



## Bericht

Nr.:19097/1

<b>Auftraggeber:</b>	Sihltal Zürich Uetliberg Bahn AG   Wolframplatz 21   8045 Zürich
<b>Auftrag:</b>	Materialtechnische Untersuchung der Stützmauer
<b>Objekt:</b>	Stützmauer Sihlwald, Linie Zürich - Sihlbrugg, km 13.396-13.502
<b>Baustoffe:</b>	Naturstein, Mörtel
<b>Probenmaterial:</b>	4 Bohrkerne

### Inhalt:

1. Auftragsbeschreibung



2. Ergebnisse und Kommentar



3. Zur Instandsetzung



4. Untersuchungsprotokolle



## 1. Auftragsbeschreibung



### Allgemeines

Im nachfolgenden Bericht wird die Stützmauer Sihlwald (Linie Zürich - Sihlbrugg, km 13.396-13.502 in Sihlwald aus materialtechnischer Sicht beurteilt. Ziel der Untersuchung ist die Bestimmung der Messwerte (Druckfestigkeit, E-Modul und Mauergeometrie) für die statische Analyse, welche durch das Ingenieurbüro Gruner-Wepf AG berechnet wird, sowie eine kurze Beurteilung der Baustoffqualität. Die detaillierte visuelle Aufnahme wird durch das bearbeitende Ingenieurbüro gemacht.

Die Aussagen des Berichts stützen sich auf Beobachtungen vor Ort, auf Sondierungen mittels Kernbohrungen (4 Bohrkerne, Entnahme durch Firma Transbohr GmbH aus Gretzenbach) und auf labortechnische Untersuchungen an den entnommenen Bohrkernen. Die Bohrungen und die Aufnahmen erfolgten in Juni 2019.

### Bestehende Dokumentation

Zur Stützmauer steht ein Bericht des Ingenieurbüros Flückiger und Bosshard AG aus dem Jahr 2018 zur Verfügung. Der Zustand wurde aufgrund der vielen schadhaften Fugen und Mauersteine, sowie aufgrund des verbreiteten Bewuchses, als schlecht (Klasse 4) eingestuft. Nichtsdestotrotz wurde die Tragsicherheit aufgrund der Mauerstärke (130 bis 145 cm), des guten Zustands der Baustoffe bei den Baggerschlitten im Mauerkronenbereich, sowie aufgrund des Abstands zwischen Stützmauer und Gleis als statisch unkritisch beurteilt.

## 2. Ergebnisse und Kommentar



### Allgemeines

Für diese Stützmauer liegen keine Originalpläne vor. Es handelt sich um eine etwa 100 m lange Stützmauer mit einer Maximalhöhe von etwa 3.5 m und einem Anzug von ca. 1:10. Bei der Kurzaufnahme wurden die Mauersteine bis ca. 2.5 m Höhe abgeklopft.

### Beobachtungen vor Ort

#### Konstruktion

Die Stützmauer besteht einheitlich aus feinkörnigen Kalksteinen. Die Mauersteine sind grob behauen, bossiert und zeigen unterschiedliche Formate. Die Fugen sind nur noch lokal vorhanden und weisen eine Stärke von 3 bis 5 cm auf. Die ursprünglichen Fugen bestehen aus einem hellgrauen Mörtel mit Fugenstrich. Lokal sind geflickte Fugen aus einem hellgrauen Mörtel ohne Fugenstrich vorhanden.

#### Zustand

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 (Photo 1). Etwa 60 Mauersteine sind stark ausgewittert (dumpfer Klang bei der Abklopfprüfung) oder zeigen einen starken Bröckelzerfall. Des Weiteren kommen viele Bereiche mit leicht hohltönenden Mauersteinen vor, welche auf einen schlechten Verbund zwischen den Mauersteinen hindeuten.

Praktisch alle Fugen sind schadhaft oder stark ausgewittert (Photo 2).

## Visueller Zustand der Bohrlöcher und der Bohrkerne



Die Positionen der Bohrungen ( $\varnothing$  100 mm) sind auf Photos 3 und 4 dargestellt. Die Bohrkerne sind im Kapitel 4 aufgezeichnet. Die Bohrkerne wurden in unterschiedlichen Höhen entnommen, um die Mauergeometrie ermitteln zu können.

### Konstruktion und Geometrie

Die Mauersteine an der Sichtfläche sind grob behauen und zeigen eine Stärke von 30 bis 40 cm. Die Fugenbreite ist somit unregelmässig und variiert zwischen 3 und 5 cm. Der Mauermantel kann somit als Bruchstein-Schichtenmauerwerk eingestuft werden.

Der Mauerkern besteht sowohl aus Kalksteinbruchstücken mit viel Mauermörtel, wie auch grossen Mauersteinen und wird als Bruchsteinmauerwerk eingestuft.

Die Mauerstärke links von der Brücke liegt bei 100 cm (Bohrkerne 1.3 und 1.4). Rechts der Brücke ist die Mauer höher und die Mauerstärke liegt zwischen 130 und 160 cm. Die Mauerstärke ist nicht von der Höhe abhängig.

### Zustand

Im Allgemeinen zeigt der Mauermantel die grössten Schäden. Die gebohrten Mauersteine an der Sichtfläche bröckeln stark ab und der Mauermörtel ist entweder fehlend oder mürbe. Im Mauerkern (ab ca. 50 cm Tiefe) sind die Mauersteine und der Mauermörtel normalerweise intakt.

## Laboruntersuchungen

Die Einzelresultate der Laboruntersuchungen sind im Kapitel 4 einsehbar. Nach Baustoffen gegliedert ergeben sich bezüglich Druckfestigkeit folgende Mittelwerte:

<i>Baustoff</i>	<i>Druckfestigkeit (N/mm<sup>2</sup>) Mittelwert <math>\pm</math> Standardabweichung</i>
Mauerstein	195.10 $\pm$ 77.64
Mörtel	6.37 $\pm$ 1.08

- Die Mauersteine zeigen eine hohe durchschnittliche Druckfestigkeit von 195.1 N/mm<sup>2</sup>, ein durchschnittliches E-Modul von etwa 40.5 kN/mm<sup>2</sup>, und eine Kapillarporosität von 1.8 Vol.%. Die grosse Streuung der Druckfestigkeiten liegt mit dem Bröckelzerfall an der Sichtfläche im Zusammenhang, d.h. die kleinsten Werte werden im Mauermantel beobachtet. Mikroskopisch betrachtet bestehen die Mauersteine aus mikritischem Kalk.
- Der ursprüngliche Mauermörtel besteht aus einer leicht mageren Mischung mit hydraulischem Kalk und Kalkhydrat als Bindemittel. Die durchschnittliche Druckfestigkeit beträgt 6.5 N/mm<sup>2</sup>, ist jedoch lediglich für den intakten Mauerkern repräsentativ. Die Kapillarporosität ist eher hoch und liegt bei 27.3 Vol.%.

## Einstufung der Mauerwerksfestigkeit ( $f_{yk}$ ) gemäss SIA 266/2



Die Einstufung der Normaldruckfestigkeit des Naturstein-Mauerwerks gemäss Figur 5 der genannten Norm ist als orientierende Schätzung zu betrachten. Gewissheit kann nur durch experimentelle Bestimmung erlangt werden. Die Schätzung berücksichtigt den aktuellen Zustand des Mauerwerks.

Verbandsart	Bauteile	$f_{yk}$ (N/mm <sup>2</sup> )
Bruchstein-Schichtenmauerwerk	Mauermantel (0-35 cm Tiefe)	3
Bruchsteinmauerwerk	Mauerkern (ab 35 cm Tiefe)	6 bei intaktem Mörtel 3 bei mürbem Mörtel

## Zusammenfassende Beurteilung

Die Ergebnisse der Zustandsuntersuchung stimmen mit den Angaben im Bericht des Ingenieurbüros Flückiger und Bosshard AG überein. Der Zustand des Natursteinbauwerks ist insgesamt, wegen den Schäden im Mauermantel (vorkommen von schadhaften Mauersteinen, Mauermörtel mürbe) als schlecht zu bezeichnen. Der Mauerkern ist in jedem Fall noch vorwiegend intakt. Der aktuelle, angeschlagene Zustand des Mantels kann somit noch akzeptiert werden, solange eine Instandsetzung innerhalb der nächsten 3 Jahre stattfindet.

### 3. Zur Instandsetzung



Das Ausmass und die genaue Lage der instand zu setzenden Schäden wird durch das bearbeitende Ingenieurbüro definiert.

Die Mauer wird als erstes gerodet und danach mit Hochdruckwasser gereinigt. Der Druck sollte so eingestellt werden, dass keine weiteren Schäden entstehen. Im Allgemeinen eignet sich ein Druck von etwa 80 bar.

Danach werden die hohltönenden Mauersteine bis ca. 10-15 cm Tiefe mit einem Spitzhammer ausgespitzt. Die entstandenen Hohlstellen werden dann mit Spritzmörtel (beispielsweise Fixit Spc 524) verfüllt. Nach dem Ansteifen wird der Mörtel mit der Kelle grob in Form gebracht und die Fugen werden ebenfalls eingekratzt. Nach dem weiteren Abbinden wird die Oberfläche steinmetzmässig überarbeitet und die aufgekratzten Fugen mit einem geeigneten Fugenmörtel verfüllt.

Die schadhaften Fugen werden bis in die Tiefe der doppelten Breite (bei Vorkommen von mürbem Mauermörtel bis max. 10 cm Tiefe) ausgeräumt und mit einem frostbeständigen Mörtel (Körnung 0-4 mm, frostbeständig, Enddruckfestigkeit ca. 10 N/mm<sup>2</sup>) gestopft.

Die losen Bereiche sollen mit Nadeln (Typ Ripinox, Länge 1.5 m, Ø min 16 mm) gesichert werden. Die Mauerkrone muss lokal ebenfalls neu gerichtet werden.

Materialtechnik am Bau AG

Dr. Fabio Donadini

## 4. Untersuchungsprotokolle

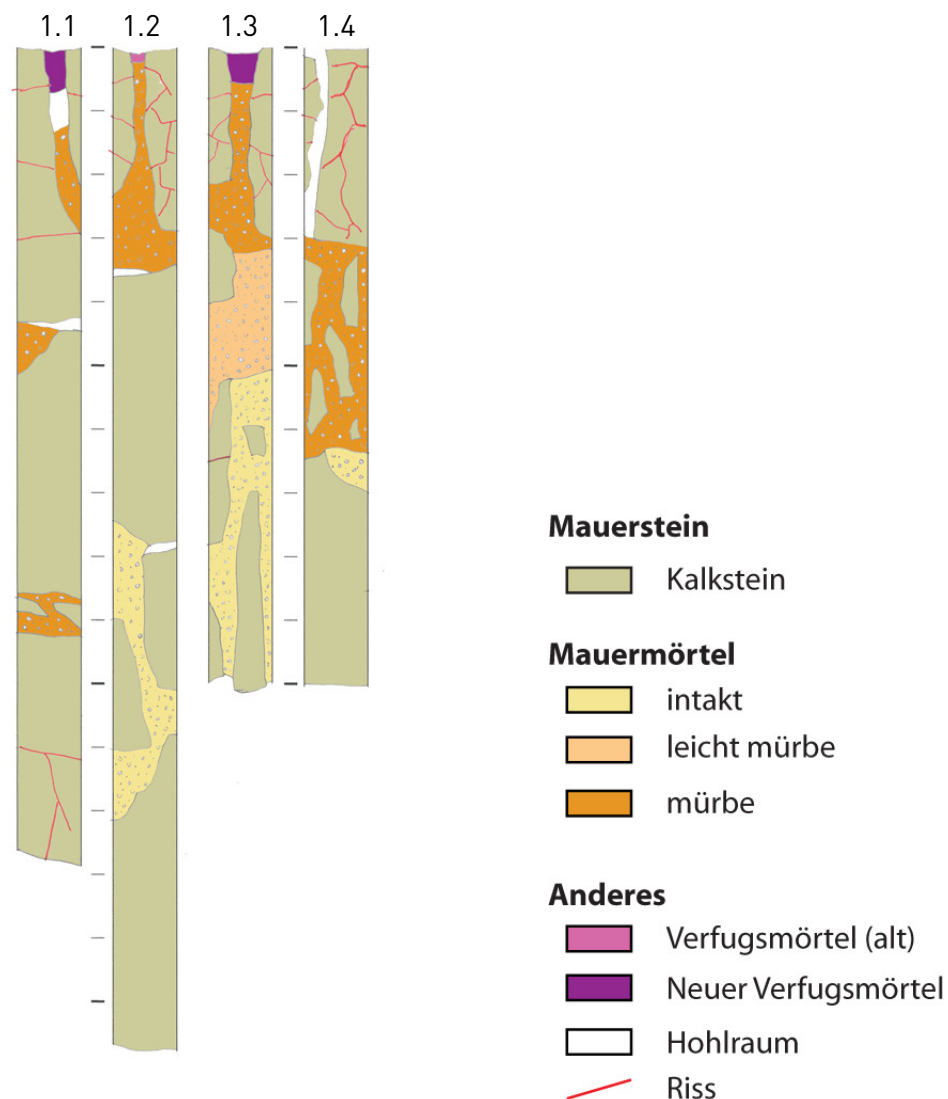
### Bohrkernliste und Position der Bohrkerne



Nr.	Ø (mm)	Länge (cm)	Bauteil	Material
1.1	100	130	Stützmauer rechts der Brücke (ca. 50 cm ab Basis)	Naturstein, Mauermörtel
1.2	100	155	Stützmauer rechts der Brücke (ca. 200 cm ab Basis)	Naturstein, Mauermörtel
1.3	100	100	Stützmauer links der Brücke (ca. 50 cm ab Basis)	Naturstein, Mauermörtel
1.4	100	100	Stützmauer links der Brücke (ca. 120 cm ab Basis)	Naturstein, Mauermörtel

### Aufzeichnung der Bohrkerne

1 Strich = 10 cm







## Photographische Dokumentation

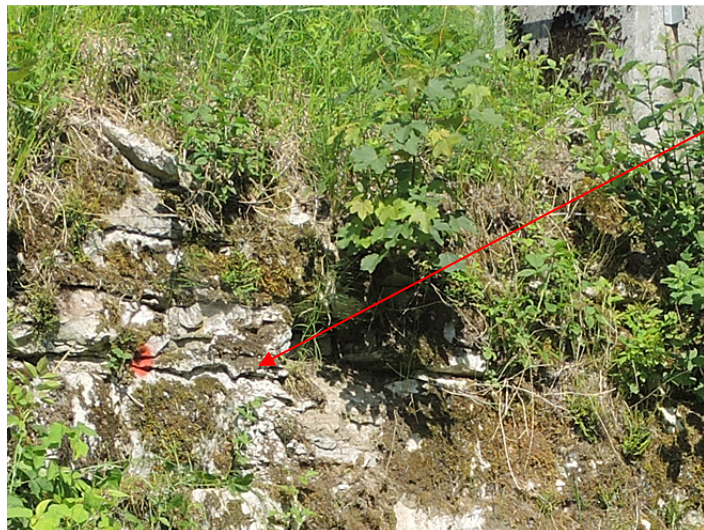


Photo 1

Mauerkronenversatz beim Mast 25



Photo 2

Fugen meist gerissen, oder offen und mit vielen Pflanzen bewachsen



Photo 3

Lage der Bohrkerne 1.1 und 1.2

## Photographische Dokumentation

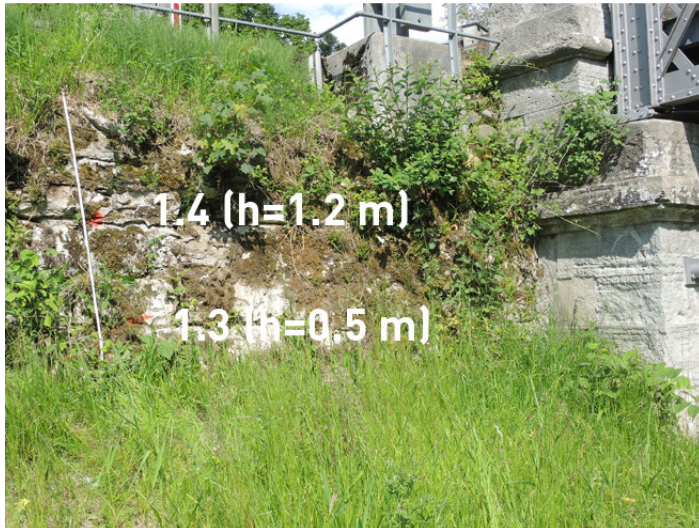


Photo 4

Lage der Bohrkern 1.3 und 1.4

## K201 Druckfestigkeit Bohrkernproben

Prüfung Naturstein gemäss EN 1926

Probe	Entnahmetiefe cm	Druckfestigkeit N/mm <sup>2</sup>	Rohdichte kg/m <sup>3</sup>
Kalkstein			
1.1.1	40	130.03	2593
1.1.2	110	157.00	2678
1.2.1	40	111.47	2650
1.2.4	130	290.87	2632
1.4.1	5	286.13	2472
Mittelwert		195.10 ± 77.64	2605 ± 72
Mörtel			
1.2.2	100	7.47	
1.2.3	75	6.27	
1.2.5	110	4.91	
1.3.1	60	5.51	1840
1.3.2	70	7.69	1806
Mittelwert		6.37 ± 1.08	1823



**Auftraggeber:** SZU AG

**Objekt:** Stützmauer Sihlwald, Linie Zürich - Sihlbrugg, km 13.396-13.502

**Bericht-Nr.:**19097/1 | 11.07.2019



## K207 / K208 E-Modul statisch / dynamisch

Prüfung Naturstein gemäss EN 141580 / EN 14146



Probe	Entnahmetiefe cm	E-Modul (statisch) kN/mm <sup>2</sup>	E-Modul (dynamisch) kN/mm <sup>2</sup>
Kalkstein			
1.1.1	70	35.9	45.4
1.2.1	50	-	23.2
1.4.1	90	45.7	52.9
Mittelwert		40.8	40.5

## P301 Poren-Sättigungskennwerte

Prüfkondition: A5/AV

Probe	Kapillarporosität [Vol.%]	Gesamtporosität [Vol.%]	Hohlraumgehalt [Vol.%]	Trockenrohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	S-Wert [-]
Kalkstein					
1.4.1	1.85	1.87	0.02	2680	0.99
Mörtel					
1.2.1	29.80	30.00	0.20	1849	0.99
1.3.1	25.58	26.97	1.39	1938	0.95
1.4.2	24.77	24.84	0.07	1995	1.00
Mittelwert	26.72	27.27	0.55	1927	0.98

**M102 Mikroskopische Beobachtungen**



Bohrkern Nr. / Probe Nr.	Material und Beobach- tungstiefe	Beobachtungen
1.3 / 1	Mauerstein, Mauermörtel  85 cm	<u>Mauermörtel:</u> Bindemittel: Hydraulischer Kalk mit Kalkhydrat Zuschlag: karbonatisch, silikatisch, kantig bis gerundet, 0.2- 12 mm Mischung: leicht mager Gefüge: kompakt Kapillarporosität: hoch Makroporen: etliche Luftporen mit Ø bis 2 mm Gefügeschäden: vereinzelte Mikrorisse  <u>Mauerstein</u> Gesteinsart: Kalkstein Zusammensetzung: rein karbonatisch Kornform / Korngrösse: matrix mikritisch, Fossilien bis 0.2 mm Gefüge: kompakt Kapillarporosität: sehr niedrig Makroporen: keine Gefügeschäden: keine