



Bericht

Nr.:19097/2

Auftraggeber:	Sihltal Zürich Uetliberg Bahn AG Wolframplatz 21 8045 Zürich
Auftrag:	Materialtechnische Untersuchung der Stützmauer
Objekt:	Stützmauer Carbura, Linie Zürich - Sihlbrugg, km 16.095-16.385
Baustoffe:	Naturstein, Mörtel
Probenmaterial:	4 Bohrkerne

Inhalt:

1. Auftragsbeschreibung



2. Ergebnisse und Kommentar



3. Zur Instandsetzung



4. Untersuchungsprotokolle



1. Auftragsbeschreibung



Allgemeines

Im nachfolgenden Bericht wird die Stützmauer Carbura (Linie Zürich - Sihlbrugg, km 16.095-16.385) in Sihlbrugg aus materialtechnischer Sicht beurteilt. Im Zentrum steht Bestimmung der Druckfestigkeit und des E-Moduls der Baustoffe, deren Zustand, sowie die Bestimmung der Mauergeometrie. Diese Angaben werden für die statische Analyse (Berechnung durch das Ingenieurbüro Gruner-Wepf AG) benötigt. Die detaillierte visuelle Aufnahme der Schäden an der Sichtfläche erfolgt durch das bearbeitende Ingenieurbüro.

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 im Juni 2019.

Bestehende Dokumentation

Zur Stützmauer liegt ein Bericht des Ingenieurbüros Flückiger und Bossahrd (2018) vor. Die Untersuchung zeigte einen beschädigten bis lokal schlechten Zustand (Klasse 3 und 4). Die Stärke beträgt 1 bis 2 m am Fuss bzw. 0.55 bis 1.65 m im Mauerkronenbereich.

2. Ergebnisse und Kommentar



Allgemeines

Bei dieser Stützmauer liegen keine Originalpläne vor. Es handelt sich um eine etwa 300 m lange Stützmauer mit einer Maximalhöhe von etwa 4 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

Als Mauersteine wurden mikritische Kalksteine verwendet. Es handelt sich um grob gerichtete, bossierte Mauersteine mit einem mittleren Format von ca. 50 x 30 cm. Die Fugen sind somit unregelmässig und zeigen eine variierende Stärke zwischen 3 und 8 cm. Sie bestehen aus einem grauen Mörtel und sind glatt gestrichen. Es handelt sich um erneuerte Fugen (Laut Stempel fand die Ausführung 1991 statt).

Zustand

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 (Photo 1). Etliche Mauersteine (insgesamt ca. 150 Stk.) sind stark ausgewittert (dumpfer Klang bei der Abklopfprüfung) 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.

Visueller Zustand der Bohrlöcher und der Bohrkerne



Die Positionen der Bohrungen (\varnothing 100 mm) sowie die Zeichnungen der Bohrkerne sind im Kapitel 4 angegeben. Die Bohrkerne wurden in unterschiedlichen Höhen entnommen, um die Mauergeometrie ermitteln zu können.

Konstruktion und Geometrie des Bauwerks

Die Mauersteine an der Sichtfläche sind grob behauen und zeigen eine Stärke zwischen 30 und 40 cm. Die Fugenbreite liegt in der Regel zwischen 3 und 6 cm. Der Mauermantel kann somit als leicht schichtiges Bruchsteinmauerwerk eingestuft werden.

Der Mauerkern besteht aus Bruchstücken unterschiedlichen Formates mit viel Mauermörtel und grossen Mauersteinen. Er wird ebenfalls als Bruchsteinmauerwerk eingestuft.

Die Mauerstärke ist etwas breiter an der Mauerbasis (180 cm) als in der Mitte und an der Oberkante (130 bis 150 cm).

Zustand

Die Mauersteine im Mantelbereich (0 bis 40 cm Tiefe) zeigen aufgrund des Bröckelzerfalles etliche Risse. Diejenigen im Mauerkern dagegen sind im Allgemeinen intakt. Hinter den erneuerten Fugen kommen Hohlstellen und mürber Mörtel (bis max. 50 cm Tiefe) vor. Ab 50 cm Tiefe ist der Mauermörtel leicht mürbe.

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/mm²) Mittelwert \pm Standardabweichung</i>
Mauerstein	236.2
Mörtel	3.14 \pm 2.38

- Die Mauersteine zeigen eine hohe durchschnittliche Druckfestigkeit von 236.2 N/mm², ein E-Modul von 47.4 kN/mm² (statisch) bzw. 56.9 kN/mm² (dynamisch), und eine Kapillarporosität von 3.6 Vol.%. Mikroskopisch betrachtet bestehen die Mauersteine aus mikritischem Kalk. Als Schäden kommen lokal Mikrorisse (Breite < 0.1 mm) vor.
- Der ursprüngliche Mauermörtel besteht aus einer leicht mageren Mischung mit Kalkhydrat und Luftkalk als Bindemittel. Die durchschnittliche Druckfestigkeit beträgt 3.1 N/mm² und zeigt eine grosse Standardabweichung von 2.4 N/mm². Die Werte sind als optimistisch zu betrachten, weil ausschliesslich leicht mürber Mörtel gemessen werden konnte. Die Kapillarporosität ist normal und liegt bei 22.8 Vol.%. Als Schaden kommt eine ausgeprägte Auslaugung vor.

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



Die Einstufung der Normdruckfestigkeit 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 ²)
Bruchsteinmauerwerk (leicht schichtig)	Mauermantel (0-35 cm Tiefe)	4 (Bei den verformten Bereichen 2)
Bruchsteinmauerwerk	Mauerkern (ab 35 cm Tiefe)	3

Zusammenfassende Beurteilung

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.

Die Beurteilung des Ingenieurbüros Flückiger und Bosshard wird somit nur zum Teil bestätigt.

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.

3. Zur Instandsetzung



Das Ausmass und die genaue Lage der instand zu setzenden Schäden werden durch anhand der detaillierten Aufnahme des bearbeitenden Ingenieurbüros bestimmt.

Die schadhaften Steine sollen bis ca. 15 cm Tiefe abgespitzt werden und mit Spritzmörtel (beispielsweise Fixit Spc 524) instandgesetzt werden. 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 Fugen sind im Allgemeinen in einem guten Zustand. Eine Instandsetzung der Fugen ist somit nur an den Stellen nötig, bei welchen die Mauersteine abgespitzt werden müssen.

Es würde sich lohnen, eine systematische Vernadelung der losen und der verformten Bereiche mit Chromstahl-Stangen (Typ Ripinox, Länge ca. 200 cm, \varnothing_{\min} 16 mm) auszuführen. Somit soll der Verbund zwischen Mauermantel und Mauerkern wiederhergestellt werden. Ansonsten müssten die losen Bereiche detailliert kartiert und mit weiteren Bohrkernen untersucht werden. Der Eckriss bei der Stirnwand des Durchlasses soll ebenfalls mit Nadeln gesichert werden.

Des Weiteren sollen an der Mauerbasis alle 2 m Entlastungsöffnungen gebohrt werden, um die stauende Nässe minimieren zu können.

Materialtechnik am Bau AG

Dr. Fabio Donadini

4. Untersuchungsprotokolle

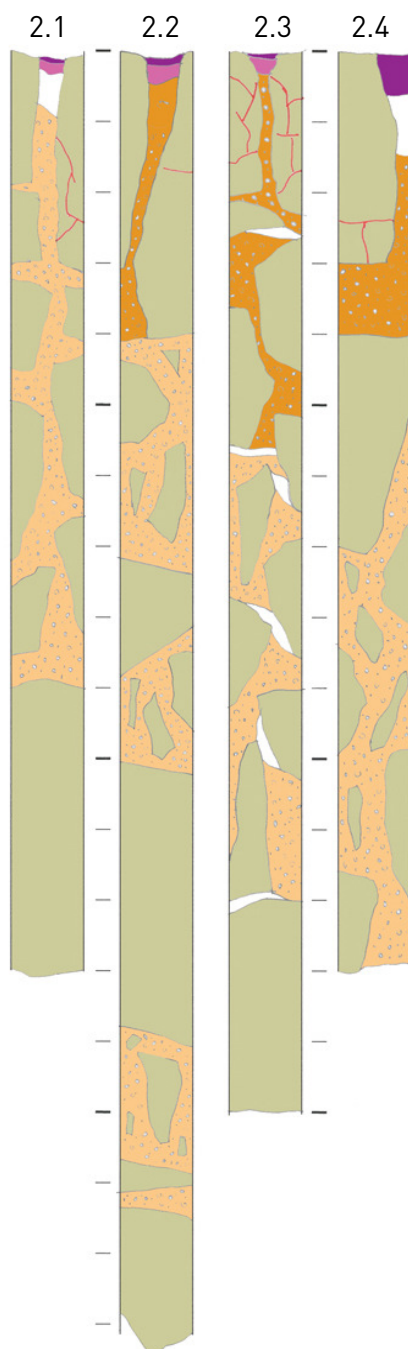
Bohrkernliste und Position der Bohrkerne



Nr.	Ø (mm)	Länge (cm)	Lage	Material
2.1	100	130	130 cm ab Mauerbasis, ~ 15 m Rechts von Mast 104	Naturstein, Mauermörtel
2.2	100	180	50 cm ab Mauerbasis, ~ 20 m Links von Mast 102	Naturstein, Mauermörtel
2.3	100	250	250 cm ab Mauerbasis, ~ 10 m Rechts von Mast 100, im verformten Bereich	Naturstein, Mauermörtel
2.4	100	170	170 cm ab Mauerbasis, ~ 10 m Links von Mast 97	Naturstein, Mauermörtel

Aufzeichnung der Bohrkerne

1 Strich = 10 cm



Mauerstein

 Kalkstein

Mauermörtel

 intakt

 leicht mürbe

 mürbe

Anderes

 Verfumsmörtel (alt)

 Neuer Verfumsmörtel

 Hohlraum

 Riss

Photographische Dokumentation



Photo 1

Eckriss bei der Stirnwand des Bachdurchlasses

K201 Druckfestigkeit Bohrkernproben

Prüfung Naturstein gemäss EN 1926

Probe	Entnahmetiefe cm	Druckfestigkeit N/mm ²	Rohdichte kg/m ³
Kalkstein			
2.1.1	130	231.54	2645
2.2.1	30	250.41	2654
2.4.1	47	226.66	2659
Mittelwert		236.20	2653
Mörtel			
2.1.2	90	1.29	
2.2.2	70	1.54	
2.2.3	70	1.53	
2.2.4	90	0.58	
2.2.5	150	1.57	
2.3.1	80	7.22	
2.3.2	110	5.02	
2.4.2	87	6.76	1732
2.4.3	120	2.72	
Mittelwert		3.14 ± 2.38	

Auftraggeber: SZU AG

Objekt: SM Carbura, Linie Zürich - Sihlbrugg, km 16.095-16.385

Bericht-Nr.:19097/2 | 11.07.2019

K207 / K208 E-Modul statisch / dynamisch

Prüfung Naturstein gemäss EN 141580 / EN 14146



Probe	Entnahmetiefe cm	E-Modul (statisch) kN/mm ²	E-Modul (dynamisch) kN/mm ²
Kalkstein, Stützmauer Carbura			
2.1.1	110	52.7	54.9
2.2.1	100		65.1
2.3.1	140	42.2	50.5
Mittelwert		47.4	56.9

P301 Poren-Sättigungskennwerte

Prüfkondition: A5/AV

Probe	Kapillarporosität [Vol.%]	Gesamtporosität [Vol.%]	Hohlraumgehalt [Vol.%]	Trockenrohdichte [kg/m ³]	S-Wert [-]
Kalkstein					
2.2.1	3.61	3.77	0.16	2598	0.96
Mörtel					
2.3.1	23.02	23.87	0.85	2070	0.96
2.4.1	22.56	23.87	1.31	2047	0.94
Mittelwert	22.79	23.87	1.08	2059	0.95

M102 Mikroskopische Beobachtungen



Bohrkern Nr. / Probe Nr.	Material und Beobach- tungstiefe	Beobachtungen
2.2 / 1	Mauerstein, Mauermörtel 100 cm	<p><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 Poren mit Ø bis 2 mm Gefügeschäden: vereinzelte Mikrorisse, lokal leichte Auslaugung</p> <p><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</p>
2.3 / 1	Mauerstein, Mauermörtel 110 cm	<p><u>Mauermörtel:</u> Bindemittel: Hydraulischer Kalk mit Kalkhydrat Zuschlag: karbonatisch, silikatisch, kantig bis gerundet, 0.2- 12 mm Mischung: leicht mager Gefüge: etwa locker infolge Auslaugung Kapillarporosität: hoch Makroporen: etliche Luftporen, Grösse bis ca. 5 mm Gefügeschäden: vereinzelte Mikrorisse, Auslaugung</p> <p><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: einzelner Mikroriss (Breite < 0.1 mm)</p>