

Beilage Nr. 10.05.04

Kanton Bern

Gemeinde Grosshöchstetten

BLS-Strecke 15 BTB (Hasle) - (Konolfingen) - (Thun)

Grosshöchstetten

Erneuerung Grosshöchstettentunnel

km 13.475 – 14.533

IC/003635

Auflageprojekt 2026

Materialtechnische Untersuchung Grosshöchstettentunnel II

BLS Netz AG Projekte & Technologie Freiburgstrasse 130, CH-3001 Bern		Verfasst: Name: Dr. Giuliano Krättli		Geprüft: Name: Dr. Philipp Rück	
Yves Zollinger Leiter Multiprojekte & Ingenieurbau BLS Simon Peter GPL BLS		Rev.	Bemerkungen	Datum:	
			Erstausgabe	01.07.2026	
		A			
VERFASSER: Materialtechnik am Bau AG Gäbigasse 3 5107 Schinznach-Dorf Projektallianz Grosshöchstettentunnel  		B			
		C			
		D			
		E			
		F			



Bericht

Nr.:24090/2

Auftraggeber	BLS Netz AG Genfergasse 11 3001 Bern
Auftrag	Materialtechnische Beurteilung des Tunnels GHT II
Objekt	Eisenbahntunnel Grosshöchstetten II Linie 15 BTB (Hasle-Konolfingen-Thun) km 14'334 - 14'430
Baustoffe	Stampfbeton, Naturstein, Spritzbeton
Probenmaterial	8 Bohrkern

Inhalt

1. Auftragsbeschreibung



2. Ergebnisse und Kommentar



3. Zur Instandsetzung



4. Untersuchungsprotokolle



1. Auftragsbeschreibung



Die BLS Netz AG mit Sitz in Bern beauftragten uns, den Tunnel Grosshöchstetten II (GHT II) zwischen Biglen und Grosshöchstetten aus materialtechnischer Sicht zu beurteilen. Der Schwerpunkt der Untersuchung liegt beim Tunnelgewölbe. Im Zentrum steht die Frage nach dem Zustand bzw. welche Massnahmen notwendig sind, um eine langfristige Weiterverwendung sicherzustellen. Die Aussagen des Berichtes stützen sich auf Beobachtungen vor Ort, auf Sondierungen mittels Kernbohrungen (Firma Transbohr aus Gretzenbach) und auf labortechnische Untersuchungen an den entnommenen Bohrkernen/Proben. Die Arbeiten am Gewölbe erfolgten teils ab Hebebühne, ab Boden, sowie von einem Flachwagen aus. Die Aufnahmen und Bohrungen fanden in den zwei Nächten zwischen dem 27. und dem 29. Mai statt. Die Portale des Tunnels waren nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

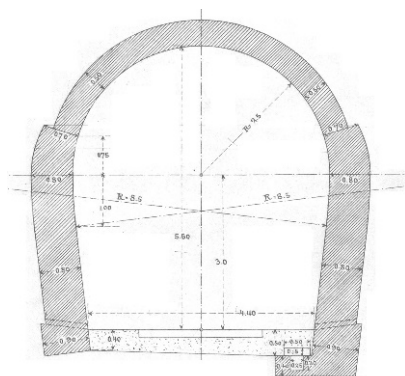
2. Ergebnisse und Kommentar



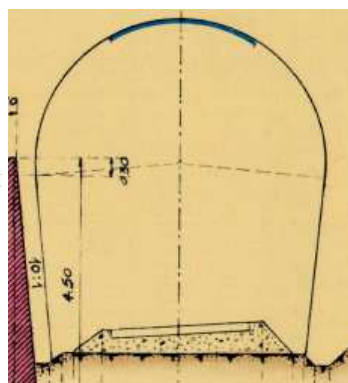
Allgemeines

Der vorliegende Tunnel wurde 1899 erstellt und besteht hauptsächlich aus Stampfbeton. Aufgrund der Bauweise und der geringen Überdeckung ist anzunehmen, dass der Tunnel im Tagebau erstellt wurde. Abgesehen diverser Spritzmörtelapplikationen an den Untersichten sind keine späteren baulichen Eingriffe dokumentiert.

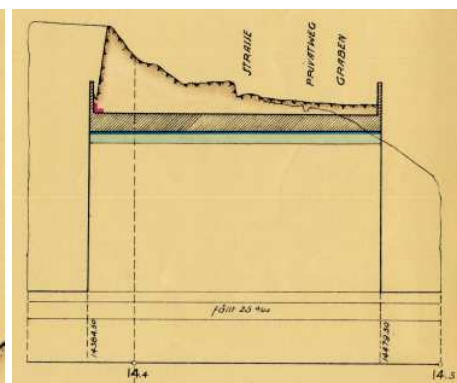
In den Jahren 2016 und 2022 sind durch die Amberg Infra Hauptinspektionen durchgeführt worden. Zu den beiden Tunnels GHT I und GHT II gibt es eine Vorstudie/Studienbericht die von der Rothpeltz | Lienhard + Cie AG im 2023 erstellt wurde. In der Studie sind die Eckpunkte zum Bau und den Sanierungsetappen zusammengefasst, sowie die vorhandenen Quellen angegeben.



Originalpläne ~1899



Abdichtungsarbeiten 1932 in blau (das Längsprofil ist stark überhöht)



Abgesehen vom letzten Meter vor den beiden Portalen wurde die gesamte Gewölbe Fläche abgeklopft. Als Planbasis dienten die sehr ausführlichen Aufnahmen der Amberg Engineering AG aus dem Jahr 2016 (Vergleiche Plan 1).



Beobachtungen und Messungen vor Ort (Plan 1, Fotos 1-11 im Kapitel 4)

Die Paramente bestehen aus Stampfbeton mit grossem rundem Kies. Die Sichtfläche der Paramente wurde zur Bauzeit mit einem Zementmörtel (nass in nass) abgeglättet. Diese Schicht ist an wenigen Stellen hohltönend. Vereinzelt sind etwas grössere Kiesnester ausgebrochen, Zone 8 in der Nischenuntersicht und in Zone 5 (<1 m², Fotos 2+3) (<15 cm tief). Vereinzelt sind Risse zu erkennen, diese haben keinen grösseren (>1 cm) Versatz.

Im oberen Bereich (Kämpfer) können hinter dem Putz vereinzelt grössere Natursteine (Gneis) erkannt werden. Die Kernbohrungen bestätigen, dass im Kämpferbereich der Paramente mindestens Abschnittsweise mit Steinen gemauert wurde.

Der Gewölbebogen besteht ebenfalls aus gestampftem Beton. An der Sichtfläche sind die Abdrücke einer feinen Brettschalung (Betonieretappen ~ 3m) gut sichtbar. Im Scheitel ist dieser über der ganzen Tunnellänge mit Spritzbeton (1932) überzogen. Der Beton des Bogens ist jeweils auf den Seiten der Schalungsetappen magerer, was auf die Betoniertechnik zurückzuführen ist. Entsprechend sind es auch eher diese Bereiche, wo mehr Feuchtigkeit von oben durchdringt. Entlang dieser Arbeitsfugen ist teilweise der darüberliegende Spritzbeton gerissen. An der unteren Grenze des Spritzbetons, wo dieser auf null ausläuft, liegt dieser teils hohl. Vereinzelt liegen auch sonst kleinere Flächen hohl. Das von uns festgestellte Ausmass ist aber deutlich kleiner, als in den Aufnahmen der Hauptinspektion von 2016. Namentlich sind Stellen mit Spray eingezeichnet, die aus unserer Sicht intakt sind.

In den Untersichten der Portalbereiche (bis ca. 2 m hinter den Eingängen) wurde wiederholt ausgebessert - hier gibt es grössere hohlliegende Flicke. Risse wurden gestopft und sind wieder gerissen. Grosse Teile sind nass und mit Versinterungen und auch Moos überzogen. Von der Zone 4 in der Kilometrierung aufwärts häufen sich die feuchten, bzw. nassen Stellen und mit ihnen die Versinterungen (Foto). Diese können vereinzelt bis max. 10 cm von der Wand abstehen. Auf dem Plan sind diese nicht eingezeichnet, dafür kann auf die Aufnahmen von 2016 zurückgegriffen werden.

Deformationen sind rein visuell nicht zu erkennen. Die Lichtraumkarte von 2016 deutet auf eine regelmässige und ungestörte Bauwerksgeometrie.

Visueller Zustand der Bohrlöcher und der Bohrkerne (BK)

Die Position der Bohrungen, sowie die Bohrkerne sind im Kapitel 4 dargestellt. Die Bohrungen erfolgten mit Ø 100 mm in den Paramenten und mit Ø 150 im Bogenviertel bzw. im Scheitel. Insgesamt wurden mit den Bohrungen zwei Profile erstellt, eins in der Zone 2 auf der rechten Seite, und eins in der Zone 8 auf der linken Seite.

Die Bohrkerne bestätigen die auf den Originalplänen (siehe oben) dargestellten Wandstärken von 80 cm in den Paramenten und 50 cm im Bogen. Die effektive Dicke ist tendenziell sogar noch etwas grösser.

Die beiden Bohrkerne im unteren Parament-Bereich (BK11 und 15) zeigen dichten bis teils sehr mageren Stampfbeton. Bei BK15 folgt nach ca. 40 cm nur noch loses Material.

Bei den beiden Bohrkerne auf Kämpferhöhe (BK12 und 16) sind wir auf Natursteinmauerwerk im Verbund mit Mörtel gestossen. Die Mauersteine bestehen aus intaktem Gneis/Granit, im hinteren Bereich bei BK12 ist auch Alpenkalk verbaut worden. Der Mörtel ist makroskopisch gesehen intakt.



Die vier Bohrungen im Bogen zeigen durchwegs kohärenten, intakten, meist dichten Beton mit etwas variablem Hohlraumgehalt. BK13 wurde auf eine Betonieretappenfuge gelegt, diese zieht sich vertikal bis auf die Aussenseite des Gewölbes. Der Spritzbeton bei BK 14 und 18 haftet gut am Beton.

An der Aussenseite des Bogens folgen nochmals 2-3 cm etwas feinkörnigerer (0-10 mm) Beton. Hinter diesem folgt loses Auffüllmaterial.

Abgesehen vom Kiesnest im hinteren Bereich von BK15 sind die erbohrten Materialien makroskopisch gesehen intakt.

Laboruntersuchungen

Die Einzelresultate der Laboruntersuchungen sind unter Kapitel 4 einsehbar.

<i>Baustoff</i> (Anz. Druckfestigkeits- messungen)	<i>Druckfestigkeit</i> (N/mm ²) <i>Mittelwert</i>	<i>Kapillarporosität l</i> <i>Vol%</i> <i>Mittelwert</i>
Stampfbeton (6)	33.7 ± 13.4	8.0
Spritzbeton (3) *	71.5	13.6
Gneis (3)	216.9	1.3
Mauermörtel (4)*	41.1	15.1

**kleine Probekörper*

- Der Stampfbeton der Paramente und des Bogens können zusammen betrachtet werden. Die Druckfestigkeit liegt mit knapp 34 N/mm² eher im mittleren Bereich für einen von Hand verdichteten Beton aus der Zeit. Die Kapillarporosität ist mit 8 Vol% tief, wobei gesagt werden muss, dass die Probe aus einem dichten Teil von BK18 am Scheitel stammt und nicht ganz repräsentativ ist. Mikroskopisch betrachtet besteht der Beton aus einer ausgewogenen Mischung mit Portlandzement als Bindemittel und gerundeten, karbonatischen, silikatischen Zuschlag (Ø 0-20 mm). Im Dünnschliff ist der Beton intakt.
- Der Spritzbeton besteht aus einer eher fetten Mischung mit Portlandzement als Bindemittel und einem feinen Sand (Ø 0/1 mm). Die Druckfestigkeit ist wie zu erwarten mit über 70 N/mm² hoch, die Kapillarporosität liegt mit 13 Vol% angesichts des hohen Bindemittelanteils eher tief. Mikroskopisch betrachtet fallen, abgesehen von der variablen Mischung, keine negativen Punkte auf. Der Kontakt zum darunterliegenden Beton ist im Dünnschliff intakt.
- Der Gneis hat eine normale, sehr hohe Druckfestigkeit und tiefe Kapillarporosität. (217 N/mm² und 1.3 Vol%). Mikroskopisch betrachtet entspricht er einem groben, deutlich grünschieferfaziell überprägten Orthogneis (Typ Aaregranit aber stärker alpin überprägt).
- Der Mauermörtel zwischen dem Beton und den Natursteinen in den BK 12 und 15 ist vergleichbar mit dem Beton nur feinkörniger (PC, Zuschlag Ø 0-5 mm, leicht höhere Kapillarporosität) und ist im Dünnschliff ebenfalls intakt.



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)
Bruchsteinschichtenmauerwerk	Mauerwerk im Kämpferbereich	18

Aus den beiden Bohrungen BK12 und 16, wird klar, dass der oberen Paramentbereich respektive der Kämpferbereich aus einem Bruchsteinschichtenmauerwerk besteht. Wie hoch die Mauerwerksschicht am oberen Abschluss der Paramente tatsächlich ist, könnte mit Spitzfenstern ermittelt werden. Angesichts des angetroffenen Bestandes und Zustandes ist diese Information aber nicht unbedingt erforderlich.

Vergleich der Schadenskartierungen

Aus dem Vergleich mit den Aufnahmen auf dem bestehenden, detaillierten Plan der Amberg Engineering AG aus dem 2016, können folgende Schlüsse gezogen werden:

Beobachtungen wie Kiesnester, Rissflächen, können nachvollzogen werden, haben aber untergeordneter Aussagekraft und wurden nicht weiterverfolgt.

Die Nass- und Feuchtstellen (vergleiche Bild 2) werden bestätigt, sind auf unserem Plan übersichtshalber nicht nachgezeichnet. Wo sich im Winter allenfalls Eiszapfen bilden kann nur durch Beobachtung ermittelt werden.

Eingezeichnete Risse können ebenfalls nachvollzogen werden, Risse im Gewölbebereich entsprechen meistens den Betonieretappen/Arbeitsfugen und werden nur bei beobachtbarer Bewegung bestätigt (vergleiche Plan). Die Bewegungen sind abgesehen von einzelnen Rissen in Portalnähe vernachlässigbar.

Sehr viele der vor Ort eingezeichneten und auf dem Plan dargestellten hohlliegenden Stellen in den verputzten bzw. den mit Spritzmörtel überzogenen Bereichen werden nicht bestätigt.



Zusammenfassende Beurteilung

Aus materialtechnischer Sicht darf die Tunnelröhre in eine Zustandsklasse 2, annehmbar eingeteilt werden - dies aufgrund der weitestgehend intakten Materialien, der intakten Bauwerksgeometrie und dem bescheidenen Schadenausmass.

Die Originalbaustoffe sind insgesamt recht robust und dauerhaft. Aufgrund der doch grossen makroskopischen Unterschiede des Stampfbetons soll für eine allfällige statische Überprüfung in den Paramenten für die Druckfestigkeit ein Wert von 16 N/mm² verwendet werden (f_{ck} , charakteristische Wert der Zylinderdruckfestigkeit; Druckfestigkeitsklasse C16/20 (vergleiche unter anderem SIA-Norm 262, Tabelle 3 und 269/2, Tabelle 1)). Im Bogen kann ein Wert von 20 N/mm² angenommen werden (C20/24). Der Wert für das Natursteinmauerwerk im Kämpferbereich ist oben gegeben.

Die Portalbereiche des Tunnels sind bis ca. 3m (Portal Biglen) bzw. etwa 5 m (Portal Grosshöchstetten) in den Tunnel hinein, in einem schlechten Zustand (ZK 4). Grund dafür sind die Risse mit leichtem Versatz, die Portalwände sind sozusagen von der Tunnelröhre abgelöst. Auch handelt es sich hier um die von oben am wenigsten vor Wasser geschützten Bereiche.

Bezüglich Instandsetzungsbedarf ausschlaggebend ist die Frage inwieweit Nassstellen akzeptiert werden können (Gebrauchstauglichkeit). Aus materialtechnischer Sicht ist eher Staunässe im Zusammenhang mit Frost ausschlaggebend, d.h. schadenfördernd (Dauerhaftigkeit). Spritzbeton von unten würde diese Problematik eher verstärken.

Eine Instandsetzung der Portalbereiche ist in nächster Zeit fällig. Im Tunnel sind Massnahmen aus materialtechnischer Sicht nicht dringend. Für eine Beschleunigung der Schadenentwicklung gibt es aus unserer Sicht keine Hinweise. Die wenigen hohl liegenden Stellen in der Tunnelröhre können auch im Rahmen des Unterhaltes entfernt werden.



3. Zur Instandsetzung

Aus unserer Sicht sind in nächster Zeit folgende Massnahmen angebracht:

- Aufnehmen/Kontrolle von Versiegelung/Gefälle/Entwässerung des Terrains über dem Tunnel. Ein grosser Teil der Fläche über dem Tunnel ist bereits versiegelt. Mittels einer kontrollierten Entwässerung könnte man die Nässe vom Tunnel fernhalten. Die meisten Nassstellen würden damit wohl versiegen. Noch offene Zonen könnten eventuell «optimiert» werden (z.B. Einbau von Bentonitmatten 1m unter Grünflächen).
- Die Portalbereiche sollen ausgegraben, abgebrochen und neu erstellt, oder, fachgerecht saniert werden. Dabei sollen auch die Anschlüsse an die Tunnelröhre soweit wie möglich von oben abgedichtet werden.
- Hohlstellen von Spritzmörtel am restlichen Tunnel werden grosszügig entfernt und nur wieder ergänzt, wenn dies aus bahntechnischer Sicht notwendig ist. Ausbrüche des Betons werden reprofiliert.

Materialtechnik am Bau AG

Giuliano Krättli

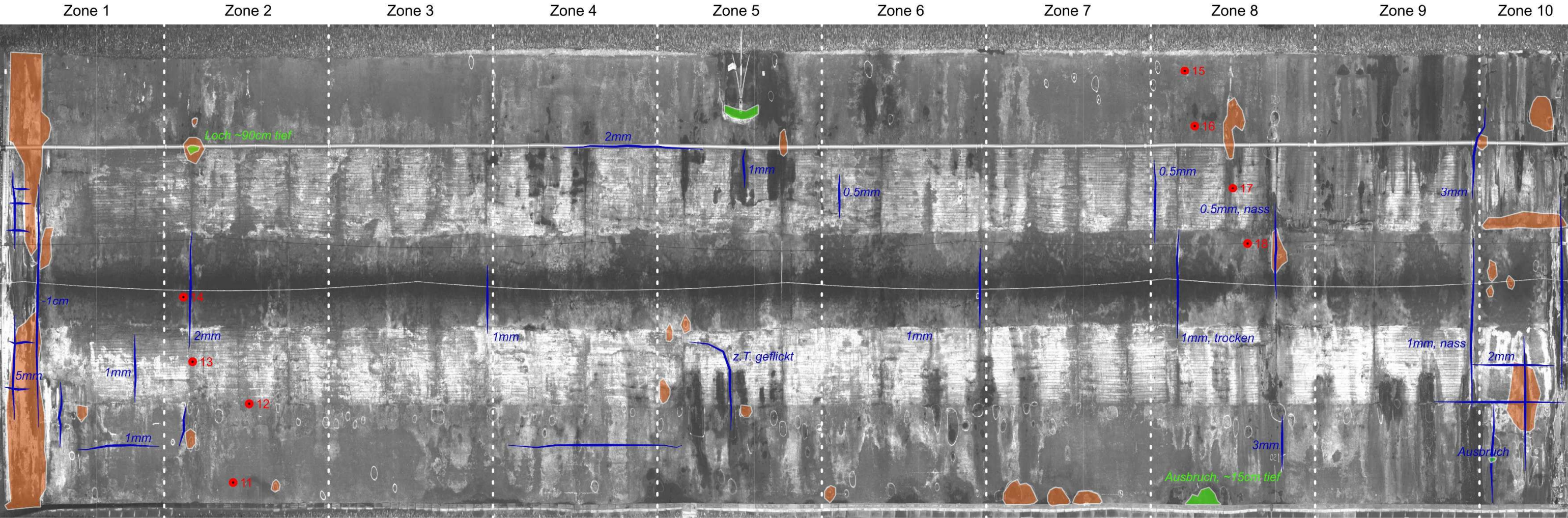
Dr. Giuliano Krättli

Ph. Rück

Dr. Philipp Rück



4. Untersuchungsprotokolle
Aufnahme der Schäden, Probenstandorte



Portal Biglen

Portal Grosshöchstetten

- Hohlstellen
- Loch / Ausbruch
- Risse (inkl. Breite in mm)
- Kernbohrung

Grosshöchstetten II -Tunnel, Zonen 1 - 10
Gewölbeabwicklung, 1:200/100

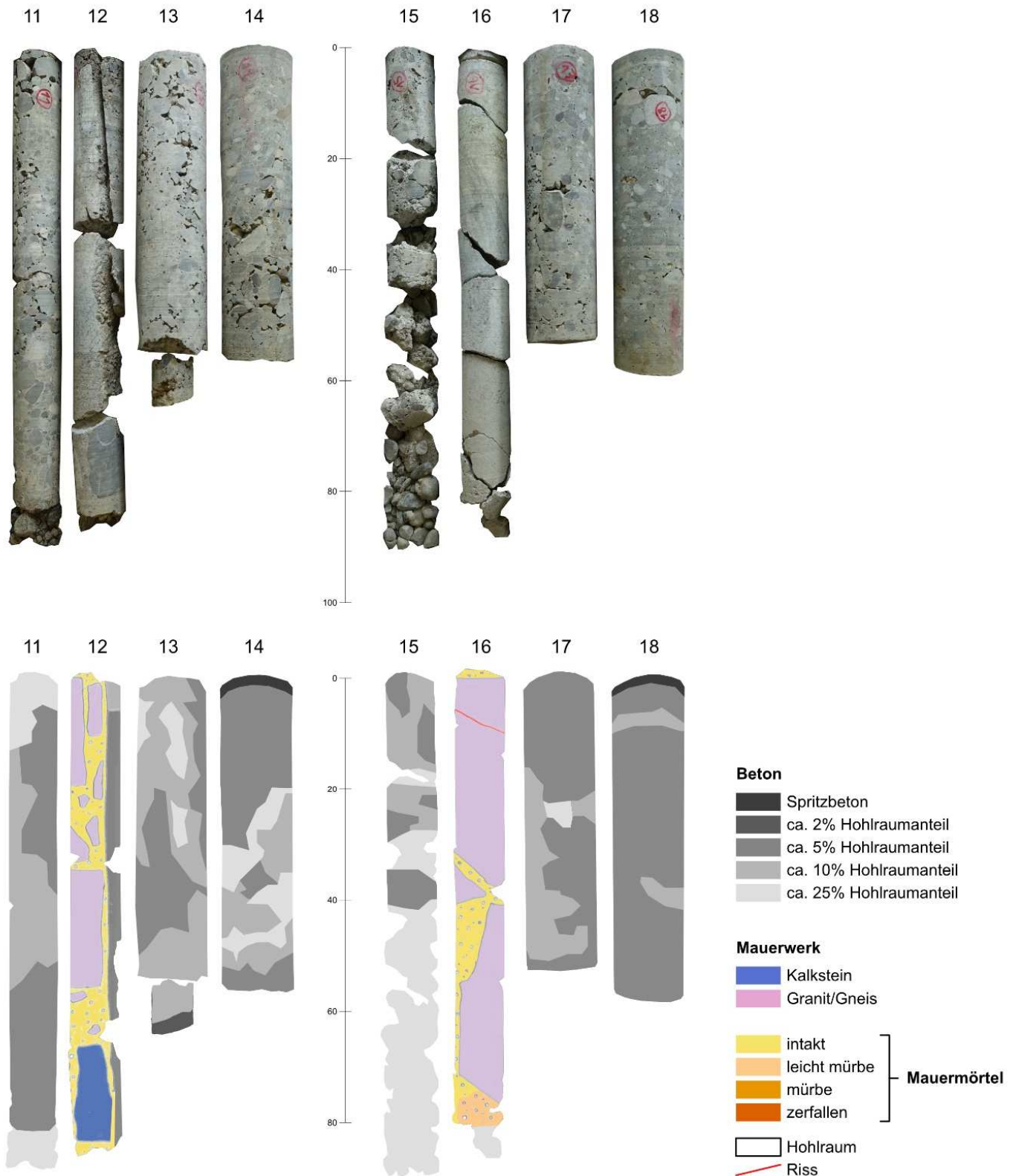


Bohrkernliste die Position der Bohrkerne kann dem Plan entnommen werden

Nr.	Durchmesser (mm)	Länge (cm)	Material (Materialstärke cm)	Bauteil	Hintergrund
11	100	89	Stampfbeton (89)	Parament	Kies/Sand
12	100	86	Stampfbeton (86) Mörtel Naturstein (86)	Widerlager	Rundes Geröll (> 5 cm), Kies
13	150	63	Stampfbeton/ Ortbeton (63)	Gewölbeviertel	Rundes Geröll (> 5 cm), lehmige Erde
14	150	57	Spritzbeton (1) Stampfbeton/ Ortbeton (56)	Gewölbescheitel	Rundes Kies, lehmige Erde
15	100	90	Stampfbeton (90)	Parament	Rundes Kies, lehmige Erde
16	100	88	Mörtel Naturstein (88)	Widerlager	Sand
17	150	56	Stampfbeton/ Ortbeton (56)	Gewölbeviertel	Kies, lehmige Erde
18	150	60	Spritzbeton (1) Stampfbeton/ Ortbeton (59)	Gewölbescheitel	Rundes Geröll (< 5 cm), Kies, lehmige Erde



Aufzeichnung der Bohrkerne





Fotographische Dokumentation

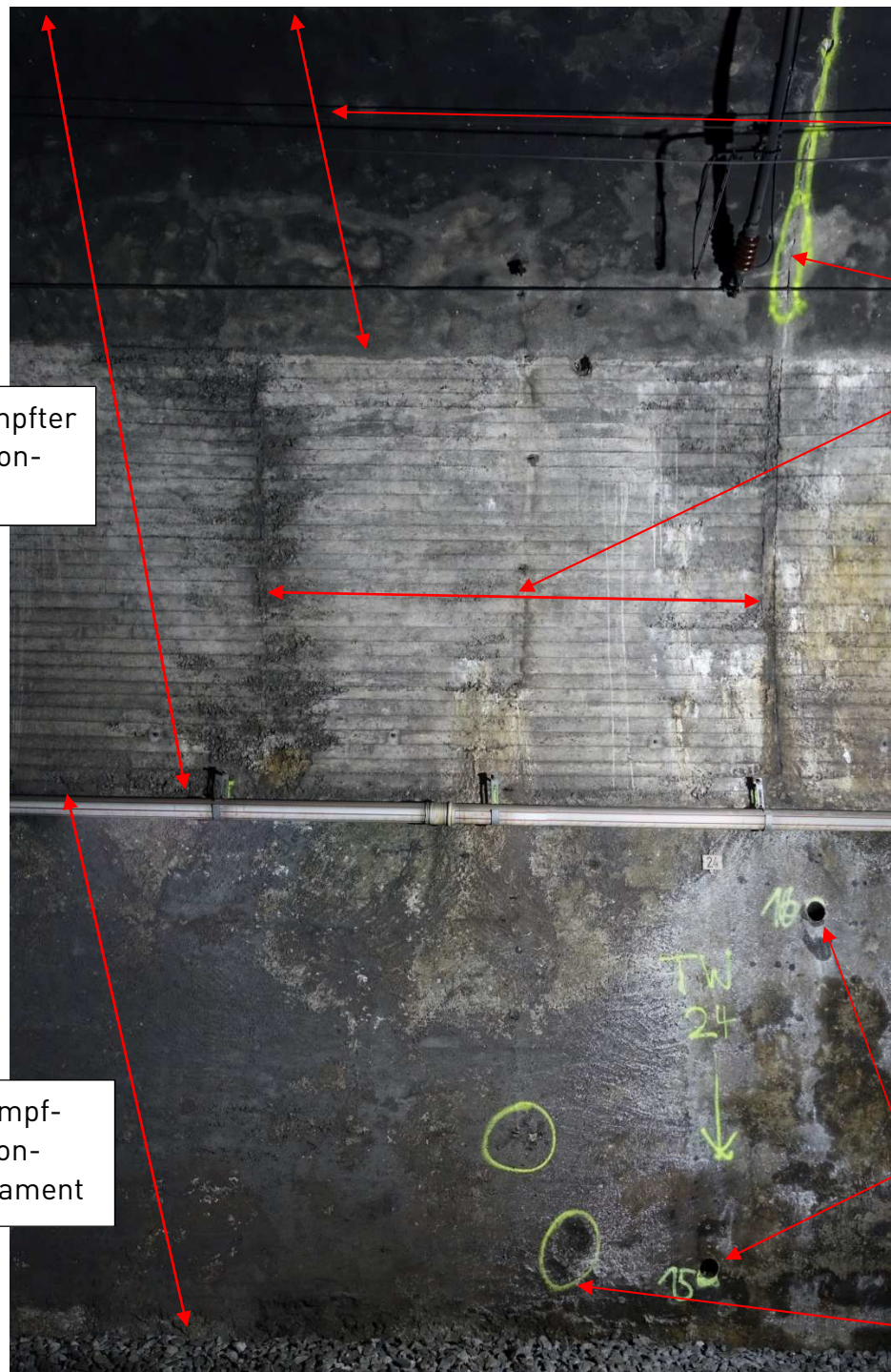


Foto 1
Zone 8

Scheitelbereich mit
Spritzbetonüberzug (1932)

Radiale Risse folgen oft
den Arbeitsfugen in den
Spritzbetonüberzug

Schalungs/Betonier-
etappen mit Arbeitsfugen
ca. alle 3 m

In der Mitte der Etappen
ist der Beton an der
Sichtfläche dichter, den
Arbeitsfugen zu ist er
magerer, Kiesnester
verbreiteter

Verputzte
Stampfbetonparamente
Teils mit grossen
Gneisblöcken (BK16)

Am Übergang finden sich
teils Mauersteine aus
Naturstein (Gneis/Granit)

Bohrkernentnahme

Viele der angezeichneten
Hohlstellen? werden nicht
bestätigt

gestampfter
Ortbeton-
bogen

Stampf-
beton-
parament



Fotographische Dokumentation



Foto 2
Zone 8

Ausbruch/Kiesnest

An der tiefsten Stelle etwa 15 cm tief



Foto 3
Zone 5

Ausbruch/Kiesnest

An der tiefsten Stelle etwa 10 cm tief



Foto 4
Zone 2

Widerlagerbereich, an dieser Stelle gibt es ein Loch, dass bis hinter das Mauerwerk reicht.
Aus den Bohrkernen wird klar, dass Teile in Widerlagerhöhe auch mit Natursteinen gemauert wurden

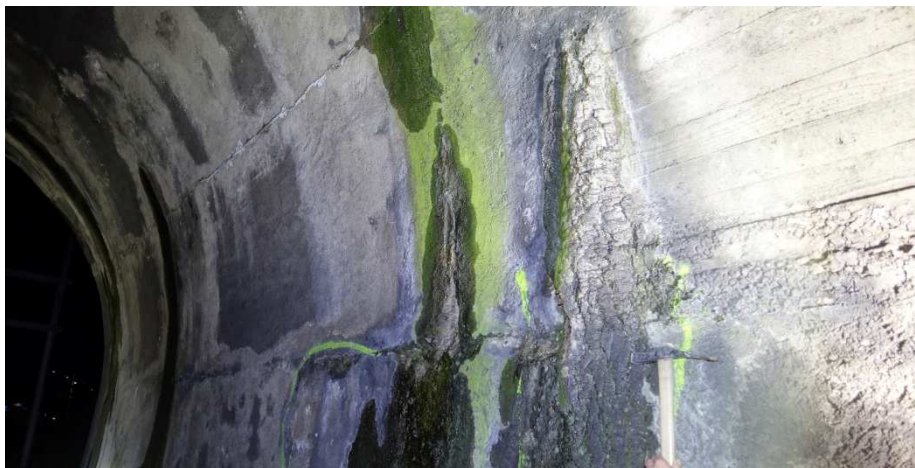


Foto 5
Zone 10

Grössere Versinterung

Versinterungen sind Zeichen für einen gewissen Wasserdurchsatz

Abgesehen von dieser Stelle sind nur relativ dünne, meist trockene Versinterungen aufgefallen



Fotographische Dokumentation



Foto 6
Bohrkernentnahme BK14
Scheitel Zone 2

Dichter Beton

Intakter Kontakt

Spritzbeton

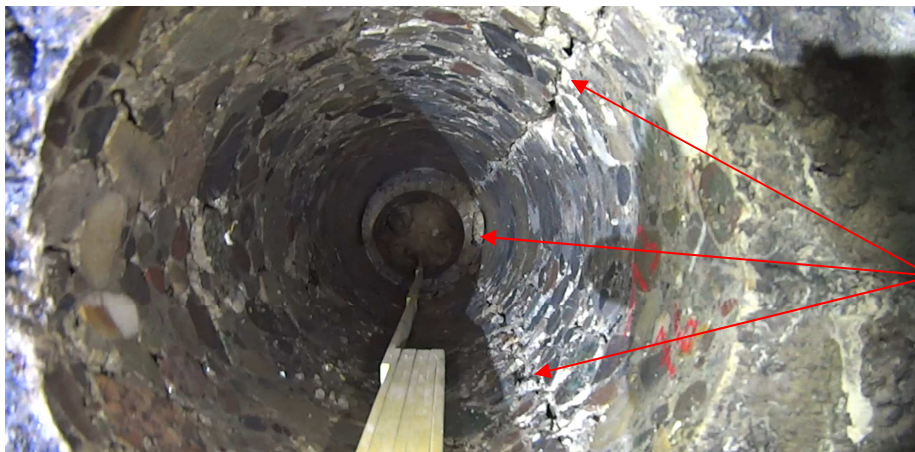


Foto 7
Bohrkernentnahme BK15
Scheitel Zone 8

Der Bohrkern wurde am
 Übergang zwischen 2
 Betonieretappen entnommen

Arbeitsfuge



Bild 1
Luftbild der Situation über
dem Tunnel

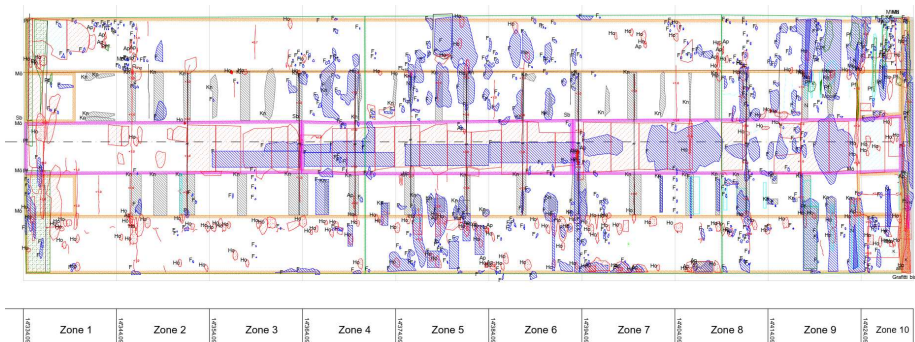


Bild 6
Schadenkartierung von
Amberg Engineering aus
dem 2016
 Feucht/Nassstellen in blau
 Diese korrelieren teilweise
 mit der Situation darüber

K201 Druckfestigkeit Bohrkernproben

Prüfung Beton gemäss EN 12504-1



Probe	Entnahmetiefe cm	Druckfestigkeit N/mm ²	Rohdichte kg/m ³
Stampf/Ortbeton Bogen			
14.1	50	18.61	2169
17.1	20	30.34	2254
18.5	30	54.75	2405
Mittelwert		34.57	2276
Stampfbeton Paramente			
11.1	50	26.09	2282
11.2	70	49.03	2384
15.1	15	23.52	2224
Mittelwert		32.88	2297
Mittelwert Stampfbeton zusammen		33.72 ± 13.41	2287 ± 84
Spritzbeton Scheitel (1932)			
18.1	2	23.48	2225
18.2	2	109.72	2190
18.3	2	81.27	2135
Mittelwert		71.49	2183
Gneis			
12.1	50	305.43	2607
16.1	20	233.37	2659
16.2	60	111.92	2548
Mittelwert		216.91	2605
Mörtel			
12.2	60	48.17	2023
12.3	70	21.19	1954
12.4	80	46.05	1992
16.4	80	49.11	1982
Mittelwert		41.13	1988

P301 Poren-Sättigungskennwerte

Prüfkondition: A5/AV



Probe	Kapillar- porosität [Vol.%]	Gesamt- porosität [Vol.%]	Hohlraum- gehalt [Vol.%]	Trocken- rohdichte [kg/m³]	S-Wert [-]
Stampf/Ortbeton Scheitelbereich					
18.6	7.98	10.88	2.90	2363	0.73
Spritzbeton Scheitel (1932)					
14.2	13.59	16.20	2.62	2240	0.84
Gneis					
16.3	1.25	1.34	0.08	2603	0.94
Mauermörtel					
12.5	15.10	18.80	3.70	2102	0.80



M102 Mikroskopische Beobachtungen

Bohrkern Nr. / Probe Nr.	Material und Beobachtungstiefe	Beobachtungen
12.6	Mauerstein Mörtel	<u>Mauerstein:</u> Gesteinsart: Gneis (Typ Aaregranit, stärker überprägt) Zusammensetzung: Quarz / Feldspat/ Biotit (deutlich chloritisiert) Kornform / Korngrösse: Eckig, bis 10 mm Gefüge: kompakt Kapillarporosität: niedrig Makroporen: keine Gefügeschäden: keine <u>Mörtel:</u> Bindemittel: PC Zuschlag: silikatisch und karbonatisch, kantig bis gerundet, 0 - 5 mm Mischung: ausgewogen Gefüge: kompakt Kapillarporosität: eher hoch Makroporen: etliche Poren bis 1.5 mm Gefügeschäden: keine
15.2	Beton	<u>Beton:</u> Bindemittel: PC Zuschlag: silikatisch, karbonatisch, lithische Fragmente, 0.2 - 20 mm Mischung: ausgewogen Gefüge: kompakt Kapillarporosität: Im Bindemittel mittel Makroporen: wenige grössere Poren bis 4 mm Gefügeschäden: keine
18.7	Spritzbeton Beton	<u>Spritzbeton:</u> Bindemittel: PC Zuschlag: silikatisch, karbonatisch, lithische Fragmente, 0 - 1 mm, Mischung: mager Gefüge: kompakt Kapillarporosität: mittel Makroporen: viele kleine Poren bis 0.3 mm, Sandnester Gefügeschäden: keine Verbund: gut (zum Beton), am Kontakt fetter, weniger Hohlräume <u>Beton:</u> Wie DS 15.2 Dem Kontakt zu feiner