



Bericht

Nr.:19097/3

Auftraggeber:	Sihltal Zürich Uetliberg Bahn AG Wolframplatz 21 8045 Zürich
Auftrag:	Materialtechnische Untersuchung der Stützmauer
Objekt:	Bachdurchlass Unter Hebisenbach, Linie Zürich - Sihlbrugg, km 15.848
Baustoffe:	Naturstein, Mörtel
Probenmaterial:	2 Bohrkerne

Inhalt:

1. Auftragsbeschreibung



2. Ergebnisse und Kommentar



3. Zur Instandsetzung



4. Untersuchungsprotokolle



1. Auftragsbeschreibung



Im nachfolgenden Bericht wird der Bachdurchlass Unter Hebisenbach (Linie Zürich - Sihlbrugg, km 15.848) in Sihlbrugg aus materialtechnischer Sicht beurteilt. Ziel der Untersuchung ist die Bestimmung der Geometrie des Mauerwerks und der Mauerwerksfestigkeit des Gewölbes, welche für die statische Analyse (Ingenieurbüro Gruner-Wepf AG) benötigt werden. Die detaillierte visuelle Aufnahme wird durch das bearbeitende Ingenieurbüro gemacht. In diesem Bericht wird lediglich der Zustand der angebohrten Baustoffe detailliert beschrieben.

Die Aussagen des Berichts stützen sich auf Beobachtungen vor Ort, auf Sondierungen mittels Kernbohrungen (2 Bohrkerne, Entnahme durch Firma Transbohr GmbH aus Gretzenbach) und auf labortechnische Untersuchungen an den entnommenen Bohrkernen. Die Bohrungen und die Aufnahmen erfolgten im Mai 2019.

2. Ergebnisse und Kommentar



Allgemeines

Der Bachdurchlass wurde wahrscheinlich zur Zeit des Streckenbaus errichtet. Es handelt sich um einen etwa 17 m langen Durchlass mit einer Höhe von etwa 2 m und eine Breite von ca. 1.5 m. Die Bachsohle ist gemauert und weist einen v-Schnitt mit einer Maximaltiefe von 55 cm auf. Es sind keine Originalpläne mehr vorhanden. Es wurde lediglich das Mauerwerk unterhalb der Schienen aufgenommen (d.h. bis zum Gefällewechsel der Bachsohle).

Beobachtungen vor Ort (Plan 1)

Konstruktion

Als Mauersteine wurden mikritische Kalksteine verwendet. Bei der Stirnwand handelt es sich um grob gerichtete, bossierte Mauersteine mit kleinem bis mittlerem Format. Die Fugen wurden total erneuert mit einem hellen Zementmörtel ohne Fugenstrich. Sie sind unregelmässig und zeigen eine variierende Stärke zwischen 3 und 10 cm.

Im Widerlager und Gewölbebereich sind die Mauersteine eher genau behauen und zeigen ein regelmässiges Format von ca. 50 x 30 cm. Die Fugen weisen somit eine regelmässige Stärke von ca. 3 cm auf.

Zustand

Es sind weder Verformungen noch Setzungen festzustellen. Die meisten Schäden kommen an der Stirnwand vor (Plan 1). Hier sind 9 Mauersteine ausgewittert (dumpfer Klang bei der Abklopfprüfung) und im Bereich links des Baches ist der Verbund zwischen den Mauersteinen schlecht. Die erneuten Fugen sind im Allgemeinen dicht und intakt.

Im Widerlager und im Gewölbe kommen wenige Schäden in Form von Rissen und hohlklingenden Steinen am Kontakt mit der Stirnwand vor (max. Rissbreite ca. 2 mm). Eine weitere, stark ausgewitterte Fuge tritt etwa 4.5 m ab Eingang auf Seite Zürich auf.

Visueller Zustand der Bohrlöcher und der Bohrkerne



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

Konstruktion und Geometrie des Bauwerks

Die Mauersteine an der Sichtfläche sind behauen und zeigen eine Stärke von etwa 30 cm im Widerlager und etwa 50 cm im Gewölbe. Die Fugenbreite liegt in der Regel bei 3- 4 cm. Der Mauermantel kann somit als Bruchstein-Schichtenmauerwerk eingestuft werden.

Der Mauerkerne existiert lediglich im Widerlagerbereich und besteht aus Bruchstücken unterschiedlichen Formates mit viel Mauermörtel. Er wird somit als Bruchsteinmauerwerk eingestuft.

Das Widerlager weist eine Stärke von 80 cm auf, das Gewölbe eine Stärke von etwa 60 cm.

Zustand

Die angebohrten Mauersteine sind intakt. Der Mauermörtel der Bohrung im Gewölbe ist intakt, derjenige der Bohrung im Widerlager 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	210.6
Mörtel	5.7

- Die Mauersteine zeigen eine hohe durchschnittliche Druckfestigkeit von 210.6 N/mm² und eine Kapillarporosität von 3.0 Vol.%. Das E-Modul liegt bei ca. 41.5 kN/mm². Mikroskopisch betrachtet bestehen die Mauersteine aus mikritischem Kalk und sind intakt.
- Der ursprüngliche Mauermörtel besteht aus einer mageren Mischung mit Luftkalk und Schlacken als Bindemittel. Die durchschnittliche Druckfestigkeit beträgt 5.7 N/mm². Die Kapillarporosität ist sehr variabel und liegt im Durchschnitt bei 29.5 Vol.%. Als Schaden kommt eine verbreitete Auslaugung (Widerlagermörtel) vor.

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 ²)
Bruchstein-Schichtenmauerwerk	Mauermantel (Widerlager: 0-30 cm Tiefe; Gewölbe: 0-50 cm Tiefe)	8
Bruchsteinmauerwerk	Mauerkern (ab 30 bzw. 50 cm Tiefe)	5

Zusammenfassende Beurteilung

Der Zustand des Natursteinbauwerks ist insgesamt als akzeptabel (Klasse 2) zu bezeichnen. Grund dafür sind die Schäden an der Sichtfläche der Stirnwand und das Vorkommen von mürbem Mauermörtel im Widerlager. Risse zwischen Gewölbe und Stirnwand kommen bei Natursteinbrücken häufig vor und sind in der Regel auf thermisch und hygrisch ausgelöste Spannungen zurückzuführen. Diese Risse stellen dann ein grösseres Problem dar, wenn die Stirnwände immer weiter auseinandergehen, was im vorliegenden Fall nicht passiert ist.

Ursache für die beobachteten Schäden ist die kontinuierliche Durchfeuchtung von oben, welche durch eine fehlende oder defekte Abdichtung bedingt wird. Die Erneuerung der Abdichtung z.B. in Zusammenhang mit dem Einbau eines dichten Betontrogs ist somit stark zu empfehlen. Mit der Verhinderung der Durchfeuchtung werden die festgestellten Schäden zum Stillstand gebracht und so kann das Bauwerk noch für eine lange Zeit (> 50 Jahre) weiterverwendet werden.

3. Zur Instandsetzung



Im Vordergrund steht die Instandsetzung der schadhaften Mauersteine (ca. 9 Stk. an der Stirnwand und 9 Stk. entlang des Risses). Diese sollen bis ca. 15 cm Tiefe abgespitzt werden und mit Spritzmörtel (z.B. mit Fixit 524 spc) instandgesetzt werden. Die ausgewitterten Fugen sollen ebenfalls fachgerecht instandgesetzt werden (z.B. mit Fixit 562, Natursteinmörtel mit Trass, 0-3 mm).

Des Weiteren soll der lose Bereich mit Chromstahl-Stangen (Typ Ripinox, Länge zu definieren, \varnothing_{\min} 16 mm, Raster ca. 1.5 x 1.5 m) gesichert werden. Der Verbund zwischen Stirnwandquader und Gewölbe kann ebenfalls mit Chromstahl-Stangen (Typ Ripinox, Länge ca. 150 cm, \varnothing_{\min} 16 mm, 1 Stange alle 4 Stirnwandquader) wiederhergestellt werden.

Soll keine Abdichtung eingebaut werden, dann sollen an der Widerlagerbasis alle 2 m Entlastungsöffnungen gebohrt werden, um die stauende Nässe minimieren zu können.

Materialtechnik am Bau AG

Dr. Fabio Donadini



4. Untersuchungsprotokolle

Plan 1 (Aufnahme der Stirnwand)

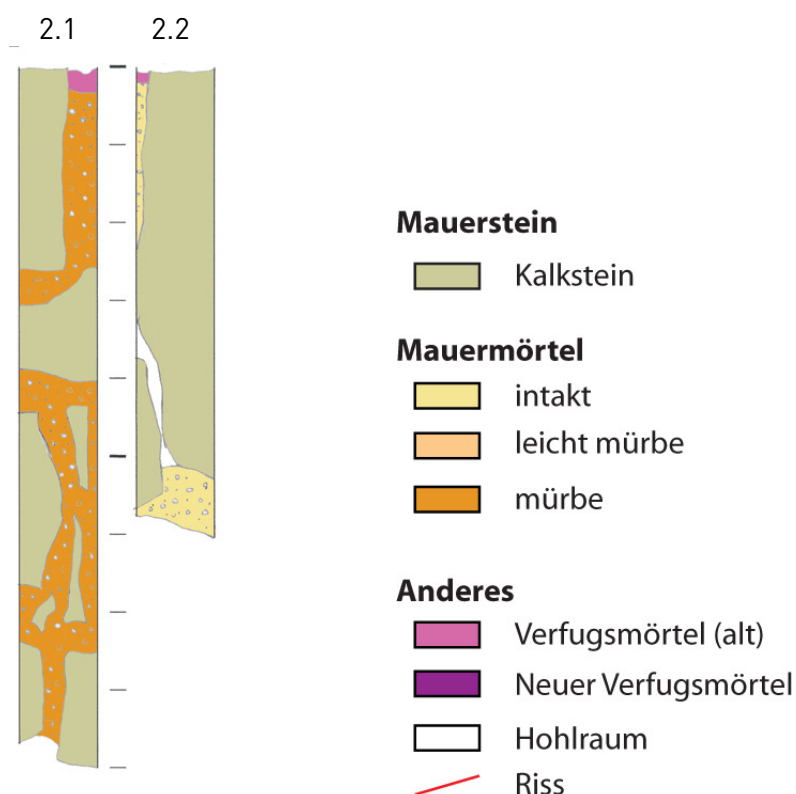


Bohrkernliste und Position der Bohrkerne

Nr.	Ø (mm)	Länge (cm)	Bauteil	Material
3.1	100	80	Widerlager	Naturstein, Mauermörtel
3.2	100	60	Gewölbe	Naturstein, Mauermörtel

Aufzeichnung der Bohrkerne

1 Strich = 10 cm



Photographische Dokumentation

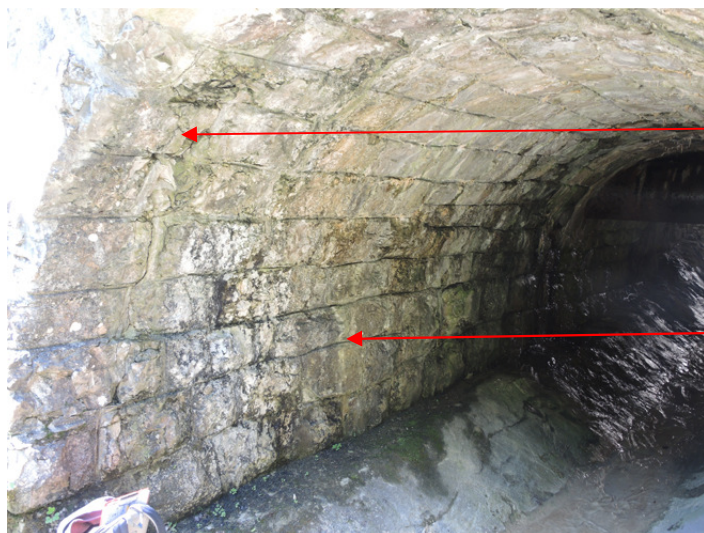


Photo 1

Riss am Kontakt mit der Stirnwand. Entlang des Risses sind die Mauersteine lokal hohl.

Lage von Bohrkern 3.1



Photo 2

Lage von Bohrkern 3.2

Lage der stark ausgewitterten Fuge

Auftraggeber: SZU AG

Objekt: BDu Unter Hebisenbach, Linie Zürich - Sihlbrugg, km 15.848

Bericht-Nr.:19097/3 | 11.07.2019



K201 Druckfestigkeit Bohrkernproben

Prüfung Naturstein gemäss EN 1926



Probe	Entnahmetiefe cm	Druckfestigkeit N/mm ²	Rohdichte kg/m ³
Kalkstein			
3.1.3	16	201.79	2618
3.1.4	35	279.86	2629
3.2.1	30	150.07	2610
Mittelwert		210.57	2619
Mörtel			
3.1.1	50	7.09	
3.1.2	13	4.23	
3.2.2	60	5.67	
Mittelwert		5.66	

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, Bachdurchlass			
3.1.1	35		63.3
3.1.2	60		16.4
3.2.1	16	41.1	44.8
Mittelwert			41.5

P301 Poren-Sättigungskennwerte

Prüfkondition: A5/AV

Probe	Kapillarporosität [Vol. %]	Gesamtporosität [Vol. %]	Hohlraumgehalt [Vol. %]	Trockenrohichte [kg/m ³]	S-Wert [-]
Kalkstein					
3.1.2	1.41	1.45	0.04	2674	0.98
3.2.1	4.55	4.67	0.12	2583	0.97
Mittelwert	2.98	3.06	0.08	2628	0.97
Mörtel					
3.1.1	41.08	41.28	0.20	1735	1.00
3.1.2	17.89	18.55	0.65	1933	0.96
Mittelwert	29.49	29.91	0.42	1834	0.98

M102 Mikroskopische Beobachtungen



Bohrkern Nr. / Probe Nr.	Material und Beobach- tungstiefe	Beobachtungen
3.1 / 1	Mauerstein, Mauermörtel 5 cm	<u>Mauermörtel:</u> Bindemittel: Kalkhydrat mit schlackenzementartigem Bindemittel Zuschlag: karbonatisch, silikatisch, kantig bis gerundet, 0.2- 12 mm Mischung: leicht mager Gefüge: leicht aufgelockert infolge Auslaugung Kapillarporosität: hoch Makroporen: etliche Poren (Länge bis 10 mm) Gefügeschäden: Auslaugung <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