

3 Erfahrungen einer Grossbaustelle mit Betonprüfungen am Beispiel des Sanierungstunnels Belchen

Gianluca Gnädinger, IG BL-STB, Emch+Berger AG Bern

Sebastian Böheim, IG BL-STB, ILF Beratende Ingenieure AG



Erfahrungen einer Grossbaustelle mit Betonprüfungen am Beispiel des Sanierungstunnels Belchen

Gianluca Gnädinger
IG BL-STB, Emch+Berger AG Bern

Sebastian Böheim
IG BL-STB, ILF Beratende Ingenieure AG



Betontag 2020
TFB Wildegg



Das Forum für Wissenstransfer der Baubranche

Erfahrungen einer Grossbaustelle mit Betonprüfungen am Beispiel des Sanierungstunnels Belchen 1



Inhalt

- Überblick Projekt Sanierungstunnel Belchen (STB)
- Spezielle Randbedingungen für Beton am Belchen
- Betonanforderungen, Vorversuche, Kontrollplan
- Umsetzung in der Ausführung
- Betonprüfungen, Prüfergebnisse
- Empfehlungen

Erfahrungen einer Grossbaustelle mit Betonprüfungen am Beispiel des Sanierungstunnels Belchen 2

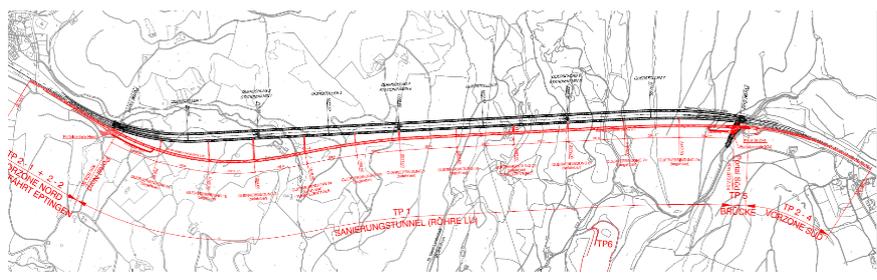
BAU UND WISSEN

Überblick Projekt Sanierungstunnel Belchen



■ Technische Daten:

• Lage:	N02 Kt. BL - SO
• Gesamtlänge:	3'177 m
• Achsabstand zu best. Röhre:	40 bis 110 m
• Überdeckung	max. 360 m
• Ausbaugeschwindigkeit:	100 km/h



Erfahrungen einer Grossbaustelle mit Betonprüfungen am Beispiel des Sanierungstunnels Belchen

3

Der neue Sanierungstunnel (STB) quert das Juragebirge mit einer Länge von 3,2km und verläuft im Süden parallel zur bestehenden Weströhre in einem Achsabstand von ca. 40m. Damit die geforderten Überdeckungen um möglichen Quellhebungen zu begegnen gewährleistet sind, weist der neue STB im nördlichen Abschnitt eine lange Kurve ($R=1'250m$) mit einem daraus resultierenden vergrösserten Achsabstand von ca. 116m zur bestehenden Weströhre auf und mündet mit einem Achsabstand von ca. 19m am Nordportal wieder in die bestehende Vorzone ein.

Mit dem Abschluss der Arbeiten am STB wird der Verkehr, entsprechend den Erfordernissen für weitere Sanierungsmassnahmen der bestehenden Tunnelröhren, wahlweise durch zwei der drei Röhren geführt. Die zeitgleiche Nutzung aller drei Röhren, und eine damit verbundene Kapazitätserhöhung, ist nicht vorgesehen.

BAU UND WISSEN

Randbedingungen für Beton am Belchen



Quelle: Aegerter & Bosshardt AG

Erfahrungen einer Grossbaustelle mit Betonprüfungen am Beispiel des Sanierungstunnels Belchen

4

Im Dezember 1970 wurde das Teilstück der A2 mit dem Belchentunnel dem Verkehr übergeben. Aufgrund der mit dem Bau bereits entstandenen Schäden wurde seit der Eröffnung des Tunnels der Zustand beider Röhren periodisch erfasst. Bald stellte man eine sukzessive Zunahme der Schadstellen an Tunneltragelementen fest. Zu den bereits installierten Messungen wurden zusätzliche Messquerschnitte im Tunnel installiert, um die Entwicklung der Schäden verfolgen und deren Ursache besser verstehen zu können.

Die Auswertung der Schadensbilder und der laufenden Messungen zeigten deutlich, dass die fortschreitende Quelldruckentwicklung im Gipskeuper (Anhydrit) und Opalinuston zu einer zunehmenden Überlastung der Tunneltragelemente führt. Die Messungen zeigten weiter, dass es keine Hinweise gibt, die auf eine Beruhigung der Quelldruckentwicklung hinweisen.

Mitte der 1990 Jahre wurden intensive Projekt- und Variantenstudien durchgeführt um die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit langfristig sicherzustellen.

In den Jahren 2000 – 2003 wurden die grössten sichtbaren Schäden am Tunnelgewölbe sowie der Strassenbelag und der Bankettbereich saniert.

Die Gewährleistung einer langfristigen Verkehrssicherheit ist nur mit einer nachhaltig wirksamen Gesamterneuerung der Tragstruktur in den quellhaften Gesteinsstrecken gegeben. Eine solche Sanierung ist nur mit einer Totsperrung einer Röhre über mehrere Jahre möglich. Da dies aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens nicht durchführbar ist, wurde entschieden eine dritte Tunnelröhre zu erstellen, den Sanierungstunnel Belchen (STB).

BAU UND WISSEN

Randbedingungen für Beton am Belchen

- Geologie des Faltenjuras, Gipskeuper:
 - Quellfähig: Hohe Quelldrücke bei behindertem Quellen
 - Bergwasser: Hoher Sulfatgehalt (bis zu 3'000 mg/l)
Mittlerer Chloridgehalt

Bohrkern best. Sohlgewölbe Röhre BS. Sulfatgehalt bis zu 4.7%

1 Hohlstellen im Firstbereich

2 Deformation Zwischenwand

3 Risse im Gewölbe

4 Abplatzungen im Parament

5 Risse und Abscherungen Sohlgewölbe

Quelle: IG BZI

Belchentunnel

Erfahrungen einer Grossbaustelle mit Betonprüfungen am Beispiel des Sanierungstunnels Belchen

5

Die oben beschriebenen geologischen Verhältnisse stehen im direkten Kontext mit den vorliegenden hydrogeologischen Verhältnisse. Messungen zeigen in den bestehenden Tunnelröhren einen massiven Sulfatangriff sowie die beschriebenen strukturelle Schäden an der Bauwerkssubstanz.

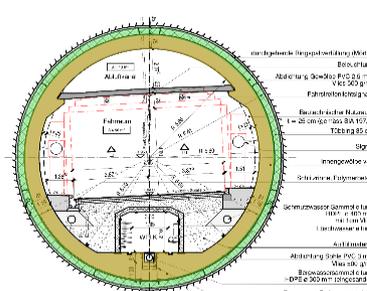
Der Bergwasserchemismus zeigt einen Sulfatgehalt von max. 3'000 mg/l gemessen im Bergwasser, einen ph-Wert von 7-11, Mg+2 von 300 mg/l und einen Natriumgehalt von bis knapp 3'000 mg/l.

Bei den Sohlbohrungen im 2018 wurden im Grenzbereich zwischen Felsoberfläche und Betonsohlgewölbe oft weisse Einlagerungen angetroffen, welche teilweise bis zu 10cm in den Betonkörper eingedrungen sind. Analysen im Labor zeigten, dass die Sulfatwerte zwischen 0.8 - 4.7% und Gipswerte zwischen 1.5 - 8.4% liegen. Teilweise verlor der Bohrkern jeglichen Betonstruktur und zerfiel in kohasionslose Komponenten.

BAU UND WISSEN

Betonanforderungen, Vorversuche, Kontrollplan

- **Betonanforderungen:**
 - Beton nach Eigenschaften SN EN 206-1
 - Erhöhte Anforderungen an B2 und B12
 - Zement mit hohem Sulfatwiderstand
 - Weitere (Nachbehandlung, Tübbingbeschichtung, Oberflächenbeschichtung)
- **Vorversuche:**
 - Vorversuche bei der TFB AG Wildegg in der Phase Detailprojekt
- **Kontrollplan Beton:**
 - Installation und Betrieb Baustellenlabor mit Angabe Versuchsfrequenzen



Spalte Nr.	Bauteil	Betonmarke	Expositions-klassen (OH)	Grifftiefe (mm)
2	Sohlgewölbe und Gewölbe PT II und III	C55/67	XC4, XD3, XF4, XA3	32
12	Tübbing-Fertigteile (PT IIIa und IIIb)	C55/67	XC4, XD3, XF4, XA3	32

	Einheit	Suhlgewölbe	Tübbing ¹	Gewölbe
1		2	12	2
10	Chloridmigrationskoeffizient nach SIA 262/1	[10 ⁻¹² m ² /s]		≤ 2
11	Freist-Tausalzstand nach SIA 262/1	[]		Hoch
12	Sulfatwiderstand nach SIA 282/1	[]		Hoch
13	Sulfatpermeation Methode Alpi-Transit	[Ns]		≤ 0.20
14	AAR-Beständigkeit (SIA MB 204/2)	[Ns]		0.20

Erfahrungen einer Grossbaustelle mit Betonprüfungen am Beispiel des Sanierungstunnels Belchen
6

Der massgebende Belastungsfall für die Bemessung der Tragkonstruktion ist ein zu erwartender Quelldruck, aus dem Gipskeuper.

Als Ausbaukonzept wurde gemeinsam mit der Bauherrschaft und einem Expertengremium das Widerstandsprinzip festgelegt. Als Tragelemente wirken dabei der Tübbingring als dauerhaftes tragendes Element, sowie das Innengewölbe selbst.

Mit dem Einbau des Tübbingrings erfolgt ein erster Ringschluss womit dem sich entwickelnden Quelldruck frühzeitig ein Widerstand entgegengesetzt wird. Mit dem zweiten Ringschluss, dem Einbau des Innengewölbes, spätestens 4 Monate nach dem Ausbruch, wirkt der definitive Widerstand (Sandwich-Lösung) dem Quelldrücken entgegen.

Die Sicherungselemente mit dem Vortrieb wurden im Projektkonzept als dauerhaft mittragend festgelegt. Diese Anforderung galt es auch in der Betontechnologie Rechenschaft zu geben. Infolge der statischen Auslegung auf einen Quelldruck für das Gesamtsystem (Tübbing und Verkleidung) von 4,0 MPa x 1,5 (Lastfaktor) = 6,0 MPa galt es den Tübbingbeton sowie den Verkleidungsbeton entsprechend den Anforderungen zu definieren und auch vorgängig mittels betontechnologischen Vorversuchen zu prüfen.

Als Anforderung wurde für den Tübbingbeton folgende Betonvorgabe definiert:

C55/67, XC4, CD3, XF4, XA3, GK32. Zudem wurden folgende Ausführungsanforderungen mit den Betonvorversuchen und später im Werkvertrag festgelegt:

Max. Kerntemperatur von 65°C, max. Betondifferenz zw. Kern und Oberfläche von 20K, Chloridmigrationskoeffizient nach SIA262/1 von $<2,0 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, Sulfatwiderstand nach SIA262/1 als Hoch sowie nach Alp-Transit <0.20 .

Für die Ausführungstauglichkeit wurde eine Mindestdruckfestigkeit nach 9h mit $>6.0 \text{ N/mm}^2$ für den Verkleidungsbeton festgelegt.

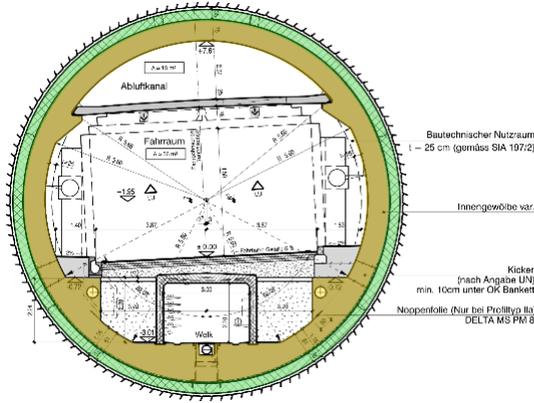
Die Betonvorversuche wurden bis Ende 2011 ausgeführt und bestätigten die sehr hohen Anforderungen, welche jedoch unter «Laborbedingungen» ausgeführt wurden. Es wurden verschiedene Mischungen mit unterschiedlichen Zementsorten gefahren.

Die Resultate und die Vorgaben wurde somit in der Ausschreibung und dem Werkvertrag verankert.

Im Projekt mit berücksichtigt wurde eine zusätzliche Beschichtung mit dem Produkt SIKA Sikagard 65 WN vorgesehen. Die Erfahrungen wurden hier vom SBB Adlertunnel auch für das Projekt STB mitberücksichtigt. Diese Beschichtung galt ausschliesslich der Dauerhaftigkeit des Bauteils gegen den vorliegenden Sulfatangriff.

BAU UND WISSEN

Umsetzung in der Ausführung



Bautechnischer Nutzraum
t = 25 cm (gemäss SIA 107/2)

Innengewölbe var.

Kicker
(nach Angabe UN) min. 10cm unter OK Bankett

Noopenrolle (Nur bei Profiltyp IIa)
DELTA MS PVI 8

■ **Tübbing (B12)**

- Ringteilung 6+1, Länge 2 m, unikon.
- Stärke 35 cm, 29 m³ pro Ring, Total ca. 46'000 m³, 1589 Stk.
- Ausheben aus der Schalung nach 7-9 h bei 25 N/mm²
- Stab- und Faserbewehrung
- Typ L, M, S (beschichtet)

■ **Verkleidung (B2/B1)**

- Blocklänge 10 m
- Sohlgewölbe, Stärke 40 – 110 cm, bis zu 140 m³/Block, Total 45'000 m³
- Gewölbe inkl. Kicker, Stärke 40 – 75 cm, bis zu 195 m³/Block, Total ca. 55'000 m³
- Ausschalen nach 7-10 h
- 3 Tage passive Nachbehandlung

Erfahrungen einer Grossbaustelle mit Betonprüfungen am Beispiel des Sanierungstunnels Belchen

7

BAU UND WISSEN

Umsetzung in der Ausführung

- **AVOR-Phase STB**
 - Werkvertrag August 2014 – Vorversuche B12 (Tübbing) ab Herbst 2014
 - Start Tübbingproduktion im Sommer 2015 – Anlieferung ab Februar 2016
 - Vorversuche B2 (Verkleidung) ab Sommer 2015 – Produktion ab Sommer 2016
- **Betonproduktion**
 - B12 (Tübbing): Fabrikation extern, Klus
 - B2 (Verkleidung): zertifizierte Betonproduktion vor Ort, STB
- **Umsetzung Vorversuche auf Rezeptur der Baustelle**
 - B12 (Tübbing): Herausforderung Frühfestigkeit / Ausschallfrist
 - B2 (Verkleidung): Herausforderung Chloridmigrationskoeffizient / Temperaturentwicklung
- **Prüflabor**
 - Betonlabor extern, beauftragt durch AMB, Zertifizierung massgebend



Quelle: Marti Tunnel AG, Mosserdorf, 2019

Erfahrungen einer Grossbaustelle mit Betonprüfungen am Beispiel des Sanierungstunnels Belchen

8

Vorversuche:

Gewölbe B2: CEM II/A-D 52.5R

Tübbing B12: CEM III/B 42.5 L-LH HS

Ausführung:

Gewölbe B2: CEM II/B-M (S-T) 42,5 R (Holcim Robusto 4R-S)

Tübbing B12: CEM II/A-D 52,5 R (Holcim Fortico 5R)

Tübbing => Für die Produktion erforderliche Frühfestigkeit konnte mit Rezeptur gem. Vorversuche nicht erreicht werden.

Gewölbe => Temperaturentwicklung kann eingehalten werden (max. 65°C), Chloridmigrationswert grenzwertig



Erfahrungen einer Grossbaustelle mit Betonprüfungen am Beispiel des Sanierungstunnels Belchen

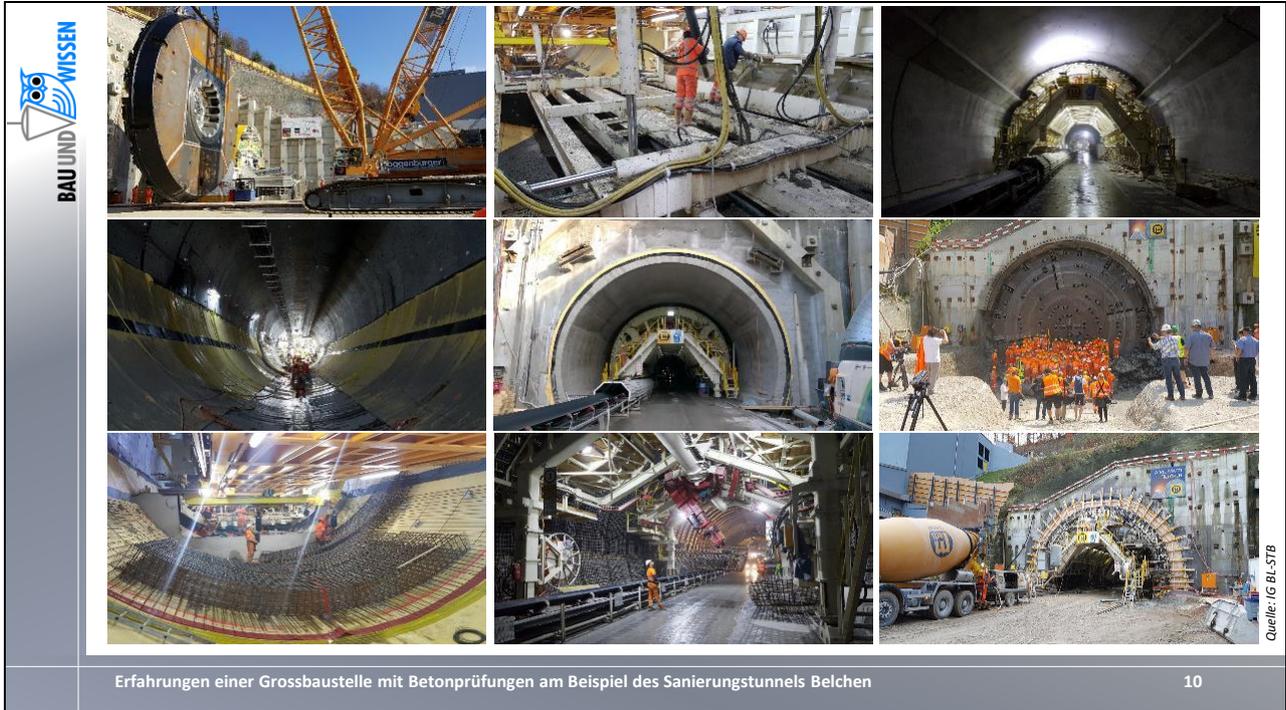
Von oben links nach unten rechts:

Tübbinglager Klus

Übersicht Installationsplatz auf der Westseite des Südportals STB

Tübbingzwischenlager auf der Ostseite des Südportals STB

Übersicht Installationsplatz mit Blick Richtung Nord – im Zentrum die Betonanlage vom Typ Marcantonini mit einer Leistung von 65 m³/h.



Erfahrungen einer Grossbaustelle mit Betonprüfungen am Beispiel des Sanierungstunnels Belchen

Von oben links nach unten rechts:

Einheben des Bohrkopfs der TBM-S

Betoniervorgang im Sohlgewölbe

Ausgeschalter Gewölbeblock

Paramentabdichtung ohne Sohlenschluss für Durchfahrt zur TBM

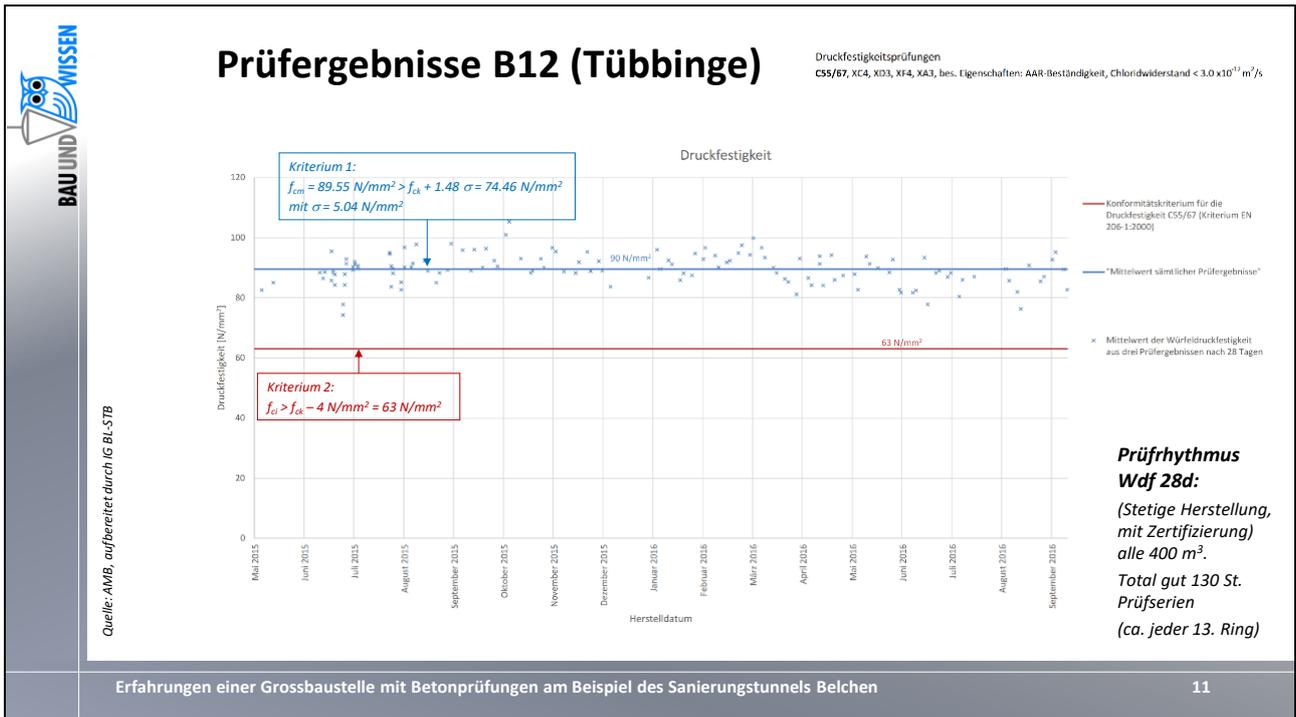
Gewölbeschalung mit Förderband (im Betrieb)

Durchstich STB 21.06.2017

Verlegen der vorgefertigten Bewehrungskörbe im Sohlgewölbe

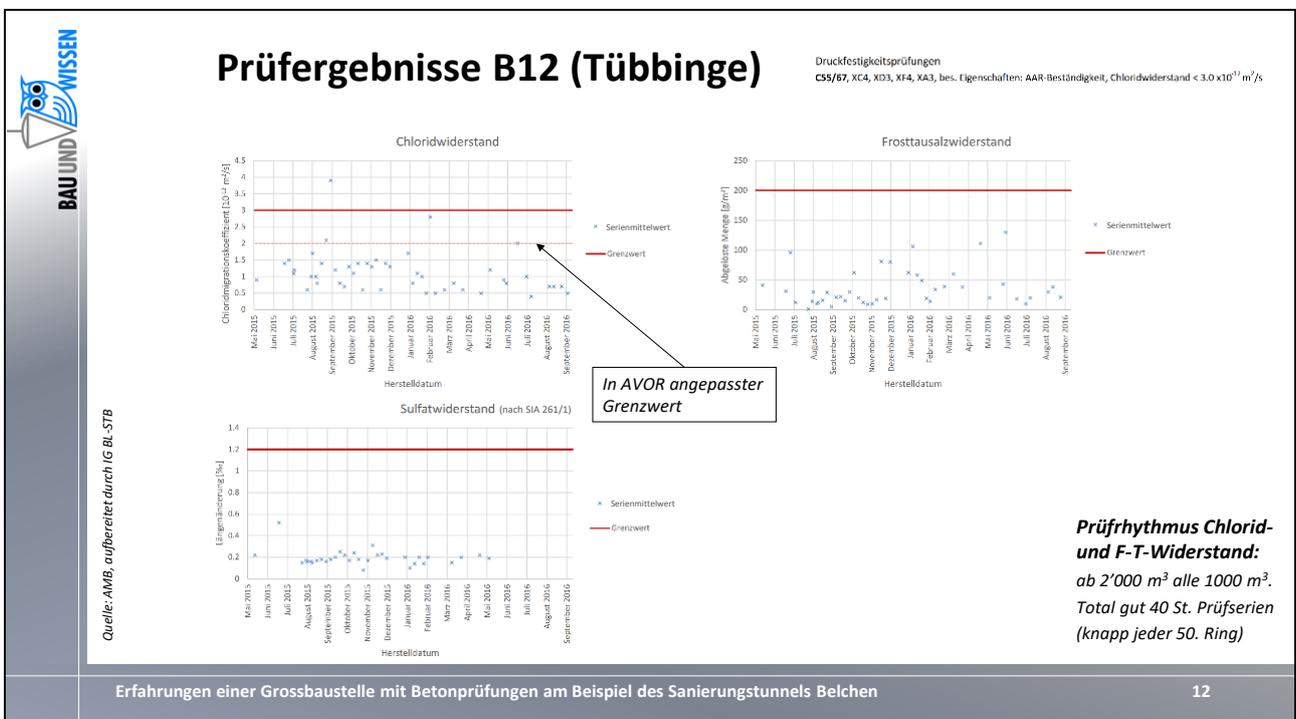
Verlegen der vorgefertigten Bewehrungskörbe im Gewölbe

Betonage letzter Gewölbeblock



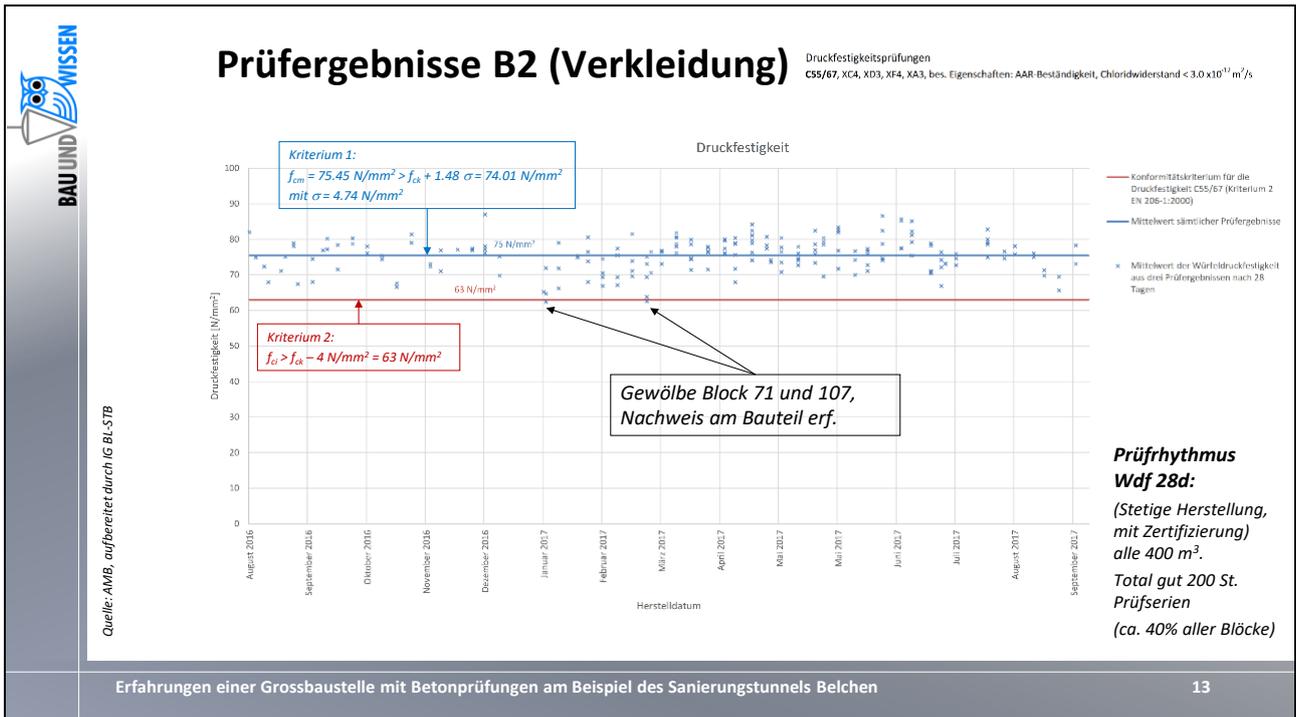
Bei der Tübingproduktion wurden sehr hohe 28d - Druckfestigkeitswerte erzielt.

- Anzahl 133 St.
- Minimum 74 MPa
- Maximum 105 MPa
- Mittelwert 89.5 MPa
- Standardabweichung 5.0 MPa



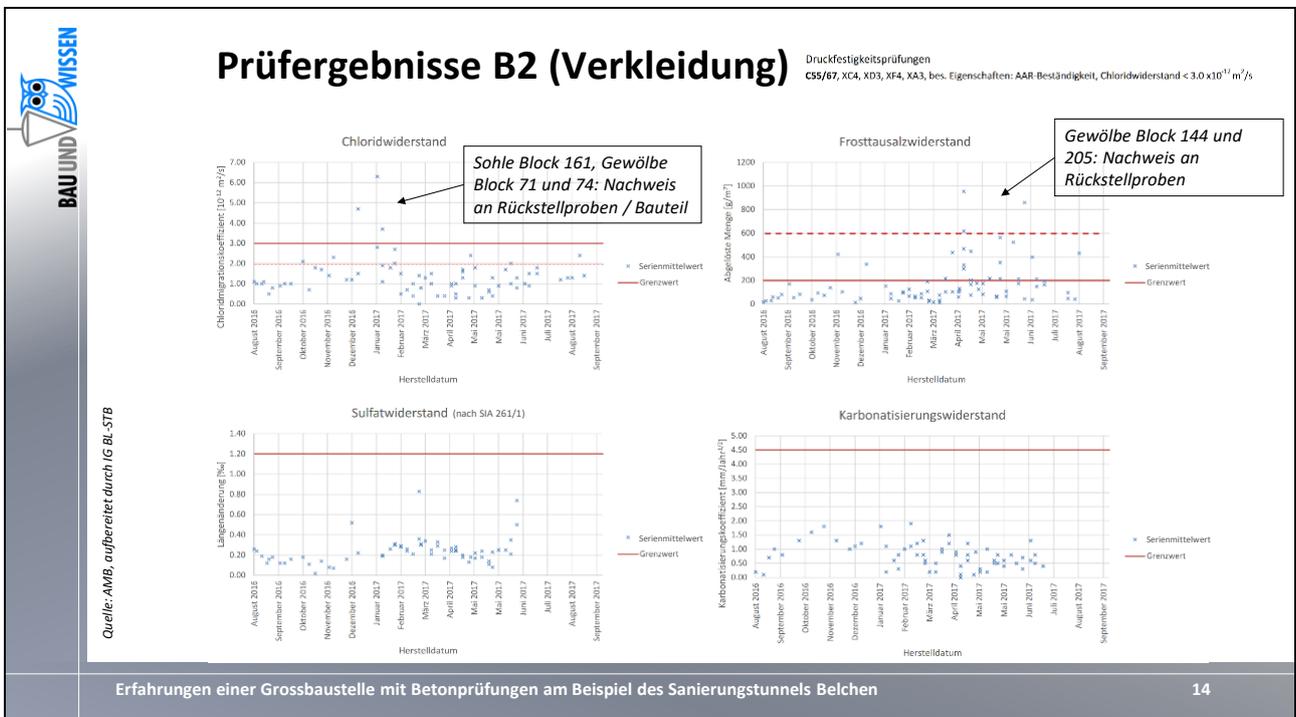
Frostauszwehstand: Grenzwerte für Mittelwert exkl. Grenzabweichung

- Mittelwert Chloridwiderstand: 1.1 m2/s
- Mittelwert F-T-Widerstand: 35.9 g/m2
- Mittelwert Sulfatwiderstand nach SIA 261/1: 0.02 %



Bei der Betonproduktion B2 für die Verkleidung konnte der Konformitätsnachweis ebenfalls erfüllt werden.

- Anzahl 193 St.
- Minimum 62 MPa
- Maximum 87 MPa
- Mittelwert 75.4 MPa
- Standardabweichung 4.7 MPa



Frostauszählwiderstand: Grenzwerte für Mittelwert exkl. Grenzabweichung

- Mittelwert Chloridwiderstand: 1.39 m²/s
- Mittelwert F-T-Widerstand: 169.5 g/m²
- Mittelwert Sulfatwiderstand nach SIA 261/1: 0.024 %
- Mittelwert Karbonatisierungswiderstand: 0.76 mm/Jahr^{1/2}



Empfehlungen

- Submission
 - Abweichung von Normsorten nur in Ausnahmefällen vorsehen
 - Vorversuche durchführen, Randbedingungen der Produktion einbeziehen
 - Zeit für AVOR UN vorsehen inkl. Vergütung
 - Vergütung für ausserordentliche Prüfaufwendungen vorsehen



Empfehlungen

- Ausführung
 - Sitzungsgefäss "AVOR Betontechnologie" hat sich bewährt (BH, OBL, BL, PV, UN)
 - Seitens BL aktiv Ergebnisse Erstversuche einfordern und diskutieren
 - Abweichungen von Submission muss in begründeten Fällen möglich sein (in Rücksprache mit allen Beteiligten)
 - Tübbingproduktion extern und Gewölbebetonproduktion vor Ort haben sich bewährt

BAU UND WISSEN



Dank



 Schweizerische Eidgenossenschaft
 Confédération suisse
 Confederazione Svizzera
 Confederaziun svizra

Bundesamt für Strassen ASTRA
 Office fédéral des routes OFFROU
 Ufficio federale delle strade USTRA


 IG STBelchen


 ARGE MARTI
 BELCHEN


 IG BL-STBelchen

Erfahrungen einer Grossbaustelle mit Betonprüfungen am Beispiel des Sanierungstunnels Belchen

17

3.1 Literatur

Sofern keine andere Quelle angegeben ist, stammen die Bilder und Planausschnitte aus den Projektunterlagen Sanierungstunnel Belchen und sind Eigentum der IG BL-STB.

Sofern keine andere Quelle angegeben ist, stammen die Daten der Prüfergebnisse aus dem Projekt Sanierungstunnel Belchen und wurden durch AMB zur Verfügung gestellt und durch IG BL-STB aufbereitet.

Die Daten und Bilder der vorliegenden Präsentation dürfen ohne Zustimmung der IG BL-STB nicht weiterverwendet werden.

3.2 Kurz-CV

Gianluca Gnädinger

2014 Msc Bauingenieurwissenschaften ETH Zürich
 Seit 2014 Bauleiter und Projektingenieur/-leiter, Emch+Berger Bern AG

Sebastian Böheim

2003 Dipl. Bauingenieur FH
 Seit 2003 ILF Schweiz
 Aktuell Stv. Geschäftsleiter ILF Schweiz