

Bauwerksvoruntersuchung

Dreifeldbogenbrücke Röpersberg Ratzeburg Sanierung / Ersatzneubau

1. Veranlassung, Vorbemerkung

Die denkmalgeschützte Dreifeldbogenbrücke Röpersberg überführt in Ratzeburg den Geh- und Radweg in Verlängerung der Straße Röpersberg über einen bewaldeten Geländeeinschnitt. Hierdurch verbindet die Brücke den Bereich um die Straßen Dermin und Eichenweg mit der Straße Röpersberg und dem dort gelegenen Krankenhaus.

Baulastträger des Bauwerks ist die Stadt Ratzeburg.



Abbildung 1: Dreifeldbogen Brücke Röpersberg - Ansicht von Süd-Ost, eigene Aufnahme vom 24.02.2020

Aufgrund einer Vielzahl von Schäden, wobei insbesondere eine Schädigung des Mauerwerks durch Feuchtigkeit und Frosteinwirkung zu nennen ist, ist die Verkehrssicherheit unter dem Bauwerk nicht mehr gegeben und auf dem Bauwerk eingeschränkt. Zudem ist beim Ausbleiben weiterer Maßnahmen mit einer weiteren Verschlechterung des

Bauwerkzustandes zu rechnen und in relativer Kurzfristigkeit auch die bereits eingeschränkte Standsicherheit des Bauwerks gefährdet. Daher wurde unter anderem in den Unterlagen [2.], [4.] und [5.] eine Sanierung angeraten. Das Büro KSK Ingenieure wurde mit Schreiben vom 01.06.2021 von der Stadt Ratzeburg beauftragt, die Sanierung des Bauwerks zu planen. In diesem Dokument werden die Grundlagen der Planung zusammengefasst und die Ergebnisse der Planungen in der Leistungsphase 2 nach HAOI geschildert. Dies beinhaltet insbesondere die Untersuchung und Bewertung verschiedener Sanierungsvarianten, auf deren Basis im Anschluss an die Leistungsphase 2 eine Sanierungsvariante mit der Stadt Ratzeburg abgestimmt wird.

1.1 Verwendete Unterlagen

Projektbezogene Unterlagen:

- [1.] Statische Berechnung (Nachrechnung Bestandsbauwerk), aufgestellt vom Ingenieurbüro Hertel + Stünckel, 03.09.1993
- [2.] 1. Ergänzung vom 03.09.1993 zum Bericht zur Bauwerksprüfung vom 02.11.1992, aufgestellt vom Ingenieurbüro Hertel + Stünckel
- [3.] Prüfbericht 2018 H nach DIN 1076, aufgestellt von Dipl.-Ing. Thomas Graß 02.05.2018
- [4.] Gutachten über die Eigenschaften von Mauerwerk, aufgestellt vom Büro Dr. Böttcher + Partner, 12.06.2019
- [5.] Nachrechnung – Bewertung der Tragsicherheit und konstruktive Hinweise, aufgestellt vom Büro KSK Ingenieure, 13.03.2020

Literatur:

- [6.] Schneider Bautabellen für Ingenieure, 23. Auflage
- [7.] Statische Beurteilung historischer Tragwerke, Band 1 – Mauerwerkskonstruktionen; S. Holzer; Verlag Wilhelm Ernst & Sohn; Berlin; 2013
- [8.] Richtlinie für den Entwurf, die konstruktive Ausbildung und Ausstattung von Ingenieurbauten (RE-ING), Bundesanstalt für Straßenwesen, Ausgabe 2021/01
- [9.] Richtzeichnungen für Ingenieurbauten (RiZ-ING), Bundesanstalt für Straßenwesen, Ausgabe 2020/12

2. Grundlagen und Randbedingungen

Für die Voruntersuchungen zur Sanierung der Dreifeldbogen werden insbesondere folgende Grundlagen berücksichtigt:

2.1 Straßenbautechnische Daten

Überführter Geh- und Radweg

Die vorhandene Dreifeldbogenbrücke Röpertsberg überführt in Verlängerung der Straße Röpertsberg einen gemeinsamen Geh- und Radweg über einen Geländeeinschnitt mit einem nicht benannten Fließgewässer.

Der Geh- und Radweg verläuft im Bauwerksbereich geradlinig.

Der Geh- und Radweg hat im Bestand eine lichte Breite von ca. 3,0 m, wobei die Geländer um rund 1,0 bis 1,4 m von der Außenkante der Brücke zurückgesetzt sind. Als Mindestbreite für den gemeinsamen Geh- und Radweg wird eine Breite von 2,5 m gemäß Regelbreite nach RE-ING [8.] angesehen. Je nach Sanierungsvariante kann aber auch die volle Bauwerksbreite von ca. 5,0 m für den Geh- und Radweg genutzt werden.

Angaben zum Quer- oder Längsgefälle liegen derzeit nicht vor.

Da das Bauwerk einen Geh- und Radweg überführt, erfolgte die letzte Nachrechnung [5.] für die Verkehrslasten auf Fußgänger- und Radwegbrücken gemäß DIN EN 1991-2 Abschnitt 5 (Insbesondere gleichmäßig verteilte Flächenlast von $5,0 \text{ kN/m}^2$) Auftraggeberseitige Angaben, ob und in welchem Umfang Dienstfahrzeuge auf der Brücke zu berücksichtigen sind, liegen derzeit noch nicht vor und werden im weiteren Planungsverlauf abgestimmt. In der letzten Nachrechnung [5.] wurde bisher nur in Vergleichsrechnungen die unplanmäßige Anwesenheit von Fahrzeugen gemäß DIN EN 1991-2 Kapitel 5.3.2 untersucht. In der Örtlichkeit ist das Bauwerk einseitig (Richtung Dermin = Nord-Ost-Seite) mit einem Poller gegen unplanmäßiges Befahren gesichert.

Unterführtes Fließgewässer

Im Tal des Geländeeinschnittes wird ein Fließgewässer mit nicht bekannten Namen im mittleren Bauwerksfeld überführt.

Im Rahmen der Sanierungsmaßnahme soll der Fließquerschnitt des Gewässers nicht angepasst werden. Es sind aber seitliche Begrenzungen des Fließgewässers im Bauwerksbereich vorgesehen, um Auskolkungen zu verhindern.

2.2 Hauptdaten Bestandsbauwerk

Bei den nachfolgend aufgeführten Daten handelt es sich um ungefähre Maße. Aufgrund der Bautoleranzen zum Zeitpunkt der Erstellung, Querschnittsverlusten einzelner Bauteile und Verschiebungen einzelner Bauteile kommt es in der Örtlichkeit zu Abweichungen. Es liegen keine Unterlagen aus der Bauzeit vor. Maßangaben wurden [1.] entnommen und in [5.] auf ihre Richtigkeit überprüft und teilweise ergänzt.

Materialangaben finden sich teilweise in [1.], worin aus einem Erläuterungsbericht von 1907 zitiert wird, welcher nicht mehr vorliegt. Weiterhin wurden die Materialeigenschaften des Mauerwerks in [4.] untersucht.

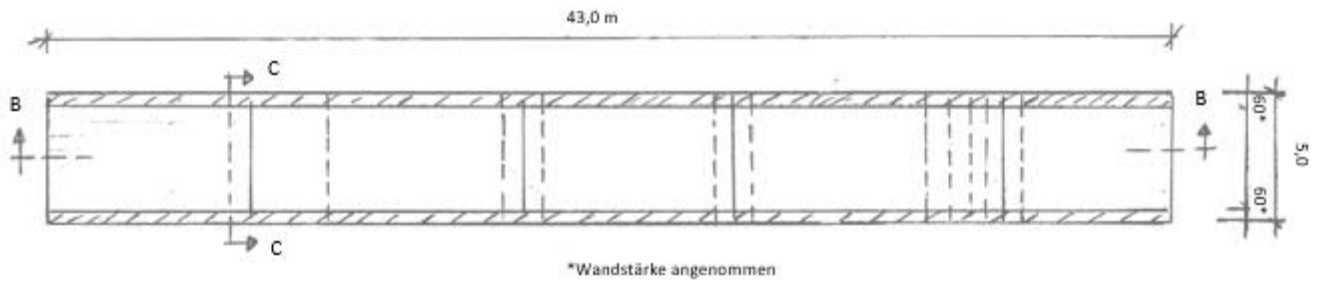


Abbildung 2: Bestandsbauwerk Schnitt A-A, mit graphischen Anpassungen übernommen aus [1.]

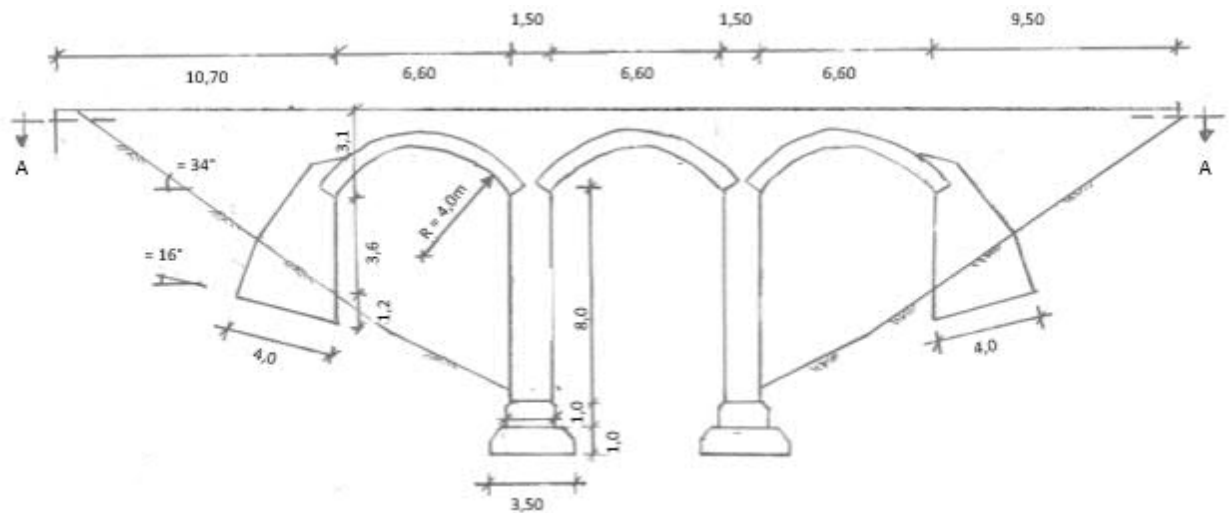


Abbildung 3: Bestandsbauwerk Schnitt B-B, mit graphischen Anpassungen übernommen aus [1.]

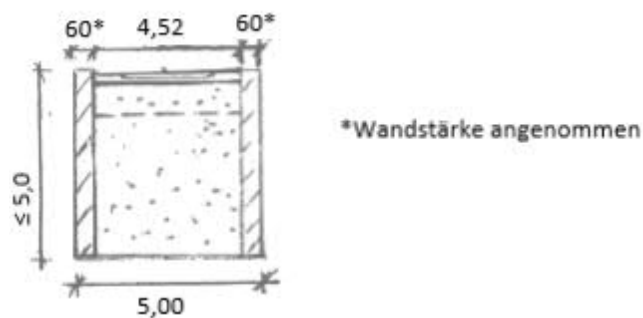


Abbildung 4: Bestandsbauwerk Schnitt C-C, mit graphischen Anpassungen übernommen aus [1.]

Hauptdaten / Hauptmaße

Konstruktionsart:	3-feldrige Gewölbebrücke
Baujahr:	1906/1907
Brückenklasse / Lastmodell:	Geh- und Radwegbrücke nach DIN EN 1991-2
Stützweiten:	8,10 m : 8,10 m : 8,10 m

Lichte Stützweiten:	6,60 m : 6,60 m : 6,60 m
Lichte Höhe:	ca. 9 m mittig im mittleren Gewölbefeld
Gesamtlänge inkl. Flügellängen:	ca. 43 m
Breite:	ca. 5,0 m (entspricht der Pfeilerbreite, tw. insbesondere im Bereich der WL wurden größere Breiten gemessen, vermutl. u.a. aufgrund von Verschiebungen der Flügelwände)
Breite zwischen den Geländern:	ca. 3,0 m
Konstruktionshöhe Gewölbe:	ca. 0,64 m
Stichmaß Gewölbe:	ca. 1,61 m
Überschüttungshöhe Gewölbemitte:	ca. 0,585 m
<u>Hauptbaustoffe</u>	
Mauerwerk Pfeiler und Widerlager:	Ziegelmauerwerk mit verlängertem Zementmörtel (Zement : Kalk : Sand = 1 : 1 : 5), entspricht gemäß [4.] ca.: Druckfestigkeitsklasse 4 / Mörtelgruppe MG II
Mauerwerk Gewölbe	Ziegelmauerwerk mit reinem Zementmörtel 1 : 3, es wird von mindestens gleichen Materialeigenschaften wie im Pfeiler / WL ausgegangen: ≥ Druckfestigkeitsklasse 4 / Mörtelgruppe MG II
Fundamente:	Beton, angesetzt als C 8/10
Überschüttung / Hinterfüllung:	Zusammensetzung unbekannt
Geländer:	Stahlgeländer unbekannter Werkstoffgüte
Fahrbahnbelag:	Bituminös-gebundener Aufbau

2.3 Maßgebende Schadensbilder

Durchfeuchtung Mauerwerk / Verminderte Steifigkeiten

Wesentliches Schadensbild ist eine Durchfeuchtung des Mauerwerks, welche u. a. in [4.] beschrieben wurde. Ursächlich für die Durchfeuchtungen sind vermutlich Schäden in der oberseitigen Abdichtung der Gewölbe (gemäß dem in [1.] zitierten Erläuterungsbericht wurde eine Abdeckung aus Ziegelflachsicht mit 1,5 cm Zementputz und Isolierpappe ausgeführt). Weiterhin ist unsicher, ob die Entwässerung in den Tiefpunkten oberhalb der Mauerwerkspfeiler (Freifall-Entwässerung über seitlich herausragende Rohre) noch funktionsstüchtig ist. In einem geringeren Umfang trägt ggf. aufsteigende Feuchtigkeit aus dem

Boden zur Durchfeuchtung bei, jedoch lässt das Schadensbild darauf schließen, dass ein wesentlicher Teil der Feuchtigkeit von oben in das Mauerwerk eindringt.

Eine Reihe von Folgeschäden sind offensichtlich auf die Durchfeuchtung des Mauerwerks zurück zu führen. Hierbei ist insbesondere die verminderte Steifigkeit zu nennen, die u.a. aus einer Schädigung der Ziegel infolge einer Kombination aus Frost und Feuchtigkeit resultieren dürfte. Weiterhin ist die überhöhte Chloridbelastung zu nennen sowie Aussintungen und sich ablösende Steinreihen.

Ablösende Steinreihen

Insbesondere an den Pfeilerköpfen haben sich die äußeren Steinreihen vom Pfeilerquerschnitt gelöst und sind entweder komplett ausgebrochen oder sind lose und ohne tragende Wirkung. Verursacht wurden die Schäden vermutlich u.a. durch Sprengdruck infolge überhöhter Chloridbelastungen, s.o. und [4.], und/oder durch Sprengdruck infolge gefrierender Feuchtigkeit. In beiden Fällen wäre die eindringende und ggf. Chlorid transportierende Feuchtigkeit ursächlich.

Horizontallast auf Stirn- und Flügelwände

Wie in [5.] gezeigt wurde, sind die Stirn- und Flügelwände rechnerisch nicht in der Lage, den horizontalen Erddruck aufzunehmen. Mehrere Schäden wie Risse und Schiefstellungen in den Flügelwänden sind eine Folge der Überlastung. Momentan scheinen sich die Flügel- und Stirnwände, so weit der Last entzogen zu haben, dass sie sich vorerst in einem halbwegs stabilen Gleichgewichtszustand befinden.

Stirnringrisse Gewölbe

Infolge des horizontalen Schubes aus Erddruck auf die Seitenwände der Gewölbe reißen die äußeren Bereiche der Gewölbe vom mittleren Bereich ab. Durch diese Stirnringrisse wird die Lastverteilung in Querrichtung im Gewölbe gestört

Weitere Schäden

Neben den oben genannten Schäden sind diverse weitere Schäden vorhanden [3.]. Hierzu zählen:

- Risse in Bogenlängsrichtung in den Kämpferfugen
- Großflächige Abplatzungen am Mauerwerk (ca. 1-3 cm)
- Hohlstellen im Mauerwerk
- Herausgebrochener Fugenmörtel / lose Steine
- Verschiedene weitere, aber kleinere Risse
- Unverschlossene Kernbohröffnungen (Probeentnahmestellen)
- Bewuchs mit Moosen, Algen und Flechten
- Graffiti
- Schmutzablagerungen
- Kleinere Schäden am Geländer
- Ungenügende Absturzsicherung in den Böschungsbereichen
- Poller ohne ausreichende Warnwirkung (Farbbeschichtung abgeblättert)

- Schäden im Fahrbahn- / Gehwegsbelag
- Fehlstellen an einer metallischen Abdeckplatte
- Undichte Stellen in den Rohren der Freifallentwässerung
- Korrodierte Hüllrohre, Leitungen und Leitungskonsolen
- Auskolkungen
- Unrat im Bachlauf und im Böschungsbereich

2.4 Baugrund

Angaben zum Baugrund sind nicht bekannt. Allerdings sind keine Schäden bekannt, welche auf eine unzureichende Tragfähigkeit der Gründungsbauteile oder für das Bauwerk unverträgliche Setzungen hindeuten.

Sofern im Zuge der Sanierung keine zusätzlichen Lasten auf bestehende Gründungsbauteile aufgebracht werden und keine zusätzliche Gründungsbauteile benötigt werden, könnte in Abstimmung mit dem Bauherrn evtl. auf eine Untersuchung des Baugrundes verzichtet werden.

Bei einigen Sanierungsvarianten werden zusätzlich Fundamente erforderlich. In diesem Fall wird ein Baugrundgutachten erforderlich.

2.5 Denkmalschutz

Die Brücke wurde am 15.03.2019 in die Liste der Baudenkmäler des Landes Schleswig-Holstein aufgenommen. Der Denkmalschutz erstreckt sich auf das gesamte Objekt.

Daher wird empfohlen, die zuständige Denkmalschutzbehörde frühzeitig (nach Vorlage dieses Berichtes) in die Abstimmungen mit einzubeziehen.

2.6 Zuwegung / BE-Flächen

Die Zuwegung zum überführten Verkehrsweg ist zur nord-östlichen Seite von der Bundesstraße 208 aus kommend über die Schmilauer Straße und dann über die Straßen Eichenweg oder Dermin gegeben. Die süd-westliche Seite des überführten Verkehrswegs ist von der Bundesstraße 208 aus kommend ebenfalls über die Schmilauer Straße und dann über die Henri-Dunant-Straße und den Röpersberg erreichbar. Beide Anfahrtswege führen zuletzt über kleinere Gemeindestraßen. Das Bauwerk selbst ist, wie oben beschrieben, nicht für die Verkehrslasten aus schweren Fahrzeugen nachgewiesen.

Das Gelände unterhalb des Bauwerks ist für größeres Gerät nur mit erheblichem Aufwand erreichbar, siehe auch die Ausführungen im Abschnitt 3.4. Für Baustellenpersonal und Kleingerät kann der Bereich durch eine Treppenanlage in der Böschung und/oder durch einen Treppenturm neben dem Bauwerk und ggf. mit einer Seilwinde vom Bauwerk aus erschlossen werden.

Größere Kräne und Betonpumpen sind im Baustellenbereich nur bei einem Rückschnitt des Baumbestandes und unter Beachtung der sehr geringen Aufstellflächen einsetzbar.

Es stehen nur sehr begrenzte Baustelleneinrichtungsflächen zur Verfügung. Die Lage und der Umfang der Baustelleneinrichtungsflächen wird in den weiteren Planungsphasen abgestimmt.

Insgesamt ergibt sich also aus der örtlichen Lage und den örtlichen Platzverhältnissen das Erfordernis an alle untersuchten Varianten, die Verwendung von großen Bauteilen und Geräten zu vermeiden, sowie sparsam mit den vorhandenen Lagerflächen umzugehen.

2.7 Bauzeitliche Verkehrsführung

Es handelt sich um einen untergeordneten Verkehrsweg für den Geh- und Radverkehr.

Die Länge der Umleitungsstrecke über die Straßen Röpersberg, Henri-Dunant-Straße, Schmilauer Straße und Eichenweg liegt mit ca. 700 m in einem vertretbaren Rahmen.

Daher wird eine bauzeitliche Behelfsquerung oder zusätzliche Maßnahmen zur Erzielung eines besonders schnellen Baufortschrittes nicht für erforderlich gehalten.

2.8 Leitungen / Bauliche Anlagen

Bauliche Anlagen im Bauwerksbereich

In der Nähe des Bauwerks befinden sich verschiedene Nebengebäude (zu Röpersberg 1, sowie Verteilerstation Versorgungsleitungen) mit lichtem Abstand zu den Flügelen von rund 5-10 m, Wohngebäude (Röpersberg 1, Dermin 19, Dermin 20) mit lichtem Abstand zu den Flügelen von rund 10-15 m sowie ein Krankenhaus (lichter Abstand ca. 30 m).

Leitungen

Am Bauwerk befinden sich verschiedene Leitungen bzw. Hüllrohre (Südostseite: 1 Hüllrohr ca. DN 100-120; Nordwestseite: 2 Hüllrohre ca. DN 200 und Rohr ca. DN 400) Welche Leitungen in den Rohren verlaufen, und ob diese nach der Sanierung weiter betrieben werden sollen, wird im Weiteren mit der Stadt Ratzeburg und den Versorgungsträgern abgestimmt.

Gemäß einer ersten Trassenauskunft (Vereinigte Stadtwerke Netz GmbH) verlaufen folgende Leitungen auf der Karte parallel zum Bauwerk, sodass aufgrund der großen Geländeeinschnitttiefe davon ausgegangen werden kann, dass diese mit dem Bauwerk überführt werden:

- Wasserleitung VW 225 PVC – Vereinigte Stadtwerke Netz GmbH
- 2x Niederspannungsleitungen NAYCWY 3x95/95 – Vereinigte Stadtwerke Netz GmbH
- Verlauf der Beleuchtungskabel unbekannt – Vereinigte Stadtwerke Netz GmbH
- Lage Breitbandleitungen unbekannt – Vereinigte Stadtwerke Netz GmbH

Andere Trassenauskünfte werden noch eingeholt.

Unter dem Bauwerk vorhandene Leitungen sind nicht bekannt.

Baumbestand

Das Bauwerk befindet sich in einem bewaldeten Geländeeinschnitt. Der Umfang der für die Maßnahme erforderlichen Rückschnitt- bzw. Fällmaßnahmen wird noch geprüft.

2.9 Entwässerung

Die Entwässerung funktioniert im Bestand planmäßig über eine im bituminösen Fahrbahnbelag ausgebildete Rinne und Straßenabläufe im Flügelbereich. Aufgrund von Belagsschäden, Schmutzablagerungen und anderen Schäden scheint die vorhandene Entwässerung nur unzureichend zu funktionieren.

Daten über Längs- und Querneigung des Verkehrsfläche liegen nicht vor.

Zusätzlich ist eine Freifallentwässerung über seitlich auskragende Entwässerungsrohre in den Tiefpunkten oberhalb der Mauerwerkspfeiler vorhanden. Inwieweit diese Freifallentwässerung noch funktionstüchtig ist, ist noch unklar.

3. Untersuchung und Vergleich möglicher Sanierungsvarianten

In diesem Abschnitt werden zunächst vier verschiedene Sanierungsvarianten mit mehreren Untervarianten erläutert. Diese unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich der Frage, ob und wie die Überschüttung des Bauwerks zur Herstellung einer neuen Abdichtung abgetragen wird:

- Variante 1 (Kapitel 3.1): Sanierung ohne Abgrabung der Überschüttung. Stattdessen wird eine Abdichtung durch Injektion von unten durch das Gewölbe (Variante 1a) oder unterhalb des Fahrbahnbelages (Variante 1b) hergestellt oder der Fahrbahnbelag wird wasserdicht ausgeführt (Variante 1c).
- Variante 2 (Kapitel 3.2): Die Überschüttung des Bauwerks wird abgegraben und eine bituminöse Abdichtung (Variante 2a) aufgebracht oder eine weiße Wanne aus WU-Stahlbeton als eine „U-Schale“ im vormaligen Überschüttungsbereich hergestellt. Anschließend wird die Überschüttung wieder eingebracht.
- Variante 3: (Kapitel 3.3): Abtragung der Überschüttung und Ersatz durch eine aufgeständerte Stahlbeton-Fahrbahn, welche gleichzeitig auch die Funktion der Abdichtung übernehmen kann (WU-Bauweise). Die Aufständigung der Fahrbahn erfolgt entweder oberhalb der Stirnwände mit Plattenstegen seitlich der Stirnwände (Variante 3a) oder aber als Plattenbalken zwischen den vorhandenen Stirnwänden (Variante 3b).
- Variante 4 (Kapitel 3.4): Betrachtung einer Stahlbrücke als Ersatzneubau. Bei dieser Variante erübrigen sich die meisten der nachfolgend aufgeführten Einzelmaßnahmen.

Auf eine ausführliche Betrachtung einer Variante ohne Ausführung von Erhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen („Nullvariante“) wird verzichtet, da hierbei das Bauwerk eher kurzfristiger komplett gesperrt werden müsste, weil es dem Verfall überlassen wäre. Je länger eine Sanierungsmaßnahme herausgezögert wird, desto mehr nimmt der Schadensumfang und damit der Sanierungsaufwand zu. Somit ist eine umfassende und recht zeitnahe Sanierung nachdrücklich angeraten.

Im Anschluss an die nachfolgende Betrachtung der vorbeschriebenen Varianten werden variantenübergreifende Sanierungsmaßnahmen erläutert. Hierbei werden die verschiedenen Einzelmaßnahmen zur besseren Übersicht mit Buchstaben [A.] bis [M.] durchnummeriert und in vier Gruppen kategorisiert:

- Kapitel 3.5: Maßnahmen zur Sanierung und Ertüchtigung des Mauerwerks
- Kapitel 3.6: Maßnahmen zur Wiederherstellung einer funktionierenden Entwässerung / Abdichtung
- Kapitel 3.7: Maßnahmen an der Bauwerksausstattung
- Kapitel 3.8: Behelfsmaßnahmen zur Bauausführung

3.1 Variante 1: Bestandssanierung ohne Austausch Überschüttung

In dieser ersten Sanierungsvariante werden drei Untervarianten untersucht, die sich dadurch kennzeichnen, dass bei Ihnen auf einen Austausch der Überschüttung für die Herstellung der Abdichtung verzichtet werden kann oder dessen Umfang stark reduziert werden kann.

Hierdurch können die Kosten für die arbeitsintensive Abtragung und Wiedereinbringung der Überschüttung eingespart werden.

Allerdings sind mit den verschiedenen Untervarianten der Variante 1 auch mehrere Nachteile verbunden. Insbesondere besteht, je nach Untervariante in unterschiedlichem Ausmaß, das Risiko von Fehlstellen in der Abdichtung. Diese können aber nicht zuverlässig entdeckt werden. Weiterhin ist bei diesen Varianten keine abdichtende Trennung der Bauwerksüberschüttung vom Erdreich im Böschungsbereich ausführbar. Es ist teilweise noch abschließend zu klären, mit welchem Gefälle die entwässernden Schichten ausgeführt werden und die Abführung des Wassers zum Vorfluter ausgeführt wird.

Bei dieser Ausführungsvariante werden die Gewölberücken und die Rückseiten der Stirn- und Flügelwände nicht freigelegt. Somit ergibt sich keine Möglichkeit, deren Zustand zu kontrollieren und ggf. erforderliche Sanierungsmaßnahmen durchzuführen. Auch eine Kontrolle der Berechnungsannahmen, wie z.B. die Dicke der Stirnwände, ist nur eingeschränkt möglich. Der Austausch der Hinterfüllung würde die Möglichkeit bieten, diese mit neuen kontrollierten Eigenschaften herzustellen, während aktuell keine Erkenntnisse über die Zusammensetzung der Überschüttung vorliegen.

Die Zugänglichkeit zur Umsetzung anderer Maßnahmen ist bei dieser Variante eingeschränkt. Dies betrifft insbesondere die Erneuerung der Freifallentwässerung (Maßnahme [G.]), bei der der Zufluss des Wassers zu den Entwässerungsrohren nicht kontrolliert und erforderlichenfalls angepasst werden kann.

Variante 1a: Abdichtung durch Schleierinjektion

Grundsätzlich ist die Herstellung einer Abdichtung der Gewölberücken durch Injektion der Abdichtungsstoffe durch das Gewölbe hindurch von einem darunter angeordneten Arbeitsgerüst aus möglich. Dies kann als Schleierinjektion (Abdichtung durch Gel im Erdreich) oder ggf. als Verkieselung oder Vergelung des Mauerwerks selbst erfolgen. Allerdings besteht nach eigener Einschätzung ein vergleichsweise hohes Risiko für Fehlstellen in der Abdichtung. Zudem kann die Wasserführung auf der Abdichtungsebene zu der Freifallentwässerung nicht kontrolliert werden.

Bei unentdeckten Fehlstellen in der Abdichtungsebene besteht ein recht hohes Risiko, dass die vorhandenen Bauwerksschäden zunehmen bzw. sanierte Bereiche erneut geschädigt werden.

Daher wird dieses Verfahren nicht zur Ausführung empfohlen und an dieser Stelle nur aus Gründen der Vollständigkeit aufgeführt. In der Kostenschätzung wird diese Variante nicht berücksichtigt.

Variante 1b: Abdichtungsbahnen unterhalb des Belages

Bei dieser Untervariante ist vorgesehen den Fahrbelag und den oberen Bereich der Überschüttung zu entfernen. Auf der verbleibenden Überschüttung werden Dichtungsbahnen mit dem nötigen Quergefälle verlegt und das Wasser mit seitlichen, mit Längsgefälle verlegten Dränagerohren gefasst. Die Dichtungsbahn wird mit einem grobkörnigen Boden

als Schutz- und Sickerschicht abgedeckt, auf welcher der neue Fahrbelag hergestellt wird.

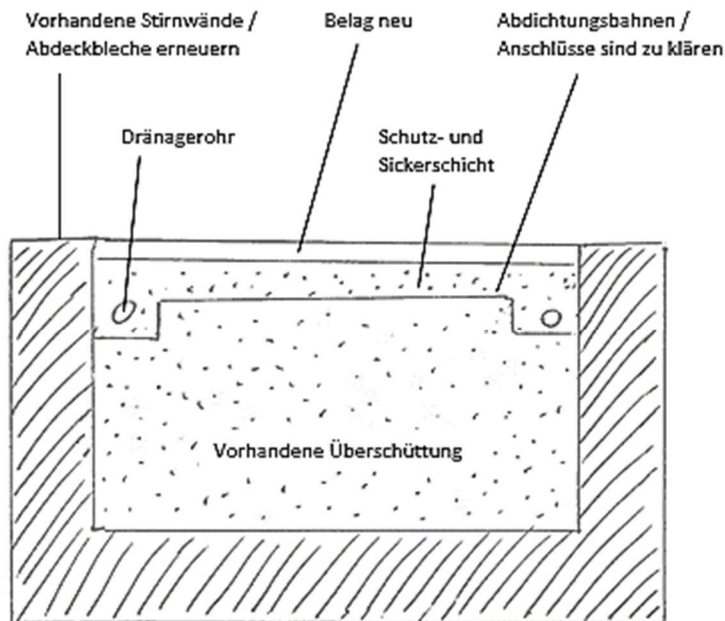


Abbildung 5: Querschnitt: Skizzierung Abdichtung Variante 1b

Sollte es in der Überschüttung zu Setzungen kommen oder stehen Arbeiten am Belag oder an Leitungen an, besteht die Gefahr von Schäden in der Abdichtungsebene. Besonders im Bereich der Stöße und im Bereich des Anschlusses an die Freifallentwässerung ist auf eine korrekte Ausführung zu achten.

Da eine Verankerung der Geländer auf den Stirnwänden nur mit erheblichem Aufwand möglich ist, müssten diese wieder auf Einzelfundamenten in der Überschüttung angeordnet werden. Diese Einzelfundamente würden aber die Abdichtung durchdringen und potentielle Schadstellen in der Abdichtung darstellen. Daher wird im Rahmen der Kostenschätzung nur die nachfolgende Untervariante 1c weiter untersucht.

Variante 1c: Gussasphalt und bituminöse Dichtungsbahn als Abdichtungsebene

Auch der Fahrbelag kann als abdichtendes Element ausgebildet werden. Als möglicher abdichtender Belag kommt Gussasphalt infrage, der grundsätzlich wasserdicht ist. Allerdings ist bei einem reinen Gussasphaltbelag bei Setzungen, welche insbesondere in den Übergangsbereichen auf das bzw. vom Bauwerk unvermeidlich erscheinen, mit Schäden im Belag zu rechnen. Daher wäre eine regelmäßige Unterhaltung / Ausbesserung des Belages essentiell für dessen Funktionalität bei dennoch verbleibenden Undichtigkeitsrisiken in den Arbeitsfugen.

Zur Verbesserung der abdichtenden Funktion der Gussasphaltschicht wird daher unterhalb des Fahrbelages eine 10 cm starke, konstruktiv bewehrte Stahlbetonplatte vorgesehen, auf welcher wiederum eine bituminöse Abdichtung als zweite Abdichtungsschicht aufgebracht wird. Die Stahlbetonplatte kann auch an die Einzelfundamente für die Geländer angeschlossen werden, sodass das Risiko für Schäden an der Abdichtung im

Übergangsbereich deutlich reduziert wird. Ein besonderes Augenmerk liegt auf dem Übergangsbereich des Belages zu den Stirnwänden. Hier erscheint es sinnvoll, die Abdeckbleche der Stirnwände mit ausreichendem Überstand oberhalb der Gussasphaltschicht überstehen zu lassen und das Wasser durch ein Quergefälle zu einer Rinne im mittleren Bereich des Bauwerks zu führen. Somit könnte die Feuchtebeanspruchung der anfälligen Anschlussbereiche reduziert werden.

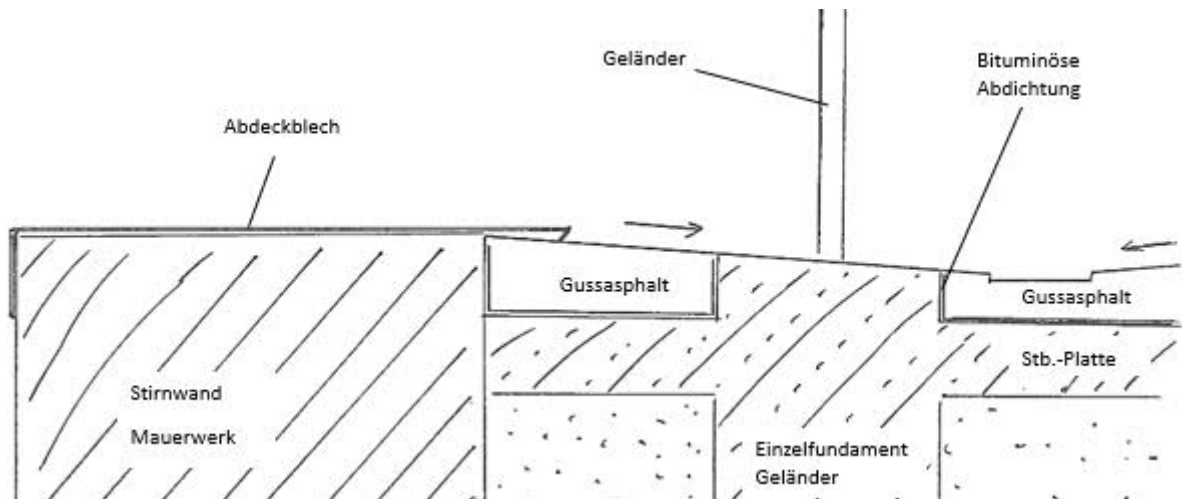


Abbildung 6: Ausbildung Anschlussbereiche Variante 1c

Variante 1d: WU-Platte als Abdichtung

Als Variation der zuvor beschriebenen Variante wäre die Ausführung einer WU-Platte aus Stahlbeton ohne tragende Funktion als direkt begangene Fahrbahn- / Gehwegbelag denkbar. Die Ausführung sowie die Vor- und Nachteile werden dabei grundsätzlich ähnlich wie bei der zuvor beschriebenen Variante eingeschätzt. Mehrkosten für rissbreitenbeschränkende Bewehrungen und Mehrmengen an Beton (Mindestdicke WU-Bauteile) werden ausgeglichen durch den Wegfall der Kosten für die Geländerfundamente, den Gussasphalt, die bewehrte Sauberkeitsschicht und die bituminöse Abdichtung ausgeglichen, sodass sich insgesamt etwas geringere Kosten ergeben. Dies zumindest soweit keine Beschichtung (z.B. OS 8) für erforderlich gehalten wird. Im Gegensatz zu der zuvor beschriebenen Untervariante und den nachfolgenden Varianten gibt es nur eine Schicht, welche die entwässernde und abdichtende Funktion übernimmt. Hierdurch führen Fehlschäden in dieser Schicht potentiell direkt zu einer erneuten Durchfeuchtung des Mauerwerks.

3.2 Variante 2: Bestandssanierung mit Austausch Überschüttung

In dieser Variante wird die vorhandene Überschüttung vollständig abgetragen. Anschließend werden Fehlstellen beseitigt, das Mauerwerk ertüchtigt und die Abdichtung auf den Gewölberücken und der Erdseite der Stirnwände hergestellt und die Überschüttung erneut aufgebracht.

Variante 2a: Bituminöse Abdichtung

Nachdem die Gewölbe und Stirn- und Flügelwände oberseitig bzw. rückseitig freigelegt und gemäß Maßnahme [E.] und gegebenenfalls mit Zusatzmaßnahmen gemäß örtlicher

Festlegung saniert wurde, wird eine Ausgleichsschicht aus zementösem Putz / Mörtel zum Ausgleich vorhandener Unebenheiten aufgebracht. Auf dieser Ausgleichsschicht wird eine Polymerbitumen-Schweißbahn oder eine ähnliche Abdichtungsschicht aufgebracht. Auf dem Gewölberücken wird auf dieser Abdichtungsschicht eine Schutzschicht aus konstruktiv bewehrtem Schutzbeton in Anlehnung an RiZ Fug 4 aufgebracht. Auf die Stirn- und Flügelwände kann ggf. noch eine geotextile Dränmatte als zusätzliche Schutzschicht auf die Abdichtung aufgebracht werden.

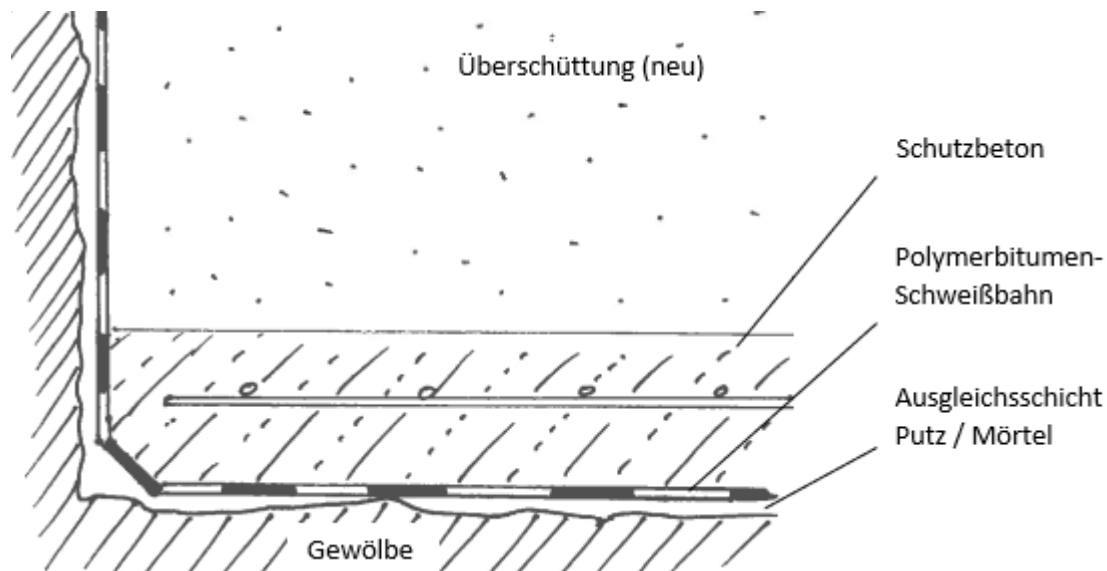


Abbildung 7: Mögliche Detailausbildung Übergang Stirnwand- / Gewölbeabdichtung Variante 2a

Hierbei können voraussichtlich nur Kleingeräte ggf. mittelgroße Geräte für den erforderlichen Abtrag der Überschüttung verwendet werden, da sonst die Tragfähigkeit des Bestandes überschritten wird. Diese lässt sich aber gegebenenfalls in einem gewissen Umfang durch bauzeitliche Verstärkungsmaßnahmen (Gerüste und Abstützungen) steigern. Problematisch sind hierbei besonders die Stirn- und Flügelwände. Diese sind im unsanierten Zustand nicht ausreichend tragfähig für die Aufnahme von Baufahrzeugen. Ein Vorziehen der Verstärkungsmaßnahme [C.] würde wiederum aber den Aushub behindern. Ein Befahren nach Abtragung der Überschüttung würde aber zu einer Mehrbelastung der Gewölbe (Wegfall der lastverteilenden Wirkung der Überschüttung, besondere „Empfindlichkeit“ der Gewölbe gegenüber Einzellasten) und zu sehr steilen Abschnitten beim Befahren führen.

Hierdurch ergibt sich die Erforderlichkeit im Zuge der weiteren Planung eine Art „Aushubkonzept“ zu erstellen, in welchem der Bauablauf, die einzusetzenden Geräte, die Verstärkungsmaßnahmen und ggf. Lastverteilungsmaßnahmen aufeinander abgestimmt und optimiert werden. Für den Vorentwurf werden die schwierigen Aushubbedingungen zunächst durch hohe Einheitspreise beim Aushub berücksichtigt. Ähnliches gilt für die Einbringung der neuen Überschüttung.

Vorteilhaft an dieser Variante ist, dass das bestehende Bauwerkssystem weitgehend unverändert bleibt, wodurch kaum Kosten für zusätzliche Konstruktionsteile entstehen und die Bauwerksansicht im Wesentlichen unverändert bleibt.

Nachteilig an dieser Untervariante ist, dass die Kopplung der Stirn- und Flügelwände gemäß Maßnahme [C.] separat ausgeführt werden muss und die Punkte, an denen die Anker durch die Abdichtung geführt werden, mögliche Schadstellen in der Abdichtung darstellen.

Variante 2b: Innenliegende WU-Wanne

Anstelle einer, ggf. auch ergänzend oder bereichsweise ergänzend zu einer „Schwarzen Abdichtung“ aus Bitumenschweißbahnen wird eine weiße Wanne aus WU-Stahlbeton vorgesehen. Diese wird U-förmig im ausgehobenen Überschüttungskörper auf dem Gewölberücken und zwischen den Stirn- bzw. Flügelwänden ausgebildet. Nach Herstellung der Stahlbetonkonstruktion wird diese wieder mit einem durchlässigen Boden überschüttet.

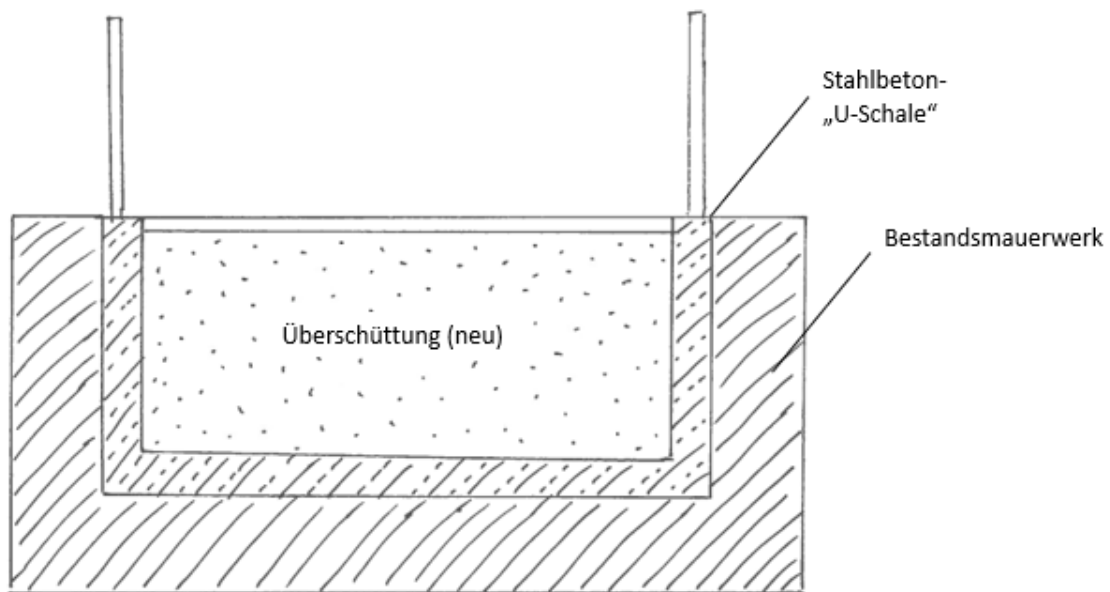


Abbildung 8: Querschnitt Variante 2b

Da hierbei die neuen Betonwände in die neue Betonsohle eingespannt werden können, kann die Stahlbetonkonstruktion den seitlichen Erddruck aufnehmen, sodass auf eine weitere Verstärkung der Stirn- und Flügelwände verzichtet werden kann. Weiterhin werden die Stirnwände und die mittleren Bereiche der Gewölberücken soweit mit der mit der innenliegenden, die Bauteile verbindenden, U-Schale verzahnt, dass bei der Sanierung der Stirnringrisse (vgl. Maßnahme [B.]) auf aufwendige Maßnahmen zur konstruktiven Kraftübertragung verzichtet werden kann und stattdessen ein einfaches Verpressen / Verschließen der Stirnringrisse ausreichend erscheint. Außerdem können die Geländer direkt auf den aufgehenden Wänden der U-Schale montiert werden.

Noch zu bewerten ist, ob und ggf. inwieweit der Stahlbetonkonstruktion eine tragende Wirkung in Brückenlängsrichtung zugewiesen wird. Einerseits erhält diese eine Bogenform analog zu den Mauerwerksgewölben, sodass eine tragende Funktion in Längsrichtung ohne größeren konstruktiven Zusatzaufwand berücksichtigt werden kann. Andererseits sind die Mauerwerksgewölbe im sanierten Zustand wohl ohnehin bereits ausreichend tragfähig, sodass auf die zusätzliche tragende Funktion der Stahlbetonkonstruktion verzichtet werden kann. Im Zuge der Kostenschätzung wird davon ausgegangen, dass durch die

innenliegende U-Schale die Tragfähigkeit des Bauwerks erhöht wird, sodass zumindest bei der Wiederherstellung der Überschüttung das Bauwerk mit mittelschweren Baufahrzeugen befahren werden kann und sich somit geringere Einheitspreise für die Wiedereinbringung der Überschüttung im Vergleich zur Variante 2a ergeben.

Für die Ausbildung der WU-Konstruktion wird der Entwurfsgrundsatz „b“ gemäß DAfStb WU-Richtlinie gewählt, bei dem Trennrissbreiten eine festgelegte Breite nicht überschreiten sollen um die Selbstheilung der Risse bei Wasserdurchtritt zu ermöglichen. Der Entwurfsgrundsatz „a“, welcher eine Vermeidung von Trennrissen vorsieht, ist nicht umsetzbar, da Trennrisse infolge Hydratation und Zwängungen zwischen Stahlbeton- und Mauerwerk unvermeidlich sind. Auch der Entwurfsgrundsatz „c“ mit planmäßigen Dichtmaßnahmen in Trennrissen erscheint nicht praktikabel, da die WU-Konstruktion nach Wiedereinbringung der Überschüttung nicht mehr zugänglich ist und Stellen mit Wasserdurchtritt nicht zuverlässig lokalisiert werden können.

Mit Hinblick auf die erforderlichen Betondeckungen, lichten Innenmaße zwischen den Bewehrungslagen nach WU-Richtlinie sowie den Platzbedarf für die Bewehrungsführung erscheint eine Bauteildicke von ca. 30 cm für die Stahlbetonwände und -Sohle notwendig. Aufgrund der rissbreitenbeschränkenden Bewehrung sind hohe Bewehrungsgehalte erforderlich.

Besonderes Augenmerk ist auf die Abdichtung der Fuge zwischen Mauerwerk und Stahlbetonkonstruktion zu legen. Hierzu ist vorgesehen, die Abdeckbleche über die Stahlbetonkonstruktion überstehen zu lassen und das anfallende Wasser durch Querneigung zur Bauwerksmitte von den Außenbereichen fernzuhalten.

Dem vergleichsweisen hohen Aufwand zur Herstellung der Stahlbetonkonstruktion stehen damit Ersparnisse in anderen Bereichen (Verzicht auf weitere Abdichtung, Geländerdamente, Kopplung Stirn- und Flügelwände, Reduzierung Aufwand Stirnringrisse) gegenüber. Hervorzuheben ist weiterhin, dass die Bauwerksansicht bei dieser Variante (abgesehen von ggf. leichten Verschiebungen des Geländers) unverändert bleibt.

Eine Variation dieser Variante, bei welcher die Stahlbeton-U-Schale die Lasten aus dem seitlichen Erddruck auf die Mauerwerkswände aufnimmt, aber die abdichtende Funktion einer separaten (Bitumen-) Abdichtung zugewiesen wird, wäre denkbar. Ein Vergleich, auch im Hinblick auf die anzuwendenden WU-Entwurfsgrundsätze wäre hier bei Weiterverfolgung der Variante noch auszuarbeiten. Da im Brückenbau ähnliche Anforderungen an die Rissbreitenbeschränkung gestellt werden, wie im vorliegenden Fall aufgrund der WU-Konstruktionsweise vorlägen, könnte WU-Qualität sozusagen ggf. schon durch vergleichsweise einfache Beachtung konstruktiver Regeln (z.B. Fugenabdichtung) erreicht werden.

3.3 Variante 3: Aufgeständerte Fahrbahn

Bei dieser Variante wird die Überschüttung auf dem Bauwerk entfernt. Der Geh- und Radweg wird auf einem direkt begangenen/befahrenen Stahlbeton-Plattenbalken (ggf. Spannbetonplattenbalken) verlegt. Die Fahrbahnplatte wird entweder oberhalb der vorhandenen Stirnwände ausgeführt (Variante 3a). In diesem Fall liegen die Stege der Plattenbalken außenliegend seitlich der Stirnwände und schützen diese gleichzeitig ähnlichen einem

Kappensims vor Witterungseinflüssen. Alternativ werden die Plattenbalken zwischen den vorhandenen Stirnwänden im ehemaligen Überschüttungskörper ausgeführt. Die Plattenbalken sind in beiden Varianten selbsttragend und oberhalb der vorhandenen Pfeiler sowie Widerlagern und auf neuen Fundamenten am oberen Ende der Böschung gelagert.

Die vorhandenen Gewölbe sowie Stirn- und Flügelwände bleiben aufgrund von denkmalpflegerischen Gesichtspunkten erhalten, nehmen zukünftig aber rechnerisch keine Verkehrslasten mehr auf, sondern tragen lediglich ihr Eigengewicht. Somit ist von einer statischen Entlastung der Bestandsbauteile auszugehen. Im Weiteren zu klären ist noch, ob unplanmäßig in die Stirnwände eingeleitete Vertikallasten schadlos aufgenommen werden können oder wie eine Entkopplung der Vertikallasten ausgebildet wird.

Die Stahlbetonfahrbahn bildet die neue Abdichtungsebene (WU-Bauweise). Als zusätzlicher Schutz wird eine zweite Abdichtungsebene direkt auf dem Gewölberücken ausgeführt. Die Hohlräume zwischen Mauerwerk und Stahlbetonfahrbahn werden durch Besichtigungsöffnungen begehrbar ausgeführt, wodurch zukünftige Inspektionen und Unterhaltungsmaßnahmen erheblich vereinfacht werden.

Die klimatischen Bedingungen in den Hohlräumen sind allerdings für die Dauerhaftigkeit des Mauerwerks- und der Stahlbetonbauteile eher ungünstig zu bewerten, da mit hoher Luftfeuchtigkeit zu rechnen ist. Auch kann ein Wasserzutritt durch die Besichtigungsöffnungen und die Betonagefugen (Arbeitsfugen) nicht völlig ausgeschlossen werden.

Auf eine Kopplung der auf die Stirn- und Flügelwände wirkenden Horizontallasten wie bei den vorangegangenen Varianten erforderlich kann hier verzichtet werden, da diese zukünftig keinem horizontalen Erddruck mehr ausgesetzt sind und zusätzlich durch die Fahrbahndecke ein neues oberes horizontales Auflager erhalten.

Vorteilhaft an dieser Variante ist, dass die neue Stahlbetonfahrbahn so dimensioniert werden kann, dass diese Lasten aus Baufahrzeugen aufnehmen kann. Die Ausschachtung der Überschüttung kann dann abschnittsweise von den bereits hergestellten Abschnitten der Stahlbetonfahrbahn aus erfolgen und somit mit größeren Geräten durchgeführt werden als bei Variante 2. Bei der Variante 3b kann die Stahlbetonfahrbahn ggf. auch für die Verlegung der Fertigteile benutzt werden. (Bei der Variante 3a ist die Herstellung noch auszuarbeiten.) Gleichzeitig kann, sofern von der Stadt Ratzeburg gewünscht, rechnerisch ein Dienstfahrzeug auf der Brücke berücksichtigt werden. Im Vergleich zur Variante 2 entfällt der Aufwand für die Einbringung einer neuen Überschüttung.

Variante 3a: Aufgeständerte Fahrbahn oberhalb des Bestandsbauwerkes

Diese Variante wurde in [2.] entwickelt und von dort übernommen und weiter ausgearbeitet. Die Stege der Fahrbahnplatte werden seitlich der vorhandenen Stirnwände angeordnet. Hierdurch vergrößert sich die vorhandene Überbaubreite (ca. 5,0 m bis 5,5 m) weiter auf rd. 6,0 m.

Für die Ausführung dieser Variante ist das vorhandene Mauerwerksgesims abubrechen. Es ist zu prüfen, ob die Oberkante des Geh- und Radweges auf Höhe des Bestandes verbleiben soll. In diesem Fall wäre zusätzlich der obere Bereich der Stirnwand abubrechen.

Andernfalls würde sich die Oberkante des Geh- und Radweges um das Maß der Plattendicke nach oben verschieben. Im Bereich der Flügel müsste ein Höhenausgleich vorgesehen werden.

Bei einer Spannweite von ca. 8,1 m und wirtschaftlichen Konstruktionshöhen für Stahlbeton-Einfeldträgern [8.] von L/10 bis L/15 ergibt sich eine wirtschaftliche Konstruktionshöhe des Steges von 55 cm bis 80 cm. Diese wird zunächst mit Hinblick auf die etwas größere Spannweite in den Endfeldern mit 80 cm angesetzt. Die Breite der Stege wird zunächst mit 40 cm angesetzt. Die Fahrbahnplatte wird mit einer Plattendicke von 35 cm vordimensioniert.

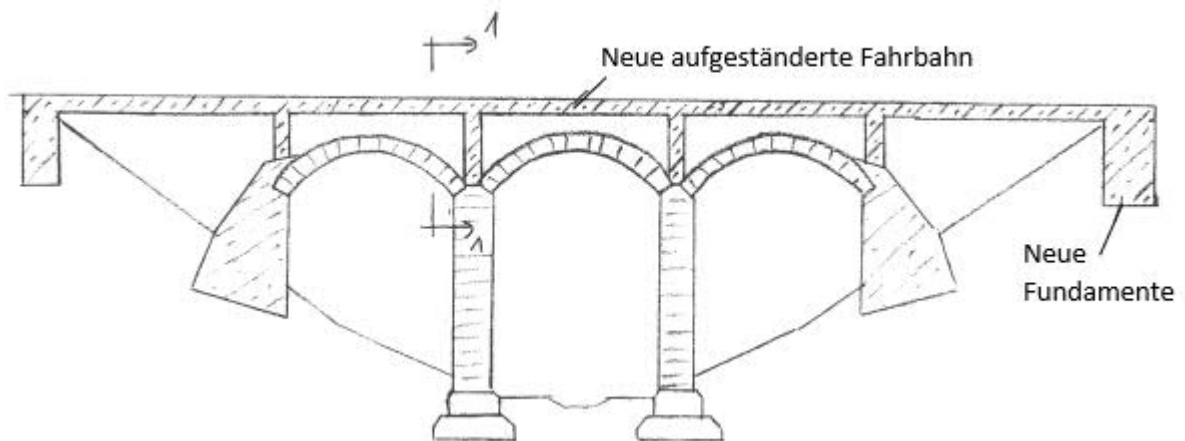


Abbildung 9: Längsschnitt Variante 3a, übernommen aus [2.]

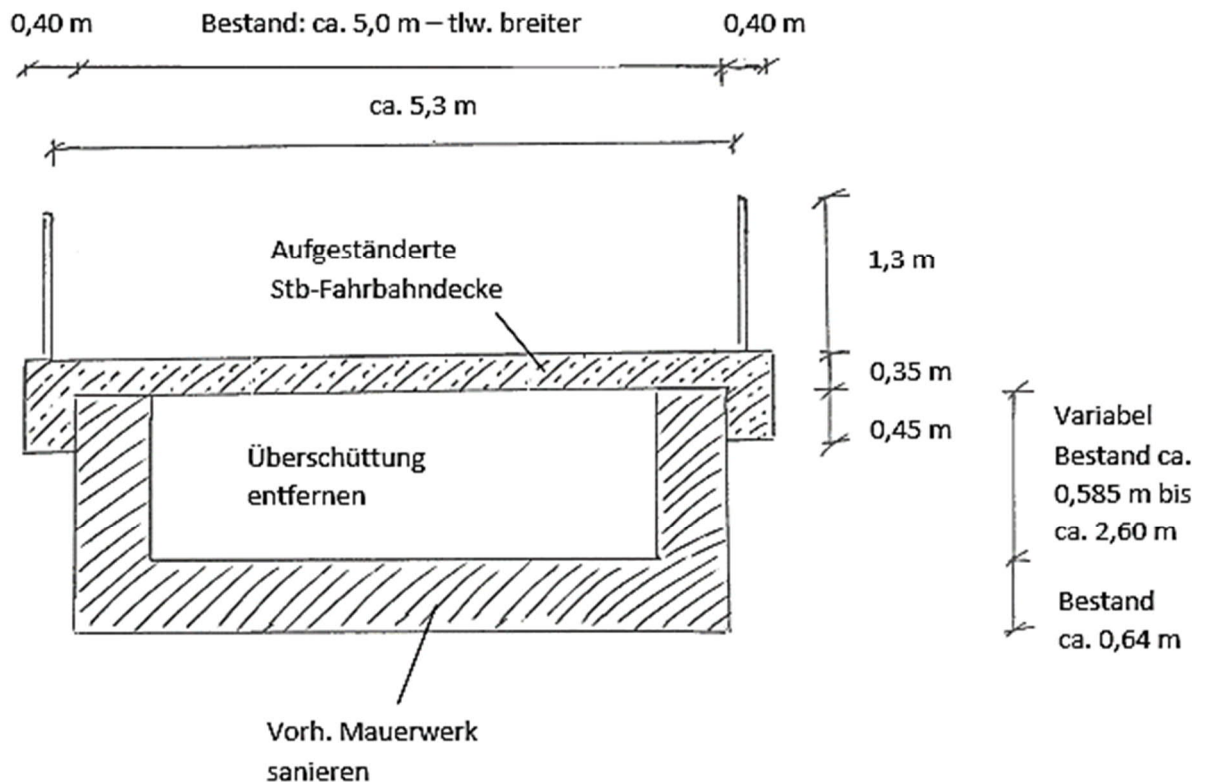


Abbildung 10: Querschnitt 1-1 der Variante 3a, überarbeitete Version aus [2.]

Gegenüber der Variante 3b ergeben sich folgende Vorteile:

- Die Konstruktionsweise ist weniger abhängig von den Bestandsmaßen. Somit wird das Risiko von Planungsanpassungen infolge von während der Bauphase festgestellten Maßabweichungen minimiert.
- Es werden keine Arbeitsfugen in Querrichtung erforderlich, welche potentielle Schadensstellen in der Abdichtung darstellen.
- Im Hohlraum unterhalb der Fahrbahndecke steht mehr Platz zur Verfügung. Somit können Leitungen in den Hohlraum verlegt werden, wodurch sich der Aufwand für die Sanierung von deren Auflagerkonsolen verringert.
- Die Ausführung des Details „Stahlbetonfahrbahndecke auf Stirnwand“ wird vereinfacht (einfaches Auflegen)

Allerdings sind im Vergleich zur Variante 3b auch verschiedene Nachteile vorhanden:

- Die Stege sind in der Bauwerksansicht deutlich sichtbar und beeinträchtigen das Erscheinungsbild. Dies ist mit der zuständigen Denkmalschutzbehörde abzustimmen.
- Eine Herstellung mit Fertigteilen erscheint bei den vorhandenen Abmessungen schwierig. Die Gerüste sind daher für die Aufnahme der Betonagelasten (Gesimse) auszulegen.
- Die Brückenfläche vergrößert sich, damit verbunden auch die Stahl- und Betonmengen.

Variante 3b: Stahlbeton- (ggf. Spannbeton-) Plattenbalken im abgetragenen Überschüttungskörper:

Bei dieser Variante werden Plattenbalken als Fertigteile zwischen den vorhandenen Stirnwänden im Bereich der ausgehobenen Überschüttung angeordnet. Somit ist keine Beeinträchtigung der Ansichtsfläche gegeben.

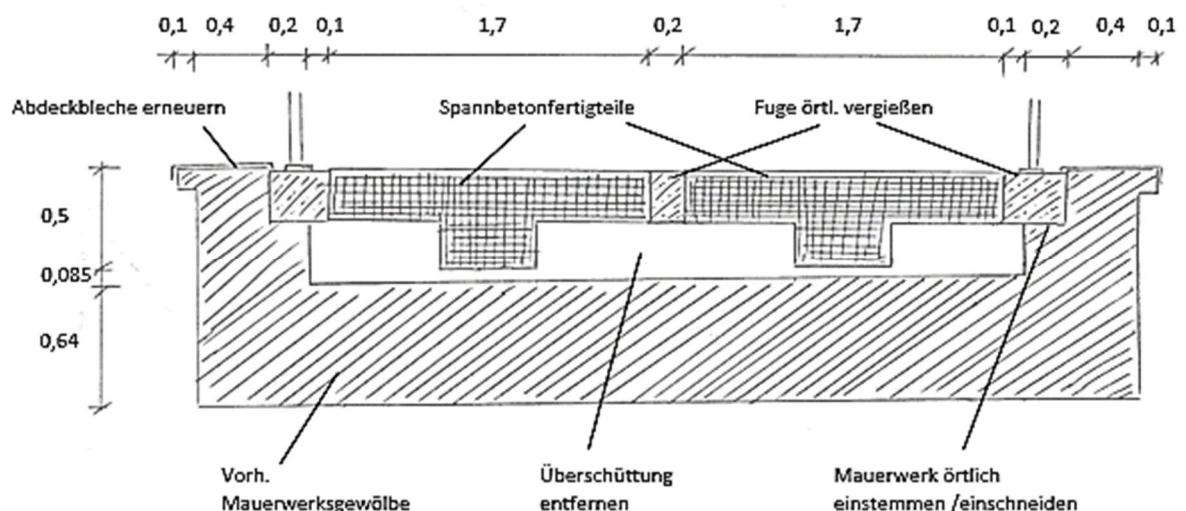


Abbildung 11: Querschnitt Variante 3b in Feldmitte (Scheitelpunkt Gewölbe), alle Maße in m

Die Höhe der Plattenbalken in den Gewölbfeldern richtet sich nach dem zur Verfügung stehenden Platz abzüglich von Reserven, da im Vorfeld kein genaues Bestandsmaß durchgeführt werden kann. Die somit zur Verfügung stehende Konstruktionshöhe von ca. 0,5 m bei einer Spannweite von ca. 8 m ergibt eine Schlankheit, die nach RE-ING [8.] im

Grenzbereich für einfeldrige Plattenbalken aus Stahlbeton liegt (Ausbildung Mehrfeldträger aufwendig und auch wenig sinnvoll, da maßgebende Beanspruchung aus Baufahrzeug auf einem Endfeld aufgebracht würde). Daher wird für die Fertigteile eine Vorspannung mit Spanngliedern im sofortigen Verbund vorgesehen. Diese ermöglicht schlankere Bauteile, sodass zum einen die vorhandene Schlankheit eine wirtschaftliche Bauweise ermöglicht, zum anderen die Transportgewichte reduziert werden und somit der Bauablauf vereinfacht wird. Außerdem bietet die Vorspannung Vorteile bei der Ausbildung einer WU-Konstruktion.

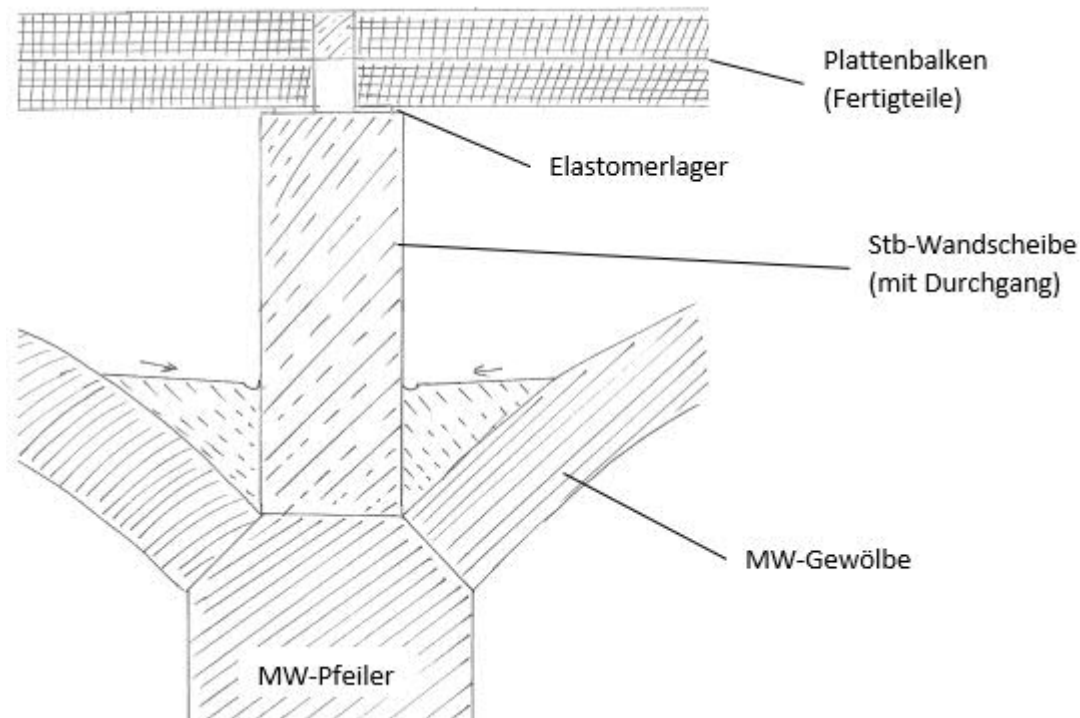


Abbildung 12: Auflagerausbildung Plattenbalken Variante 3b

Bei der oben dargestellten Variante wird eine Plattendicke von 25 cm und eine Steghöhe von zusätzlichen 25 cm angesetzt. Im Bereich der Endfelder muss die Steghöhe voraussichtlich aufgrund der größeren Stützweite etwas erhöht werden, was in den Endfeldern aber aufgrund der größeren zur Verfügung stehenden Bauhöhe und den einfacheren Montagebedingungen aber auch problemlos möglich ist.

Bei den Abmessungen gemäß oben abgebildeter Vordimensionierung ergeben sich Transportgewichte der einzelnen Fertigteile für die mittleren Bauwerksfelder von ca. 12 t. Diese könnten entweder mittels eines Mobilkrans (ca. 200 t Klasse) oder mit einem sehr schweren Teleskoplader eingehoben werden. Mobilkrane dieser Größenklasse sind am Markt gut verfügbar. Allerdings ist die Zufahrt, die Aufstellung und das Einheben aufgrund der örtlichen Situation und des Baumbestandes schwierig. Zudem müssen mehrere Anfahrten (Abschnittsweise Herstellung für Nutzung als Aushubebene) und das Anfahren von beiden Seiten des Bauwerks (Begrenzung Ausladung) berücksichtigt werden. Teleskoplader könnten bei entsprechender Dimensionierung auf den Fertigteilen selbst fahren. Somit wäre ein deutlich geringerer Rückschnitt des Baumbestandes nötig. Auch die Verkehrsbeeinträchtigungen sind geringer. Allerdings ist unklar, inwieweit die erforderlichen sehr schweren Teleskoplader am Markt verfügbar sind.

Denkbar wäre eine Erhöhung der Anzahl der in Querrichtung nebeneinanderliegenden Fertigteile, um die Tonnage der einzelnen Fertigteile zu reduzieren und damit den Einbau zu erleichtern. Damit verbunden wäre aber der Nachteil von zusätzlichen mit Ortbeton zu vergießenden Fugen. Außerdem würde die Anordnung von Besichtigungsöffnungen bei Verwendung vieler schmaler Fertigteile erschwert.

Ebenfalls denkbar wäre eine Halbierung der Stützweiten und somit ein Aufsetzen der Fertigteile in Gewölbemitte. Hiermit ginge sowohl eine Halbierung des Gewichts der Fertigteile wie auch der Ausladung beim Verlegen einher, wodurch die Verlegung mit Teleskopklader deutlich vereinfacht würde. Bei diesen Stützweiten ließen sich die Plattenbalken auch in Stahlbeton ausführen. Allerdings muss die Lastaufnahme durch das Gewölbe noch geprüft werden. Zudem ginge einer der Vorteile dieser Variante, der weitgehend von den Gewölben unabhängige Lastabtrag verloren. Auch wird die Anzahl der örtlich zu betonierenden Fugen erhöht und die Bauabschnitte werden kleiner, der Bauablauf damit kleinteiliger.

Bei Bevorzugung dieser Variante werden die in den letzten beiden Absätzen genannten Variationen in der Entwurfsphase untersucht.

3.4 Variante 4: Ersatzneubau als Stahlkonstruktion

Nachfolgend wird als weitere Variante unter Vernachlässigung denkmalpflegerischer Aspekte ein kompletter Ersatzneubau der vorhandenen Brücke kurz beschrieben.

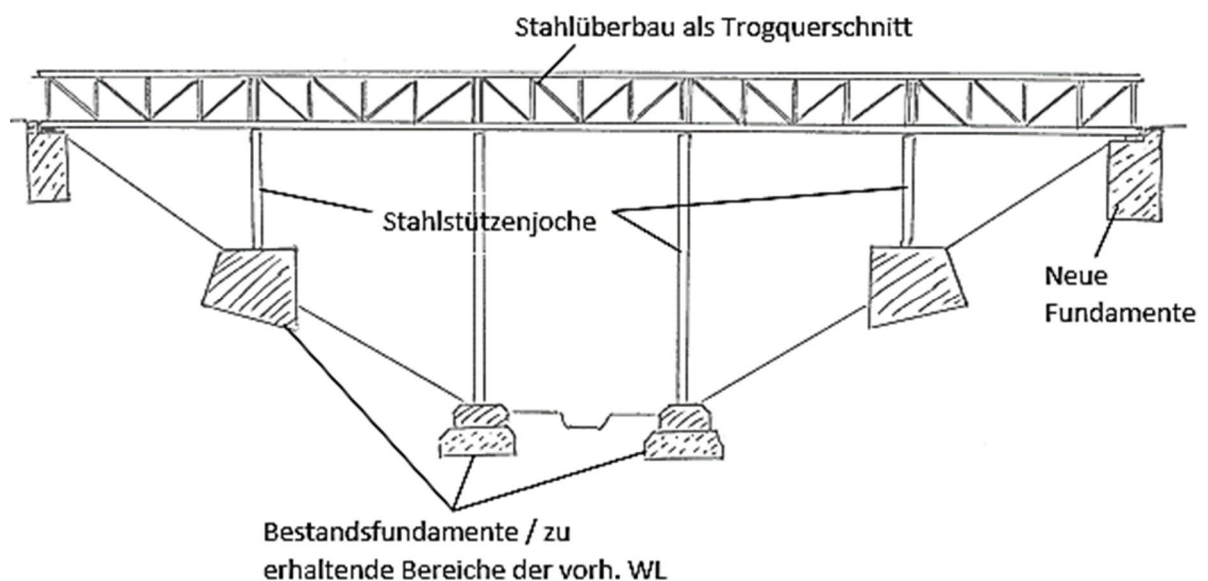


Abbildung 13: Längsschnitt Variante 4

Aufgrund der Nutzung als Geh- und Radwegbrücke sowie der örtlichen Lage scheint hierfür eine Stahlkonstruktion am sinnvollsten. Stahlbrücken ermöglichen bei Geh- und Radwegbrücken aufgrund der geringen Verkehrslasten und dem mit der Stahlbauweise verbundenen günstigen Verhältnis aus Eigengewicht zu Tragkraft schlanke Konstruktionen mit effektivem Materialeinsatz. Somit stellen sie eine wirtschaftliche Bauweise dar. Außerdem lassen sie sich weitgehend werkseitig vorfertigen und die Größe einzelner Bauteile lässt sich durch die Anordnung von Montagestößen anpassen. Hierdurch eignen sie sich gut

für das Projekt, da sie sich auch mit wenig Baustelleneinrichtungsflächen und eingeschränkter Zuwegung realisieren lassen.

Eine Holzbrücke erscheint aufgrund der geringen Dauerhaftigkeit nicht empfehlenswert. Eine Stahlbeton- oder Spannbetonkonstruktion haben logistische Nachteile, da schwerere Einzelbauteile und insgesamt deutlich mehr Material verbaut werden müssten. Aufgrund der massiveren Bauteile und dem damit verbundenen Materialeinsatz ist diese Bauweise im vorliegenden Fall unwirtschaftlicher als eine Stahlkonstruktion.

Bei einem Ersatzneubau aus Stahl könnten die vorhandenen Pfeilerfundamente voraussichtlich weiterverwendet werden. Die Widerlager würden im oberen Bereich zurückgebaut und eine horizontale Auflagerebene hergestellt. Neue Stb.-Fundamente am oberen Ende der Böschung bilden zusätzliche Auflager für die neue fünffeldrige Brücke. Auf den Bestandsfundamente werden Stützenjoch aus gewalzten I-Querschnitten mit Auskreuzungsverbänden montiert.

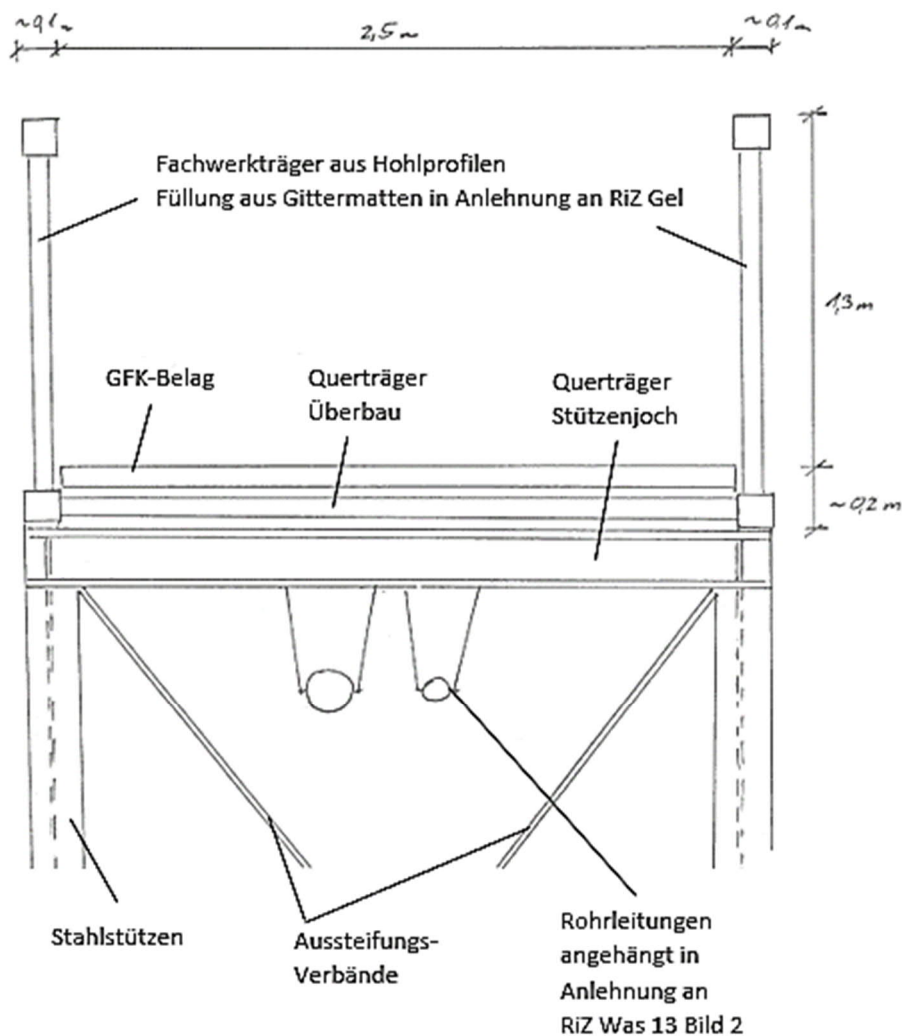


Abbildung 14: Querschnitt im Stützenbereich Variante 4

Der Überbau besteht aus einem Trogquerschnitt. Hierbei bilden Fachwerkträger aus Hohlquerschnitten gleichzeitig das Gelände. Die seitlichen Fachwerkträger sind mittels Querträgern verbunden, auf welchen der Belag aus GFK-Stegplatten aufliegt. Die Höhe des

Überbaus richtet sich nach der erforderlichen Geländerhöhe von 1,3 m oberhalb der Belagsoberkante für Radwege. Der Stahlüberbau wird als Kette mehrerer Einfeldträger ausgebildet, sodass die einzelnen Teile in transportablen Größen geliefert und montiert werden können. Die Stöße der einzelnen Felder können gelenkig erfolgen und sind somit vergleichsweise einfach auszuführen.

Die Überbaubreite wird von der vorhandenen Breite von ca. 5,5 m reduziert auf eine Breite von ca. 2,7 m mit einer lichten Breite zwischen den Geländern von 2,5 m, was der Empfehlung für gemeinsame Geh- und Radwege gemäß RE-ING entspricht und etwas geringer ist als die vorhandene Breite zwischen den Geländern (ca. 3,0 m). So können hohe und somit unwirtschaftliche Spannweiten in Querrichtung vermieden werden. Außerdem reduziert sich hierdurch die Brückenfläche und damit die Baukosten.

Verschiedene Variationen der beschriebenen Variante sind denkbar, beispielsweise eine Überhöhung der Brücke in Bauwerksmitte um ein ansprechenderes optisches Erscheinungsbild zu erhalten. Allerdings wird hierfür mit einem erhöhten Fertigungsaufwand bei gleichzeitig nur geringem Mehrwert aufgrund der schlecht einsehbaren Lage gerechnet.

Die Querschnitte der Stahlbauteile werden im Zuge der weiteren Planungsphasen dimensioniert. Weiterhin sind in der weiteren Planung noch verschiedene konstruktive Fragestellungen zu klären. So können abhebende Lasten an den Stützenfußpunkten nur unter erheblichen Aufwand verankert werden. Daher sind abhebende Lasten infolge der Momentenbeanspruchung bei seitlichen Windlasten möglichst mit zusätzlicher Auflast zu kontern. Weiterhin ist zu klären, an welchen Stellen Dehnungsfugen angeordnet werden können, sodass Längsdehnungen infolge Temperatur schadlos aufgenommen werden können, während die horizontale Lagerung in Längsrichtung gewahrt bleibt. Für die Widerlager ist ein Gleitsicherheitsnachweis nach Wegfall des horizontalen Schubes aus den Mauerwerksbögen zu führen.

Besonderes Augenmerk liegt bei einem Ersatzneubau auf dem Abbruch des Bestandes und dem Abtransport des Abbruchgutes. Hierfür sind grundsätzlich fünf Varianten denkbar:

- Erstellen einer Baustraße im Geländeeinschnitt um das Baufeld von unten für schweres Gerät zu erschließen: Dies kann entweder vom „Am Mühlengraben“ aus kommend entlang des Bachlaufs in der Talsohle (ca. 250 m) oder vom „Waldesruher Weg“ mittels einer Rampe die Böschung hinunter erfolgen. Beide Varianten erscheinen aufgrund des vorhandenen Baumbestandes, der voraussichtlich schlechten Bodenverhältnisse sowie der steilen Böschung / engen Platzverhältnisse sehr schwierig umzusetzen und entsprechend teuer zu sein.
- Ein- und Ausheben des Abbruchgerätes sowie Ausheben des Abbruchgutes mittels eines Krans: Aufgrund der sehr geringen Baustelleneinrichtungsflächen und des Baumbestandes ist diese Lösung sehr schwer umzusetzen.
- Nutzung der noch nicht abgebrochenen Bereiche der Bestandsbrücke als Standebene für das Abbruch- und Räumgerät. Aufgrund des großen Höhenunterschiedes zwischen GOK und Standebene des Gerätes sind große Geräte erforderlich, welche eine bauzeitliche Verstärkung der Brücke unabdingbar machen. Die Aufnahme des Bogenschubes der verbleibenden Mauerwerksbögen, die Horizontallasten auf Stirn- und

Flügelwände und die Gründung von Traggerüsten in der Böschung bereiten hierbei besonders Probleme. Insgesamt wird von einem erheblichen Aufwand für die bauzeitlichen Verstärkungen ausgegangen.

- Der Abbruch des Bestandes und der Ersatzneubau erfolgen abschnittsweise: Hierbei wird jeweils ein Feld abgebrochen und neu errichtet. Das Abbruchgerät und der Räumbagger stehen hierbei jeweils auf dem bereits hergestellten Teil des Ersatzneubaus. Aufgrund der Bauwerkshöhe werden vergleichsweise große Abbruch- und Räumgeräte erforderlich. Daher muss die neue Brücke „überdimensioniert“ werden, da sie die gegenüber dem Endzustand maßgebenden Lasten aus dem Baubetrieb ebenfalls aufnehmen muss. Außerdem müsste die oben skizzierte Konstruktionslösung für die Brücke überdacht werden, da eine deutlich größere Brückenbreite benötigt wird, damit Geräte mit der erforderlichen Grabtiefe auf der Brücke fahren und verschwenken können. Gegebenenfalls wäre hier dann ein Überbau mit mehreren nebeneinanderliegenden Stahllängsträgern (I-Profile) einem Trogquerschnitt vorzuziehen. Durch die abschnittsweise Herstellung ist mit einer längeren Bauzeit zu rechnen. Es besteht das Risiko, dass durch den Abbruch Schäden an den bereits hergestellten Teilen der Brücke, insbesondere an dessen Korrosionsschutz, entstehen, welche anschließend ausgebessert werden müssten.
- Vorgehen wie zuvor beschrieben, wobei anstelle der späteren Brücke eine „Behelfsbrücke“ als Abbruchgerüst verwendet wird. Zunächst wird das Bestandsbauwerk durch einen auf der Böschung stehenden Abbruchbagger kontrolliert zum Einsturz gebracht. Dieser räumt das erste zukünftige Brückenfeld frei, sodass nachfolgend die Fundamente für das erste Brückenfeld hergestellt werden und in diesem Bereich das erste Feld des Abbruchgerüsts montiert werden kann. Nachfolgend kann der Abbruchbagger auf dem Abbruchgerüst stehend abschnittsweise die weiteren Bereiche frei räumen und das Abbruchgerüst abschnittsweise hergestellt werden. Anschließend wird das Abbruchgerüst abschnittsweise demontiert und von diesem gleichzeitig die neue Stahlbrücke montiert.

Alle fünf betrachteten Abbruchvarianten sind sehr aufwendig und teuer. Somit würde der Abbruch einen erheblichen Teil der Kostenvorteile dieser Variante zunichtemachen. Für die Kostenschätzung wird zunächst von der fünften Variante ausgegangen.

Ein Ersatzneubau aus Stahl würde ein technisch und konstruktiv einwandfreies Bauwerk mit hoher Dauerhaftigkeit darstellen. Allerdings muss einkalkuliert werden, dass der Korrosionsschutz bei Stahlbrücken ca. alle 30 Jahre erneuert werden muss.

Die hohen Kosten, insbesondere durch den Abbruch des Bestandes, sowie der Denkmalschutz sprechen gegen einen Ersatzneubau.

3.5 Statisch-konstruktive Maßnahmen Mauerwerk

Nachfolgend werden die variantenübergreifende Einzelmaßnahmen zur Sanierung und Verstärkung des Mauerwerks beschrieben.

[A.] Pfeiler / Pfeilerköpfe / Kämpferfuge: Austausch loses und geschädigtes Mauerwerk / Sicherung gegen erneutes Ablösen

Es sind alle losen und minderfesten Mauerwerksbereiche der Pfeiler zu entfernen. In den weiteren Planungsphasen ist zu klären, ob und in welchem Umfang Bereiche mit erhöhter Salzkonzentration zu entfernen sind. Der Abbruch ist so auszuführen, dass anschließend neues Ziegelmauerwerk im Verband zum bestehenden Mauerwerk ausgemauert werden kann.

Weiterhin wird eine konstruktive Sicherung der neuen, ggf. auch von vorhandenen alten, Mauerwerksbereichen gegen ein (erneutes) Ablösen vorgesehen. Hierzu kommen beispielsweise Spiralanker, ggf. bewehrtes Mauerwerk oder Glasfaserbewehrung infrage. Die Art der konstruktiven Sicherung und deren Ausführung wird in der weiteren Planung festgelegt. Insbesondere in den stark beschädigten Bereichen der Pfeilerköpfe erscheint ein Verspannen, beispielsweise durch vollständige Umwicklung der Pfeiler mit Spiralankern in den Mauerwerksfugen, sinnvoll. Hierdurch können auch Zugkräfte, die ursächlich für die bogenparallelen Risse im Bereich der Kämpfer sind, konstruktiv aufgenommen werden.

[B.] Gewölbe: Sanierung Stirnringrisse

Die äußeren durch Stirnringrisse vom mittleren Gewölbebereich abgerissenen Bereiche der Gewölbe sind wieder kraftschlüssig mit den mittleren Gewölbebereichen zu verbinden. Hierbei sind Zug-, Druck- und Schubkräften zu übertragen.

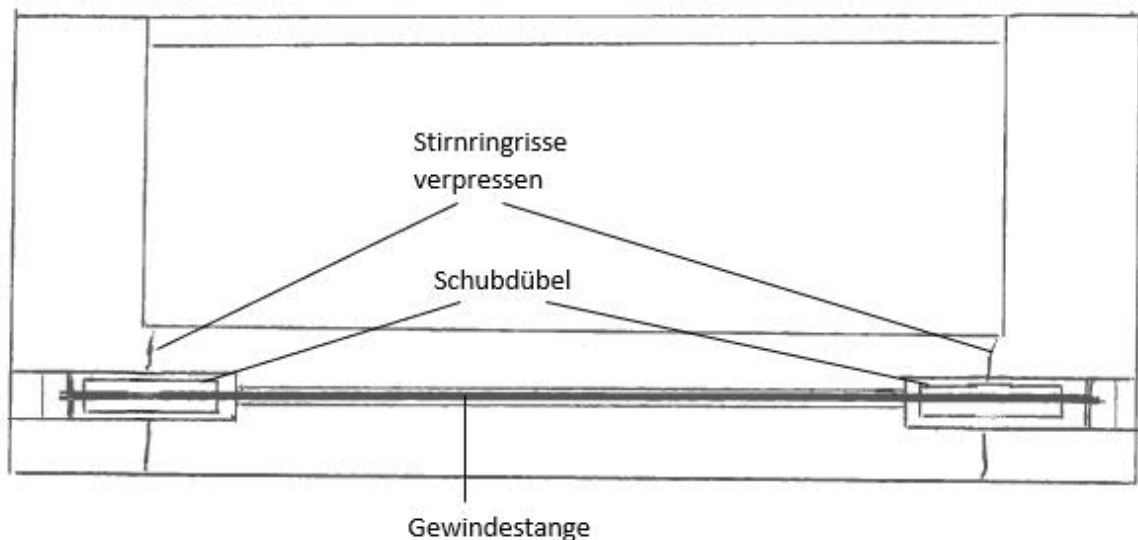


Abbildung 15: Übersicht Sanierungsvorschlag Stirnringrisse

Folgendes Vorgehen erscheint für konstruktive Verbindung der abgerissenen Bereiche sinnvoll:

- Zunächst wird von der Stirnseite des Gewölbes eine Kernbohrung (ca. DN 200) durch den Stirnringriss gebohrt. Anschließend wird die Bohrung mit kleinerem Durchmesser (ca. DN 50) über die gesamte Breite des Gewölbes fortgeführt. An der Austrittsstelle auf der anderen Bauwerksseite wird die kleinere Bohrung mit einer größeren

Kernbohrung überbohrt (Gleicher Durchmesser wie auf anderer Seite, Bohrung erneut mit ausreichender Übergreifung bis hinter den Stirnringriss).

- Die Bohrlöcher werden gesäubert. Bauablaufbedingt wird ein Kunststoffschlauch durch die Bohrungen durchgeführt (ca. DN 45).
- Die großen Bohrlöcher werden zu ca. 2/3 mit schwindarmen bis quellfähigem Mörtel gefüllt. Stahlrohrprofile (ca. RO 139,7x6,3) werden als Schubprofile mit ausreichender Einbindelänge beidseits der Stirnringrisse in den feuchten Mörtel eingedrückt.
- Durch den Kunststoffschlauch werden Gewindestangen durchgeführt. Innerhalb der großen Kernbohrungen werden Stirnplatten angeordnet und kraftschlüssig hinterpresst. Die Gewindestange kann mit einer Presse konstruktiv vorgespannt werden.
- Die äußerste Steinschicht des mit den Kernbohrungen ausgebohrten Bestandsmauerwerks wird aus optischen Gründen vor den Stirnplatten angeordnet.
- Die Stirnringrisse werden verpresst

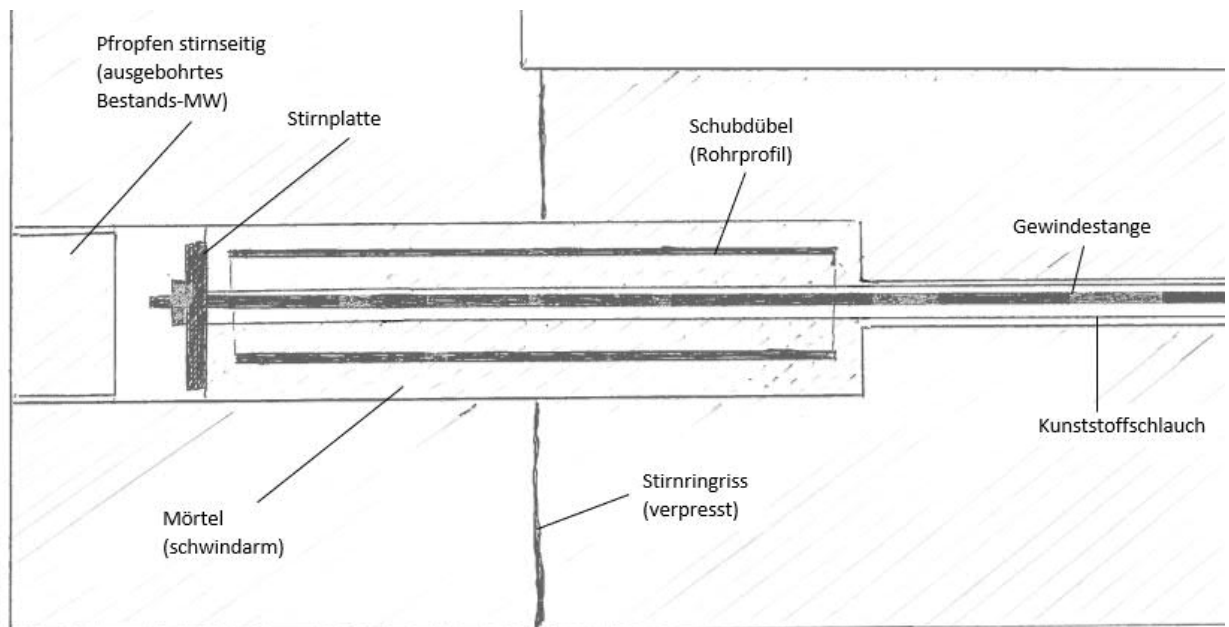


Abbildung 16: Detail Sanierungsvorschlag Stirnringrisse

Bei dieser Sanierungsvariante können Schubkräfte über die Rohrprofile übertragen werden, während Zugkräfte von der Gewindestange aufgenommen werden können. Druckkräfte wiederum können durch den verpressten Riss direkt übertragen werden.

Diese Sanierungsvariante wird als sinnvoll erachtet, da alle Komponenten auch im Mauerwerk eine vergleichsweise hohe Tragfähigkeit aufweisen, während z.B. eingeklebte Gewindestangen nur geringe Kräfte übertragen können. Oberseitige oder unterseitige Stahlbaukonstruktion werden in Ihrer Tragfähigkeit durch die erforderlichen Mauerwerksanker begrenzt, ermöglichen nur eine exzentrische Lastübertragung und stören die Ansicht bzw. die Abdichtung.

Allerdings sind mit dem oben beschriebenen Sanierungsvorschlag nicht unerhebliche Kosten verbunden. Diese entfallen bei der Variante 2b, da hier die innenliegende Stahlbetonkonstruktion Schub- und Zugkräfte übertragen kann. Hierzu ist sie mit ausreichendem Verbund (idealerweise verzahnt) an alle drei Mauerwerksteile anzuschließen. Die

innenliegende Mauerwerksoberfläche ist im Zuge der allgemeinen Mauerwerkssanierung (Maßnahme [E.]) entsprechend vorzubereiten, ggf. können Mauerwerksanker zur Verbindung des Mauerwerks mit der Stahlbetonkonstruktion ergänzt werden.

[C.] Stirn- und Flügelwände: Kopplung Horizontallasten

Zur Entlastung der durch horizontalen Erddruck überlasteten Stirn- und Flügelwände sollen in den Varianten 1 und 2a die Horizontallasten beider Seiten gekoppelt werden. Außerdem wird hierdurch auch die mutmaßlich für die Stirnringrisse ursächliche Kraft reduziert.

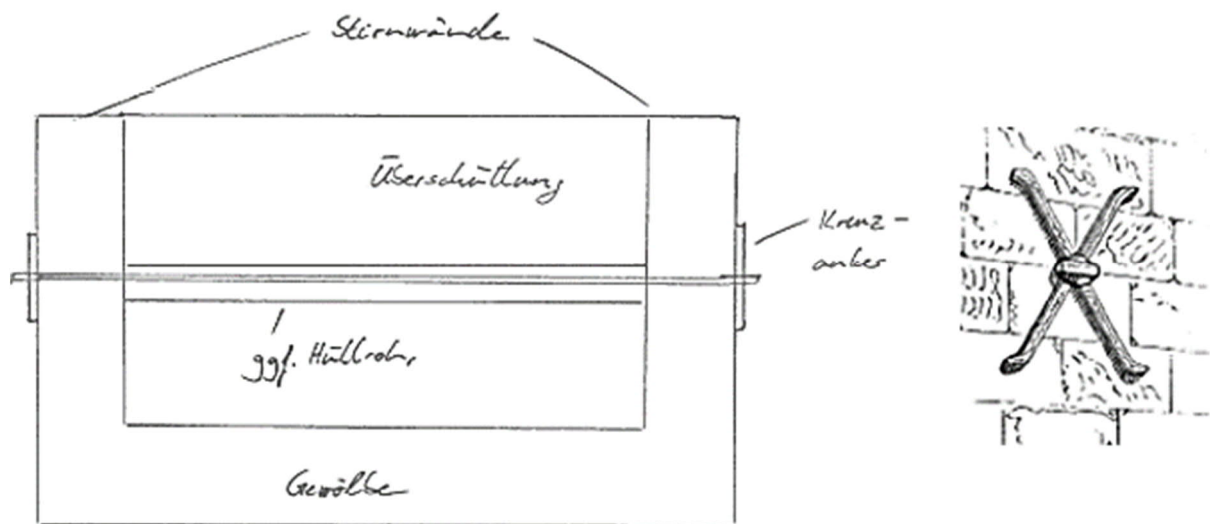


Abbildung 17: Querschnitt mit Skizzierung Anker, Beispiel Ansicht Kreuzanker [[https://de.wikipedia.org/wiki/Anker_\(Bauwesen\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Anker_(Bauwesen))]

Es werden Anker durch die Stirn- bzw. Flügelwände und die Überschüttung durchgebohrt und innerhalb der Überschüttung ggf. durch ein Hüllrohr geschützt. Die Verankerung der Lasten in den Stirn- und Flügelwänden ist aufgrund der Beeinträchtigung der Ansicht mit dem Denkmalschutz abzustimmen. Es werden Kreuzanker in Anlehnung an historische Ausführungen vorgeschlagen, da diese vergleichsweise einfach herzustellen sind, in der Ansicht akzeptabel erscheinen und gleichzeitig größere Bereiche stabilisieren, wodurch die Ankeranzahl reduziert werden kann. Alternativ ist auch eine Ausführung analog zu Abbildung 16 denkbar.

In der Variante 2a ist es denkbar anstelle der oben beschriebenen Sanierungsvariante, die Überschüttung bei der Wiedereinbringung durch Flüssigboden oder Magerbeton zu ersetzen (Kostendifferenz der beiden Baustoffe ist gering). Da diese Baustoffe in sich standfest sind, erzeugen sie nach dem Abbinden keine seitlichen Druckkräfte mehr (Bauzeitliche Verstärkung zur Aufnahme des Schalldrucks ist erforderlich). Allerdings ergibt die Kostenschätzung einen deutlichen Kostenvorteil für die oben beschriebene Sanierungsvariante (ca. 20.000 € netto)

Im Falle der Ausführung der Variante 2b oder der Variante 3 kann auf diese Einzelmaßnahme verzichtet werden.

[D.] Stirn- und Flügelwände: Neues Aufmauern verschobener Bereiche

In Bereichen, in den die Flügelwände durch den horizontalen Erddruck im erheblichen Maße verschoben oder ausgebaucht sind, sind diese abzubrechen und neu aufzumauern.

Bereichsweise sind die Gesimse neu herzustellen.

[E.] Mauerwerkssanierung allgemein

Neben der zuvor beschriebenen bereichsweisen Mauerwerkssanierung ist in allen Bereichen eine allgemeine Mauerwerkssanierung durchzuführen. Dies beinhaltet insbesondere folgende Maßnahmen:

- Ersetzen loser oder zerbrochener Ziegelsteine
- Verfugen unvermörtelter Mauerwerksfugen
- Verpressen von Rissen
- Verschließen alter Probeentnahmestellen (Kernbohrungen)
- Orten und ggf. Verfüllen von Hohlstellen
- Entfernung von Graffiti, Bewuchs und Aussinterungen

3.6 Maßnahmen gegen Feuchtigkeit im Mauerwerk**[F.] Herstellung Abdichtung / Entwässerung**

Eines der wichtigsten Ziele der Sanierungsmaßnahme ist die Herstellung einer funktionierenden Abdichtung um die Durchfeuchtung und deren Folgeschäden zukünftig zu begrenzen. Die verschiedenen Sanierungsvarianten unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich der Herstellung der Abdichtungsschicht. Deren Herstellung wird daher bei den verschiedenen Sanierungsvarianten, siehe Abschnitt 3.1 bis 3.4, erläutert.

[G.] Überprüfung / Erneuerung Freifallentwässerung

Oberhalb der Mauerwerkspfeiler sind die auskragenden Entwässerungsrohre der Freifallentwässerung zu ersetzen. Weil bei einer Freifallentwässerung auch bei weit auskragenden Entwässerungsrohren eine Beanspruchung der Mauerwerkspfeiler durch das abgeführte Wasser nicht verhindert werden kann, soll die Freifallentwässerung durch Falleitungen an den Mauerwerkspfeilern ersetzt werden (Abstimmung mit Denkmalschutz erforderlich). Diese können das Wasser über Böschungsstücke in den unterführten Bachlauf als Vorfluter führen.

Außerdem ist nach Abgrabung der Überschüttung (sofern diese abgegraben wird) zu überprüfen, ob das Gefälle und die Abdichtung auf dem Gewölberücken so ausgebildet sind, dass zufließendes Wasser zuverlässig der Entwässerung zugeführt wird. Gegebenenfalls sind Anpassungen vorzunehmen, beispielsweise durch Ausmodellierung des Gefälles in Magerbeton mit einer aufgeklebten Abdichtungsschicht.

[H.] Horizontalsperre Mauerwerksfußbereiche

Im Bereich der Pfeilerfußpunkte sowie im Fußbereich der Widerlagerwände und Flügelwände werden Maßnahmen gegen aufsteigende Feuchtigkeit vorgesehen, z.B. durch

Verkieselung. Mechanische Eingriffe erscheinen aufgrund des massiven Eingriffs in den Bestand und den damit verbundenen Lastumlagerungen nicht sinnvoll.

3.7 Maßnahmen an der Bauwerksausstattung

Noch mit dem Auftraggeber abzustimmen ist die Herstellung von Böschungstreppen und Aufstiegshilfen für die Bauwerksprüfung im Böschungsbereich. Nach RE-ING Teil 2-3 [8.] sind diese formell erforderlich und für die weiteren Bauwerksprüfungen auch sinnvoll. Gleichzeitig sind diese mit nicht unerheblichen Kosten (geschätzt rd. 46.000 € netto) verbunden. Die erforderlichen Geländer seitlich der Böschungstreppe beeinträchtigen die Bauwerksansicht (Abstimmung mit Denkmalschutz erforderlich). Da es sich lediglich um eine Sanierungsmaßnahme handelt und nach unserem Kenntnisstand aus der Vergangenheit keine zwingenden Gründe für die Herstellung einer Böschungstreppe oder von Aufstiegshilfen bekannt sind, kann nach unserer Einschätzung bei Budgetknappheit notfalls und in Abstimmung mit den Beteiligten auf diese Maßnahmen verzichtet werden.

[I.] Erneuerung Leitungen und deren Befestigung

Die Leitungen und deren Auflagerkonsolen sind teilweise erheblich korrodiert. Daher müssen diese teilweise oder ganz ersetzt werden, sofern die entsprechenden Leitungen weiterhin benötigt werden. Nicht mehr benötigte Leitungen und Leitungskonsolen sind auszubauen.

Je nach Sanierungsvariante besteht die Möglichkeit Leitungen ggf. in die Überschüttung oder unterhalb der aufgeständerten Fahrbahn anzubringen. Hierzu wäre zunächst zu klären, ob aufgrund des Denkmalschutzes die Leitungen in der Ansichtsfläche verbleiben dürfen oder sollen.

[J.] Geländer, Poller und Absturzsicherung

Eine Demontage der Geländer wird aus Gründen des Bauablaufs voraussichtlich unumgänglich.

Nach aktueller Einschätzung sind diese in einem ausreichend guten Zustand, dass ein Wiedereinbau sinnvoll erscheint. Zu überprüfen ist aber, ob die vorhandene Geländerhöhe vorschriftskonform ist (Erforderliche Geländerhöhe Radwege 1,30 m). Ein kompletter Ersatz der Geländer bei nicht ausreichender Geländerhöhe kann aber vermieden werden, indem diese bspw. auf einer Aufkantung montiert werden oder der Verkehrsweg zu einem reinen Gehweg umgewidmet wird (Beschilderung „Radfahrer absteigen“).

Die demontierten Geländer sind zu reinigen und der Korrosionsschutz ist auszubessern. Kleinere vorhandene Mängel an den Geländern, wie ausgebrochene Mörtelunterfütterungen, werden im Zuge der Wiedermontage behoben.

Im Böschungsbereich seitlich der Bauwerksenden ist gemäß Prüfbericht [3.] keine ausreichende Absturzsicherung vorhanden. Hier werden Rohrgeländer nach RiZ Gel 7 vorgesehen. Sofern auftraggeberseitig gewünscht, können diese auch als Füllstabgeländer in Anlehnung an die vorhandenen Bauwerksgeländer (einheitlichere Ansicht) ausgeführt werden, wobei dies mit moderaten Mehrkosten verbunden wäre.

Der vorhandene Poller ist für eine bessere Sichtbarkeit farblich zu beschichten. Es wird überprüft, ob ein zusätzlicher Poller auf der anderen Bauwerksseite zur Verhinderung eines unplanmäßigen Befahrens erforderlich wird. Sofern das Bauwerk für die Aufnahme der Lasten aus einem unplanmäßigen Fahrzeug nach DIN EN 1991-2 Kapitel 5.6.3 ertüchtigt werden kann, erscheint dies nicht erforderlich.

[K.] Fahrbahnbelag

Eine Erneuerung des Fahrbahnbelages erscheint für den Bauablauf unumgänglich, sodass in diesem Zuge auch die vorhandenen Schäden am Belag behoben werden können. Je nach Sanierungsvariante wird gegebenenfalls kein neuer Belag erforderlich (z.B. direkt befahrene Stahlbetonfahrbahn). Andernfalls wird erneut die Herstellung eines bituminösen Fahrbahnbelages vorgesehen. Die Ausbildung der Entwässerung (Längs- und Querneigung, Rinne) wird noch geprüft und festgelegt.

Eine Beprobung des vorhandenen Fahrbahnbelages auf mögliche Schadstoffbelastung im Zuge der weiteren Planungen wird nicht nur für eine zusätzliche Kostensicherheit bei der Sanierung erforderlich.

[L.] Kolkschutz Fließgewässer

Als seitliche Begrenzung des Fließgewässers werden im Bauwerksbereich Betonpalisaden vorgesehen, um ein Auskolken des Gewässers zukünftig zu verhindern. Die seitlich ausgespülten Bereiche werden anschließend verfüllt.

Der Unrat im Gewässer wird im Zuge der Maßnahme entsorgt.

3.8 Behelfe

Neben den unten aufgeführten Gerüsten werden voraussichtlich verschiedene kleinere Behelfsmaßnahmen erforderlich, die erst in den weiteren Planungsphasen genauer erfasst werden. Dies könnte u.a. provisorische Leitungstrassen (Kosten hierfür wären wohl von den Versorgungsträgern zu tragen) sowie Schutzmaßnahmen für Verkehrswege, Böschungen und Gewässer beinhalten.

[M.] Gerüste / Zuwegung

Zur Durchführung der vorgenannten Maßnahmen wird ein großes (Raum-) Gerüst erforderlich, welches gleich drei verschiedene Funktionen zu erfüllen hat:

- Traggerüst: Das Gerüst muss die Gewölbe im Bauzustand soweit abstützen, dass sicheres Arbeiten an den Pfeilerköpfen und Kämpferfugen ohne eine Gefährdung der Standsicherheit möglich wird. Ggf. kann das Gerüst so ausgelegt werden, dass ein Befahren mit schwereren Baufahrzeugen ermöglicht und somit der Bauablauf vereinfacht wird.
- Arbeitsgerüst: Das Gerüst ermöglicht das Arbeiten an allen Bauteilen. Zudem erschließt es durch Treppentürme und/oder provisorische Böschungstreppen die Baustelle. Ggf. ist eine Seilwinde o.ä. für den Transport der Baumaterialien auf oder an dem Gerüst vorzusehen.

- Schutzgerüst: Aufgrund der Gefahr herabfallender Ziegel ist das Betreten der Bereiche unter dem Bauwerk nur eingeschränkt möglich. Das Gerüst muss ein sicheres Betreten der Arbeitsbereiche ermöglichen.

4. Übersicht der Varianten und geschätzte Kosten

Variante	Vorteile	Nachteile	Herstellkosten nach vorl. Schätzung <u>netto</u> einschl. Abbruch *
1.	- Geringste Kosten	<ul style="list-style-type: none"> - Risiko für Undichtigkeiten in der Abdichtung - Oberseitige Kontrolle / Sanierung der Gewölbe sowie der Rückseiten der Stirnwände nicht möglich - Sanierung Freifallentwässerung nur eingeschränkt möglich - Kontrolle Berechnungsannahmen (z.B. Dicke der Stirnwände) nicht möglich 	<p><u>Var. 1c:</u> 479.305 €</p> <p><u>Var. 1d:</u> 470.805 €</p>
2.a)	- Geringer Aufwand für zusätzliche Konstruktionsteile	<ul style="list-style-type: none"> - Hoher Aufwand für den Aushub und die Neueinbringung der Überschüttung (Kleingeräte) - Hoher Aufwand für Kontrolle und Reparatur der Abdichtung bei neuen Undichtigkeiten 	599.095 €
2.b)	<ul style="list-style-type: none"> - Keine nennenswerten Änderungen in der Bauwerksansicht - Kostenvorteile durch Wegfall der horizontalen Kopplung der Stirnwände, Geländerfundamente, Reduzierung der Maßnahmen zur Stirnringrissanierung - Hohe konstruktive Qualität - Dienstfahrzeuge können berücksichtigt werden 	<ul style="list-style-type: none"> - Zusatzaufwand für Stahlbetonbauteile - Hoher Aufwand für den Aushub und die Neueinbringung der Überschüttung (Kleingeräte) - Hoher Aufwand für Kontrolle und Reparatur der Abdichtung bei neuen Undichtigkeiten 	579.250 €
3.	<ul style="list-style-type: none"> - Nutzung der sanierten Bereiche als Standfläche für Baugeräte möglich (damit geringer Aufwand für den Aushub der Überschüttung) - Neueinbringung der Überschüttung entfällt - Dienstfahrzeuge können berücksichtigt werden - Abdichtung kann nachträglich inspiziert / erneuert werden 	<ul style="list-style-type: none"> - Zusatzaufwand für Stahlbetonbauteile - Möglicherweise negativer Einfluss der Atmosphäre im Hohlraum auf Dauerhaftigkeit - Zusätzlicher Aufwand für statische Berechnungen / Konstruktionspläne / Untersuchungen (insb. Baugrund) - Bei Variante 3a: Veränderte Ansicht durch Sichtbarkeit der Plattenstege - Bei Variante 3b: Arbeitsfugen schadensanfällig 	<p><u>Var. 3a:</u> 602.655 €</p> <p><u>Var. 3b:</u> 611.240 €</p>

	<ul style="list-style-type: none"> - Kopplung der beiden Stirnwände entfällt – keine Ankerpunkte in der Ansichtsfläche - Statische Auslastung der Bestandsbauteile wird reduziert - Geländerverankerung einfach möglich - Bei Variante 3a: Zusätzlicher Witterungsschutz durch seitliche Plattenstege 		
4.	<ul style="list-style-type: none"> - Aufwand für Bestandssanierung entfällt - (Kosten-) Risiken infolge Weiternutzung des Bestandes werden durch geringen Anteil Bestandsbauteile reduziert - Bauwerksgeometrie kann an Bedürfnisse angepasst werden - Dienstfahrzeuge können berücksichtigt werden - Hohe technische und konstruktive Qualität sowie Dauerhaftigkeit kann durch Neubau erreicht werden. 	<ul style="list-style-type: none"> - Denkmalpflegerische Belange sind nicht berücksichtigt - Hoher Aufwand für Abbruch bei unklarer Zuwegung - Einzelne konstruktive und statische Fragestellungen sind noch auszuarbeiten - Zusätzlicher Aufwand für statische Berechnungen / Konstruktionspläne / Untersuchungen (insb. Baugrund) - Korrosionsschutz ist regelmäßig zu erneuern 	601.420 €

* Wichtige Hinweise:

- Aktuelle Preisentwicklungen sind bei den für die Kostenschätzung verwendeten Vergleichsobjekten nicht enthalten und können auch über Näherungen wie dem Baupreisindex nur begrenzt berücksichtigt werden. Auf die daraus resultierenden Unsicherheiten der Kostenschätzung wird ausdrücklich hingewiesen.
- Böschungstreppen und Aufstiegshilfen für die Bauwerksprüfung sind in den Kosten noch nicht enthalten. Hieraus ergeben sich zusätzliche Kosten in Höhe von geschätzt ca. 48.000 € netto.

Hinweis zu weiteren Planungsleistungen

Es wird darauf hingewiesen, dass je nach Sanierungsvariante, zusätzlich zu den oben genannten Baukosten und den an uns beauftragten Leistungen der Objektplanung voraussichtlich noch Kosten für weitere Planungsleistungen oder Zuarbeiten entstehen. Dies umfasst u.a.:

- Ein Vermessungsaufmaß
- Baugrundgutachten (je nach Sanierungsvariante)
- Eine Untersuchung auszubauender Stoffe hinsichtlich Schadstoffe
- Tragwerksplanerische Leistungen
- Ggf. könnte eine Beratung durch einen Baustoffsachverständigen mit Expertise im Bereich Mauerwerk erforderlich werden (Sinnvoll erscheint hier das Büro Böttcher + Partner, da bereits im Projekt involviert / Beratung z.B. hinsichtlich Ersatzes von chloridge-schädigten Mauerwerk, Auswahl neuer Baustoffe in Abstimmung mit Objekt- / Tragwerk-planung und Denkmalschutz)

- Prüfung der statischen Unterlagen durch einen Prüferingenieur
- SiGeKo, sofern nicht vom Auftraggeber gestellt

5. Variantenempfehlung

Basierend auf den oben beschriebenen Vor- und Nachteilen der verschiedenen Varianten sowie der durchgeführten Kostenschätzung wird die Sanierungsvariante 2b zur weiteren Ausarbeitung in den folgenden Planungsphasen und anschließenden Ausführung empfohlen.

Diese Sanierungsvariante verbindet eine hohe technische Qualität des sanierten Bauwerks mit vergleichsweise geringen Kosten. Die Bauwerksansicht wird nicht wesentlich verändert, weshalb diese Variante nach eigener Einschätzung aus denkmalpflegerischer Sicht ebenfalls empfehlenswert ist. Die Kosten werden bei dieser Variante auf ca. 579.000 € netto geschätzt, sofern keine Böschungstreppe und Aufstiegshilfen ausgeführt werden. Bei Ausführung der Böschungstreppe und Aufstiegshilfen werden die Kosten auf ca. 626.000 € geschätzt.

In der Sanierungsvariante 1 ergeben sich zwar geringere Kosten, jedoch ist diese Sanierungsvariante nicht gleichwertig mit den anderen Varianten, da nicht alle Bereiche saniert werden können und die neue Abdichtung nicht die gleiche Qualität erreicht.

Die Sanierungsvariante 2a ist mit höheren Kosten verbunden und erfordert zudem Mauerwerksanker, wodurch die Bauwerksansicht beeinträchtigt wird.

Die Sanierungsvarianten 3a und 3b sind ebenfalls mit etwas höheren Kosten verbunden. Sie bieten den Vorteil, dass die Abdichtung nachträglich inspizierbar und ausbesserbar bleibt, allerdings kann sich die Atmosphäre im Hohlraum negativ auf die Dauerhaftigkeit des Bauwerks auswirken.

Unter Vernachlässigung denkmalpflegerischer Aspekte wurde in der Variante 4 auch ein Ersatzneubau untersucht. Durch Ausführung eines Ersatzneubaus ergeben sich allerdings keine wesentlichen wirtschaftlichen oder technischen Vorteile.

Aufgestellt: Eutin, d. 04.05.2022