



Technischer Bericht

Nr.:20017/1

Auftraggeber:	Bauverwaltung Gemeinde Endingen
Auftrag:	Zustandsuntersuchung, Abklärung Instandsetzungsbedarf, Bestimmung Sanierungstechniken und Sanierungsumfang, Kostenvoranschlag
Objekt:	Steinbrücke Endingen (Untere Surbbrücke oder „Weibelbrücke“)
Baustoffe:	Naturstein, Mörtel, Beton
Probenmaterial:	Kernbohrungen und Sondierungen gemäss Kap. 4

Inhalt:

1. Anlass und Auftrag



2. Beobachtungen und Ergebnisse



3. Massnahmen



4. Dokumentation



1. Auftrag



Im Auftrag der kommunalen Bauverwaltung sollen der Zustand der Brücke, die erforderlichen Instandsetzungsmassnahmen und die daraus voraussichtlich folgenden Kosten geschätzt werden. Der Instandsetzungsvorschlag erfolgt in Abstimmung mit der kantonalen IVS-Fachstelle (Fachstelle Schutz historischer Verkehrswege) sowie mit der Kantonalen Denkmalpflege. Der Leistungsumfang entspricht der Offerte vom 30.09.2019.

Zur Bestimmung des Bauwerkszustandes erfolgten visuelle Aufnahmen vor Ort. Zur Bestimmung der Bauwerksgeometrie sowie des inneren Zustandes wurden Kernbohrungen durchgeführt und zwei Sondieröffnungen im Strassenbelag ausgeführt.

2. Feststellungen und Ergebnisse



2.1 Allgemeines

Geschichte und Bautyp

Die sogenannte „Weibelbrücke“ oder „Untere Surbbrücke“ überquert die Surb im Dorfzentrum von Endingen. Sie wurde gemäss Inschrift 1843 fertiggestellt. Als Baumeister ist Paul Birchmeier aus Würenlingen dokumentiert (nachzulesen in der „Endingen von 798-1998, Geschichte der Gemeinde“ von Karl Weibel). Konstruktionspläne sind zurzeit nicht greifbar bzw. u.U. nicht erhalten geblieben. Die Brücke dient dem kommunalen Verkehr und wird rege benutzt, auch von Lastwagen bis 28t.

Die Brücke besteht vollständig aus Natursteinmauerwerk. Bezüglich Bautyp handelt es sich um eine verhältnismässig breite, massive Steinbrücke, welche die Surb dank der flachen Bögen fast ohne Überhöhung der Fahrbahn überwindet. Zudem queren die beiden Bögen die Surb, verkehrstechnisch optimiert, in leicht schräger Richtung, wobei Widerlager und Pfeiler in Flussrichtung verlaufen. Das Bauwerk darf damit als besondere, vom Konzept her bereits „moderne“ Konstruktion bezeichnet werden.

2.2 Konstruktion

Das Tragwerk besteht aus zwei Widerlagern, dem Mittelpfeiler und zwei auffallend flachen Bögen von gut 7m Spannweite (Pfeilhöhe 1m). Die Bögen haben im Scheitel eine Dicke von ca. 60cm. Im Grundriss ist die Brücke „verzogen“, d.h. überquert die Surb in einer dem Strassenverlauf angepassten, schrägen Richtung (Abwinkelung ca. 15°).

Bemerkung: Anzumerken ist, dass es sich nicht um ein im ingenieurtechnischen Sinne optimiertes „schiefes“ Gewölbe handelt, da der Verlauf der Lagerfugen bzw. die Form der Gewölbesteine nicht dem Kräfteverlauf angepasst wurde (Stützzlinie senkrecht zur Lagerfuge). Dazu müssten die Lagerfugen der Gewölbe mit rotiert werden und mittels Verzahnung im Kämpferbereich Querkräfte auf die Widerlager abgeben können (was zum Beispiel im Eisenbahnbau vereinzelt gemacht wurde, steinmetztechnisch aber einen erheblichen Mehraufwand erfordert). Vielmehr handelt es sich um zwei „gerade“ Gewölbe, welche um 15° schief geschnitten wurden. Da der Winkel lediglich 15° beträgt, wiegt dies statisch aber nicht sehr schwer. Längerfristig fördert dieser Umstand aber die Lockerung des Verbandes quer zu Fahrbahnrichtung, wenn der Mauermörtel durch Nässe und Frost geschädigt wird (Bauwerk ohne Abdichtung).



- Verband und Baustoffe

Der Mauerwerksverband darf im Falle der Gewölbekanten, Pfeiler und Widerlager als sorgfältig gefügtes Quadermauerwerk bezeichnet werden. Die Untersichten der Gewölbe sind als sorgfältig gefügtes Schichtenmauerwerk zu klassieren. Die Mauersteine bestehen aus teilweise sehr grossen Werkstücken aus Jurakalkstein (event. von Mellikon). Ausnahme sind die Simssteine unter den Brüstungen – diese bestehen aus Mägenwiler Muschelsandstein.

Der Brückenoberbau besteht aus massiven Steinbrüstungen mit 6, mit Radabweisern versehenen Postamenten. Eines davon (Nordseite, Ost) ist neu. Die Füllung des Brückenkörpers besteht gemäss Sondierungen aus nur teilweise vermörtelten Kalksteinbruchsteinen. Als Mauermörtel erscheint ein überwiegend feinkörniger, leicht bräunlicher Mörtel mit wenig Feinkies und zum Teil grossen Kalksteinsplittern (Abschläge vom Steinhauer, siehe auch Photo 17, Kap. 4).

- Belag und Entwässerung Fahrbahn

Die Fahrbahn besteht aus einem ca. 10cm dicken Asphaltbelag. Darunter liegt ein 4-5cm dicker, offenbar älterer Schwarzbelag, möglicherweise auf Teerbasis. Proben zur Bestimmung des PAK-Gehaltes wurden rückgestellt.

Die Belagsoberfläche weist eine buckelartige Wölbung auf mit dem Hochpunkt ca. über dem Mittelpfeiler und entwässert beidseits der Brücke auf die Belagsflächen der Brückenzufahrten. An der Ostseite erfolgt die randliche Entwässerung durch Aussparungen an der Basis der Radabweiser der Postamente (Photo 16).

- Fundament

Die Brücke ist nur wenig tief fundiert (siehe Zeichnung Figur 4, Kap. 4). Das Fundament des Mittelpfeilers besteht gemäss Sondierung 3 aus grossen, gerichteten Kalksteinblöcken, die im horizontalen Querschnitt stets 10-20cm grösser als die darauf abgestellten, aufgehenden Bauteile (Widerlager und Mittelpfeiler). Der sich daraus ergebende Absatz ist an etlichen Stellen sichtbar. An der Sondierstelle 3 misst der Fundamentblock im horizontalen Querschnitt ca. 2.5x1.5m, bei einer Dicke von 0.4m (Gewicht ca. 4t). Darunter folgt gemäss Sondiergrabung 3 eine Lage von ca. 30cm dicken Holzbalken mit grob gebeilten Flächen (siehe Skizze Fig. 4 und Photos 13+14). Als Holzart liegt gemäss seitens Denkmalpflege beauftragter Analyse Waldföhre vor (Pinus Silvestris).

Ob unter den Widerlagern ebenfalls Balkenlagen existieren ist nicht erwiesen. Wie die Widerlager bezüglich Schubbeanspruchung der Gewölbe im Baugrund genau ausgestaltet sind, ist nicht bekannt. Bohrung Nr. 1 zeigt dass das Mauerwerk der Widerlager in der Horizontalen mindestens 2.3m dick ist.

- Baugrund

Gemäss der Geologischen Karte der Schweiz (admin.ch) steht das Bauwerk auf einer 10-30m mächtigen, kiesigen Talfüllung. Die Sondiergrabung 3 bestätigt Kies als Baugrund (Photos 13+14). Darüber liegt an der sondierten Stelle eine siltig-humose Materialschicht mit viel Schwemmholz. Darüber folgt Sand, wie er auch an der Oberfläche unter der Brücke als neueres, angeschwemmtes Material zu erkennen ist.



- Werkleitungen

Im Brückenkörper sind keine Werkleitungen registriert. Hingegen ist an den beiden Stirnseiten, unterhalb des Simses jeweils eine Werkleitung mit geringen Durchmesser montiert (Photos 5+7). Wozu diese dienen und ob sie noch im Gebrauch sind, bleibt abzuklären.

- Hydrologie

Hierzu liegen dem Schreibenden keine quantitativen, objektspezifischen Daten vor. Die Hochwasserproblematik wurde schon zur Erstellungszeit diskutiert. Insbesondere wurde bei Bau einer Steinbrücke im Hochwasserfall ein Rückstau befürchtet. In neuerer Zeit wurde das Bachbett im Umkreis des Mittelpfeilers mittels Blockwurf gegen Erosion stabilisiert, was die Abflusskapazität eher reduziert.

Der Umstand dass am Fundamentfuss (Sondierung 3) angeschwemmtes Material gefunden wird lässt die Folgerung zu dass die Fundamente zumindest zeitweise frei lagen und möglicherweise auch lokal unterspült wurden.

2.3 Beschreibung Zustand

- Schäden am Bauwerk (siehe auch Fig.3 und Photos 1-16)

Das Mauerwerk der Weibelbrücke weist folgende, für Kalkstein-Steinbrücken typische Schäden auf:

- Abwitterung und Ausbröckeln des Fugenmörtels: ca. 80% aller Flächen (ohne Brüstungen) infolge Nässe und Frost (Abdichtung nicht vorhanden)
- Setzungserscheinungen im Mauerwerksverband durch Mörtelverlust (Photo 7).
- Abspaltungen entlang den Mauersteinkanten infolge lokaler Pressungen, ausgelöst durch den Verlust des Mauermörtel (Photo 7)
- Frostschäden an einem eher kleinen Teil der Mauersteine (Photo 3), Bröckelzerfall geschätzt auf 10-20%)
- Leichte Verformungen (insbesondere leichtes Herausdrücken der Stirnwände)

Diese Schäden sind hauptsächlich auf das Fehlen einer Flächenabdichtung zurückzuführen. Abgesehen von diesen bauweisentypischen Alterungsschäden weist die Steinbrücke einen markanten strukturellen Schaden auf. Infolge der Absenkung d.h. partiellen Setzung des Mittelpfeilers (auf den ersten zwei Metern von der Wasseroberseite her) hat sich die südliche Stirnseite samt eines Teils beider Bögen mit einer leichten Kippbewegung von der Brückenachse wegbewegt. Das Maximum beträgt etwa 20cm auf Höhe der Brüstung in der Brückenmitte. Die Absenkung der Bogenscheitel beträgt bis zu 10cm. Der betroffene Bereich hat sich über einen, meist den Fugen folgenden, bis zu 10cm breiten, klaffenden Riss vom Rest der Brücke abgelöst. Im westlichen Gewölbe ist der Schaden markanter und kritischer, da hier kein Querverbund mehr angenommen werden darf, d.h. die beiden Teile sind nur noch leicht verkeilt sind, aber statisch als eigenständige Segmente zu betrachten sind. Die Geometrie ist aber noch nicht soweit gestört, dass keine Bogentragwirkung mehr bestünde.



Der beschriebene, strukturelle Schaden hat weitere Schäden zur Folge:

- Massive Pressungen im Kämpferbereich der Widerlager (Widerlager und Mittelpfeiler), daraus folgend recht massive Kantenabspaltungen und Rissbildungen (Photos 5+6).
- Verlust des Mauermörtels, da sich etliche Lagerfugen infolge der Setzungen öffnen und der Mörtel sich löst und herausrieselt (Photo 4)
- Verlust der Kraftschlüssigkeit mit lokalen Pressungen, gut sichtbar in den Stirnkränzen (Photo 4)
- Unebenheiten in der Fahrbahn (Photo 15)
- Verformung des Bauwerks und Segmentierung der Tragwirkung (Fig. 3)
- Verformung der Brüstung und Rissbildungen zw. den Werkstücken der Brüstung (Fig. 3 und Photo 1)

- Aktuelle Baustoffeigenschaften und Baustoffkennwerte

Der Kalkstein der Mauersteine hat auch aktuelle die gesteinstypische, hohe Druckfestigkeit ca. 180 N/mm²). Die ermittelten Steindruckfestigkeiten berücksichtigen die Rissbildungen in den Mauersteinen nicht, da die Probekörper aus prüftechnischen Gründen klein sind. Die Rissbildungen führen zu einer Reduktion der Mauerwerksfestigkeit. Bei Bröckelzerfall beträgt die Reduktion im fortgeschrittenen Stadium bis zu 60%.

Der verwendete Mauermörtel enthält Luftkalk und ein schlackeartiges hydraulisches Bindemittel. Letzteres verleiht ihm die leicht bräunliche Farbe. Der Zuschlag besteht aus Feinsand, wenig Feinkies, und, in unregelmässiger Menge, aus splitterförmigen Abschlägen der Steinbearbeitung (Photo 17). Die Druckfestigkeit liegt mit gegen 20N/mm² recht hoch (bei intaktem Mörtel). Wegen seiner hohen Kapillarporosität ist das Material allerdings nicht frostbeständig. Bei Nässe und Frost zerfällt der Mörtel zu einer losen, sandigen Masse. In den Bohrkernen aus den Bogenscheiteln (Bohrkerne Nr. 2+4) ist der Mauermörtel mürbe bis vollständig zerfallen bzw. fehlend.

- Einstufung der Mauerwerksdruckfestigkeit (f_x) 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 (was allerdings ungemein aufwändig ist). Die Schätzung berücksichtigt den aktuellen Zustand des Mauerwerks.

<i>Verbandsart</i>	<i>Bauteile</i>	<i>f_x heute (N/mm²)</i>
Quadermauerwerk	Pfeiler und Widerlager	25
Quadermauerwerk	Gewölbe (Unterseite)	10
Bruchsteinmauerwerk	Gewölbe (Oberseite)	5

Wird die Kraftschlüssigkeit im Mauerwerk durch geeignete Massnahmen wieder hergestellt, dann dürfen die Werte um 50-100% nach oben korrigiert werden.



2.4 Aktuelle Gesamtbeurteilung und Einschätzung der weiteren Schadenentwicklung

Die Bauweise der Brücke ist solid und hochwertig. Das Bauwerk weist zwei sich überlagernde Schäden auf. Wegen der fehlenden Abdichtung (von oben) ist der Mauermörtel erheblich geschädigt. Die durchdringende Nässe setzt diesen Prozess fort und schwächt den Verband (langsam und stetig). Im Bereich des strukturellen Schadens hat diese Schwächung ein bedenkliches Ausmass angenommen, da hier die Fugen sehr tief ausgewittert sind, einzelne Steine gerissen sind und ganze Steinteile locker sitzen oder gar fehlen. Die zunehmende Auflockerung des Verbandes verstärkt umgekehrt den Mörtelverlust. Nur dank der hochwertigen Bauweise ist das Mauerwerk auf der Südseite vorderhand standfest geblieben.

Für die weitere Entwicklung des Bauwerkszustandes ist die Frage nach der Stabilität des Mittelpfeilers an der Südseite ausschlaggebend bzw. die Frage nach der Ursache dieser bestehenden, lokalen Setzung des Pfeilerfusses. Die Beobachtungen und Feststellungen vor Ort deuten tendenziell auf bestimmtes Ereignis in Zusammenhang mit dem Pfeilerfuss und anschliessend auf eine Verschlechterung des Mauerwerkszustandes infolge dieses Ereignisses. Zur Verfügung gestellte Photoaufnahmen von 1983 und 1990 (Fig. 7, letzte Berichtseite) zeigen, dass die Absenkung der Brüstung an der Südseite schon vor 37 Jahren bestand. Die Absenkung zwischen den beiden Postamenten hat kaum sichtbar zugenommen und der Fugenversatz auf Simshöhe war 1983 ebenfalls bereits vorhanden. Als Auslöser ist eine lokale Unter-spülung infolge eines Hochwasserereignis naheliegend. Ein Nachgeben des kiesigen Baugrunds ist unwahrscheinlich. Die Balkenlage unter dem Fundamentfuss ist sichtlich in gutem Zustand (Sondierung 3). Es gibt auch keine Anzeichen, dass die Widerlager nachgegeben haben. Am wasserunterseitigen Teil des Mittelpfeilers ist zu dem klar zu erkennen, dass hier keine Setzungen stattgefunden haben, obgleich sich die Stirnkränze der Gewölbe auch hier leicht von der Brückenachse wegbewegt haben (Fig. 3, 5cm Bogen West + 3cm Bogen Ost). Zu erkennen ist dies vor Ort am Versatz der Simssteine.

Insgesamt muss der aktuelle Zustand als schlecht bezeichnet werden. Eine umfassende Instandsetzung ist ohne längere Verzögerung erforderlich. Ansonsten besteht die Gefahr, dass Teile der Brücke instabil werden, mit allen damit verbundenen Risiken.

3. Massnahmen



3.1 Massnahmeempfehlung

Die bestehenden Schäden sind erheblich, lassen sich im jetzigen Stadium aber noch beheben, ohne dass Teile der Brücke neu aufgebaut werden müssten. Die Massnahmen sollen möglichst Ursachen bekämpfen und die originale Bausubstanz soll soweit wie möglich erhalten bleiben. Folgendes soll erreicht werden:

- Das Mauerwerk muss dauerhaft vor durchdringender Nässe von oben geschützt werden. Verkehrslasten sollen möglichst verteilt werden.
- Das Mauerwerk soll durch geeigneten Massnahmen wieder kraftschlüssig werden.
- Die infolge der Setzung entstandene Aufspaltung der Bögen (insbesondere Bogen West) muss durch geeignete Massnahmen stabilisiert werden
- Der Tendenz zur „Verbreiterung“ des Bauwerks (durch horizontale Kräfte) soll durch geeignete Massnahmen in Zusammenhang mit der Erneuerung des Oberbaus entgegengewirkt werden.

Die Brüstungen und Postamente werden nicht abgebaut, da dies zu unnötigen Schäden führen würde. Eine vollständige Korrektur lokaler Schiefstellungen und Absenkungen ist ohnehin nicht möglich. Dafür müsste die Gewölbe neu aufgemauert werden.

In Arbeitsschritte und Positionen Kostenvoranschlag aufgeteilt erscheinen folgende Massnahmen der Situation angepasst:

- Pos. 1 Installation Wasserhaltung und Schutzmassnahmen
- Pos. 2 Vorsorgliche Sicherung der Gewölbe durch Vernadelung der Gewölbesteine quer zur Brückenachse (nur von der Südseite her)
- Pos. 3 Abdecken der Brücke und Entfernung von losem Füllmaterial
- Pos. 4 Füllung des Brückenkörpers mit Magerbeton, Ausbildung Gefälle, Drainagegräben in Sickerbeton bei den Terrainübergängen inkl. Anschlüsse und Spülschächte
- Pos. 5 Aufbringen UHFB-Platte und Nutzbelag (Schwarzbelag)
- Pos. 6 Fugeninstandsetzung und Steinersatz an Stirnseiten und Untersichten
- Pos. 7 Systematische Injektion der Fugen mit mineralischem Bindemittel (Bögen und Mittelpfeiler).
- Pos. 8 Instandsetzung Brüstungen und Postamente (Fugen und Risse vermörteln)
- Pos. 9 Reserveposition: Verstärkung Pfeilerfuss (Süd) mittels Mikropfählen

Weitergehende Massnahmen zur Stabilisierung des Fundamentes des Mittelpfeilers sind aus der Sicht des Schreibenden nicht zwingend erforderlich, dank dem belastungsfähigen Baugrund und der soliden Bauweise der Brücke (nach der Instandsetzung). Ob bei einer allfälligen Aufhebung der Lastbeschränkung Stabilisierungen der Fundamente notwendig sind, bleibt der Beurteilung des bearbeitenden Ingenieurs überlassen. Es wird empfohlen die Tragfähigkeit der Brücke mit einer für solche Brücken an der EPFL unter Prof. Eugen Brühwiler speziell entwickelten Methode zu überprüfen (Methode Alix Grandjean).



3.2 Rahmenbedingungen (nicht abschliessend)

- Denkmalschutz

Der hier vorliegende Bericht wurde bereits mit der und der kantonalen IVS-Fachstelle sowie der kantonalen Denkmalpflege abgestimmt. Das Bauwerk steht unter kommunalem Schutz und figuriert im Inventar der historischen Verkehrswege der Schweiz (IVS) als Objekt von regionaler Bedeutung. Substanzschutz ist das zentrale Gebot und Interventionen sind mit der zuständigen Behörde abzustimmen. Die Erhaltungsmassnahmen sind subventionsberechtigt, seitens Bund vom IVS, und, wenn das Objekt unter kantonalen Schutz gestellt würde, auch seitens der kantonalen Denkmalpflege.

- Verkehr

Änderungen bezüglich Verkehrsregime und Art der Nutzung sind nicht vorgesehen. Während der Bauzeit ist mit einer Totalsperre der Brücke von ca. 3 Wochen zu rechnen. Vor einer Sanierung unter Verkehr wird abgeraten, da die Gewölbe im Bauzustand besser nicht zusätzlich beansprucht werden sollen.

- Lastbeschränkung

Auf der Brücke ist eine Lastbeschränkung von 28 Tonnen signalisiert. Auf welcher Basis diese Lastbeschränkung angeordnet wurde ist dem Schreibenden nicht bekannt. Es liegen keine Bauwerksakten vor und insbesondere liegt keine statische Nachrechnung vor. Für die Aufhebung der Lastbeschränkung ist ein statischer Nachweis erforderlich. Der Schreibende ist zuversichtlich, dass ein solcher Nachweis gelingt, wenn die Instandsetzung erfolgt ist,

- Brüstung / Geländerhöhe

Die Geländerhöhe liegt bei knapp 80cm und damit unterhalb von aktuellen Normwerten. Wegen ihrer massiven Erscheinung vermitteln die bestehenden Brüstungen ein sicheres Gefühl für den Benutzer. Zusätzliche Geländer würden das Erscheinungsbild beeinträchtigen. Der Entscheid ob hier Anpassungen zwingend sind, obliegt dem Betreiber der Brücke, d.h. der Gemeinde.

- Gewässerschutz und Fischerei

Bauarbeiten im Gewässerlauf müssen beim Kanton separat bewilligt werden. Die vorgesehenen Schutzmassnahmen müssen den gesetzlichen Vorgaben entsprechen und müssen vorgelegt werden. Das Bauwerk ist dem Schutzbereich A₀ zugeordnet und liegt nicht in einer Grundwasserschutzzone.

In der Surb dürfen zum Schutz der Fischbrut vor dem 18. Mai keine Bauarbeiten erfolgen.



3.3 Instandsetzung: Vorgang und Hinweise (siehe Figur 6)

Die nachfolgenden Hinweise folgen dem vorgeschlagenen Bauablauf und konzentrieren sich auf materialtechnische und bautechnische Fragen in Zusammenhang mit den Natursteinmauerwerk und auf die besonderen Verhältnisse der vorliegenden Baustelle. Die Positionen entsprechen den Positionen des Kostenvoranschlages.

Pos. 1 Installation, Wasserhaltung und Schutzmassnahmen

Da vom Bachbett aus gebohrt, Mörtel gespritzt und injiziert werden muss, muss die Bachsohle sorgfältig vor Verschmutzung geschützt und das Bachwasser so gehalten werden, dass keine Verschmutzungen erfolgen (unter Brücke + 3-4m auf- und abwärts). Dank der geringen Bauhöhen sind keine Gerüste erforderlich. Es kann aber umgekehrt auch kein dichtes Podest errichtet werden. Damit alle Fugen gründlich bearbeitet werden können müssen die Widerlager und der Mittelpfeiler bis auf die unterste Lagerfuge über dem Fundamentfuss freigelegt werden (Fuge über der Fussplatte). Die technische Lösung der Details bringt der Bauunternehmer. Die Organisation der Baustelle muss so gestaltet sein, dass auch bei Hochwasser keine Verschmutzungen entstehen und Verkläusungen ausgeschlossen werden können.

Pos 2 Vorsorgliche Sicherung (Vernadelung) quer zur Brückenachse (nur Südseite)

Diese Massnahme ist vorgängig erforderlich, um zusätzliche Beschädigungen des Mauerwerks im Bauzustand zu verhindern. Die Bohrungen erfolgen in Kernbohrtechnik. Durchmesser Bohrung ca. 50mm, Nadeln Rostfrei (z.B. Ripinox 20mm), auf ganzer Länge eingemörtelt (im Injektionsstrumpf), Kopfseite versenkt und mit Kalksteinersatzmörtel verdeckt (unsichtbar). Nadellänge 3m, total 10 Stk..

Pos. 3 Abdecken der Brücke und Entfernung von losem Füllmaterial

Rückbau Belag inkl. fachgerechter Entsorgung (Vorsicht: nicht mit schweren Hämmern!), Ausräumen des Brückenkörpers, finish mit Saugbagger. Schaffen zweier Bereiche zur Einlage von je einem Leerrohr (Durchmesser 100mm) längs den Brüstungen für Werkleitungen. Höhenausgleich über den Bogenscheiteln, d.h. lokale Abtrag vorstehender Mauersteine auf Gewölbeoberseite. Hinter den Widerlagern darf nicht tiefer als 1m ab OK Belag abgegraben werden.

Lokale Korrektur loser Steine in den Stirnseiten von innen, Fixierung mit Mörtel und ggf. eingeklebten Armierungen (INOX).

Pos. 4 Füllung des Brückenkörpers mit Magerbeton

Die Füllung des Brückenkörpers mit Magerbeton (PC200) dient der Lastverteilung und zur Stabilisierung der Stirnwände samt Brüstungen. Der Magerbeton verhindert eine unkontrollierte Ausbreitung des Injektionsgutes (gemäss Pos. 7). Für den Beton soll eine alkaliarme Zementsorte verwendet werden. Der Magerbeton wird einlagig mit einer Bewehrungsmatte versehen. Die geplanten Gefälle der Brückenoberfläche werden OK Magerbeton angelegt (Fig.6). Auch die Verformungen des Baukörpers müssen in dieser Schicht „kreativ“ aufgenommen werden (Entwässerung Fahrbahn ist prioritär).



Pos. 5 Aufbringen UHFB (Lastverteilplatte und Abdichtung) + Nutzbelag

Für den Einbau der Fahrbahn steht über den beiden Scheiteln der Bögen eine maximale Aufbaubauhöhe von 25cm zur Verfügung, was für einen klassischen Aufbau zu wenig. Es wird darum vorgeschlagen, die Lastverteilung und die Abdichtungsfunktion mittels einem UHFB (Ultrahochfester Faserbeton gemäss SIA Merkblatt 2052) zu erreichen (Stärke 60mm). Auf diesen folgt ein Nutzbelags auf Asphaltbasis (4cm) als Verschleisssschicht.

Pos. 6 Fugeninstandsetzung und Steinersatz an Stirnseiten und Untersichten

Der Bedarf an Steinersatz ist gemessen an der Gesamtfläche bescheiden. Insgesamt sind es nicht mehr als ca. 3-4m² bzw. ca. 35, meist kleinere Reparaturstellen an einzelnen Mauersteinen. Es müssen immer nur Teile eines Steins ergänzt werden. Dazu wird vorgeschlagen, die Reparaturarbeiten mit spritzbarem Kalksteinersatzmörtel auszuführen – damit kann der Substanzverlust minimiert und die Dauerhaftigkeit der Reparaturen verbessert werden. Natürlich kann auch mit Steinersatz gearbeitet werden. Entlang von Kanten, im Einflussbereich von Hochwasser und bei kleinen Reparaturstellen ist der Ersatz mit Mörtel technisch die bessere Lösung.

Pos. 7 Systematische Injektion der Fugen (Bögen und Mittelpfeiler).

Um die Kraftschlüssigkeit des Mauerwerks wieder herzustellen muss schadhafter Mauermörtel entfernt (HDW) und die Fugen mit einem geeigneten Mauermörtel verfügt werden. Anschliessend werden Injektionspacker gesetzt in einem engen Raster (3-5/m²), je nach Quadergrösse). Anschliessend werden die tief ausgewaschenen Fugen im Mauerwerk schrittweise von unten nach oben mit mineralischen Bindemittel verfüllt und so die Kraftschlüssigkeit wieder hergestellt und lokale Pressungen reduziert.

An den Simssteinen aus Mägenwiler Muschelsandstein sind vereinzelt Ersatzarbeiten erforderlich. Auch hier handelt es sich um Teilstücke von max. 40cm Länge. Hier wird empfohlen mit klassischem Steinersatz zu arbeiten, d.h. die schadhaften Teile herauszutrennen und Ersatzstücke einzusetzen.

Pos. 8 Instandsetzung Brüstungen und Postamente

An den bestehenden Brüstungen sind vereinzelt Fugen neu zu verfügen. Zwei Brüstungsteile müssen repariert und neu gesetzt werden. Steinersatz ist voraussichtlich nicht erforderlich. An den beiden Postamenten an der Ostseite der Brücke müssen die Standflächen unterfüttert werden.

Mit einer Korrektur des Brüstungsverlaufs (Pos. 8.2) auf der Südseite könnte der heute deutlich erkennbare, schiefe und gekrümmte Verlauf der Brüstung soweit korrigiert werden, dass der Oberbau der Brücke wieder als waagrecht und wohldefiniert erscheinen würde. Dazu müssten die Brüstung und der Sims vollständig abgebaut werden, die obersten Steine der Stirnmauer Stein für Stein um bis zu 15cm ergänzt werden, die Simssteine neu hergestellt und gesetzt und die Brüstung wieder aufgebaut werden. Die Kosten dafür liegen bei ca. CHF 60000.-. Aus technischer Sicht ist die Massnahme nicht erforderlich. Sie wäre aber subventionsberechtigt, falls sie ausgeführt würde.



Pos. 9 Reserveposition: Verstärkung/Konsolidierung Pfeilerfuss Süd

Eine Verstärkung des leicht abgesackten Pfeilerfusses erscheint aus jetziger Sicht als nicht zwingend erforderlich. Gleichwohl wird hier eine Reserveposition dazu eingesetzt mit der eine ingenieurseitig allenfalls geforderte Konsolidierung des Fussbereiches erreicht werden könnte (Pfeilerfuss und unmittelbare Auflagefläche im Kies).

Bemerkung: Werden die genannten Arbeiten korrekt ausgeführt, dann kann das Bauwerk seine Funktion noch lange Zeit erfüllen, ohne Nutzungseinschränkungen und bei geringen Unterhaltskosten.

3.4 Kostenvoranschlag (siehe auch Figur 6) sowie Hinweise unter Kap. 3.3

Die nachfolgende Zusammenstellung unterscheidet zwischen Planungs- und Baukosten, Kostentotal ca. ±20%. Es wurden mittlere Marktpreise eingesetzt.

Nicht enthalten sind Rückbau / Verlegen / Umlegen allfälliger Werkleitungen. Diese Kosten können derzeit nicht geschätzt werden und es wäre auch zu klären wer dafür aufkommen müsste.

Planungskosten

Position	Planungskosten <i>Leistung</i>	<i>Arbeiten</i>	<i>Einheit</i>	<i>Menge</i>	<i>CHF/Einhe.</i>	<i>Preis</i>
0.1	Vorprojekt	Vorprojekt mit inkl. Technischer Bericht und Kostenvoranschlag	Stk.	1	ca.	12000
0.2	Sondagen	Belagsfenster und Kernbohrungen	Stk.	1	ca.	7000
0.3	Nachrechnung Statik	Statische Überprüfung	Stk.	1	ca.	7500
0.4	Geotechnik	Überprüfung Baugrund inkl. Rammsondierungen	Stk.	1	ca.	6000
0.5	Projektierung	Bauprojekt und Ausschreibung	Stk.	1	ca.	20000
0.6	Bauleitung	Allg. Bauleitung Ausführung, Bauabrechnung	Stk.	1	ca.	15000
0.7	Fachbegleitung	Spezialist Sicherung und Instandsetzung Natursteinmauerwerk	Stk.	1	ca.	12000
0.8	Bewilligungen	Wasserbau, Baugesuch etc.	Stk.	1	ca.	1500
		Total Planungskosten exkl. MWST			<i>Total</i>	81000

Fortsetzung nächste Seite



Reine Baukosten

Reine Baukosten						
Position	Leistung	Arbeiten	Einheit	Menge	Preis/Stück	
1.1	Baustelleneinrichtung	Installation (inkl. Abräumen und Endreinigung)	Stk.	1	35000	35000
		Signalisation/Absperrungen Strasse	Stk.	1	3500	3500
1.2	Wasserhaltung	Umleiten Wasser unter einen Bogen und Umstellen	m3	20	250	5000
		Niedrigwasserfassung/ableitung in PE-Rohr 500mm	m1	15	220	3300
		Wiederherstellung Bachbett	m3	10	150	1500
2.1	Vorsorgl. Sicherung Gewölbeschaden	Bohrungen Stirnkranzsteine Kernbohrungen 50mm	m1	35	400	14000
		Einbau Nadeln, inkl. Injektion Einbindung mit Feinzement in Strumpf	m1	35	65	2275
		Köpfe versenkt und vermörtel	Stk.	10	75	750
3.1	Rückbau Belag	Abtrag Belag inkl. Transport und Entsorgung	m2	140	45	6300
		Analyse PAK Schwarzbelag (Bachema)	Stk.	1	800	800
		Zuschlag Entsorgung wenn hoch belastet (PAK >20000mg/kg)	m2	120	40	4800
3.2	Aushub	Aushub Füllmaterial auf Brücke inkl. Transport und Deponie Aushub sauber	m3	30	70	2100
		Aushub vor und nach der Brücke (Rampen) für Drainage inkl. Transport und Deponie				
		Aushub sauber	m3	8	70	560
		Aushub Verschmutzt Inertmaterial Deponiegebühren	m3	38	140	5320
		Reinigung Oberseite Gewölbe (Loses Material auskratzen, absaugen)	m2	120	50	6000
		Freilegen WDL im Bachbett (von Hand)	m3	5	150	750
4.1	Füllbeton (Magerbeton)	Einlage Leerrohre (für Werkleitungen)	m1	44	25	1100
		Anschlussackern / Dübel INOX in Obersicht Steinbögen und Stirnwände, gebohrt/geklebt				
			Stk.	150	25	3750
		Füllbeton im Zwickel- und Rampenbereich PC200, bewehrt mit Matte K 188	m3	36	350	12600
4.2	Dränage und Entwässerung	Erstellen Spülschacht und Anschluss an Entwässerung	Stk.	2	2000	4000
		Sickerleitung bzw. Entwässerungrohr in Sickerbeton	m1	40	150	6000
		Ergänzen Belag Schwarzbelag über Dränage	m2	16	90	1440
5.1	Einbau Fahrbahnplatte UHFB	Lastverteilung und Abdichtung (130m2, Stärke 60mm, bewehrt Raster 150mm, Ø16mm)	m3	8	3500	28000
5.2	Einbau Belag	Wiederherstellung Strassenbelag (nur Nutzsicht 4cm) auf UHFB	m2	140	60	8400
		Strassenmarkierung und Signalisation	m1	40	100	4000
6.1	Instandsetzung Mauerwerk	Waschen mit HDW	m2	260	8	2080
		Keilen mit Holzkeilen, örtlich bei Bedarf	Stk.	200	2.5	500
		Entfernen Wurzelstöcke und entsorgen	Stk.	2	350	700
		Neu Positionieren verrutschte Werkstücke Stirnseite Nord	Stk.	2	200	400
		Stopfen mit spritzbarem Mörtel (klaffende Stellen Untersicht, >5cm) Fixit 524 SpC	m3	1	1200	1200
		Nachreinigung HDW nach Stopfen mit Fixit 524 SpC	m2	70	8	560
		Ausspitzen Mauersteine (für Betonplomben)	m2	1	2400	2400
		Vorbereitung (Bewehrungen einsetzen)	Stk.	20	45	900
		Reparatur / Steinersatz mit spritzbarem Kalksteinmörtel Fixit 524 SpC	Stk.	35	350	12250
		Nachreinigung HDW Steinersatz und Nachbearbeitung, inkl. Scheinfugen	m2	5	240	1200
		Ausfugen mit spritzbarem Mörtel Fixit 561 Schlossmauermörtel (0/4mm)	m2	120	150	18000
		Ausfugen von Hand (feine Fugen) Fixit 561 Schlossmauermörtel (auf 0/2 ausgesiebt)	m2	50	150	7500
		Nachreinigung HDW nach Ausfugen	m2	150	8	1200
		Steinersatz Simsplatten partiell, in Mägenwiler Muschelsandstein (Länge 10-30cm)	Stk.	8	350	2800
7.1	Injektionen	Vorbohren / Packer setzen / Packer entfernen /Packerlöcher schliessen	Stk.	400	30	12000
		Injektion hydraulisches Bindemittel (Arbeit und Material)	kg	3000	5.5	16500
		Mehrmenge Bindemittel	kg	1000	3.5	3500
8.1	Brüstung inkl. Postamente und Radabweiser	Ausfugen von Hand	m1	100	30	3000
		Reparaturen lokale Schadstellen (Ergänzungen, Sicherungen)	Std.	50	100	5000
		Werkstücke Brüstungen reparieren und neu setzen	Stk.	2	600	1200
		Radabweiser neu setzen	Stk.	4	350	1400
		Postamente Radabweiser sichern im Bauzustand und unterfütern definitiv	Stk.	6	400	2400
8.2	Korrektur Brüstung Südseite	Abbau Brüstung Süd inkl. Simssteine, Aufschriften Stirnmauer, setzen neue Simssteine, neu setzen der bestehenden Brüstungssteine inkl. Postamente	Stk.	1	ca.	50000
9.1	Lokale Verstärkung Fuss Mittelpfeiler	Installation Spezialfirma	Stk.	1	7500	7500
		Zuschlag Kernbohrungen 150mm durch Mauerwerk, vertikal	m1	10	600	6000
		Bohrung im Baugrund/Bachbett inkl. Einbau Mikropfähle, inkl. Verguss (4 Stk. à 5m)	m1	20	200	4000
		Bodenstabilisierung unter Fundamentfuss (Injektionen)	m3	4	800	3200
Total reine Baukosten (ohne Pos 8.2 und 9.1)		exkl. MWST Rabatt und Skonto				257935

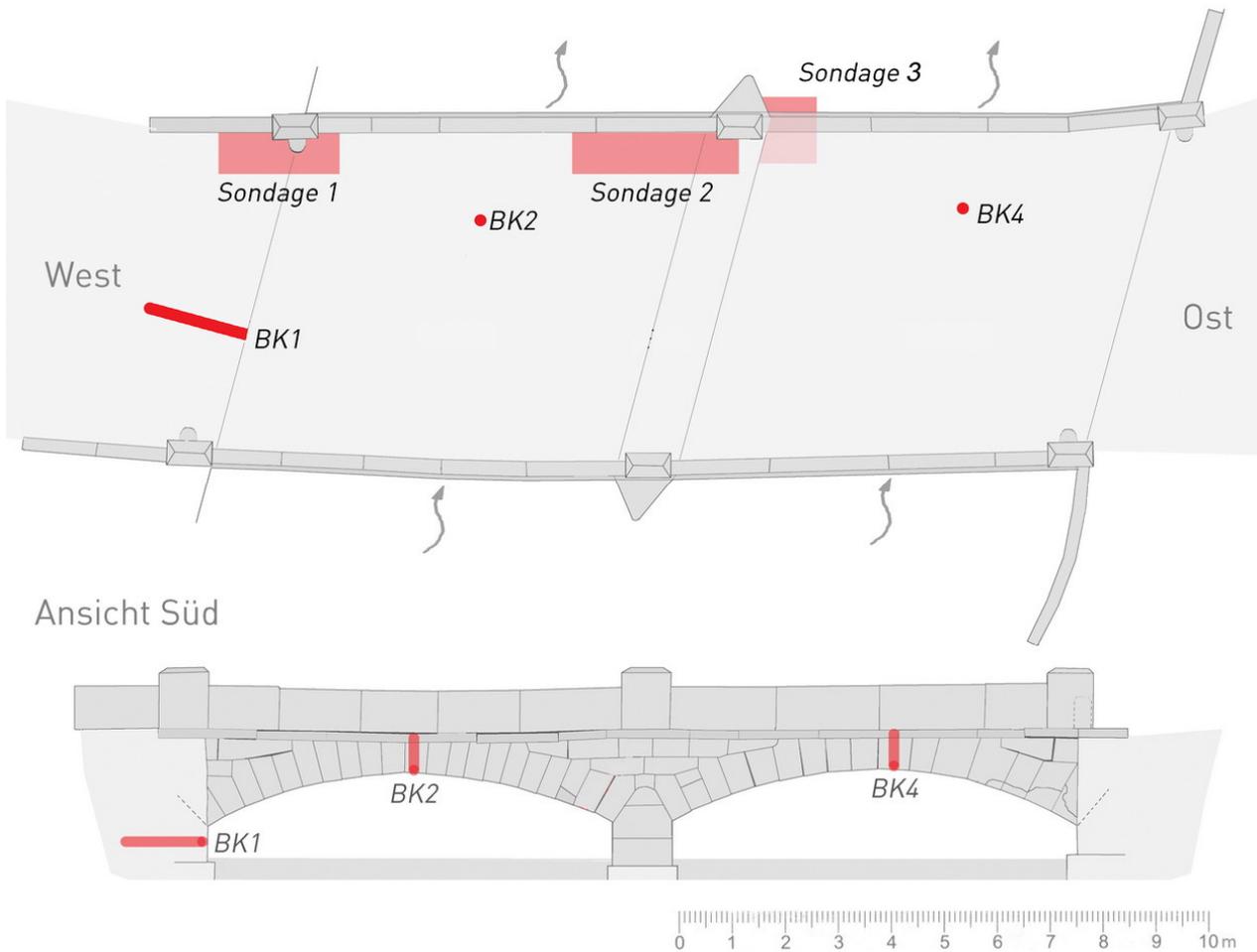
Materialtechnik am Bau AG

Dr. Ph. Rück

4. Dokumentation



Figur 1: Position der Kernbohrungen und Sondierungen
 (siehe auch Photos 11+12)



Bohrkernliste

Nr.	Ø (mm)	Länge (cm)	Bauteil	Details
1	100	230	Widerlager West	siehe Fig. 2
2	100	75	Brückengewölbe Scheitel	siehe Fig. 2
4	100	70	Brückengewölbe Scheitel	siehe Fig. 2

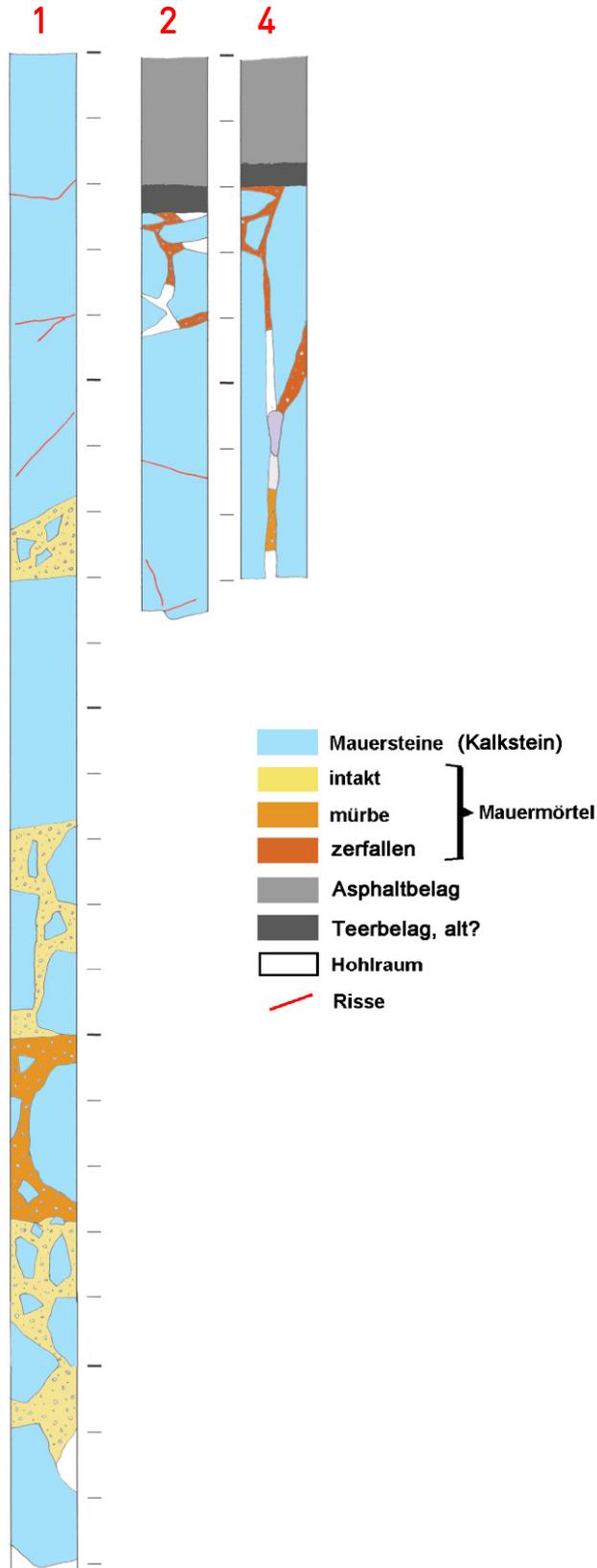
Sondierungen

Nr.	Fläche (m)	Tiefe (m)	Ort	Details
1	0.8x2.5	0.7	Widerlager West	siehe Fig. 4 + 5, Photo 11
2	0.8x1.0	0.4	über Mittelpfeiler	siehe Fig. 4, Photo 12
3	1.2x80	1.0	Pfeilerfuss Nord	siehe Fig. 4 + 5, Photos 13 + 14

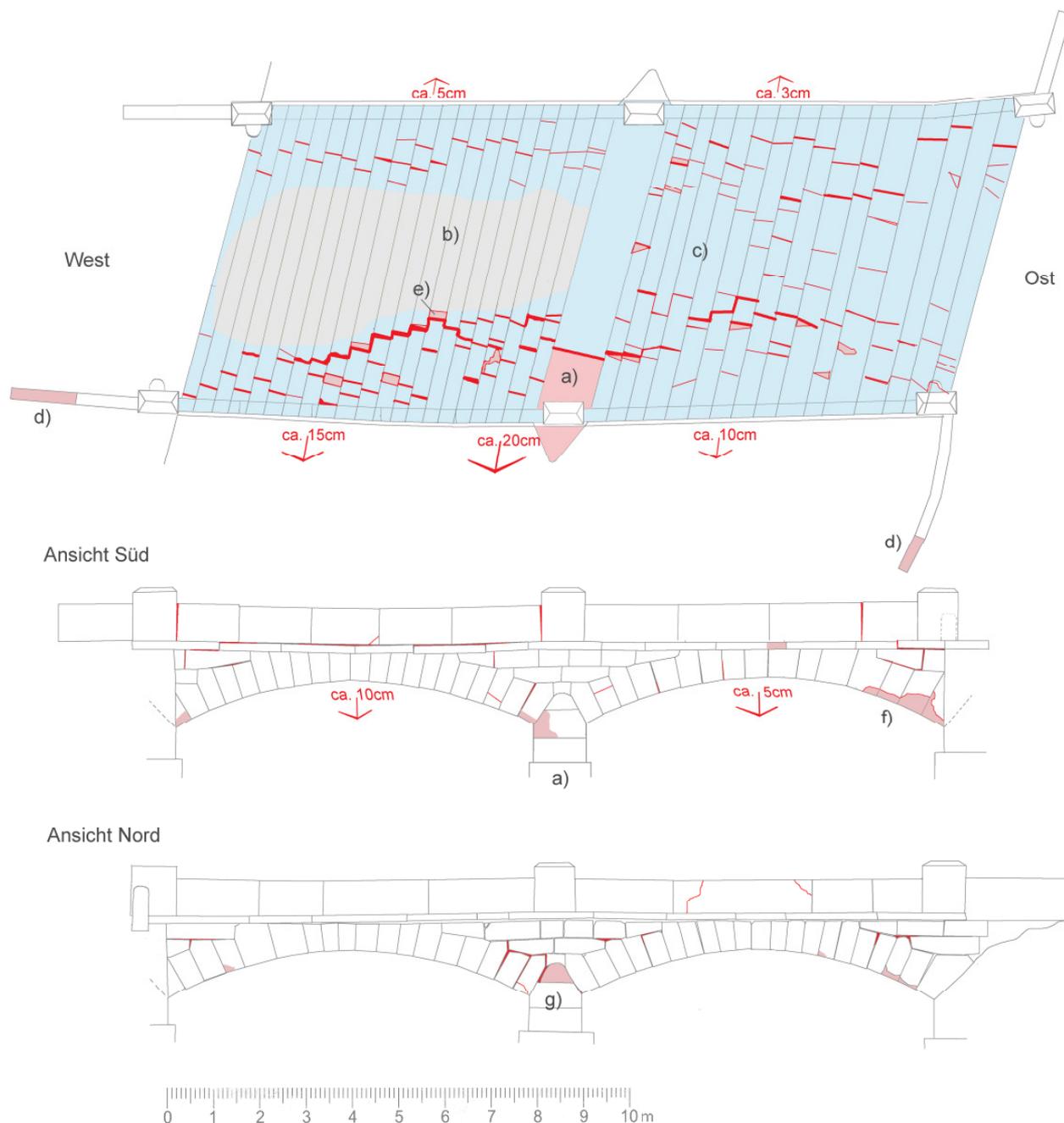
Figur 2: Aufzeichnung der Kernbohrungen



Teilung Skala: 10cm



Figur 3: Zustandsaufnahme

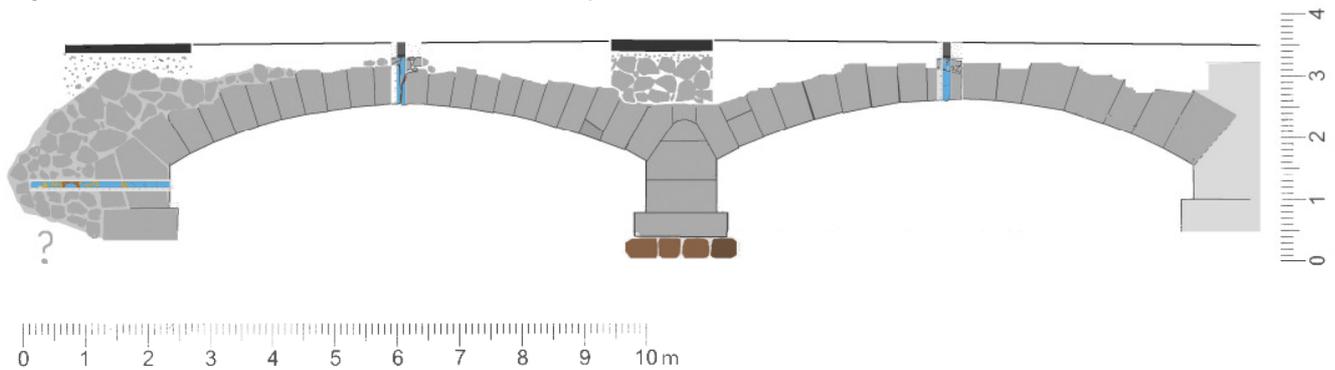


	Kommentar	Photo Nr.
a) Setzung Fundament Pfeiler (Teilbereich)	rot: Untersicht Gewölbe klaffende Stossfugen und Risse	1 +2
b) Fugen Untersicht noch intakt	Originalmörtel noch vorhanden bis an die Sichtfläche	3
c) Fugen z.T. tief ausgewittert	blau: Mörtel fehlt	4+7
d) Anfahrschäden Brüstung	neuere Schäden	9+10
e) ausgebrochene Mauersteinstücke	Teilstücke von gerissenen oder bröckeligen Steinen	5+6
f) Kantenschäden	meist infolge Pressungen wegen Setzungen / Mörtelverlust	5+7
g) verschobener Mauerstein Pfeilerkopf	Auflockerung Mauerwerk infolge Mörtelverlust	-

Konstruktion



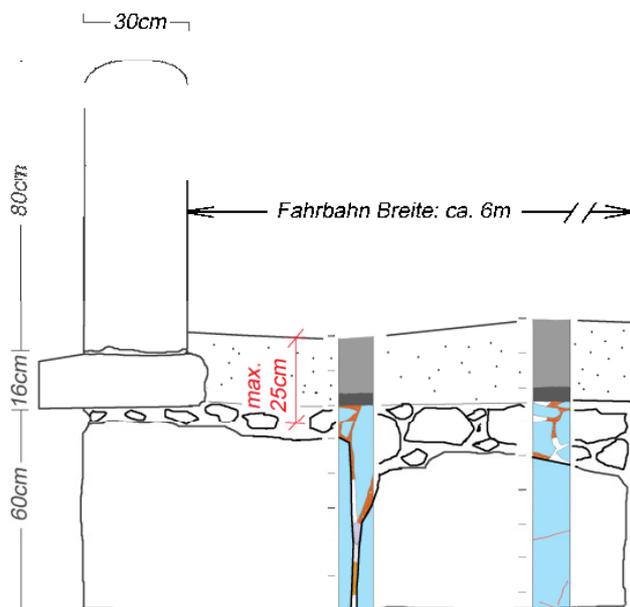
Figur 4: Rekonstruktion ---Schnitt parallel Brückenachse



Figur 4 zeigt die aus den Sondierungen und Kernbohrungen erlangten Erkenntnisse zum inneren Aufbau der Brücke und einige Details zu den Fundamenten (z.B. Balkenlage unter Mittelpfeiler). Die Mauerdicke im Kämpferbereich beträgt mindestens 2.3m.

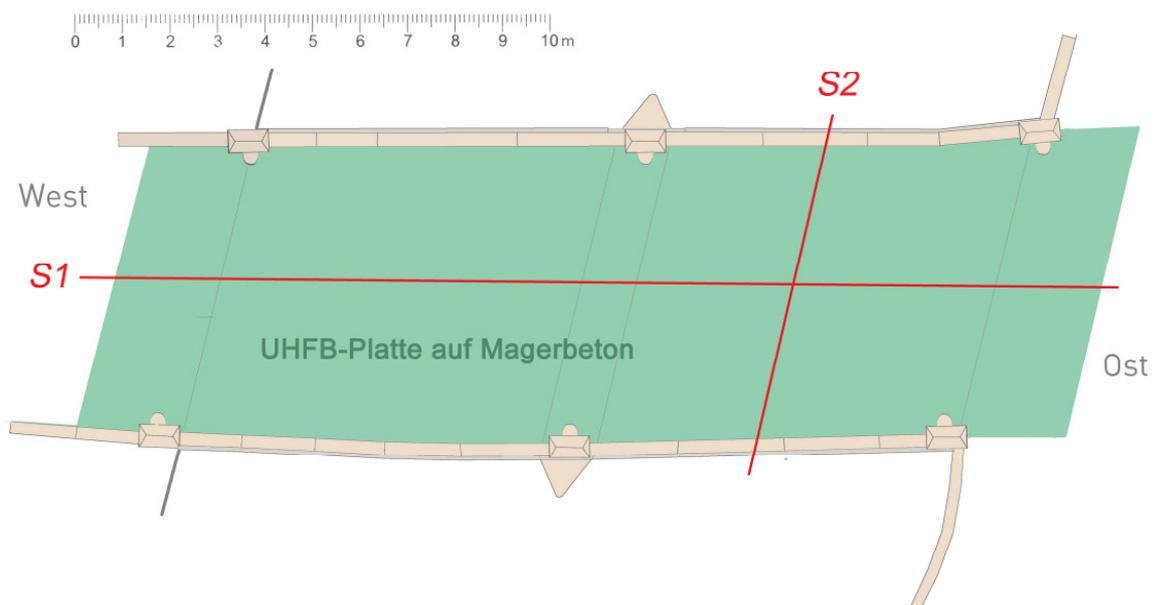
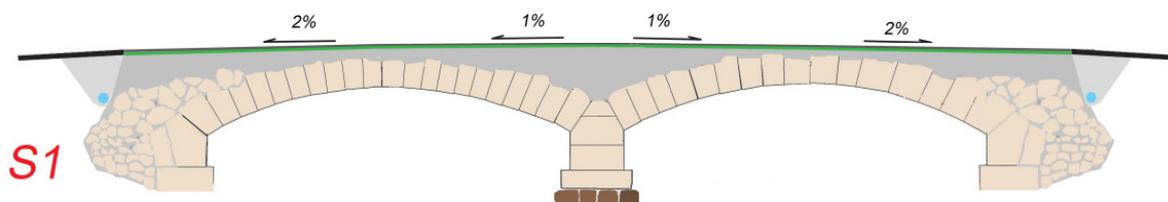
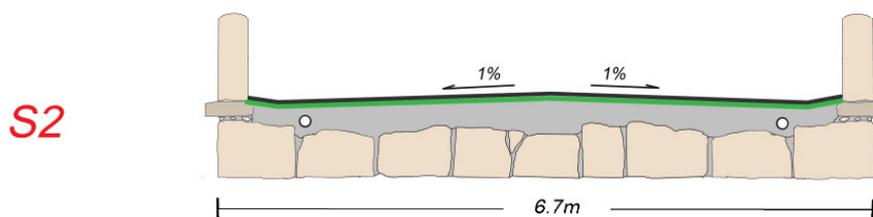
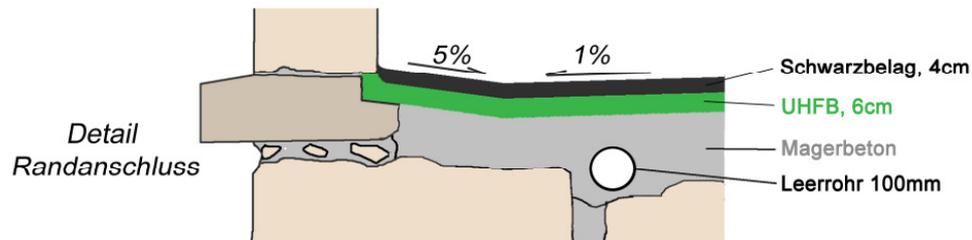
Die Quader der Gewölbe sind in der Fläche etwas weniger dick (bzw. hoch) als entlang den Gewölbekanten (Stirnkränze). Die Füllung des Brückenkörpers besteht hauptsächlich aus kleineren und grösseren Bruchsteinen. Im Zufahrtbereich besteht unter dem Belag ein Kieskoffer.

Figur 5: Schnitt Brüstung im Bogenscheitel, senkrecht zur Brückenachse



Figur 5 zeigt Aufbau und Geometrie der Brüstung im Scheitelbereich der Bögen. Sie erlaubt die Angabe der maximal möglichen Aufbauhöhe über dem Gewölbe im Scheitelbereich

Fig. 6: Skizzen Instandsetzung (Füllung, Fahrbahn und Gefälle)



Photographische Dokumentation



Photo 1:

Übersicht Stirnseite Süd

„Durchhängen“ der Brüstung wegen Absenkung Fundament Mittelpfeiler (siehe auch Photo 2)



Photo 2:

Untersicht Bogen West

Klaffende Ablösung des abgesenkten Bogenteils (siehe auch Schadenaufnahme vorhergehende Seite)

Mittelpfeiler: Südseitige Spitze abgerissen und leicht abgekippt

Photographische Dokumentation

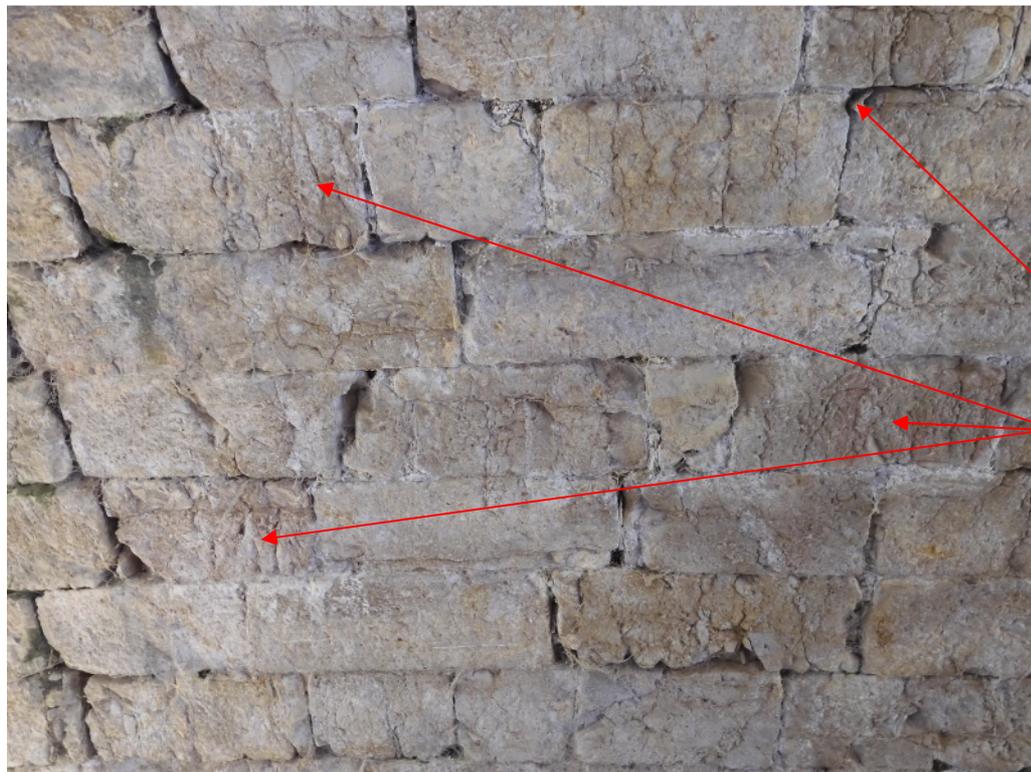


Photo 3:

Quadermauerwerk
Untersicht

Zustand Mauerwerk
der Bögen (normal):

Fugenmörtel
teilweise tief
ausgewittert

Mauersteine teilweise
vielfach gerissen und
stellenweise
Anzeichen von
Bröckelzerfall

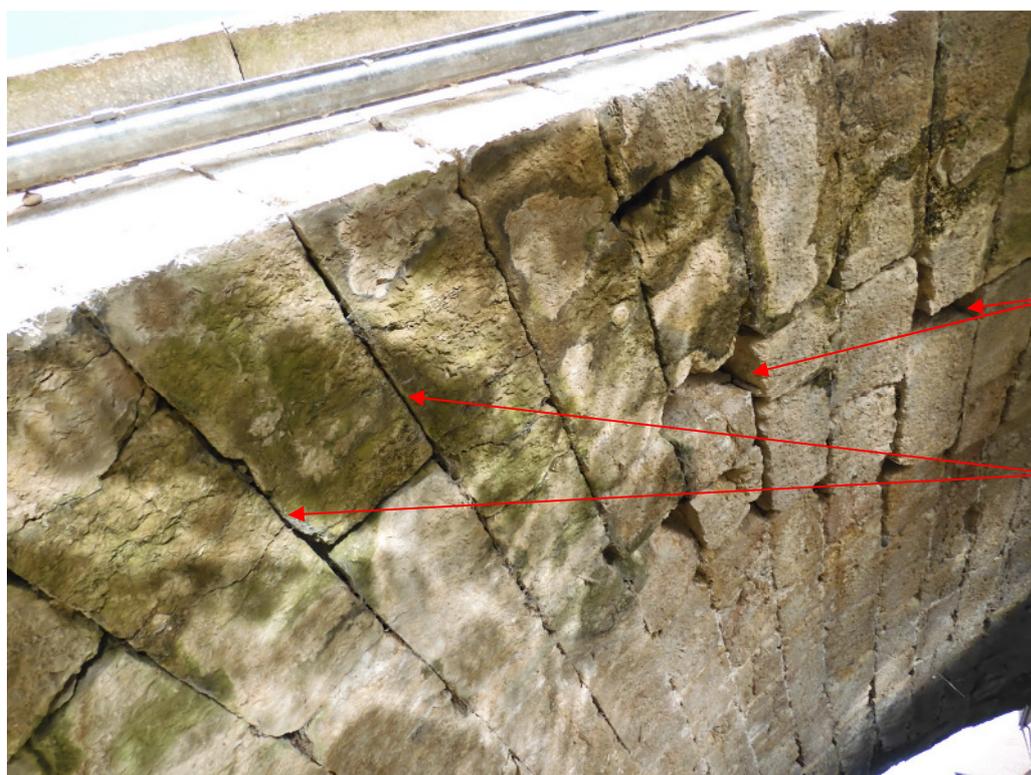


Photo 4:

Zustand Mauerwerk
der Bögen
Randbereiche:

ausgebrochene
Mauersteinstücke
(nur lokal)

offene, sehr tief
ausgewitterte Fugen
(Mauerwerk nicht
kraftschlüssig)

Photographische Dokumentation



Photo 5:

Kantenschaden
(Widerlager Ost,
wasserobereite)

Eckschäden an
Quadern infolge
starker lokaler
Pressungen
(Absenkung Gewölbe)



Photo 6:

Schaden an
Strömungsteiler
Wasserobereite

10-20cm tiefe,
grössere Abspaltung

Abspaltung an Kante
infolge lokaler
Pressungen

Photographische Dokumentation



Photo 7:

Nordseite

vereinzelt
durchgehende Risse
in Brüstungssteinen

Sims (Mägenwiler
Muschelsandstein)

infolge Mörtelverlust
leicht verkantete
Quader, Fugen
teilweise geweitet,
teilweise gepresst mit
Kantenschäden



Photo 8:

Brüstungen

Postament mit Jahreszahl und
Radabweiser

Mörtelflick

Photographische Dokumentation



Photo 9:

Brüstungen
(Westseite, Süd)

Anfahrtschaden

Fehlende Brüstung
(im Werkhof
deponiert)



Photo 10:

Brüstungen
Ostseite Süd

Anfahrtschaden
Werkstück gerissen

Photographische Dokumentation



Photo 11:



Sondierung 1:
(Westseite, Nord)

Füllmaterial: Kies/Sand
und darunter
Kalksteinbruchsteine

Mauerwerk läuft schräg
ab (Grabtiefe 0.7m UK
Belag)

Mauerkrone Widerlage,
ca. 0.5m UK Belag

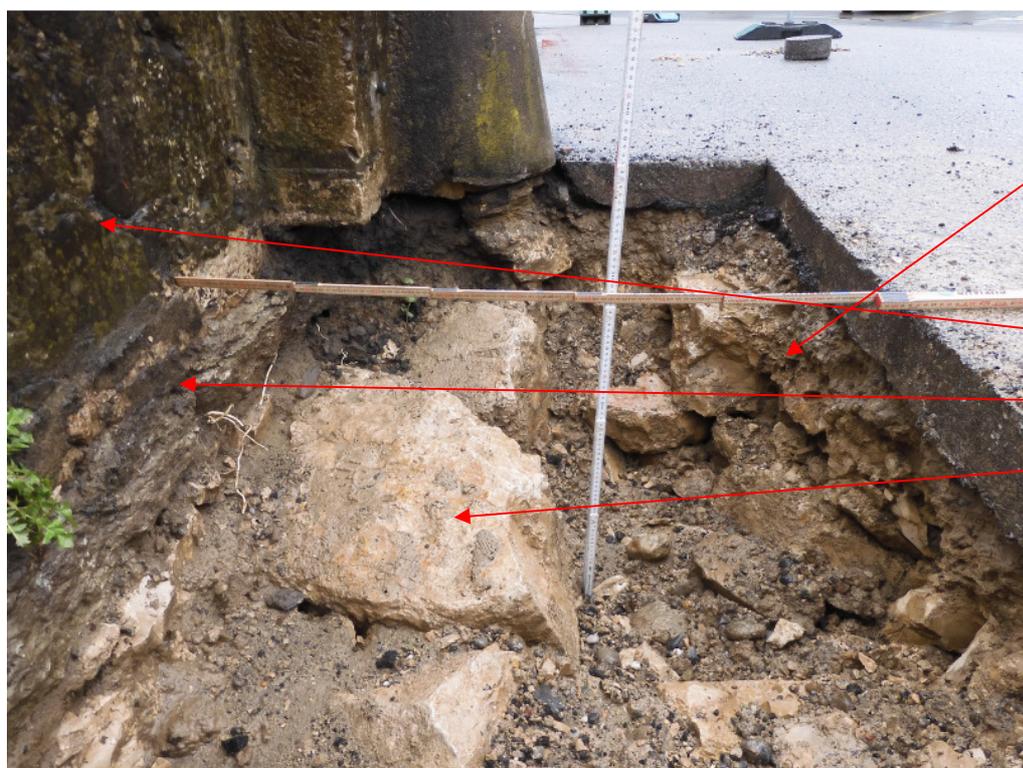


Photo 12:

Sondierung 2

Füllung Brückenkörper
über Mittelpfeiler:
Kalksteinbruchsteine

Brüstungsstein

Simsstein (Mägenwiler)

Mauersteine Stirnwand,
lose, weil Mörtel
ausgewittert

Photographische Dokumentation

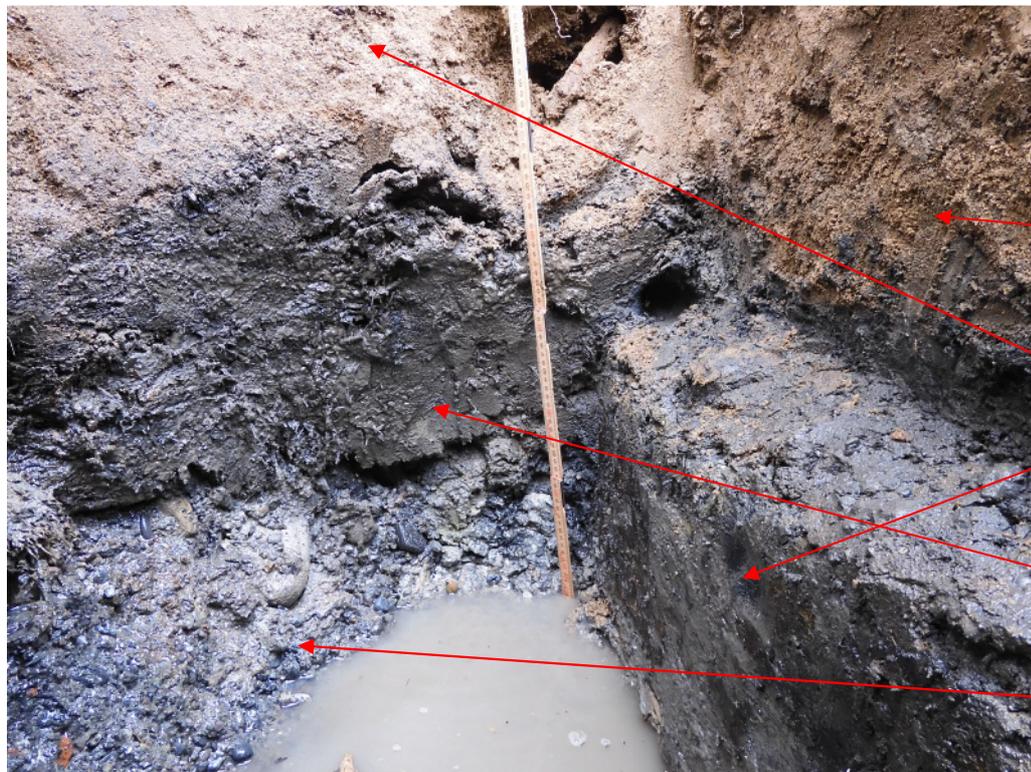


Photo 13:

Sondierung 3:
Fundament
Baugrund / Pfeilerfuss

grosser Kalksteinblock
(h: 40cm)
(Fundamentfuss)

Sand (neuer
angeschwemmt)

Holzbalken, h. 30cm,
Sichtfläche gebeilt

siltig/humosige
Schicht, mit viel
Schwemmholz

Kies/Sand, (Baugrund),
wasserführend



Photo 14:

Sondierung 3:
Fundament
Baugrund / Pfeilerfuss

grosser Kalksteinblock
(h: 40cm)
(Fundamentfuss)

Sand (neuer
angeschwemmt)

Holzbalken, intakt
liegt zur Hälfte in

Kies/Sand, (Baugrund),

Photographische Dokumentation



Photo 15:

Fahrbahn

Überblick mit
Brüstungen
Blick Richtung Ost

Oberflächenwasser
läuft über Zufahrten
ab, praktisch ohne
Pfützenbildung

Oberfläche abgesenkt
wegen Setzung

höchster Punkt OK
Belag



Photo 16:

Detail Fahrbahn

OK Fahrbahn unter
UK Postament mit
Wasserführung
untendurch

Mauerkante OK
Stirnseite liegt frei

K201 Druckfestigkeit Bohrkernproben

Prüfung Mörtel an Kleinproben analog EN 1926



Materialtyp		Mauersteine (Kalkstein)			
Probenummer		1.1	2.1	4.1	
Druckfestigkeit	N/mm ²	189	173	208	
Rohdichte	kg/m ³	2633	2642	2607	
Entnahmetiefe, ab Maueroberfläche	cm	90	60	35	

Materialtyp		Mauermörtel			
Probenummer		1.4	1.3	1.5	1.2
Druckfestigkeit	N/mm ²	18.3	23.4	21.7	10.3
Rohdichte	kg/m ³	1502	1648	1607	1534
Entnahmetiefe, ab Maueroberfläche	cm	180	130	180	120

P301 Poren-Sättigungskennwerte

Prüfkondition: A5/AV

Materialtyp/Bauteil		Mauermörtel
Probe	Nr.	1 (aus Widerlager)
Kapillarporen A5	Vol. %	36.85
Gesamtporosität AV	Vol. %	39.02
Hohlraumgehalt LG	Vol. %	2.16
Trockenrohddichte Rd	kg/m ³	1616
Sättigungswert S		0.94

M102 Mikroskopische Beobachtungen		
Bohrkern Nr. /Probe Nr.	Material und Beobachtungstiefe	Beobachtungen
W1	Mauermörtel aus Widerlager-mauerwerk 120cm	Bindemittel: Kalkhydrat, und hydraulischer Zusatz, schlackeartig Zuschlag: karbonatisch/silikatisch, 0-8mm, kantig bis gerundet, viel Feinsand, unregelmässig Abschläge von Kalkstein (splittrig, bis 50mm), Mischung: ausgewogen; Gefüge: eher kompakt Kapillarporosität im Bindemittel: hoch Makroporen: kaum Schrumpfporen Konzeptschwächen: bei Nässe beschränkte Frostbeständigkeit Gefügeschäden: keine
W4	Mauermörtel aus Lagerfuge Gewölbe Ost 60cm	Bindemittel: Kalkhydrat und hydraulischer Zusatz, schlackeartig Zuschlag: karbonatisch/silikatisch, 0-8mm, kantig bis gerundet, Mischung: ausgewogen bis etwas fett Gefüge: recht kompakt (z.T. versinterte Schrumpfporen) Kapillarporosität im Bindemittel: hoch Makroporen: viele Schrumpfporen Konzeptschwächen: hohe Kapillarporosität, d.h. bei Nässe beschränkte Frostbeständigkeit Gefügeschäden: starke Auflockerung infolge Mikrorissbildung und allg. Dekohäsion der Komponenten

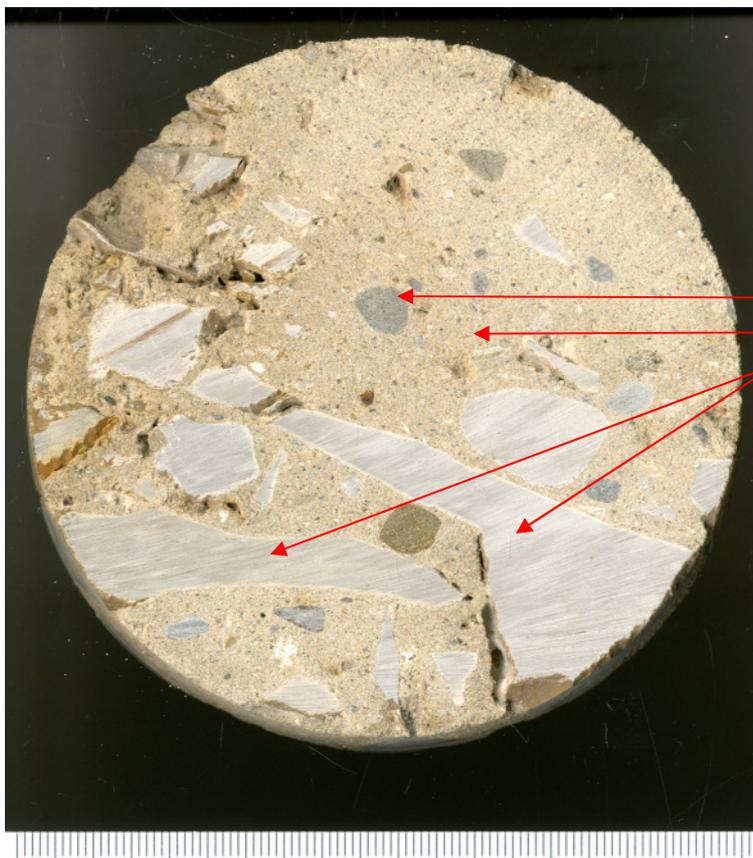


Photo 17: Mauermörtel im Widerlager (Millimeterskala)

bräunlicher, im intakten Zustand recht fester Mauermörtel

- ← wenig runder Grobsand/Feinkies
- ← viel feiner Sand bis 0.5mm
- ← Kalksteinabschläge (splittrige Form)



Fig. 7: Entwicklung Verformung (rot: Absenkung Brüstung)

Ansicht Süd, Bogen West,

1983



1990



2020

