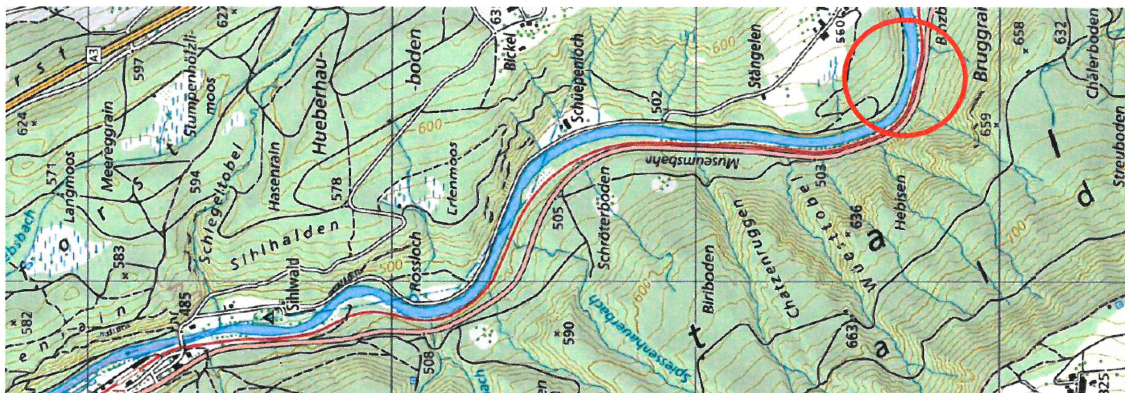


Linie: 712 S4
Km: 16.100 - 16.385
Kanton: Zürich
Gemeinde(n): Horgen
Projektnummer: 8246
Phase: Vorprojekt
Datum: 30.08.2019

Projekt: Sanierung der Stützmauer Carbura



Technischer Bericht

Bauherrschaft

Lutz Rainero Efstratios Dartzalis
Projektleiter Bau Abteilungsleiter Bau

Sihltal Zürich Uetliberg Bahn SZU
Abteilung Bau
Wolframplatz 21
8045 Zürich
Direkt +41 (0) 44 206 45 54
lutz.rainero@szu.ch

Projektverfasser

 
Pascal Guignard Joséphine Vivant
Projektleiter Projektleiter Stv.

Gruner Wepf AG, Zürich
Abteilung Kunstbauten
Thurgauerstrasse 56
8050 Zürich
Direkt +41(0) 43 299 74 57
pascal.guignard@gruner.ch

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1. | Zusammenfassung..... | 4 |
| 1. | Ausgangslage..... | 6 |
| 1.1. | Grund der Projektauslösung (Vorbemerkung) | 6 |
| 1.2. | Normen, Berichte und Richtlinien..... | 6 |
| 1.2.1. | Normen / Merkblätter..... | 6 |
| 1.2.2. | Richtlinien / Dokumentationen | 7 |
| 1.2.3. | Reglemente, Weisungen und Merkblätter | 7 |
| 1.2.4. | SBB Ausführungs- und Qualitätsvorschriften (AQV) und Kontrollpläne (KP) | 7 |
| 1.2.5. | Projektbezogene Grundlagen | 8 |
| 1.3. | Lage im Netz: Bedeutung, angrenzende und künftige Projekte, geplante Entwicklungen | 8 |
| 1.4. | Beschreibung des Objekts / des Bauwerks | 9 |
| 1.5. | Ziele und Auftrag / Abgrenzung | 9 |
| 2. | Zustandserfassung | 10 |
| 2.1. | Visuelle Zustandserfassung | 10 |
| 2.2. | Materialtechnologische Untersuchungen | 10 |
| 2.3. | Untersuchungen zum Baugrund / Geologie, Grundwasserspiegel | 10 |
| 2.4. | Bahntechnische Untersuchungen | 10 |
| 3. | Tragwerksanalyse und Nachweise..... | 12 |
| 3.1. | Grundlagen..... | 12 |
| 3.2. | Resultate der visuellen Zustandsuntersuchung | 12 |
| 3.3. | Resultate der statischen Überprüfung von Bestand | 12 |
| 4. | Zustandsbeurteilung..... | 13 |
| 4.1. | Stützmauer | 13 |
| 4.2. | Bordüre und Geländer..... | 13 |
| 4.3. | Fahrleitungsmasten..... | 13 |
| 5. | Fazit Zustandsüberprüfung, Beurteilung Gesamtzustand..... | 14 |
| 5.1. | Beurteilung des baulichen Zustands | 14 |
| 5.2. | Beurteilung der Tragsicherheit | 14 |
| 5.3. | Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit | 14 |
| 5.4. | Beurteilung der Ermüdung | 14 |
| 5.5. | Beurteilung Restnutzungsdauer | 14 |
| 5.6. | Sofortmassnahmen | 14 |
| 6. | Massnahmenempfehlung / Variantenstudie | 15 |
| 6.1. | Projektrandbedingungen | 15 |
| 6.1.1. | Intervallsituation | 15 |
| 6.1.2. | Sicherheit | 15 |

| | | |
|------------------------------------|--|-----------|
| 6.1.3. | Land und Rechte, Verträge, Nachbarrechte | 15 |
| 6.1.4. | Weitere Stakeholder | 15 |
| 6.1.5. | Baurealisierung und Bauphasen | 15 |
| 6.2. | Variante 1: Ersatz der ganze Stützmauer | 15 |
| 6.2.1. | Massnahmenbeschrieb | 15 |
| 6.2.2. | Kostenschätzung..... | 16 |
| 6.2.3. | Bauphasen und Baulogistik..... | 18 |
| 6.2.4. | Bauprogramm..... | 20 |
| 6.3. | Variante 2: Betontrog und Sanierung des Natursteinmauerwerks..... | 21 |
| 6.3.1. | Massnahmenbeschrieb | 21 |
| 6.3.2. | Kostenschätzung..... | 21 |
| 6.3.3. | Bauphasen | 23 |
| 6.3.4. | Bauprogramm..... | 24 |
| 6.4. | Variante 3: Bohrpfahlwand und Sanierung des Natursteinmauerwerks | 25 |
| 6.4.1. | Massnahmenbeschrieb | 25 |
| 6.4.2. | Kostenschätzung..... | 25 |
| 6.4.3. | Bauphasen | 27 |
| 6.4.4. | Bauprogramm..... | 28 |
| 6.5. | Weitere Varianten, die verworfen wurden | 29 |
| 6.6. | Evaluation Bestvariante / technische Bestvariante | 29 |
| 6.6.1. | Nutzwertanalyse..... | 29 |
| 6.6.2. | Zusammenfassung der Variantenbeurteilung | 30 |
| 6.6.3. | Empfehlung Bestvariante | 30 |
| 7. | Termine | 31 |
| 7.1. | Dringlichkeit der Massnahmen..... | 31 |
| 7.2. | Planungs- und Ausführungstermine Bestvariante..... | 31 |
| Anhang 1 - Baulogistik..... | | 32 |
| Anhang 2 - Pläne | | 33 |

1. Zusammenfassung

Der Zustand der Stützmauer Carbura in Horgen erfordert Massnahmen zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit und somit der Betriebssicherheit. Ziel der vorliegenden Variantenstudie ist es, mögliche Instandsetzungsvarianten aufzuzeigen und in einem Vergleich gegenüberzustellen.

Ergebnis der Studie:

Der Zustand des Natursteinbauwerks wurde durch die Materialtechnik am Bau AG detailliert untersucht. Er ist insgesamt als schlecht zu bezeichnen. Grund dafür sind die verbreiteten Schäden an der Sichtfläche (leichte Verformungen und Eckrisse, sowie Vorkommen von Hohlstellen hinter den geflickten Fugen, von mürbem Mörtel, und von vielen bröckelnden Mauersteinen). Der Zustand ist für das Tragwerk nicht so gravierend, dass Sofortmassnahmen notwendig sind. Massnahmen sind jedoch notwendig um die Tragfähigkeit mittelfristig zu gewährleisten.

Gemäss der statischen Überprüfung von Bestand ist der Nachweis des Grundbruches gemäss SIA267 [2013] nicht erfüllt. Aufgrund der Resultate sind Massnahmen erforderlich.

Empfehlung:

Wir empfehlen die bestehende Stützmauer teilweise zu belassen und zu entlasten. Damit diese Ziele erreicht sind wird der Überbauersetzt. Aufgrund der Randbedingungen des Lichtraumprofils besteht die Notwendigkeit einer Erweiterung des Überbaus. Aus diesem Grund empfehlen wir, einen Betontrog auf Betonpfähle zubauen.

Wir empfehlen diese Massnahmen innerhalb der nächsten 5 Jahre zu realisieren.



Abbildung 1 : Foto der Stützmauer Carbura - 21.03.19

1. Ausgangslage

1.1. Grund der Projektauslösung (Vorbemerkung)

Die Sihltalbahn-Linie S4 feierte im Jahr 2017 ihr 125-jähriges Bestehen. Die Naturstein-Stützmauern Carbura besteht seit diesem Zeitpunkt ohne, dass wesentliche bauliche Massnahmen ergriffen worden sind. Dementsprechend sind üblichen Alterungserscheinungen wie Naturstein- und Fugenverwitterung weit fortgeschritten. Dazu ist die Tragfähigkeit des Grundes unter Bahnlasten und gemäss SIA 267 nicht gewährleistet. Der Zustand der Stützmauer erfordert Massnahmen um die Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit und somit die Betriebssicherheit in Zukunft zu gewährleisten.

1.2. Normen, Berichte und Richtlinien

Bestehende Bauteile werden nach den Normen zur Erhaltung von Bauwerken nachgewiesen. Die Bemessung der neuen Bauteile erfolgt nach den gültigen Normen für den Neubau.

1.2.1. Normen / Merkblätter

| | | | |
|---|---------------|--------|--|
| – | SIA 260 | (2013) | Grundlagen für die Projektierung von Tragwerken |
| – | SIA 261 | (2014) | Einwirkungen auf Tragwerke |
| – | SIA 261/1 | (2003) | Einwirkungen auf Tragwerke - Ergänzende Festlegungen |
| – | SIA 262 | (2013) | Betonbau |
| – | SIA 262/1 | (2013) | Betonbau - Ergänzende Festlegungen |
| – | SIA 263 | (2013) | Stahlbau |
| – | SIA 263/1 | (2013) | Stahlbau - Ergänzende Festlegungen |
| – | SIA 264 | (2014) | Stahl-Beton - Verbundbau |
| – | SIA 264/1 | (2014) | Stahl-Beton - Verbundbau - Ergänzende Festlegungen |
| – | SIA 266/2 | (2012) | Natursteinmauerwerk |
| – | SIA 267 | (2013) | Geotechnik |
| – | SIA 267/1 | (2013) | Geotechnik - Ergänzende Festlegungen |
| – | SIA 269 | (2011) | Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken |
| – | SIA 269/1 | (2011) | Erhaltung von Tragwerken - Einwirkungen |
| – | SIA 269/2 | (2011) | Erhaltung von Tragwerken - Betonbau |
| – | SIA 269/3 | (2011) | Erhaltung von Tragwerken - Stahlbau |
| – | SIA 269/6-1 | (2011) | Erhaltung von Tragwerken - Mauerwerksbau, Teil 1 Natursteinmauerwerk |
| – | SIA 269/7 | (2011) | Erhaltung von Tragwerken - Geotechnik |
| – | SIA 270 | (2014) | Abdichtungen und Entwässerungen - Allgemeine Grundlagen und Abgrenzungen |
| – | SIA 272 | (2009) | Abdichtungen und Entwässerungen von bauten unter Terrain und im Untertagbau |
| – | SIA 273 | (2008) | Abdichtung von befahrbaren Flächen im Hochbau |
| – | SIA M.B. 2022 | (2003) | Oberflächenschutz von Stahlkonstruktion |

1.2.2. Richtlinien / Dokumentationen

- Richtlinien des UVEK wie zum Beispiel Entwässerung von Bahnanlagen, Checkliste Umwelt, Richtlinien BAV zu Art. 3 VPVE und weitere
- RTE - Regelwerk Technik Eisenbahn
- AB-EBV Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung in der zum Vertragsabschluss gültigen Fassung
im Speziellen:
Leitfaden zur Beurteilung von Anprallrisiken bei neuen und bestehenden Bauten
- EBG Eisenbahngesetz
- Kantonale Richtlinien und Weisungen

1.2.3. Reglemente, Weisungen und Merkblätter

- W Bau GD 40/92 Gestaltungsrichtlinie für Ingenieurbauwerke der SBB
- Palng, 2017 Projektierungsassistent Brücken, SBB
- R RTE 20012 Lichtraumprofil Normalspur und Meterspur
- D RTE 22040 Fahrbahnpraxis Normalspur: Handbuch
- D RTE 27900 Erdungshandbuch
- D RTE 21110 Unterbau und Schotter
- R RTE 20100 Sicherheit bei Arbeiten im Gleisbereich
- R RTE 20600 Sicherheit bei Arbeiten im Bereich von Bahnstromanlagen

1.2.4. SBB Ausführungs- und Qualitätsvorschriften (AQV) und Kontrollpläne (KP)

- Stahlbeton
- Brückenabdichtung
- Korrosionsschutz von Stahlbrücken
- Baulicher Lärmschutz, alle Dokumente
- Entwässerung
- FAQ: „Berechnungsvorgaben für den Erddruck auf Rahmenbrücken “
30. September 2004, Thomas P. Lang
- FAQ: „Wie wird der Klassifizierungsbeiwert für Projekt der SBB angesetzt? “
5. November 2003, Thomas P. Lang
- FAQ: „Wie wird der dynamische Beiwert für Projekte der SBB angesetzt? “
21. Oktober 2003, Thomas P. Lang
- FAQ: „Mit welchen Lastfällen werden Verformungen von Bahn- und Strassenbrücken berechnet? “
21. November 2007, Thomas P. Lang
- FAQ: „Wie werden Bahnbrücken bis 10 m Stützweite bei der SBB gelagert “
18. Dezember 2009, Matthias Heimhalt

1.2.5. Projektbezogene Grundlagen

- SZU AG; Grobterminplan, 21.02.2019
- SZU AG; Organigramm " Projektorganisation - Sanierung Stützmauern Fachwerkbrücke Sihlwald, Stützmauer Cabura, Bachdurchlässe", März 2019
- SZU AG; Projektpflichtenheft - Sanierung der Stützmauer Carbura, 08.01.2019
- SZU AG; Projektpflichtenheft - Sanierung der Stützmauer Fachwerkbrücke Sihlwald, 08.01.2019
- CSD Ingenieure AG; Geologisch-Geotechnischer Bericht "Sanierung Linie S4, Km 13.460 bis Km 16.385", 19.03.2018
- Flückiger + Bosshard AG; "Zusätzliche Aufnahmen an den Objekten STM Fachwerkbrücke Sihlwald, STM Kramperhütte und STM Carbura", 05.03.2018
- Materialtechnik am Bau AG; Materialtechnische Untersuchung der Stützmauer - Bericht Nummer 19097/ 1 bis 3, 11.07.19
- Flückiger + Bosshard AG, Hauptinspektion, 2015
- SZU AG, Sondagen, 2017
- Gruner Wepf AG, Bodenuntersuchung, 2019
- AWEL, Bodenuntersuchung, 2018
- Schottersondagen, 05.2019
- SZU AG; Pläne (Situation, Längsschnitt, Ansicht) den sieben Bachdurchlässen (pdf, dwg), 2015
- Basler & Hofmann AG; Bahnplan 52-60 (Situation - pdf und dwg), 2016
- Flückiger + Bosshard AG; Plan " Zustandsuntersuchung - Stützmauer bei FW-Brücke Sihlwald - Übersicht Sondagen" (pdf), 19.02.2019
- Flückiger + Bosshard AG; Plan " Zustandsuntersuchung - Stützmauer Carbura - Übersicht Sondagen" (pdf), 19.02.2019

1.3. Lage im Netz: Bedeutung, angrenzende und künftige Projekte, geplante Entwicklungen

Die Linie S4 verkehrt fahrplanmässig bis zur Station Sihlwald. Der Streckenabschnitt zwischen Sihlwald und Sihlbrugg, in dem sich der Projektperimeter befindet, wird nur zu Ausbildungsfahrten und von der Museumbahn genutzt. In unregelmässigen Intervallen dient die Strecke als 10P-Ergänzungsnetz. Ein Ersatz der Stützmauer Fachwerkbrücke Sihlwald und Instandsetzungen der verschiedenen Bachdurchlässe sind gleichzeitig mit der Instandsetzung der Stützmauer Carbura geplant.

1.4. Beschreibung des Objekts / des Bauwerks

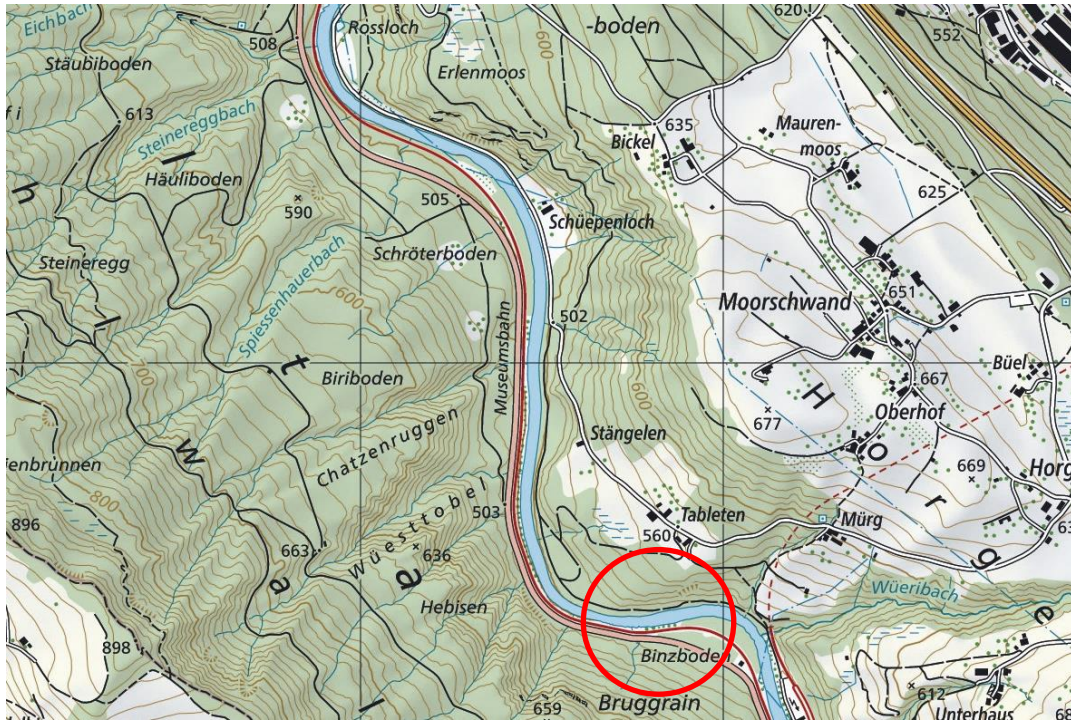


Abbildung 2 : Kartenausschnitt

Das Objekt besteht aus einer Naturstein-Stützmauer. Die Stützmauer Carbura befindet sich in der Gemeinde Horgen, von km 16.100 bis km 16.385 der Sihltalbahn-Linie S4. Die Höhe der Mauer (Böschungskante bis OK Mauerkrone) ist rund 4.00 m mit einem Anzug von ca 1:5. Als Mauersteine wurden mikritische Kalksteine verwendet.

Das Bahntrasse verläuft hinter der Mauer, unterhalb von ihr verläuft die Sihl. Die Stützwand verläuft parallel zur Kantonsstrasse. Innerhalb der Stützmauer wird der Bachdurchlass "Obere Hebisenbach" mit einem Gewölbe geführt. Des Weiteren werden einige Entwässerungsdurchlässe mit Betonrohren durch die Mauer geführt.

Ein Schotterbett von 58cm von UK Schiene ist vorhanden.

Ein Kabelkanal befindet sich an der Krone der Mauer (Sihlseite).

Das Objekt wurde im Jahr 1892 gebaut. Der Unterbau von ca. km 13.47 bis 16.34 wurde 1987 mit Fibradur saniert. Die Fugen wurden im Jahr 1991 erneuert.

Der Bauherr und Besitzer ist die Sihlwald Zürich Uetliberg Bahn SZU AG.

1.5. Ziele und Auftrag / Abgrenzung

Ziel dieses Studienberichtes ist, aufzuzeigen mit welchen Massnahmen die Gebrauchs- und Tragfähigkeit in Zukunft gewährleistet werden können. Es sind mögliche Instandsetzungsvarianten aufzuzeigen und in einem Vergleich gegenüberzustellen.

Nicht Bestandteil des Auftrages ist ein hydraulisches Gutachten der Instandsetzungsvarianten.

2. Zustandserfassung

2.1. Visuelle Zustandserfassung

Am Bauwerk sind lokal zwei leichte Verformungen festzustellen (rechts des Bachdurchlasses sowie beim Mast 99). Beim Bachdurchlass ist des Weiteren an der Stirnwand ein Eckriss entstanden, welcher zu lokalen Ausbrüchen führen könnte. Etliche Mauersteine (insgesamt ca. 150 Stk.) sind stark ausgewittert oder zeigen starken Bröckelzerfall. Des Weiteren kommen viele Bereiche mit leicht hohltönenden Mauersteinen vor, welche auf einen schlechten Verbund zwischen den Mauersteinen hindeuten. Die erneuerten Fugen sind im Allgemeinen intakt.

2.2. Materialtechnologische Untersuchungen

Die materialtechnologische Untersuchung erfolgte durch Mattec Materialtechnik am Bau AG. Detaillierte Befunde siehe Bericht Nr 19097/2 vom 11.07.2019.

Der Zustand des Natursteinbauwerks ist insgesamt als schlecht zu bezeichnen. Grund dafür sind die verbreiteten Schäden an der Sichtfläche (Leichte Verformungen und Eckrisse, sowie Vorkommen von Hohlstellen hinter den geflickten Fugen, von mürbem Mörtel, und von vielen bröckelnden Mauersteinen). Der Zustand des Mauerkerns ist etwas besser als derjenige des Mauermantels, weil die Mauersteine im Allgemeinen noch intakt sind. Der Mauermörtel ist jedoch leicht ausgewittert.

2.3. Untersuchungen zum Baugrund / Geologie, Grundwasserspiegel

Die Untersuchungen zum Baugrund erfolgte durch CSD AG. Detaillierte Befunde siehe Geologisch-Geotechnischer Bericht "Sanierung Linie S4, Km 13.460 bis Km 16.385" vom 19.03.2018.

Auffüllungen evtl. Rutschmasse stehen mit einer Mächtigkeit zwischen 2.7 m und 4.7 m unter OK Terrain an. Darunter folgen dicht gelagerten Sihl-Schotter. Das Objekt liegt in der Grundwasserschutzzone Au. Bei der Stützmauer Carbura sind keine Grundwasserisohypsen eingezeichnet. Der Grundwasserspiegel dürfte mit dem Wasserspiegel der Sihl korreliert werden.

2.4. Bahntechnische Untersuchungen

Die bestehende Bahntechnische ist wie folgt :

- Schwellen : 2-Block 1987 km 16.100 bis 16.340
 Y-Schwellen 1990 km 16.340 bis 16.385
- Profil : 46 E1
- Geschwindigkeit V_R : 50 km/h
- kein Geländer noch Dienstweg
- Abstand OK Gleis bis Fahrleitungsmasten nicht konform
- Höhe der Randborde nicht konform
- Höhe der Schotterhalterung nicht konform

Die Schottersondagen haben eine Schotter Stärke von 58 cm unter UK Schiene bemessen. Darunter folgt eine Schicht aus Fibradur. Das damals gewählte Verfahren hat sich nicht bewährt. In den Gruner Wepf AG

folgenden Jahren hat sich gezeigt, dass sich die einzelnen Blöcke der 2-Block Schwellen durch den Unterbau stanzen.

Der Einsatz von eine Mindestdicke des Schotterbettes unter der massgebenden Schiene von 30 cm wird vorgesehen. Bei neuem starren Unterbauten ist zusätzlich eine Übergangsschicht von 10 cm vorzusehen.

Es wird das Bahnlichtraumprofil EBV 2 gemäss AB-EBV als Basis eingesetzt.

3. Tragwerksanalyse und Nachweise

Die statische Überprüfung von Bestand wurde gemäss der Normenreihe SIA 269 "Erhaltung von Tragwerken" ausgeführt. Die Grenzzustand Typ 1, 2 und 3 werden überprüfen. Die aussergewöhnliche Überprüfungssituation Entgleisung wird kontrolliert. Die Lasten entgleister Schienenfahrzeuge sind mit dem Entgleisungslastmodell 1 gemäss SIA 269/1 berücksichtigt.

Die Gebrauchstauglichkeit wird durch die visuelle Inspektion des Bauwerks überprüft.

3.1. Grundlagen

- Pläne des Objektes
- Visuelle Zustandsuntersuchung
- Statischer Bericht

3.2. Resultate der visuellen Zustandsuntersuchung

Am Bauwerk sind lokal zwei leichte Verformungen festzustellen (rechts des Bachdurchlasses sowie beim Mast 99). Beim Bachdurchlass ist des Weiteren an der Stirnwand ein Eckriss entstanden, welcher zu lokalen Ausbrüchen führen könnte. Etliche Mauersteine (insgesamt ca. 150 Stk.) sind stark ausgewittert oder zeigen starken Bröckelzerfall. Des Weiteren kommen viele Bereiche mit leicht hohltönenden Mauersteinen vor, welche auf einen schlechten Verbund zwischen den Mauersteinen hindeuten. Die erneuerten Fugen sind im Allgemeinen intakt.

3.3. Resultate der statischen Überprüfung von Bestand

Die statische Überprüfung von Bestand wurde gemäss der Normenreihe SIA 269 "Erhaltung von Tragwerken" ausgeführt. Detaillierte Befunde siehe "Statischer Bericht - Sanierung der Stützmauer Carbura" vom 28.08.19.

Die Ergebnisse sind wie folgt zusammenfassen:

- Der Kippnachweis der Stützmauer ist erfüllt.
- Der Gleitnachweis der Stützmauer ist erfüllt.
- Der Nachweis des Grundbruches gemäss SIA267 [2013] ist nicht erfüllt.
- Die Standsicherheit der Stützmauer ist erfüllt.
- Der Schubnachweis der Stützmauer ist erfüllt.
- Der Nachweis der Interaktion Normalkraft-Biegung der Stützmauer ist erfüllt.

Aufgrund der Resultate der statischen Nachrechnungen sind Massnahmen erforderlich.

4. Zustandsbeurteilung

Damit die Tragfähigkeit des Bauwerks langfristig gewährleistet wird, muss das Objekt saniert und entlastet werden. Eine Verbreiterung des Objekts ist notwendig um das Bahnlichtraumprofil EBV 2 einzuhalten.

4.1. Stützmauer

Der Zustand des Natursteinbauwerks ist insgesamt als schlecht zu bezeichnen. Grund für die Schäden an den Fugen ist die kontinuierliche Durchfeuchtung. Die Erneuerung der Fugen ohne Erstellung von Entlastungsöffnungen hat in diesem Fall sehr wahrscheinlich zu einer grösseren Staunässe geführt.

Der Nachweis des Grundbruches gemäss SIA267 [2013] ist nicht erfüllt. Das Objekt muss entlastet sein um das Grundbruchkriterium einzuhalten.

4.2. Bordüre und Geländer

Es gibt kein Dienstweg oder Geländer auf dem bestehenden Stützmauer. Sihlseitig sind ein Geländer und Dienstwegraum vorzusehen. Es gibt nicht genug Raum auf dem bestehenden Stützmauer für die vorgesehenen Geländer und Dienstweg.

Die Oberkante Randborde resp. Mauerkrone befinden sich unter das Niveau der OK Schiene und müssen angepasst werden.

4.3. Fahrleitungsmasten

Die Fahrleistungsmasten befinden sich im Bahnlichtraumprofil. Das Fahrleistungs-System muss durch die wesentlichen Änderungen in der Lage und Höhe mit neuen Fahrleistungsmasten ausgestattet werden. Eine Verschiebung der Fahrleistungsmasten ist erforderlich.

5. Fazit Zustandsüberprüfung, Beurteilung Gesamtzustand

5.1. Beurteilung des baulichen Zustands

Der Zustand des Natursteinbauwerks ist insgesamt als schlecht zu bezeichnen. Grund dafür sind die verbreiteten Schäden an der Sichtfläche. Der Zustand des Mauerkerns ist etwas besser als derjenige des Mauermantels, weil die Mauersteine im Allgemeinen noch intakt sind. Der Mauermörtel ist jedoch leicht ausgewittert. Eine Massnahme ist notwendig.

5.2. Beurteilung der Tragsicherheit

Die statische Überprüfung von Bestand hat ein Stabilitätsproblem bewiesen. Der Nachweis des Grundbruches ist nicht erfüllt. Es liegt ein Risiko von seitliches Wegbrechen des Bodens.

5.3. Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit

Die Gebrauchstauglichkeit ist durch die visuelle Inspektion des Bauwerks überprüft. Am Bauwerk sind keine Verformungen oder Setzungen festzustellen. Im Bereich zwischen Mast 25 und der Brücke, sowie beim Mast 23 ist die Mauerkrone leicht versetzt.

5.4. Beurteilung der Ermüdung

Es gibt keinen Ermüdungsnachweis für Natursteinmauerwerk.

5.5. Beurteilung Restnutzungsdauer

Die Stützmauer hat eine Restnutzungsdauer von maximal 10 Jahren. Bei einer Instandsetzung des Objektes mit einem Gesamtbauersatz beträgt die Restnutzungsdauer des gesamten Objekts 100 Jahre. Bei einer Instandsetzung des Objektes mit einem Teilbauersatz beträgt die Restnutzungsdauer des gesamten Objekts 50 Jahre

5.6. Sofortmassnahmen

Sofortmassnahmen vor den vorgesehenen Instandsetzungsarbeiten, welche für den dritten Quartal 2022 geplant sind, sind nicht erforderlich.

6. Massnahmenempfehlung / Variantenstudie

6.1. Projekttrandbedingungen

6.1.1. Intervallsituation

Die Linie S4 verkehrt fahrplanmässig bis zur Station Sihlwald. Der Streckenabschnitt Sihlwald bis Sihlbrugg und somit der gesamte Perimeter der STM Carbura wird im Regelfall durch Bauzüge, Inbetriebnahme-Testfahrten, andere Testzwecke oder zu SZU-Ausbildungszwecken genutzt. Die Strecke dient als 10P-Ergänzungsnetz.

Da sich der Projektperimeter auf einem nicht fahrplanmässig genutzten Streckenabschnitt befindet, soll der Abschnitt während der Bauarbeiten voll für den Bahnverkehr gesperrt werden. Eine Totalsperre der Bahnlinie für mehrere Monate ist möglich.

6.1.2. Sicherheit

Die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer in der Nähe des Objekts sowie der Bauarbeiter während der Ausführung des Projekts ist von grossen Bedeutung. Sicherheits- und Schutzmassnahmen sind in den nächsten Phasen einzuplanen. Spezifische Sicherheits- und Schutzmassnahmen gegen Hochwassers während der Ausführungsphase sind einzuplanen.

6.1.3. Land und Rechte, Verträge, Nachbarrechte

Unterhalt und Eigentum bei den SZU. Das Terrain Sihlseitig vor der Stützmauer gehört zur Gemeinde Horgen. Provisorische Landbeanspruchungen für die Bauphase werden in den nächsten Planungsphasen definiert.

6.1.4. Weitere Stakeholder

Da das Bauwerk unmittelbar an der Sihl angrenzt und es sich in einem besonders schützenswerten Gebiet befindet, sind die Sanierungsmassnahmen unter Berücksichtigung der Vorgabe des Gewässerschutzes und der Denkmalbehörden zu projektieren. Dies ist in der Ausarbeitung des Auflageprojekts sowie in der Baumeistersubmission durchgehend zu berücksichtigen. Die sichtbaren Flächen der Stützmauer sind, wie bestehend, aus Bruchsteinen zu erstellen.

6.1.5. Baurealisierung und Bauphasen

Die Baurealisierung und Bauphasen sind in den folgenden Kapiteln beschrieben. Ein Vorschlag für Umlagerungs- und Installationsplatz ist im Anhang 1 präsentiert.

6.2. Variante 1: Ersatz der ganze Stützmauer

Der Übersichtsplan der Variante ist im Anhang 2 dokumentiert.

6.2.1. Massnahmenbeschrieb

Es sind folgende Massnahmen auszuführen:

- Abbau der Gleiselemente: Gleisjoch demontieren, Ausbau des Schotters, des PSS und des Fibradurs, Demontage der Fahrleitungsmasten und des Kabelkanals.

- Ersatz der verschiedenen Entwässerungsleitungen im Perimeter der Stützmauer: Demontage der bestehenden Leitungen und Einbau der Neuen.
- Bau einer Spundwand mit Longrine und Ankern und Demontage dieser Spundwand am Ende der Bauarbeiten.
- Aushub des Terrains hinter der Stützmauer.
- Abbau der bestehenden Stützmauer.
- Bau einer Rampe auf beide Seiten der Stützmauer als Baustellenzufahrt.
- Einbau der neuen Stützmauer in Ortsbeton.
- Verkleidung der sichtbaren Flächen der Stützmauer bis Betonkrone mit Stein.
- Montage eines Geländers.
- Einbau der Gleiselemente: Vorschotterung, Einbau der Kabelkanal, Einbau des Gleisjochs, Gleisanhebung inkl. Unterstopfung.
- Montage der Fahrleitungsmasten.

Während der gesamten Bauzeit ist der Abschnitt für den Bahnverkehr im Bereich der Baustelle total zu sperren.

6.2.2. Kostenschätzung

Stufengerechte Erfassung der Bauwerkskosten nach NPK-Kapiteln (Grobkostenschätzung Genauigkeit +/- 30%)

| NPK | Bezeichnung | EH | Ausmass | EHP | [CHF] | [CHF] |
|------------|--|------|----------|-----------|-----------|------------------|
| 111 | Regiearbeiten | | | | | 137'496 |
| | Total Regie (Prozentualer Anteil auf Bauarbeiten exkl. Installationen) | % | 3.00% | 4'583'213 | 137'496 | |
| 112 | Prüfungen | | | | | 45'832 |
| | Div. Prüfungen | % | 1.00% | 4'583'213 | 45'832 | |
| 113 | Baustelleneinrichtungen (inkl. Provisorien, Baupisten) | | | | | 412'489 |
| | Allgemeine Baustelleneinrichtungen | % | 9.00% | 4'583'213 | 412'489 | |
| 116 | Holzen und Roden | | | | | 1'900 |
| | Rodungen | m2 | 10.00 | 70 | 700 | |
| | kleine Vegetation | m2 | 30.00 | 40 | 1'200 | |
| 117 | Abbrüche und Demontagen | | | | | 305'171 |
| | Entwässerung, Kanalisation hinter Stützmauer | m | 42.00 | 15 | 630 | |
| | Steinmauer | m3 | 2599.00 | 113 | 293'664 | |
| | Betonsohle für Fahrleitungsmasten | m3 | 96.00 | 113 | 10'876 | |
| 151 | Bauarbeiten für Werkleitungen | | | | | 63'420 |
| | Werkleitungsabbau - Wasser | m | 604.00 | 30 | 18'120 | |
| | Werkleitungsbau - Wasser | m | 604.00 | 75 | 45'300 | |
| 162 | Baugrubenabschlüsse / Aussteifungen | | | | | 1'063'782 |
| | Spundwand für Abbrüche und Montage inkl. Demontage | m2 | 4707.00 | 226 | 1'063'782 | |
| 164 | Verankerungen und Nagelwände | | | | | 344'678 |
| | Longrine für Spundwand inkl. Demontage | kg | 58681.00 | 3.2 | 187'778 | |
| | Ankern für Spundwand inkl. Demontage | Stk. | 78.00 | 2'000 | 156'900 | |
| 172 | Abdichtungen für Bauwerke unter Terrain und für Brücken | | | | | 58'588 |

| | | | | | | |
|------------|--|-----|-----------|---------|---------|------------------|
| | Abdichtung - Bitumendichtungsbahnen inkl. sämtlichen Abschlüssen und Schutzmaten | m2 | 604.00 | 97 | 58'588 | |
| 211 | Baugruben und Erdbau | | | | | 158'469 |
| | Aushub inkl. Transport und Entsorgung | m3 | 4158.00 | 20 | 83'157 | |
| | Aufschüttung | m3 | 5021.00 | 15 | 75'312 | |
| 225 | Gleisbau, Stellwerk-Aussenanlagen und Weichenheizung | | | | | 336'749 |
| | Gleisjoch ausbauen | m | 302.00 | 50 | 15'100 | |
| | Aushub Schotter | m3 | 744.00 | 20 | 14'889 | |
| | Aushub Fibradur | m3 | 54.00 | 15 | 803 | |
| | Aushub Foundationsschicht | m3 | 385.00 | 18 | 6'931 | |
| | Demontage Kabelkanal | m | 302.00 | 15 | 4'530 | |
| | Fahrleitungsmasten inkl. Arbeiten an der Fahrleitung, Kabelanlage, SA und Steueranlage (Abbau und Montage) | gl. | 1 | 200'000 | 200'000 | |
| | Foundationsschicht gemäss R RTE 21110 | m3 | 385.00 | 20 | 7'701 | |
| | Sperrschicht gemäss R RTE 21110 | m3 | 128.00 | 20 | 2'567 | |
| | Gleisschotter | m3 | 513.00 | 17 | 8'728 | |
| | Gleisjoch montieren | m | 302.00 | 200 | 60'400 | |
| | Kabelkanal erstellen | m | 302.00 | 50 | 15'100 | |
| 237 | Kanalisationen und Entwässerungen | | | | | 92'300 |
| | Entwässerung, Kanalisation für Gleisregenwasser | m | 302.00 | 250 | 75'500 | |
| | Kanalisationen hinter Stützmauer | m | 42.00 | 400 | 16'800 | |
| 241 | Ortbetonbau | | | | | 1'841'337 |
| | Unterlagsbeton | m3 | 176.00 | 282 | 49'745 | |
| | Betonkubatur inkl. Betonsohle für FLM | m3 | 2617.00 | 350 | 915'836 | |
| | Schalungsfläche inkl. Betonsohle für FLM | m2 | 1621.00 | 56 | 90'754 | |
| | Bewehrungsgehalt | kg | 392501.00 | 2 | 785'003 | |
| 281 | Fahrzeug-Rückhaltesystem und Geländer | | | | | 46'720 |
| | Handlauf | m | 292.00 | 160 | 46'720 | |
| 345 | Natursteinarbeiten | | | | | 270'100 |
| | Steinverkleidung | m3 | 1080.00 | 250 | 270'100 | |

| | |
|-----------------------------------|------------------|
| Zwischentotal 1 | 5'179'031 |
| Unvorhergesehenes 10% | 517'903 |
| Zwischentotal 2 | 5'696'934 |
| Mehrwertsteuer 7.7% | 438'664 |
| Total inkl. Mehrwertsteuer | 6'135'598 |

6.2.3. Bauphasen und Baulogistik

| Nr. | Bauphase |
|-----|---|
| 1 | Gleisabbau: Gleisjoch demontieren, Ausbau des Schotters, des PSS und des Fibradurs, Demontage der Fahrleitungsmasten und des Kabelkanals. |
| 2 | Entwässerungsleitungen demontieren |
| 3 | Bau der Spundwand, Rammen der Profile |
| 4 | Aushub der ersten Etappe des Terrains hinter der Stützmauer und Abbau der bestehenden Stützmauer |
| 5 | Erstellung der Longrine und der Anker für die Spundwand |
| 6 | Aushub der letzten Etappe des Terrains hinter der Stützmauer und Abbau der bestehenden Stützmauer |
| 7 | Bau der Rampe als Baustellenzufahrt |
| 8 | Erste + Zweite Etappe der neuen Stützmauer : Magerbeton - Schalung - Ortsbeton |
| 9 | Aufschüttung - 1. Etappe inkl. einbauen der Entwässerungsleitungen im Perimeter der Stützmauer (bis auf Niveau der Longrine und Anker) |
| 10 | Longrine und Anker entfernen |
| 11 | Aufschüttung - Letzte Etappe |
| 12 | Letzte Etappe der neuen Stützmauer: Schalung - Ortsbeton - Steinverkleidung |
| 13 | Spundwand ziehen |
| 14 | Bau der Kanalisation für das Bauwerk und die Fahrbahn |
| 15 | Gleisbau: Vorschotterung, Einbau der Kabelkanal, Einbau des Gleisjochs, Gleisanhebung inkl. Unterstopfung |
| 16 | Abschlussarbeiten: Montage der Fahrleitungsmasten und des Geländers |

Baulogistik

Die Rückbauarbeiten (~Bauphase 1 bis 6) werden vom Niveau der Gleise durchgeführt (siehe Abbildung 3).

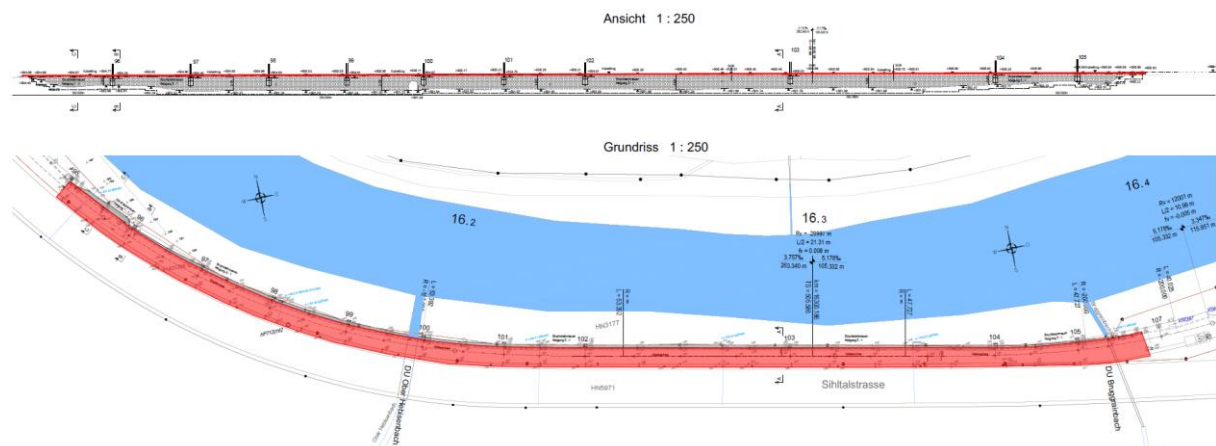


Abbildung 3 : Baustelle - Rückbau vom Niveau der Gleise

Für die Zugänglichkeit der Baugrubensohle sind zwei Zufahrtsrampe auf beiden Seite der Stützmauer vorgesehen. Die Erstellung von der neuen Stützmauer wird ab Baugrubensohle erstellt.

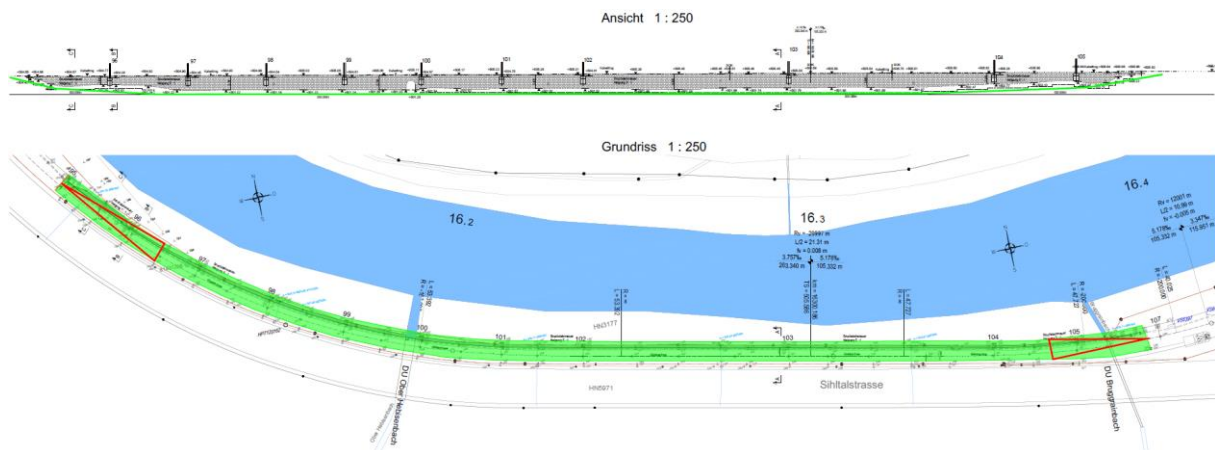
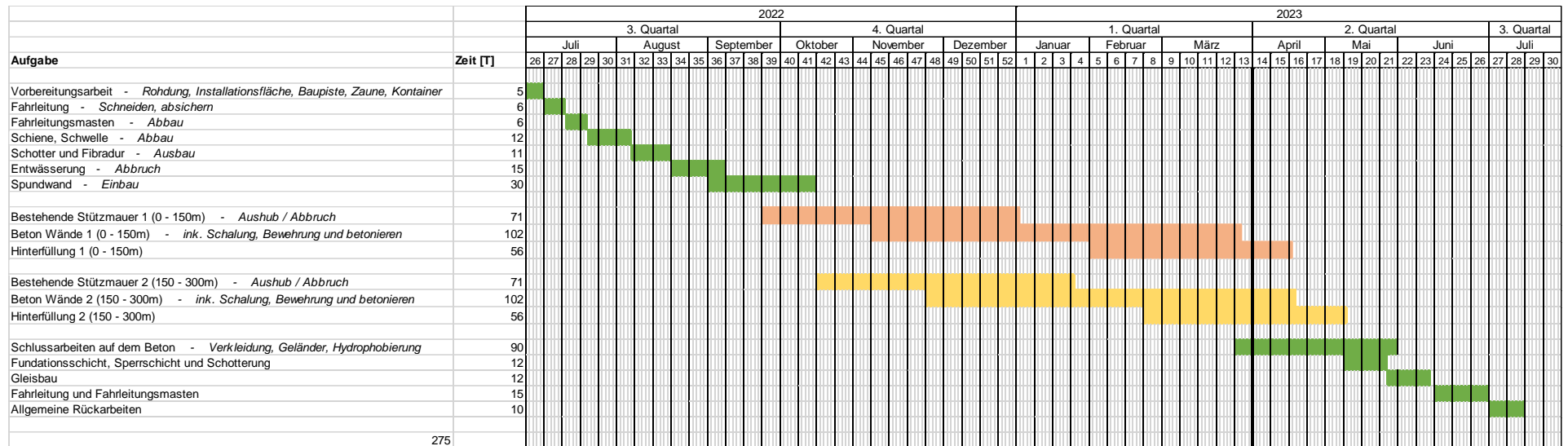


Abbildung 4 : Baustelle - Erstellung ab Baugrubensohle

Damit die Gesamtbauzeit optimiert ist, sind parallele Arbeiten mit mehreren Bauequipen und Baumaschinen angenommen worden. Die vorgesehene Gesamtbauzeit beträgt 275 Tage.



6.3. Variante 2: Betontrog und Sanierung des Natursteinmauerwerks

Der Übersichtsplan der Variante ist im Anhang 2 dokumentiert.

6.3.1. Massnahmenbeschrieb

Es sind folgende Massnahmen auszuführen:

- Abbau der Gleiselemente: Gleisjoch demontieren, Ausbau des Schotters, des PSS und des Fibradurs, Demontage der Fahrleitungsmasten und des Kabelkanals.
- Ersatz der verschiedenen Entwässerungsleitungen im Perimeter der Stützmauer: Demontage der bestehenden Leitungen und Einbau der Neuen.
- Aushub des Terrains hinter der Stützmauer.
- Abbau der bestehenden Stützmauer.
- Bodenstabilisierung mit Spritzbeton.
- Bau der Pfähle.
- Einbau des neuen Betontroges.
- Verkleidung der sichtbaren Flächen der Stützmauer bis Betonkrone mit Stein.
- Fugensanierung des Natursteinmauerwerks.
- Bau der Kanalisation für das Bauwerk und die Fahrbahn.
- Montage eines Geländers.
- Einbau der Gleiselemente: Vorschotterung, Einbau der Kabelkanal, Einbau des Gleisjochs, Gleisanhebung inkl. Unterstopfung.
- Montage der Fahrleitungsmasten.

Während der gesamten Bauzeit ist der Abschnitt für den Bahnverkehr im Bereich der Baustelle total zu sperren.

6.3.2. Kostenschätzung

Stufengerechte Erfassung der Bauwerkskosten nach NPK-Kapiteln (Grobkostenschätzung Genauigkeit +/- 30%)

| NPK | Bezeichnung | EH | Ausmass | EHP | [CHF] | [CHF] |
|------------|--|----|---------|-----------|---------|----------------|
| 111 | Regiearbeiten | | | | | 80'682 |
| | Total Regie (Prozentualer Anteil auf Bauarbeiten exkl. Installationen) | % | 3.00% | 2'689'386 | 80'682 | |
| 112 | Prüfungen | | | | | 26'894 |
| | Div. Prüfungen | % | 1.00% | 2'689'386 | 26'894 | |
| 113 | Baustelleneinrichtungen (inkl. Provisorien, Baupisten) | | | | | 242'045 |
| | Allgemeine Baustelleneinrichtungen | % | 9.00% | 2'689'386 | 242'045 | |
| 116 | Holzen und Roden | | | | | 1'900 |
| | Rodungen | m2 | 10.00 | 70 | 700 | |
| | kleine Vegetation | m2 | 30.00 | 40 | 1'200 | |
| 117 | Abbrüche und Demontagen | | | | | 58'034 |
| | Entwässerung, Kanalisation | m | 42.00 | 15 | 630 | |
| | Steinmauer | m3 | 321.00 | 113 | 36'273 | |
| | Betonrand | m3 | 91.00 | 113 | 10'283 | |

| | | | | | | |
|------------|--|-----|-----------|---------|-----------|------------------|
| | Betonsohle für Fahrleitungsmasten | m3 | 96.00 | 113 | 10'848 | |
| 133 | Instandsetzung Schutz Mauerwerk a. Natursteinen | | | | | 56'925 |
| | Fugensanierung Natursteinmauerwerk | m2 | 759.00 | 75 | 56'925 | |
| 151 | Bauarbeiten für Werkleitungen | | | | | 63'420 |
| | Werkleitungsabbau - Wasser | m | 604.00 | 30 | 18'120 | |
| | Werkleitungsbau - Wasser | m | 604.00 | 75 | 45'300 | |
| 162 | Baugrubenabschlüsse / Aussteifungen | | | | | 90'390 |
| | Spritzbeton | m2 | 393.00 | 230 | 90'390 | |
| 171 | Pfähle | | | | | 1'060'500 |
| | Pfähle | m2 | 1515.00 | 700 | 1'060'500 | |
| 172 | Abdichtungen für Bauwerke unter Terrain und für Brücken | | | | | 172'757 |
| | Abdichtung - Bitumendichtungsbahnen inkl. sämtlichen Abschlüssen und Schutzmatte | m2 | 1781.00 | 97 | 172'757 | |
| 211 | Baugruben und Erdbau | | | | | 15'835 |
| | Aushub inkl. Transport und Entsorgung | m3 | 776.00 | 20 | 15'520 | |
| | Aufschüttung | m3 | 21.00 | 15 | 315 | |
| 225 | Gleisbau, Stellwerk-Aussenanlagen und Weichenheizung | | | | | 326'471 |
| | Gleisjoch ausbauen | m | 302.00 | 50 | 15'100 | |
| | Aushub Schotter | m3 | 744.00 | 20 | 14'880 | |
| | Aushub Fibradur | m3 | 54.00 | 15 | 810 | |
| | Aushub Foundationsschicht | m3 | 385.00 | 18 | 6'930 | |
| | Demontage Kabelkanal | m | 302.00 | 15 | 4'530 | |
| | Fahrleitungsmasten inkl. Arbeiten an der Fahrleitung, Kabelanlage, SA und Steueranlage (Abbau und Montage) | gl. | 1 | 200'000 | 200'000 | |
| | Gleisschotter | m3 | 513.00 | 17 | 8'721 | |
| | Gleisjoch montieren | m | 302.00 | 200 | 60'400 | |
| | Kabelkanal erstellen | m | 302.00 | 50 | 15'100 | |
| 237 | Kanalisationen und Entwässerungen | | | | | 92'300 |
| | Entwässerung, Kanalisation für Gleisregenwasser | m | 302.00 | 250 | 75'500 | |
| | Kanalisationen hinter Stützmauer | m | 42.00 | 400 | 16'800 | |
| 241 | Ortbetonbau | | | | | 671'384 |
| | Unterlagsbeton | m3 | 117.00 | 282 | 32'938 | |
| | Betonkubatur - Übergangsplatte inkl. Betonsohle für FLM | m3 | 806.00 | 350 | 282'100 | |
| | Bewehrungsgehalt - Übergangsplatte inkl. Betonsohle für FLM | kg | 120941.00 | 2 | 241'882 | |
| | Schalungsfläche | m2 | 2044.00 | 56 | 114'464 | |
| 281 | Fahrzeug-Rückhaltesystem und Geländer | | | | | 46'720 |
| | Handlauf | m | 292.00 | 160 | 46'720 | |
| 345 | Natursteinarbeiten | | | | | 32'750 |
| | Steinverkleidung | m2 | 131.00 | 250 | 32'750 | |

Zwischentotal 1**3'039'006****Unvorhergesehenes 10%**

303'901

Zwischentotal 2**3'342'906****Mehrwertsteuer 7.7%****257'404**

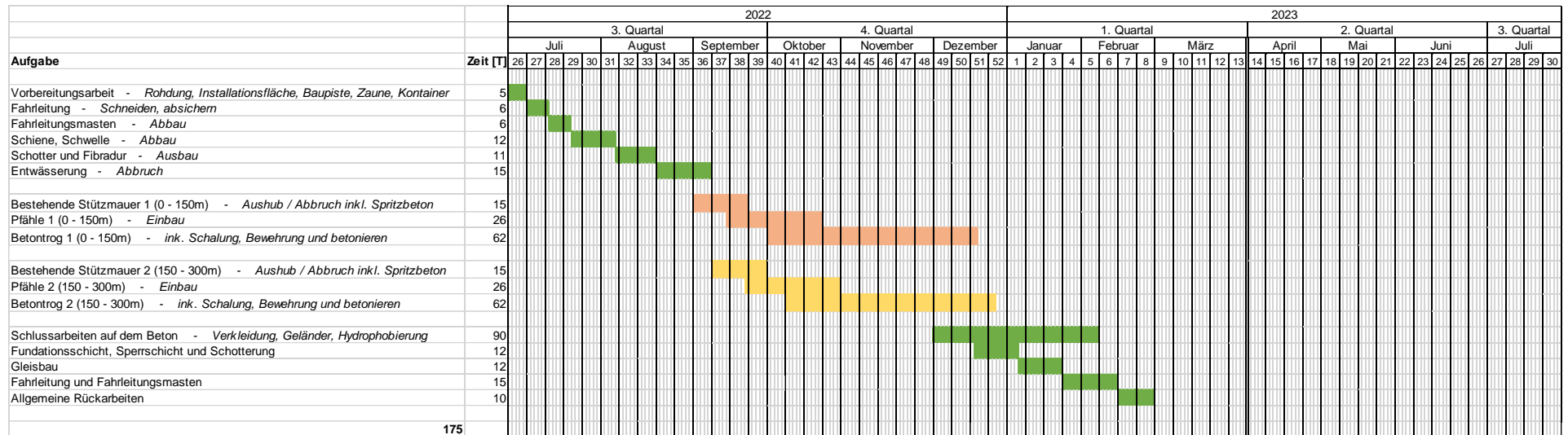
| |
|-----------------------------------|
| Total inkl. Mehrwertsteuer |
|-----------------------------------|

| |
|------------------|
| 3'600'310 |
|------------------|

6.3.3. Bauphasen

| Nr. | Bauphase |
|-----|---|
| 1 | Gleisabbau: Gleisjoch demontieren, Ausbau des Schotters, des PSS und des Fibradurs, Demontage der Fahrleitungsmasten und des Kabelkanals. |
| 2 | Entwässerungsleitungen demontieren |
| 3 | Aushub des Terrains hinter der Stützmauer und Abbau der bestehenden Stützmauer. Spritzbeton für Bodenstabilisierung. |
| 4 | Pfähle bauen |
| 5 | Betontrog: Magerbeton - Schalung - Beton neu |
| 6 | Aufschüttung inkl. einbauen der Entwässerungsleitungen im Perimeter der Stützmauer |
| 7 | Fugensanierung des Natursteinmauerwerks |
| 8 | Bau der Kanalisation für das Bauwerk und die Fahrbahn |
| 9 | Gleisbau: Vorschotterung, Einbau der Kabelkanal, Einbau des Gleisjochs, Gleisanhebung inkl. Unterstopfung |
| 10 | Abschlussarbeiten: Montage der Fahrleitungsmasten und des Geländers |

Damit die Gesamtbauzeit optimiert ist, sind parallel Arbeiten mit mehreren Bauequipen und Baumaschinen angenommen worden. Die vorgesehene Gesamtbauzeit beträgt 175 Tage.



6.4. Variante 3: Bohrpfahlwand und Sanierung des Natursteinmauerwerks

Der Übersichtsplan der Variante ist im Anhang 2 dokumentiert.

6.4.1. Massnahmenbeschrieb

Es sind folgende Massnahmen auszuführen:

- Abbau der Gleiselemente: Gleisjoch demontieren, Ausbau des Schotters, des PSS und des Fibradurs, Demontage der Fahrleitungsmasten und des Kabelkanals.
- Ersatz der verschiedenen Entwässerungsleitungen im Perimeter der Stützmauer: Demontage der bestehenden Leitungen und Einbau der Neuen.
- Aushub des Terrains hinter der Stützmauer.
- Abbau der bestehenden Stützmauer.
- Bau der Bohrpfahlwand.
- Verkleidung der sichtbaren Flächen der Stützmauer bis Betonkrone mit Stein.
- Fugensanierung des Natursteinmauerwerks.
- Bau der Kanalisation für das Bauwerk und die Fahrbahn.
- Montage eines Geländers.
- Einbau der Gleiselemente: Vorschotterung, Einbau der Kabelkanal, Einbau des Gleisjochs, Gleisanhebung inkl. Unterstopfung.
- Montage der Fahrleitungsmasten.

Während der gesamten Bauzeit ist der Abschnitt für den Bahnverkehr im Bereich der Baustelle total zu sperren.

6.4.2. Kostenschätzung

Stufengerechte Erfassung der Bauwerkskosten nach NPK-Kapiteln (Grobkostenschätzung Genauigkeit +/- 30%)

| NPK | Bezeichnung | EH | Ausmass | EHP | [CHF] | [CHF] |
|------------|--|----|---------|-----------|---------|----------------|
| 111 | Regiearbeiten | | | | | 91'667 |
| | Total Regie (Prozentualer Anteil auf Bauarbeiten exkl. Installationen) | % | 3.00% | 3'055'566 | 91'667 | |
| 112 | Prüfungen | | | | | 30'556 |
| | Div. Prüfungen | % | 1.00% | 3'055'566 | 30'556 | |
| 113 | Baustelleneinrichtungen (inkl. Provisorien, Baupisten) | | | | | 275'001 |
| | Allgemeine Baustelleneinrichtungen | % | 9.00% | 3'055'566 | 275'001 | |
| 116 | Holzen und Roden | | | | | 1'900 |
| | Rodungen | m2 | 10.00 | 70 | 700 | |
| | kleine Vegetation | m2 | 30.00 | 40 | 1'200 | |
| 117 | Abbrüche und Demontagen | | | | | 60'972 |
| | Entwässerung, Kanalisation hinter Stützmauer | m | 42.00 | 15 | 630 | |
| | Steinmauer | m3 | 438.00 | 113 | 49'494 | |
| | Betonsohle für Fahrleitungsmasten | m3 | 96.00 | 113 | 10'848 | |
| 133 | Instandsetzung Schutz Mauerwerk a. Natursteinen | | | | | 54'750 |
| | Fugensanierung Natursteinmauerwerk | m2 | 730.00 | 75 | 54'750 | |

| | | | | | | |
|------------|--|-----|----------|---------|-----------|------------------|
| 151 | Bauarbeiten für Werkleitungen | | | | | 63'420 |
| | Werkleitungsabbau - Wasser | m | 604.00 | 30 | 18'120 | |
| | Werkleitungsbau - Wasser | m | 604.00 | 75 | 45'300 | |
| 171 | Pfähle | | | | | 1'708'200 |
| | Bohrpfahlwand | m2 | 2628.00 | 650 | 1'708'200 | |
| 172 | Abdichtungen für Bauwerke unter Terrain und für Brücken | | | | | 117'176 |
| | Abdichtung - Bitumendichtungsbahnen inkl. sämtlichen Abschlüssen und Schutzmatte | m2 | 1208.00 | 97 | 117'176 | |
| 211 | Baugruben und Erdbau | | | | | 13'720 |
| | Aushub inkl. Transport und Entsorgung | m3 | 467.00 | 20 | 9'340 | |
| | Aufschüttung | m3 | 292.00 | 15 | 4'380 | |
| 225 | Gleisbau, Stellwerk-Aussenanlagen und Weichenheizung | | | | | 327'814 |
| | Gleisjoch ausbauen | m | 302.00 | 50 | 15'100 | |
| | Aushub Schotter | m3 | 744.00 | 20 | 14'880 | |
| | Aushub Fibradur | m3 | 54.00 | 15 | 810 | |
| | Aushub Foundationsschicht | m3 | 385.00 | 18 | 6'930 | |
| | Demontage Kabelkanal | m | 302.00 | 15 | 4'530 | |
| | Fahrleitungsmasten inkl. Arbeiten an der Fahrleitung, Kabelanlage, SA und Steueranlage (Abbau und Montage) | gl. | 1 | 200'000 | 200'000 | |
| | Foundationsschicht gemäss R RTE 21110 | m3 | 204.00 | 20 | 4'080 | |
| | Sperrschicht gemäss R RTE 21110 | m3 | 68.00 | 20 | 1'360 | |
| | Gleisschotter | m3 | 272.00 | 17 | 4'624 | |
| | Gleisjoch montieren | m | 302.00 | 200 | 60'400 | |
| | Kabelkanal erstellen | m | 302.00 | 50 | 15'100 | |
| 237 | Kanalisationen und Entwässerungen | | | | | 92'300 |
| | Entwässerung, Kanalisation für Gleisregenwasser | m | 302.00 | 250 | 75'500 | |
| | Kanalisationen hinter Stützmauer | m | 42.00 | 400 | 16'800 | |
| 241 | Ortbetonbau | | | | | 521'094 |
| | Betonkubatur - Übergangsplatte inkl. Betonsohle für FLM | m3 | 662.00 | 350 | 231'700 | |
| | Schalungsfläche - Übergangsplatte inkl. Betonsohle für FLM | m2 | 1621.00 | 56 | 90'776 | |
| | Bewehrungsgehalt - Übergangsplatte inkl. Betonsohle für FLM | kg | 99309.00 | 2 | 198'618 | |
| 281 | Fahrzeug-Rückhaltesystem und Geländer | | | | | 46'720 |
| | Handlauf | m | 292.00 | 160 | 46'720 | |
| 345 | Natursteinarbeiten | | | | | 47'500 |
| | Steinverkleidung | m3 | 190.00 | 250 | 47'500 | |

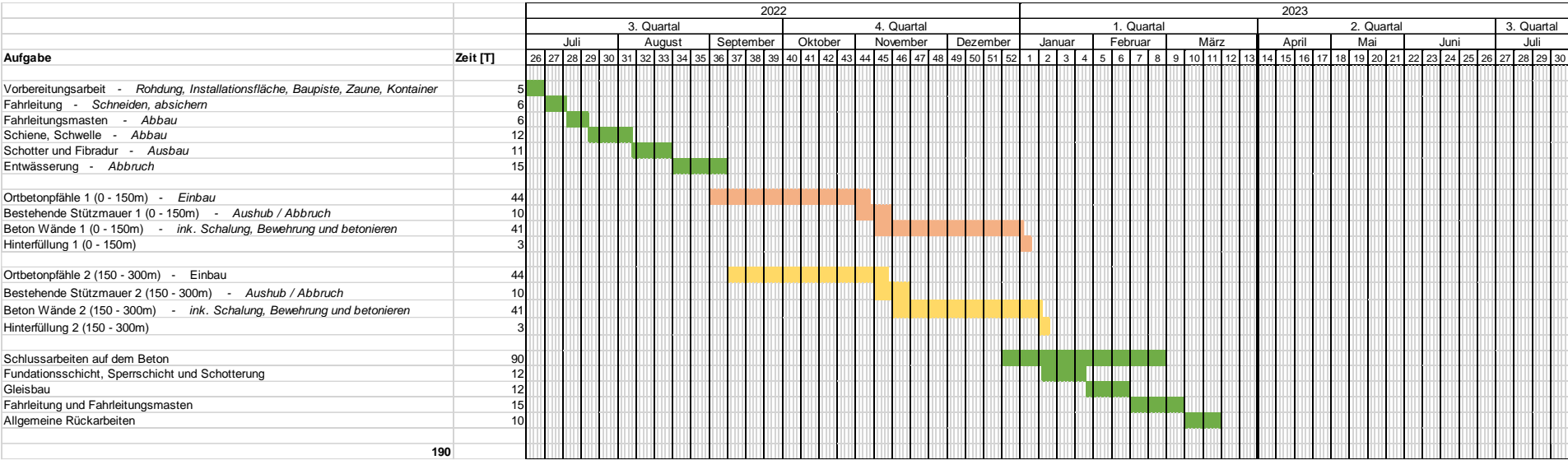
| | |
|-----------------------------------|------------------|
| Zwischentotal 1 | 3'452'790 |
| Unvorhergesehenes 10% | 345'279 |
| Zwischentotal 2 | 3'798'069 |
| Mehrwertsteuer 7.7% | 292'451 |
| Total inkl. Mehrwertsteuer | 4'090'520 |

6.4.3. Bauphasen

| Nr. | Bauphase |
|-----|---|
| 1 | Gleisabbau: Gleisjoch demontieren, Ausbau des Schotters, des PSS und des Fibradurs, Demontage der Fahrleitungsmasten und des Kabelkanals. |
| 2 | Entwässerungsleitungen demontieren |
| 3 | Aushub des Terrains bis UK Betonfundament hinter der Stützmauer |
| 4 | Bohrpfahlwand bauen |
| 5 | Abbau des obersten Teils ca. 1.5 m der bestehenden Stützmauer |
| 6 | Fundamentplatte: (Magerbeton) - Schalung - Beton neu |
| 7 | Aufschüttung inkl. einbauen der Entwässerungsleitungen im Perimeter der Stützmauer |
| 8 | Fugensanierung des Natursteinmauerwerks |
| 9 | Bau der Kanalisation für das Bauwerk und die Fahrbahn |
| 10 | Gleisbau: Vorschotterung, Einbau der Kabelkanal, Einbau des Gleisjochs, Gleisanhebung inkl. Unterstopfung |
| 11 | Abschlussarbeiten: Montage der Fahrleitungsmasten und des Geländers |

6.4.4. Bauprogramm

Damit die Gesamtbauzeit optimiert ist, sind parallel Arbeiten mit mehreren Bauequipen und Baumaschinen angenommen worden. Die vorgesehene Gesamtbauzeit beträgt 190 Tage.



6.5. Weitere Varianten, die verworfen wurden

Die Null-Variante kommt aus folgenden Gründen nicht in Frage:

- der Nachweis des Grundbruches gemäss SIA267 [2013] ist nicht erfüllt.
- eine Verbreiterung des Objekts ist notwendig um das Bahnlichtraumprofil EBV 2 einzuhalten.
- das Objekt muss saniert werden um die Tragfähigkeit des Bauwerks langfristig zu gewährleisten.

Die Variante mit einem Flachfundament auf der Strassenseite wurde überprüft. Da das Flachfundament nahe an der Nationalstrasse liegt ist eine Beeinträchtigung des Strassenverkehrs zu rechnen. Aus diesem Grund ist diese Variante verworfen worden.

6.6. Evaluation Bestvariante / technische Bestvariante

6.6.1. Nutzwertanalyse

Folgende Kriterien wurden beurteilt:

- Dauerhaftigkeit / Unterhalt

Da die Variante 1 ein Gesamtersatz der Stützmauer ist, ist die Dauerfestigkeit auf 100 Jahren geschätzt. Da die Variante 2 und 3 nur Teilsanierungen der bestehenden Stützmauer sind, ist die Dauerfestigkeit auf 50 Jahren geschätzt. Um eine Erhöhung der Lebensdauer von 10 - 15 Jahre zu erreichen, sind Inspektionen und zusätzliche Massnahmen erforderlich. Da die folgenden Kosten solche zusätzlichen Inspektionen und Massnahmen hoch sind, ist eine Erhöhung der Lebensdauer für Variante 2 und 3 als nicht wirtschaftlich betrachtet.

- Bewilligungsfähigkeit

Da das Bauwerk unmittelbar an der Sihl angrenzt und es sich in einem besonders schützenswerten Gebiet befindet, sind die Sanierungsmassnahmen unter Berücksichtigung der Vorgabe des Gewässerschutzes und der Denkmalbehörden zu projektieren. Die Arbeiten an dem Objekt erfordern eine sorgfältige Planung, bei Bedarf unter Beizug der Fachstelle für Denkmalschutz- und Gewässerschutzfragen. Die Bewilligung des Projekts von AWEL und Denkmalpflege ist von grossen Bedeutung. Die Bewilligungsfähigkeit der Varianten 1, 2 und 3 ist als gleich geschätzt.

- Bauzeit

Die Bauzeit der Variante 2 ist die kürzeste. Die Variante 3 ist nur geringfügig länger. Da die Variante 1 ein Gesamtersatz der Stützmauer ist, braucht diese Variante fast ein halbes Jahr mehr.

- Baulogistik

Für die Varianten 2 und 3 sind keine temporären Baugrubenabschlüsse erforderlich. Da Variante 1 einen Gesamtersatz der Stützmauer ist, muss eine temporäre Spundwand eingebaut werden.

- Hochwasserschutz

Die drei Varianten folgen die Trasse der bestehenden Stützmauer und haben dann keinen besonderen Einfluss auf die Strömung der Sihl. Die Bauarbeiten für Variante 1 werden teilweise

auf dem Niveau des Fundaments des Bauwerks ausgeführt. Schutzmassnahmen gegen Hochwasser sind für die Variante 2 zu planen. Für Variante 2 und 3 ist das Problem vom Hochwasser sehr gering als alle Bauphasen sind vom Niveau der Gleise durchgeführt.

– Kosten

Die Variante 2 ist die günstigste Variante. Variante 3 ist etwa 12% teurer als Variante 2. Variante 1 ist deutlicher teurer als Variante 2 und 3.

6.6.2. Zusammenfassung der Variantenbeurteilung

Variante 1 = Neubau

Variante 2 = Betontrog und Sanierung des Natursteinmauerwerks

Variante 3 = Bohrpfahlwand und Sanierung des Natursteinmauerwerks

| Kriterium | Variante 1 | Variante 2 | Variante 3 |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| Dauerhaftigkeit / Unterhalt | ++ | - | - |
| Bewilligungsfähigkeit | + | + | + |
| Bauzeit | -- | ++ | + |
| Baulegistik | -- | + | + |
| Hochwasserschutz | - | + | + |
| Kosten | -- | ++ | + |

6.6.3. Empfehlung Bestvariante

Als Bestvariante empfehlen wir die **Variante 2** "Betontrog und Sanierung des Natursteinmauerwerks".

Diese Variante ist schneller zu bauen und günstiger als Variante 1 und 3.

7. Termine

7.1. Dringlichkeit der Massnahmen

Die Dringlichkeit der Massnahmen aus der Sicht Tragkonstruktion ist im Wesentlichen durch den baulichen Zustand der Stützmauer und den kritischen Widerstand des Bauwerks wegen Grundbruch gegeben. Wir empfehlen diese Massnahmen innerhalb der nächsten 5 Jahre zu realisieren.

Die Realisierung der Massnahmen ist mit den Instandsetzungsarbeiten von der Stützmauer Fachwerkbrücke Sihlwald und den verschiedenen Bachdurchlässen zu koordinieren.

7.2. Planungs- und Ausführungstermine Bestvariante

| | |
|---------------------------|-----------------------------------|
| Bau- / Auflageprojekt | 1. Quartal 2020 - 4. Quartal 2020 |
| Plangenehmigungsverfahren | 1. Quartal 2021 - 3. Quartal 2021 |
| Ausschreibung | 3. Quartal 2021 - 4. Quartal 2021 |
| Ausführungsplanung | 1. Quartal 2022 - 2. Quartal 2022 |
| Ausführung | 3. Quartal 2022 - 1. Quartal 2023 |
| Inbetriebnahme | 2. Quartal 2023 |

Anhang 1 - Baulogistik



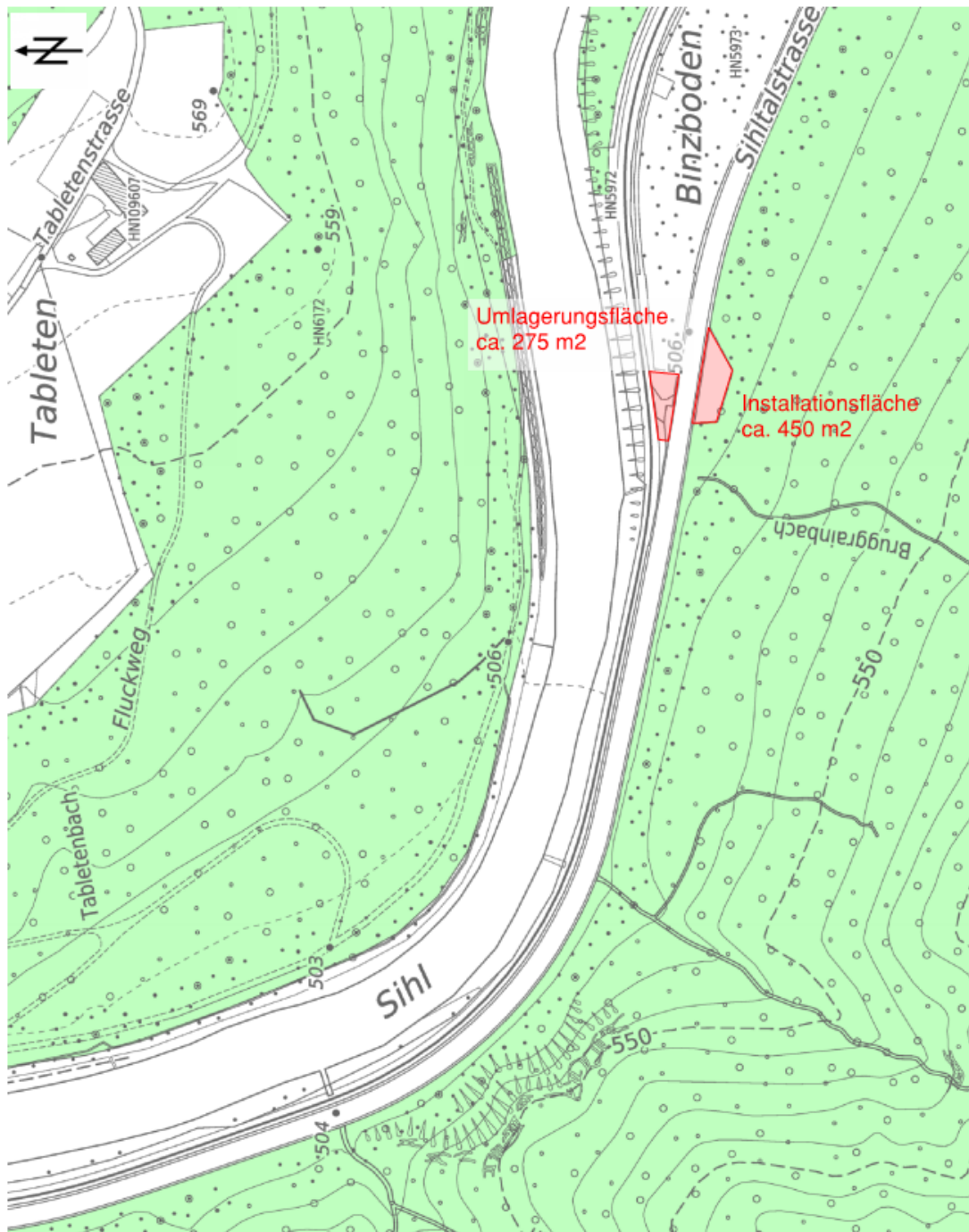
Kanton Zürich
GIS-Browser (<http://maps.zh.ch>)



Landeskarten, Übersichtsplan

Carbura

Baulogistik



© GIS-ZH, Kanton Zürich, 09.08.2019 15:47:12

Diese Karte stellt einen Zusammensatz von amtlichen Daten verschiedener Stellen dar. Keine Garantie für Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität. Rechtsverbindliche Auskünfte erteilen allein die zuständigen Behörden.

Masstab 1:2500
0 20 40 60m

Zentrum: [2685698.98,1233330.53]

Anhang 2 - Pläne

| Plan Nr. | Titel | Datum |
|-----------------------|---------------------------------------|----------|
| CARB_GWZ_31_00_0001_0 | Übersichtspläne - Bestandsplan | 28.08.19 |
| CARB_GWZ_31_00_0002_0 | Übersichtspläne - Variante 1, 2 und 3 | 28.08.19 |
| CARB_GWZ_31_00_0002_0 | Übersichtspläne - Variante 2 | 28.08.19 |