, 13.12.2000, 4 pp.
- [55] Nordostschweizer Kraftwerke (2002): *Setzungsbeobachtungen am Steinbach- und Willerzellerviadukt*, Technischer Bericht zu den Kontrollmessungen vom Oktober 2001, 17.01.2002, 4 pp.
- [56] Etzelwerk AG, Sihlsee (2000): *Willerzellerviadukt, Setzungsmessungen 2000-2007*, 26 pp.
- [57] Nordostschweizer Kraftwerke (2007): *Setzungsbeobachtungen am Willerzeller-viadukt*, Kontrollmessung vom 6. Dezember 2007, 19.12.2007, 8 pp.
- [58] axpo (2016): *Setzungsbeobachtungen am Willerzellerviadukt*, Kontrollmessung vom 13. September 2016, 15.09.2016, 10 pp.

- [59] ProDS (2017): *Taucheinsatz Sihlsee Willerzell, Zustandsrapport Stahlpfeiler unter Wasser*, 11./12.09.2017, 3 pp.
- [60] SGK (2017): *Kontrolle KKS Stützen – Willerzeller Viadukt, Sihlsee*, Bericht Nr. 17179, Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz, 01.11.2017, 5 pp.

10.5 Richtofferten

- [61] ISOPERMAPROOF (2017): *Kostenschätzung / Richtofferte Korrosionsschutz*, 28.09.2017, 1 p. mit Skizze Gerüst (internes Dokument).
- [62] Implenia (2017): *Kostenschätzung UHFB-Varianten*, 02.11.2017. 5 pp. (internes Dokument).
- [63] PROfessional Diving Service (2017): *Offerte Taucharbeiten für Korrosionsschutz*, 1 p. (internes Dokument).

10.6 Übrige Unterlagen

- [64] Bundesamt für Strassen, Erhaltungsfiliale Zofingen (2017): *Erhaltungsprojekt A4 Küssnacht – Brunnen*, info 1, Juni 2017, 4 pp.
- [65] geo.admin.ch – das Geoportal des Bundes (2018): *Strassenverkehrsunfälle mit Personenschaden*, Datenquelle: Bundesamt für Strassen, letztmals abgefragt: 02.02.2018.

Prof. T. Vogel, dipl. Ing. ETH/SIA

P. Klein, dipl. Ing. ETH/SIA/USIC

Zürich, 02.03.2018

Anhänge

Anhang A1

Querschnitt Bestand 2007

Querschnitt Variante I

Querschnitt Variante II

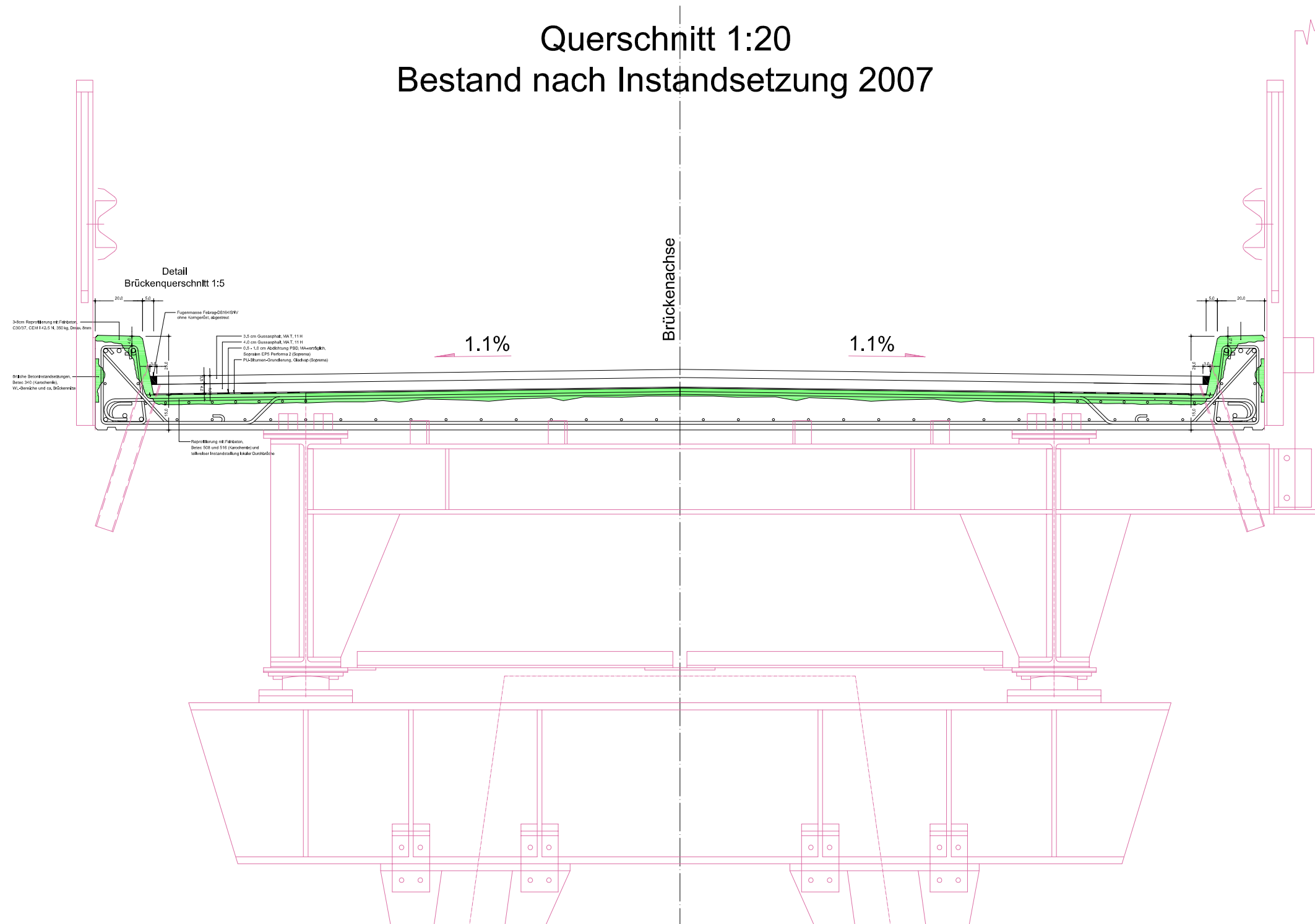
Anhang A2

Kostenschätzungen

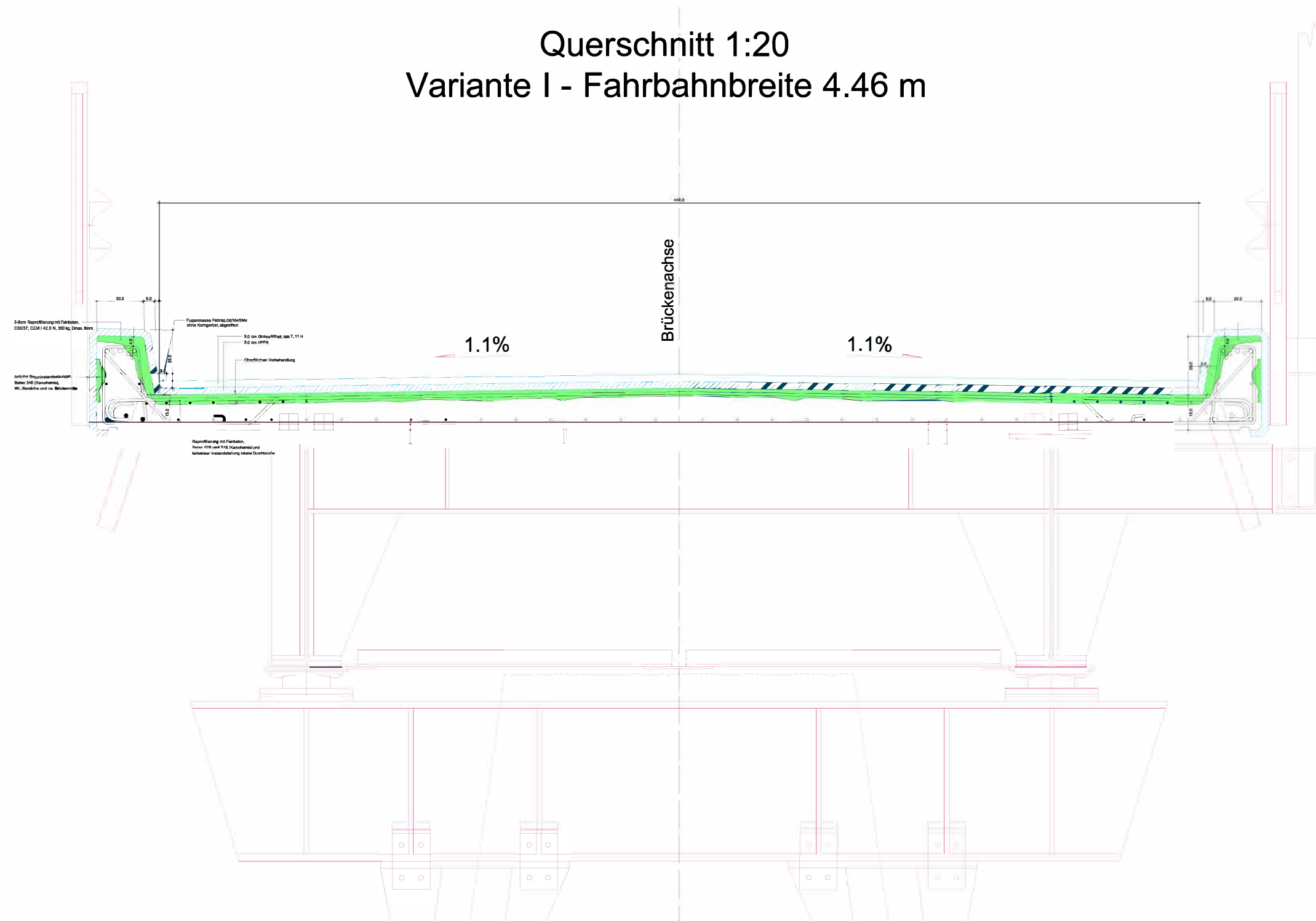
Anhang A3

Zusammenstellung der Setzungen; Zeitsetzungsdiagramm 1935-2016
(*eigenes Dokument: Anhang A3 Setzungen kumuliert*)

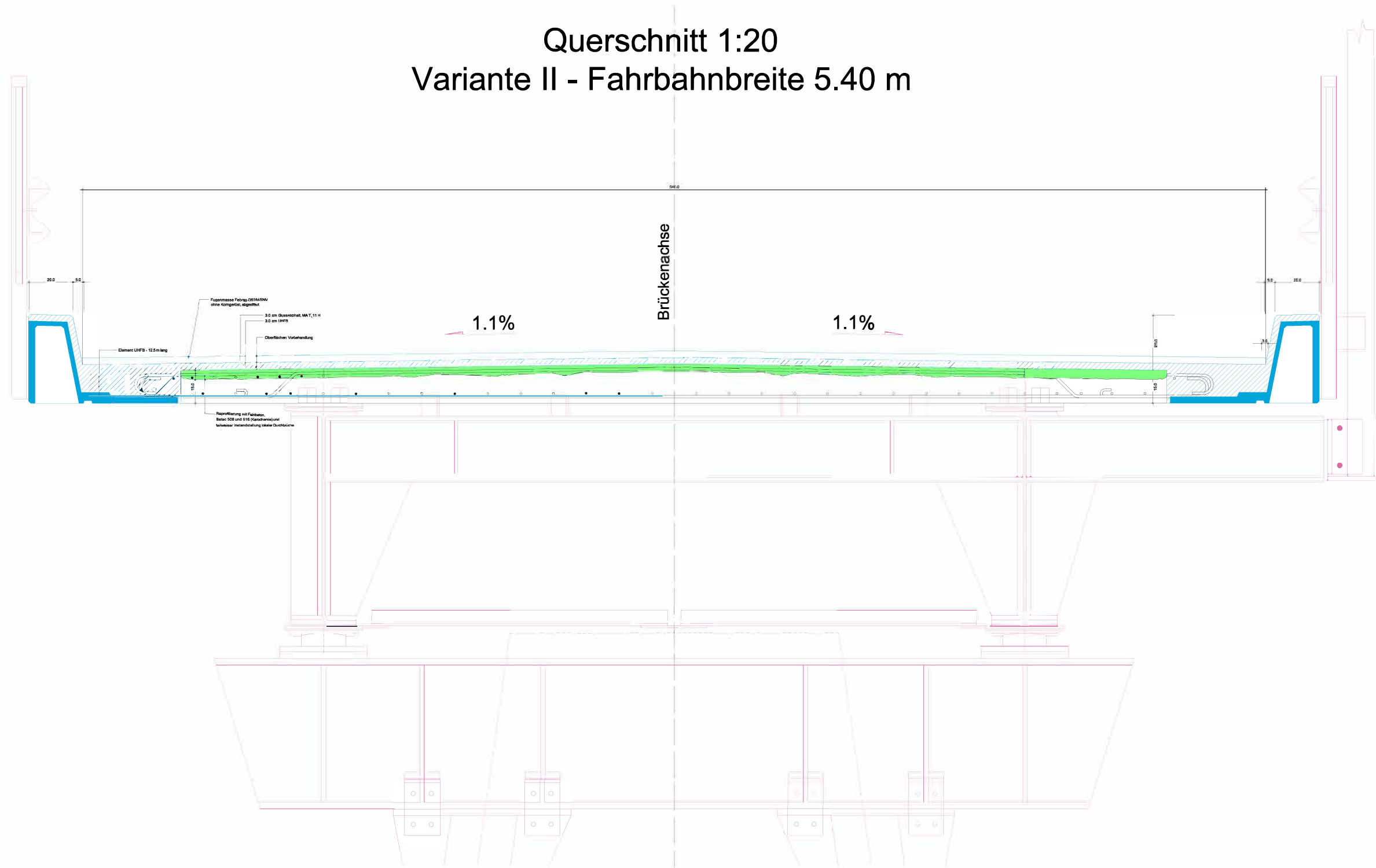
Querschnitt 1:20
Bestand nach Instandsetzung 2007



Querschnitt 1:20
Variante I - Fahrbahnbreite 4.46 m



Querschnitt 1:20
Variante II - Fahrbahnbreite 5.40 m



Kostenschätzung in Anlehnung an eBKP-T SN 506 512 (2017)
Grobkostenschätzung +/-30%
Erläuterungen: Siehe CRB Baukostenplan Tiefbau und 1026 Verbindungen zum NPK (2017)

Bauwerkskosten Instandsetzung Phase 1 (L Vorbereitung Tiefbau - Z Mehrwertsteuer)
Instandsetzung der Hauptträger aus Stahl (notwendige Verstärkungen, Erneuerung Korrosionsschutz)

Text		Beschreibung, Grundlage	EH	Menge	EP	Betrag		
						Elemente [CHF]	Elementgruppen [CHF]	Hauptgruppen [CHF]
L	Vorbereitung Tiefbau					2'941'838.-		
L1	Untersuchung, Aufnahme, Messung					236'838.-		
L1.1	Baugrunduntersuchung	Analyse der vorhandenen Unterlagen, Untersuchungen an der Pfahlkonstruktion des alten Steinbachviaduktes etc.	[CHF]	4'306'139.-	0.0%	0.-		
L1.2	Bestandesaufnahme	Korrosionsschutz, Kathodischer Schutz, Korrosionsverluste etc	[CHF]	4'306'139.-	1.5%	64'592.-		
	Info Zustandsaufnahme Trägerrostkonstruktion und Gerbergelenke (Schätzung)		[CHF]	65'000.-				
L1.3	Umweltmessung	Gesamtstaub-, Blei- und PCB-Immission etc	[CHF]	4'306'139.-	1.25%	53'827.-		
L1.4	Überwachung	Setzungsmessungen	[CHF]	4'306'139.-	1.25%	53'827.-		
L1.5	Regie		[CHF]	4'306'139.-	1.5%	64'592.-		
	Bezugsgrösse Zwischentotal L2.2-T							
L2	Baustelleneinrichtung					1'505'000.-		
L2.1	Baustellenerschliessung		[CHF]			650'000.-		
	Installation für Korrosionsschutz Hauptträger (5 Bausaisons à 130'000.-)		[CHF]	650'000.-				
L2.2	Versorgung, Entsorgung		[CHF]			355'000.-		
	Entsorgung Korrosionsschutz - Hauptträger (Strahlschutt belastet)		[CHF]	355'000.-				
L2.3	Raum, Personentransport							
L2.4	Hebe, Verlade-, Lagereinrichtung							
L2.5	Einrichtung für Materialaufbereitung							
L2.6	Maschine, Gerätschaft							
L2.7	Witterungsbedingte Massnahme							
L2.8	Temporäre Abschirmung, Einhausung		[CHF]			500'000.-		
	Einhausung Hauptträger für Korrosionsschutz (Klasse 1) - 5 Spannweiten versetzbar		[CHF]	500'000.-				
L6	Gerüst					1'200'000.-		
L6.2	Arbeitsgerüst		[CHF]			1'200'000.-		
	Gerüste für Instandsetzung/Korrosionsschutz Hauptträger (44.6 St)		[CHF]	1'200'000.-				
O	Konstruktion Kunstbauten					2'231'139.-		
O5	Überbau Brücke					2'151'139.-		
O5.1	Hauptträger L=25 m (inkl. Querträger, Gerbergelenke und Windverbände)		[St]	44.6	48'232.-	2'151'139.-		
	Info Entfernung bestehender Korrosionsschutz Hauptträger (225 m ² pro Spannweite)		[CHF/St]	21'170.-				
	Info Instandsetzung Haupträger lokal (Schäden, Abrostung etc)							
	Nieten-Ersatz, Lamellen schweissen, Gerbergelenke: 2 Mann, 7.5 Tage pro Spannweite		[h/St]	127.5				
	Stundenansatz ohne Mwst.		[CHF/h]	120.-				
	Info Applikation neuer Korrosionsschutz Hauptträger (pro Spannweite), Schätzung PK		[CHF/St]	11'761.-				
O6	Brückenlager, Fahrbahnübergang					80'000.-		
O6.1	Brückenlager		[St]	92	500.-	46'000.-		
	Info Typ							
O6.2	Fahrbahnübergang		[St]	16	2'125.-	34'000.-		
	Info Typ							
Q	Leitungsbau					20'000.-		
Q1	Entwässerung, Kanalisation		[m]	1250	16.-	20'000.-		
Q5	Rohrblock, Kabelkanal		[m]	0	0.-	0.-		
Zwischentotal L (Vorbereitung Tiefbau)						2'941'838.-		
Zwischentotal M-T (Bauwerkskosten)						2'251'139.-		
Zwischentotal L-T						5'192'977.-		
V	Diverse weitere Hauptgruppen					1'038'595.-		
V1	Planer		[CHF]	5'192'977.-	15%	778'947.-		
V3	Auftraggeber		[CHF]	5'192'977.-	5%	259'649.-		
	Bezugsgrösse Zwischentotal A-T							
W	Nebenkosten zu Erstellung					40'000.-		
W1	Bewilligung, Gebühr		[CHF]			10'000.-		
W2	Versicherung, Garantie		[CHF]			20'000.-		
W4	Öffentlichkeitsarbeit		[CHF]			10'000.-		
Zwischentotal L-W (Erstellungskosten)						6'271'572.-		
Z	Mehrwertsteuer					501'726.-		
Z1	Mehrwertsteuer		[CHF]	6'271'572.-	8%	501'726.-		
	Bezugsgrösse Zwischentotal L-W							
Total						6'773'298.-		

Kostenschätzung in Anlehnung an eBKP-T SN 506 512 (2017)

Grobkostenschätzung +/-30%

Erläuterungen: Siehe CRB Baukostenplan Tiefbau und 1026 Verbindungen zum NPK (2017)

Bauwerkskosten Instandsetzung Phase 2 (L Vorbereitung Tiefbau - Z Mehrwertsteuer)
Instandsetzung der Stand-/Pendeljoche aus Stahl (notwendige Verstärkungen, Erneuerung Korrosionsschutz)

entspricht Kostenschätzung Instandsetzung Joche gemäss
Machbarkeitsstudie Langsamverkehrsverbindung dsp

Text		Beschreibung, Grundlage	EH	Menge	EP	Betrag		
						Elemente [CHF]	Elementgruppen [CHF]	Hauptgruppen [CHF]
L	Vorbereitung Tiefbau					3'499'856.-		
L1	Untersuchung, Aufnahme, Messung					498'856.-		
L1.1	Baugrunduntersuchung	Untersuchungen an der Pfahlkonstruktion des alten Steinbachviaduktes etc.	[CHF]	5'868'895.-	1.0%	58'689.-		
L1.2	Bestandesaufnahme	Korrosionsschutz, Kathodischer Schutz, Korrosionsverluste etc	[CHF]	5'868'895.-	0.5%	29'344.-		
	Info Zustandsaufnahme Stand- und Pendeljoche - über/unter Wasser (Schätzung)		[CHF]	34'000.-				
L1.3	Umweltmessung	Gesamtstaub-, Blei- und PCB-Immission etc	[CHF]	5'868'895.-	2.0%	117'378.-		
L1.4	Überwachung	Setzungsmessungen	[CHF]	5'868'895.-				
L1.5	Regie		[CHF]	5'868'895.-	5.0%	293'445.-		
	Bezugsgrösse Zwischentotal L2.2-T							
L2	Baustelleneinrichtung					1'483'000.-		
L2.1	Baustellenerschliessung		[CHF]			701'000.-		
	Installation für Korrosionsschutz - Joche über Wasser (5 Bausaisons)		[CHF]	701'000.-				
L2.2	Versorgung, Entsorgung		[CHF]			92'000.-		
	Entsorgung Korrosionsschutz - Joche über Wasser (Strahlschutt belastet)		[CHF]	92'000.-				
L2.3	Raum, Personentransport							
L2.4	Hebe, Verlade-, Lagereinrichtung							
L2.5	Einrichtung für Materialaufbereitung							
L2.6	Maschine, Gerätschaft							
L2.8	Temporäre Abschirmung, Einhausung		[CHF]			690'000.-		
	Einhausung Joche für Korrosionsschutz - Joche über Wasser (Klasse 1)		[CHF]	690'000.-				
L6	Gerüst					1'518'000.-		
L6.2	Arbeitsgerüst		[CHF]			1'518'000.-		
	Gerüste für Instandsetzung/Korrosionsschutz Joche - über Wasser (44 St 6.5 x 2.5 x 10.5 m)		[CHF]	1'518'000.-				
O	Konstruktion Kunstbauten					3'568'895.-		
O1	Fundament (Jochkonstruktionen)					224'895.-		
O1.2	Pfahlkopfkonstruktionen Instandsetzung		[St]	44	5'111.-	224'895.-		
	Info Reinigung und Reprofilierung Anschlussbereich Jochaufleger							
	Annahme: 1 Taucher, 1/2 Tage pro Joch		[h _T /St]	4.5				
	Stundenansatz Taucher mit Gerät ohne Mwst.	Richtangabe F. Hattan (taucharbeiten.ch)	[CHF/h _T]	1'136.-				
O4	Unterbau Brücke					3'144'000.-		
O4.3	Brückenpfeiler		[St]	44	71'455.-	3'144'000.-		
	Info Entfernung bestehender Korrosionsschutz Joche - unter Wasser (pro Joch), Schätzung PK		[CHF/St]	0.-				
	Entfernung bestehender Korrosionsschutz Joche - über Wasser (pro Joch)		[CHF/St]	9'409.-				
	Erhöhte Schutzmassnahmen und Entsorgung Asbestkontamination		[CHF/St]	56'818.-				
	Info Instandsetzung Stand- und Pendeljoche lokal (Schäden, Abrostung etc) - unter Wasser							
	Nieten-Ersatz, Lamellen schweissen, Krafteinleitungen: 2 Taucher, 6h pro Pfeiler		[h _T /St]	0				
	Stundenansatz 2 Taucher mit Gerät ohne Mwst, Richtangabe F. Hattan (taucharbeiten.ch)		[CHF/h _T]	1'136.-				
	Instandsetzung Stand- und Pendeljoche lokal (Schäden, Abrostung etc) - über Wasser							
	Nieten-Ersatz, Lamellen schweissen, Krafteinleitungen: 2 Schweisser, 2 Tag pro Pfeiler		[h/St]	0.0				
	Stundenansatz ohne Mwst.		[CHF/h]	134.-				
	Info Applikation neuer Korrosionsschutz Joche - unter Wasser (pro Joch), Schätzung PK		[CHF/St]	0.-				
	Applikation neuer Korrosionsschutz Joche - über Wasser (pro Joch)		[CHF/St]	5'227.-				
O7	Spezialkonstruktion					200'000.-		
O7.5	Kathodischer Korrosionsschutz	Anpassung und Erneuerung 2033				200'000.-		
Zwischentotal L (Vorbereitung Tiefbau)								3'499'856.-
Zwischentotal M-T (Bauwerkskosten)								3'568'895.-
Zwischentotal L-T								7'068'751.-
V	Diverse weitere Hauptgruppen					1'413'750.-		
V1	Planer		[CHF]	7'068'751.-	15%	1'060'313.-		
V3	Auftraggeber		[CHF]	7'068'751.-	5%	353'438.-		
W	Nebenkosten zu Erstellung					209'000.-		
W1	Bewilligung, Gebühr		[CHF]			70'000.-		
W2	Versicherung, Garantie		[CHF]			70'000.-		
W4	Öffentlichkeitsarbeit		[CHF]			69'000.-		
Zwischentotal L-W (Erstellungskosten)								8'691'501.-
Z	Mehrwertsteuer					695'320.-		
Z1	Mehrwertsteuer		[CHF]	8'691'501.-	8%	695'320.-		
Bezugsgrösse Zwischentotal L-W								
Total						9'386'821.-		

Kostenschätzung in Anlehnung an eBKP-T SN 506 512 (2017)
Grobkostenschätzung +/-30%
Erläuterungen: Siehe CRB Baukostenplan Tiefbau und 1026 Verbindungen zum NPK (2017)

Bauwerkskosten Instandsetzung Phase 3 (L Vorbereitung Tiefbau - Z Mehrwertsteuer)						UHFB Variante I		
Instandsetzung der Fahrbahnplatte (notwendige Verstärkungen, Erneuerung Belag, Widerlager)								
Text		Beschreibung, Grundlage	EH	Menge	EP	Betrag		
						Elemente [CHF]	Elementgruppen [CHF]	Hauptgruppen [CHF]
L	Vorbereitung Tiefbau					2'068'676.-		
L1	Untersuchung, Aufnahme, Messung					86'163.-		
L1.1	Baugrunduntersuchung	keine für Phase 3	[CHF]	2'872'115.-	0.0%	0.-		
L1.2	Bestandesaufnahme	Zustandsaufnahme Fahrbahnplatte	[CHF]	2'872'115.-	2.5%	71'803.-		
L1.3	Umweltmessung	keine für Phase 3	[CHF]	2'872'115.-	0.0%	0.-		
L1.4	Überwachung	Setzungsmessungen etc	[CHF]	2'872'115.-	0.5%	14'361.-		
Bezugsgrösse Zwischentotal M-T								
L2	Baustelleneinrichtung					661'250.-		
L2.1	Baustellenerschliessung		[CHF]					
L2.2	Versorgung, Entsorgung		[CHF]					
L2.3	Raum, Personentransport		[CHF]					
L2.4	Hebe, Verlade-, Lagereinrichtung		[CHF]					
L2.5	Einrichtung für Materialaufbereitung		[CHF]					
L2.6	Maschine, Gerätschaft		[CHF]					
L2.7	Witterungsbedingte Massnahme		[CHF]					
L2.8	Temporäre Abschirmung, Einhausung		[CHF]					
L3	Provisorium					60'000.-		
L3.1	Provisorische Verkehrsanlage					30'000.-		
L3.2	Provisorisches Gebäude					20'000.-		
L3.3	Provisorische Leitung					10'000.-		
L3.4	Provisorische Betriebs-, Sicherheitsanlage							
L3.5	Provisorischer Fluss-, Bachverbau							
L3.6	Provisorische Verkehrsumstellung							
L3.7	Provisorische Ersatzmassnahme							
L3.8	Provisorische Verkehrsregelung							
L3.9	Betrieb von Provisorien							
L4	Rückbau Bauwerk					525'263.-		
L4.1	Rückbau nicht kontaminiertes Bauwerk		[CHF]			525'263.-		
Info	Abbruch Gussasphalt inkl. Abfuhr		[CHF]	136'275.-				
	Abbruch Polymerbitumendichtungsbahn		[CHF]	118'450.-				
	Aufrauen hydrodynamisch		[CHF]	270'538.-				
L4.2	Rückbau kontaminiertes Bauwerk							
L5	Wiederherstellung, Schadensbehebung							
L6	Gerüst					736'000.-		
L6.2	Arbeitsgerüst		[CHF]			736'000.-		
O	Konstruktion Kunstbauten					1'680'750.-		
O1	Fundament					12'240.-		
O1.3	Widerlagerfundationen Instandsetzung		[St]	2		12'240.-		
Info	Reinigung und Reprofilierung Flachfundationen							
	Annahme: 3 Mann, 2 Tage pro Widerlager		[h/St]	51				
	Stundenansatz ohne Mwst.		[CHF/h]	120.-				
O4	Unterbau Brücke					28'560.-		
O4.1	Brückenwiderlager		[St]	2		24'480.-		
Info	Reinigung und Reprofilierung Betonoberflächen							
	Annahme: 3 Mann, 4 Tage pro Widerlager		[h/Stk.]	102				
	Stundenansatz ohne Mwst.		[CHF/h]	120.-				
O4.2	Schlepplatte Brücke		[St]	2		4'080.-		
Info	Kontrolle und Reparatur falls notwendig		[m]					
	Annahme: 2 Mann, 1 Tage pro Widerlager		[h/Stk.]	17				
	Stundenansatz ohne Mwst.		[CHF/h]	120.-				
O5	Überbau Brücke					1'590'450.-		
O5.4	Fahrbahnplatte Brücke		[m ²]	5175	175.-	907'350.-		
O5.5	Konsolkopf Fahrbahnplatte		[m]	2250	304.-	683'100.-		
O6	Brückenlager, Fahrbahnübergang					49'500.-		
O6.1	Brückenlager		[St]	18	1'500.-	27'000.-		
O6.2	Fahrbahnübergang		[St]	9	2'500.-	22'500.-		
R	Fahrbahn					517'115.-		
R1	Oberbau Strasse	Gussasphalt Brückenbereich	[m ²]	5175	73.-	377'775.-		
		Belag Widerlagerbereich	[m ²]	280	108.-	30'240.-		
R2	Markierung, Signal		[m ²]	5455	20.-	109'100.-		
S	Betriebs-, Sicherheitsanlage					51'750.-		
S1	Energieversorgung							
S2	Beleuchtung							

T	Ausrüstung						622'500.-
T1	Rückhaltesystem						562'500.-
T1.1	Fahrzeugrückhaltesystem	[m]	2250	150.-	337'500.-		
T1.2	Geländer	[m]	2250	100.-	225'000.-		
T4	Wasser-, Gas-, Druckluftanlage						60'000.-
T4.5	Brückenentwässerung/Einlaufschächte	[St]	100	600.-	60'000.-		
Zwischentotal L (Vorbereitung Tiefbau)							2'068'676.-
Zwischentotal M-T (Bauwerkskosten)							2'872'115.-
Zwischentotal L-T							4'940'791.-
V	Diverse weitere Hauptgruppen						988'158.-
V1	Planer	[CHF]	4'940'791.-	15%	741'119.-		
V3	Auftraggeber	[CHF]	4'940'791.-	5%	247'040.-		
Bezugsgrösse Zwischentotal A-T							
W	Nebenkosten zu Erstellung						40'000.-
W1	Bewilligung, Gebühr	[CHF]			10'000.-		
W2	Versicherung, Garantie	[CHF]			20'000.-		
W4	Öffentlichkeitsarbeit	[CHF]			10'000.-		
Zwischentotal L-W (Erstellungskosten)							5'968'949.-
Z	Mehrwertsteuer						477'516.-
Z1	Mehrwertsteuer	[CHF]	5'968'949.-	8%	477'516.-		
Bezugsgrösse Zwischentotal L-W							
Total							6'446'465.-

Kostenschätzung in Anlehnung an eBKP-T SN 506 512 (2017)

Grobkostenschätzung +/-30%

Erläuterungen: Siehe CRB Baukostenplan Tiefbau und 1026 Verbindungen zum NPK (2017)

Bauwerkskosten Instandsetzung Phase 3 (L Vorbereitung Tiefbau - Z Mehrwertsteuer)**Instandsetzung der Fahrbahnplatte (notwendige Verstärkungen, Erneuerung Belag, Widerlager)**

UHFB Variante II

Text	Beschreibung, Grundlage	EH	Menge	EP	Betrag		
					Elemente [CHF]	Elementgruppen [CHF]	Hauptgruppen [CHF]
L	Vorbereitung Tiefbau						2'111'068.-
L1	Untersuchung, Aufnahme, Messung						128'556.-
L1.1	Baugrunduntersuchung	keine für Phase 3	[CHF]	4'285'188.-	0.0%	0.-	
L1.2	Bestandesaufnahme	Zustandsaufnahme Fahrbahnplatte	[CHF]	4'285'188.-	2.5%	107'130.-	
L1.3	Umweltmessung	keine für Phase 3	[CHF]	4'285'188.-	0.0%	0.-	
L1.4	Überwachung	Setzungsmessungen etc	[CHF]	4'285'188.-	0.5%	21'426.-	
	Bezugsgrösse Zwischentotal M-T						
L2	Baustelleneinrichtung						661'250.-
L2.1	Baustellenerschliessung		[CHF]				
L2.2	Versorgung, Entsorgung		[CHF]				
L2.3	Raum, Personentransport		[CHF]				
L2.4	Hebe, Verlade-, Lagereinrichtung		[CHF]				
L2.5	Einrichtung für Materialaufbereitung		[CHF]				
L2.6	Maschine, Gerätschaft		[CHF]				
L2.7	Witterungsbedingte Massnahme		[CHF]				
L2.8	Temporäre Abschirmung, Einhausung		[CHF]				
L3	Provisorium						60'000.-
L3.1	Provisorische Verkehrsanlage					30'000.-	
L3.2	Provisorisches Gebäude						
L3.3	Provisorische Leitung					20'000.-	
L3.4	Provisorische Betriebs-, Sicherheitsanlage						
L3.5	Provisorischer Fluss-, Bachverbau						
L3.6	Provisorische Verkehrsumstellung						
L3.7	Provisorische Ersatzmassnahme						
L3.8	Provisorische Verkehrsregelung					10'000.-	
L3.9	Betrieb von Provisorien						
L4	Rückbau Bauwerk						525'263.-
L4.1	Rückbau nicht kontaminiertes Bauwerk		[CHF]			525'263.-	
	Info Abbruch Gussasphalt inkl. Abfuhr		[CHF]	136'275.-			
	Abbruch Polymerbitumendichtungsbahn		[CHF]	118'450.-			
	Aufrauen hydrodynamisch		[CHF]	270'538.-			
L4.2	Rückbau kontaminiertes Bauwerk						
L5	Wiederherstellung, Schadensbehebung						
L6	Gerüst						736'000.-
L6.2	Arbeitsgerüst		[CHF]			736'000.-	
O	Konstruktion Kunstbauten						2'986'770.-
O1	Fundament						24'480.-
O1.3	Widerlagerfundationen Instandsetzung		[St]	2		24'480.-	
	Info Reinigung und Reprofilierung Flachfundationen						
	Annahme: 3 Mann, 4 Tage pro Widerlager		[h/St]	102			
	Stundenansatz ohne Mwst.		[CHF/h]	120.-			
O4	Unterbau Brücke						53'040.-
O4.1	Brückenwiderlager		[St]	2		48'960.-	
	Info Reinigung und Reprofilierung Betonoberflächen						
	Annahme: 3 Mann, 8 Tage pro Widerlager		[h/Stk.]	204			
	Stundenansatz ohne Mwst.		[CHF/h]	120.-			
O4.2	Schleppplatte Brücke		[St]	2		4'080.-	
	Info Kontrolle und Reparatur falls notwendig		[m]				
	Annahme: 2 Mann, 1 Tage pro Widerlager		[h/Stk.]	17			
	Stundenansatz ohne Mwst.		[CHF/h]	120.-			
O5	Überbau Brücke						2'859'750.-
O5.4	Fahrbahnplatte Brücke		[m ²]	6210	225.-	1'397'250.-	
O5.5	Konsolkopf Fahrbahnplatte		[m]	2250	650.-	1'462'500.-	
O6	Brückenlager, Fahrbahnübergang						49'500.-
O6.1	Brückenlager		[St]	18	1'500.-	27'000.-	
O6.2	Fahrbahnübergang		[St]	9	2'500.-	22'500.-	
R	Fahrbahn						613'818.-
R1	Oberbau Strasse	Gussasphalt Brückenbereich	[m ²]	6210	73.-	453'330.-	
		Belag Widerlagerbereich	[m ²]	336	108.-	36'288.-	
R2	Markierung, Signal		[m ²]	6546	20.-	124'200.-	

S	Betriebs-, Sicherheitsanlage	[m ²]	6210	10.-		62'100.-
S1	Energieversorgung					
S2	Beleuchtung					
T	Ausrüstung					622'500.-
T1	Rückhaltesystem					562'500.-
T1.1	Fahrzeugrückhaltesystem	[m]	2250	150.-	337'500.-	
T1.2	Geländer	[m]	2250	100.-	225'000.-	
T4	Wasser-, Gas-, Druckluftanlage					60'000.-
T4.5	Brückenentwässerung/Einlaufschächte	[St]	100	600.-	60'000.-	
Zwischentotal L (Vorbereitung Tiefbau)						2'111'068.-
Zwischentotal M-T (Bauwerkskosten)						4'285'188.-
Zwischentotal L-T						6'396'256.-
V	Diverse weitere Hauptgruppen					1'279'251.-
V1	Planer	[CHF]	6'396'256.-	15%		959'438.-
V3	Auftraggeber	[CHF]	6'396'256.-	5%		319'813.-
Bezugsgrösse Zwischentotal A-T						
W	Nebenkosten zu Erstellung					40'000.-
W1	Bewilligung, Gebühr	[CHF]				10'000.-
W2	Versicherung, Garantie	[CHF]				20'000.-
W4	Öffentlichkeitsarbeit	[CHF]				10'000.-
Zwischentotal L-W (Erstellungskosten)						7'715'507.-
Z	Mehrwertsteuer					617'241.-
Z1	Mehrwertsteuer	[CHF]	7'715'507.-	8%		617'241.-
Bezugsgrösse Zwischentotal L-W						
Total						8'332'748.-