

Tübbinge Bözbergtunnel ***Betontechnologie – Zertifizierung – Logistik***

Emil Woodtli
eidg. dipl. Bauing. ETH/SIA, Owner's Engineer

Emil Woodtli, dipl. Bauing. ETH/SIA

Owner's Engineer Neubau Bözbergtunnel



Ausbildung

- 1990 – 1995 Studium Bauingenieurwesen ETH Zürich
- 1995 Diplom ETH Zürich

Berufslaufbahn

- 2014 Gähler und Partner AG, Abteilungsleiter
- 2012 Tiefbauamt Kt. SZ, Gesamtprojektleiter Neue Axenstrasse
- 2008 Gähler und Partner AG, Abteilungsleiter
- 1999 Dr. Vollenweider AG, Projektleiter / Bauleiter
- 1999 – 2010 ZHAW, Nebenamtlicher Dozent Baukonstruktion, Risiko und Sicherheit
- 1995 ETH Zürich, IBK, Assistent / wissenschaftlicher Mitarbeiter

Tübbinge beim Neubau des Bözbergtunnels

Emil Woodtli

Inhalt

- Projektvorstellung Neubau Bözbergtunnel
- Anforderungen aus dem Baugrund an Tübbingbeton: hohe Festigkeiten, Sulfatbeständigkeit
- Zertifizierung ausserhalb der Schweiz hergestellter Betonelemente nach Schweizer Normen
- Logistik bei Produktion und Anlieferung der Tübbinge

Neubau Bözbergtunnel

Die Verlagerung des alpenquerenden Güterverkehrs von der Strasse auf die Schiene ist eines der Hauptziele der schweizerischen Verkehrspolitik. Damit Sattelaufleger mit einer Eckhöhe von 4 m und einer Breite von bis zu 2,60 m per Bahn die Schweiz durchqueren können, wird der so genannte 4-Meter-Korridor errichtet. Die hierbei grösste Einzelmassnahme ist der Neubau des Bözbergtunnels. Der beste-

hende Tunnel ist seit 1875 in Betrieb und wird durch einen parallel dazu neu erstellten Doppelspurtunnel ersetzt. Die Realisierung des Tunnels wurde als GU+ Mandat (GU inkl. Ausführungsplanung) vergeben. Die Leistungen des Unternehmers (Planung und Ausführung) werden in diesem Vertragsmodell durch den sogenannten Owner's Engineer geprüft (Planung) und überwacht (Ausführung).

Der neue Bözbergtunnel weist eine Länge von 2693 m auf und liegt im geologisch und hydrologisch schwierigen Grenzgebiet zwischen Tafel- und Faltenjura. Im Faltenjura durchquert er unter anderem den Aquifer, welcher die Therme Schinznach speist. Ein grosser Teil des Tunnels verläuft in gering bis stark quellfähigen Gesteinen.

Nach einem ca. 170 m langen Lockergesteinsvortrieb im Schutz eines Rohrschirmes wird die

daran anschliessende Felsstrecke mittels einer Schild-TBM (Ø 12,36 m) und Tübbingausbau aufgefahren. Der Tunnel wird durchgehend zweischalig mit einer Innenschale aus Ortbeton ausgebaut. Die beiden Portalbauwerke werden als Rahmentragwerke erstellt und bilden eine gestalterische Einheit. Der bestehende Tunnel wird nach der im Jahr 2020 vorgesehenen Inbetriebnahme des Neubaus zum Dienst- und Rettungsstollen umgebaut.

Anforderungen aus dem Baugrund an den Tübbingbeton

Der Tunnel durchquert auf einer Länge von ca. 400 m unter anderem den Aquifer, welcher die Therme Schinznach speist. Das in diesem Bereich vorhandene Bergwasser ist hoch mineralisiert (hauptsächlich Kalzium, Natrium, Chlorid, Hydrokarbonat und Sulfat) und übt daher eine chemische Beanspruchung auf den Beton aus.

In den zu durchörternden Gesteinen kann sowohl Tonquellen (u. a. Opalinuston) wie auch Sulfatquellen (Gipskeuper, Anhydrit) auftreten. Durch die langfristig andauernden Quellvorgänge wird die Ausbruchsicherung statisch beansprucht.

Aus diesem Grund wurde verlangt, dass der Tübbingbeton einerseits der Festigkeitsklasse C45/55 sowie der Expositionsklassen XA3 (CH) entsprechen soll.

Zertifizierung ausserhalb der Schweiz hergestellter Betonelemente nach Schweizer Normen

Durch den Umstand, dass der Tunnelbauunternehmer die Tübbinge nicht vor Ort selber produziert, sondern in einem Betonwerk in Deutschland fertigen und anliefern lässt, mussten die entsprechenden Nachweise erbracht werden, dass der verwendete Beton

(inkl. seiner Ausgangsstoffe) erstens den im Projekt formulierten Anforderungen entspricht und zweitens über die erforderliche Zulassung für den Einbau in der Schweiz verfügt. Durch eine umfangreiche Versuchsreihe wurde nachgewiesen, dass mit dem Zement CEM III/A, welcher nach SN EN 197-1 nicht als Zement mit hohem Sulfatwiderstand klassiert ist, ein Beton produziert wird, der den geforderten Expositionsklassen XC2(CH), XD3(CH) und XA3(CH) entspricht. Die Prüfungen hinsichtlich Druckfestigkeit, Chloridwiderstand, Wassereindringtiefe, Wasseraufnahme, Sulfatwiderstand, Widerstand gegen Thaumasit und AAR-Beständigkeit wurden komfortabel erfüllt.

Logistik bei Produktion und Anlieferung der Tübbinge

Die Produktion der Bewehrungskörbe erfolgt hoch automatisiert; die einzelnen Netze werden aus Rollenstahl mittels Roboterschweissungen

gefertigt. Die Netze werden anschliessend auf Lehren händisch zusammenschweisst. Der Betonierprozess erfolgt auf einer Produktionsstrasse mit 20 Schalungen mit Hochfrequenz-Schalungsrüttler. Nach 5–6 Stunden werden die Tübbinge ausgeschalt und zwischengelagert. Der Antransport erfolgt zunächst 430 km per Bahn nach Neuenburg/D, wo die Tübbinge auf Lastwagen umgeladen und die restlichen 80 km bis zur Baustelle auf der Strasse transportiert werden.

Tübbinge Bözbergtunnel Betontechnologie – Zertifizierung – Logistik

- Projekt Neubau Bözbergtunnel
- Anforderungen aus dem Baugrund an Tübbingbeton:
hohe Festigkeiten, Sulfatbeständigkeit
- Zertifizierung ausserhalb der Schweiz hergestellter Betonelemente
nach Schweizer Normen
- Logistik bei Produktion und Anlieferung der Tübbinge

Tübbinge Bözbergtunnel

Betontechnologie – Zertifizierung – Logistik

⇒ Projekt Neubau Bözbergtunnel

- Anforderungen aus dem Baugrund an Tübbingbeton:
hohe Festigkeiten, Sulfatbeständigkeit
- Zertifizierung ausserhalb der Schweiz hergestellter Betonelemente
nach Schweizer Normen
- Logistik bei Produktion und Anlieferung der Tübbinge



Bözbergtunnel: Eröffnung 1875

Projekt Neubau Bözbergtunnel





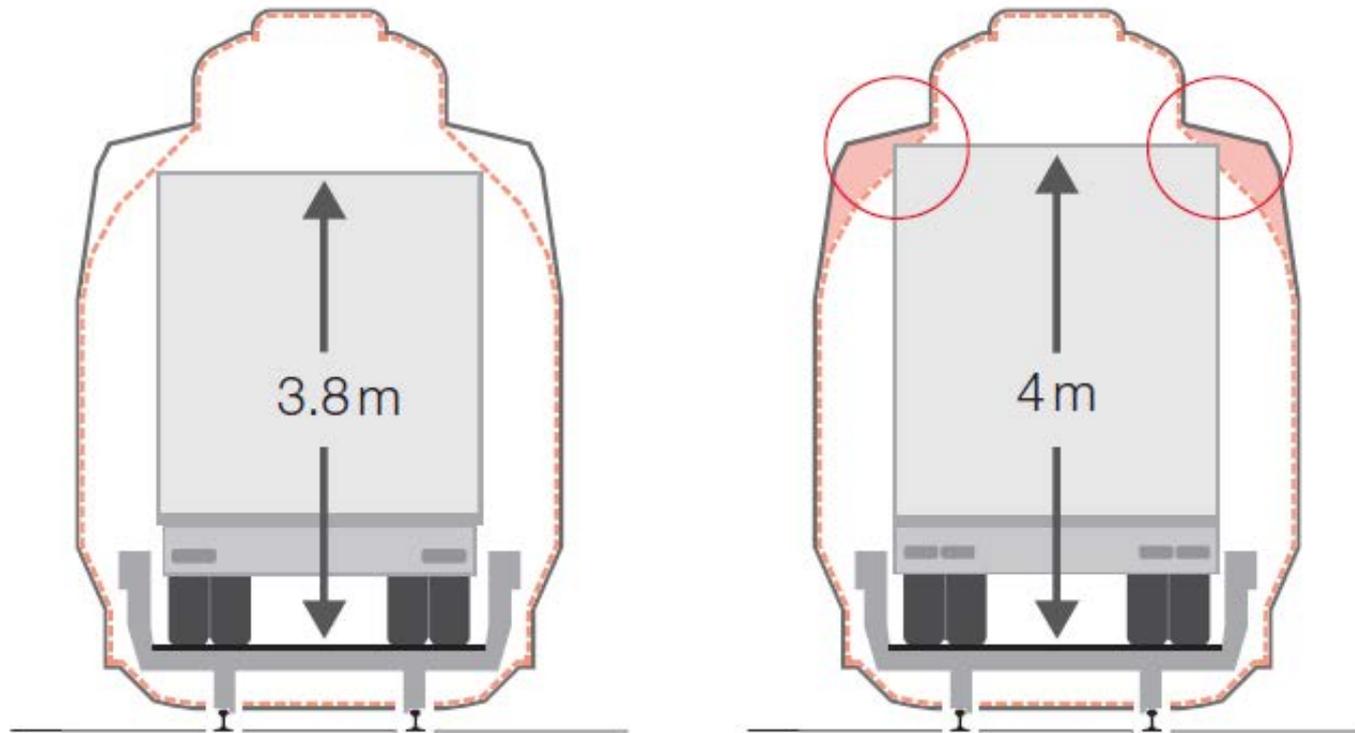
Geografische Lage

Ziele 4-Meter-Korridor

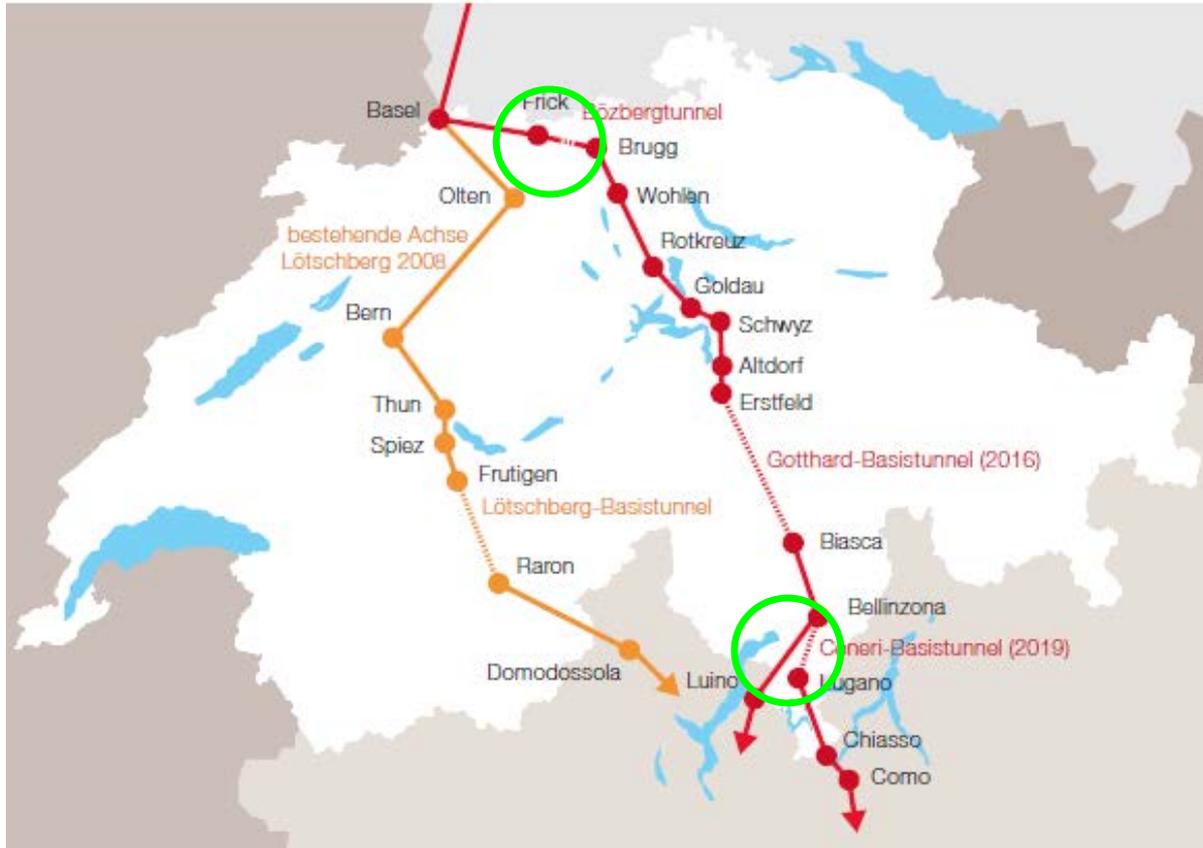
- Umsetzung der Verlagerungspolitik (Reduktion 1,2 Mio. → 0,65 Mio. LW)
- Transport aller europaweit gängigen Umschlagsbehältnisse möglich (Interoperabilität)
- Steigerung Attraktivität des kombinierten Verkehrs
- Reduktion Reisezeit zwischen Deutschschweiz und Tessin/Italien
- Ausbau des Angebots für Personenverkehr (Halbstundentakt zwischen Zürich und Lugano)
- Erhöhung Kapazität auf der Nord-Süd-Achse durch Einsatz von Doppelstockzügen
- Kapazitätserhöhung durch Verkürzung der Zugfolgezeiten



Rhein-Alpen-Korridor 4-Meter-Korridor



4m-K: Transport von Sattelaufliegern mit 4m Eckhöhe möglich



oberste Priorität:
Inbetriebnahme 4mK
Fahrplanwechsel
Dezember 2020

daneben Anpassungen:

- 20 Tunnelobjekte mit ungenügenden Profilverhältnissen
- «Profilhindernisse» auf der offenen Strecke,
- Signalanlagen
- Perrondächer
- Fahrstromanlagen usw.

grösste Einzelmassnahmen 4-m-Korridor: Mt. Ceneri / Bözberg

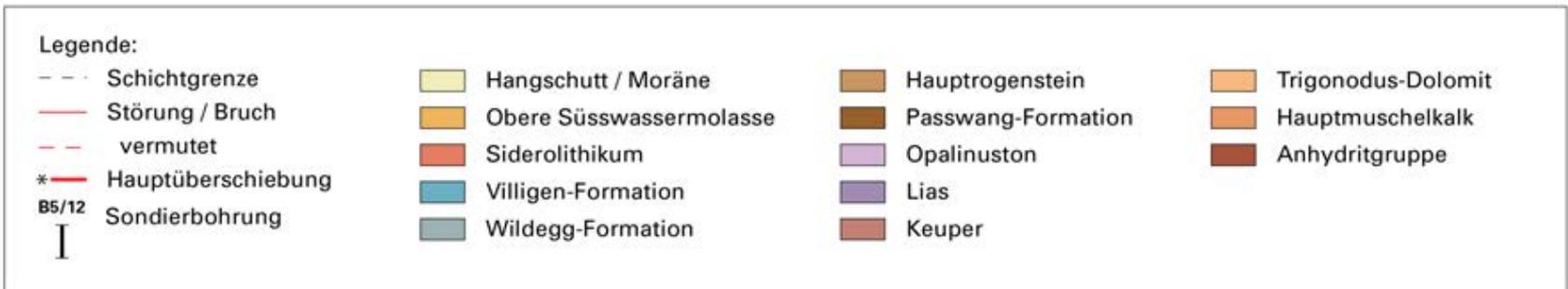
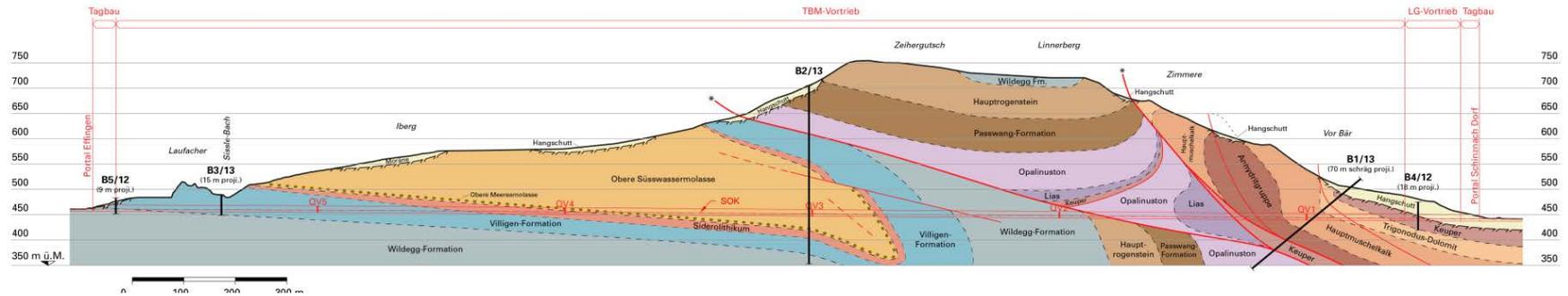
Tübbinge Bözbergtunnel

Betontechnologie – Zertifizierung – Logistik

- Projekt Neubau Bözbergtunnel
- ⇒ **Anforderungen aus dem Baugrund an Tübbingbeton:
hohe Festigkeiten, Sulfatbeständigkeit**
- Zertifizierung ausserhalb der Schweiz hergestellter Betonelemente nach Schweizer Normen
- Logistik bei Produktion und Anlieferung der Tübbinge

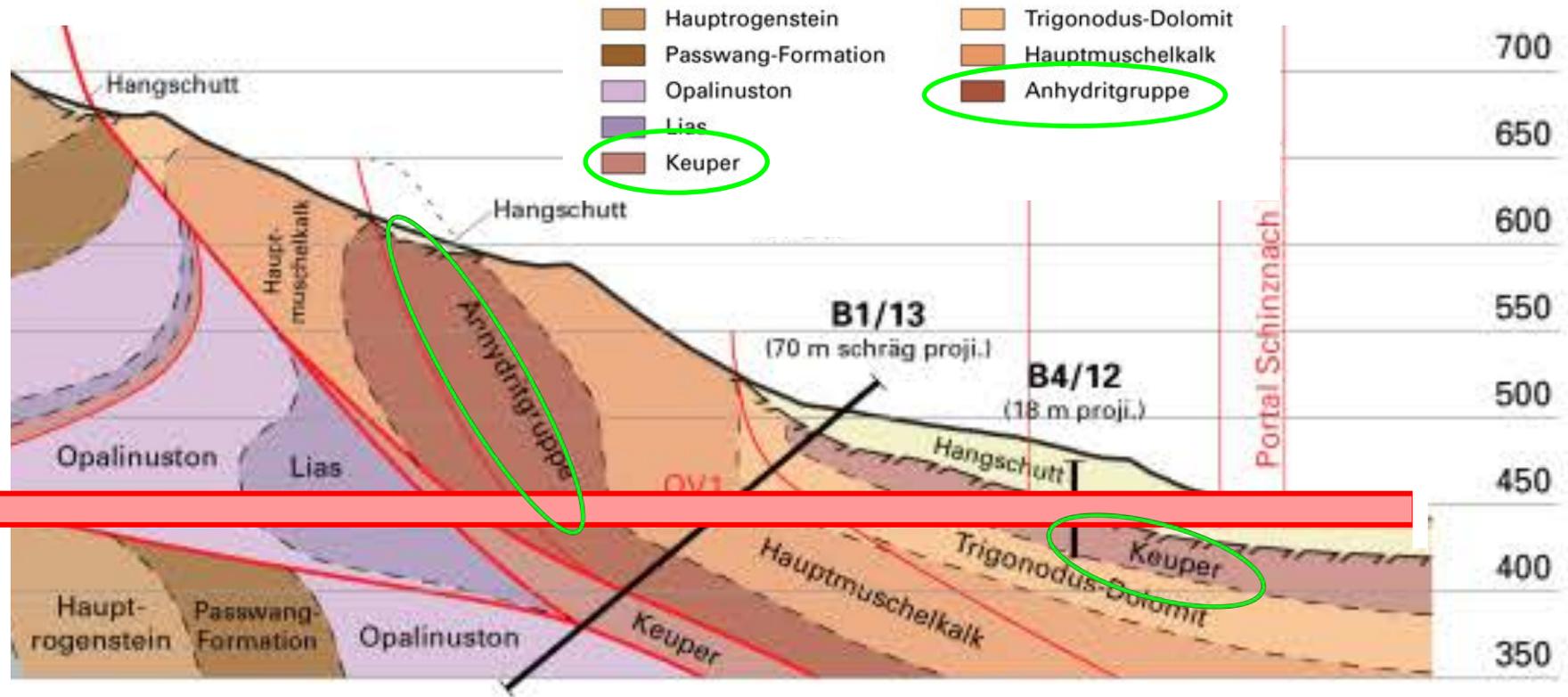
Anforderungen aus dem Baugrund an Tübbingbeton: hohe Festigkeiten, Sulfatbeständigkeit





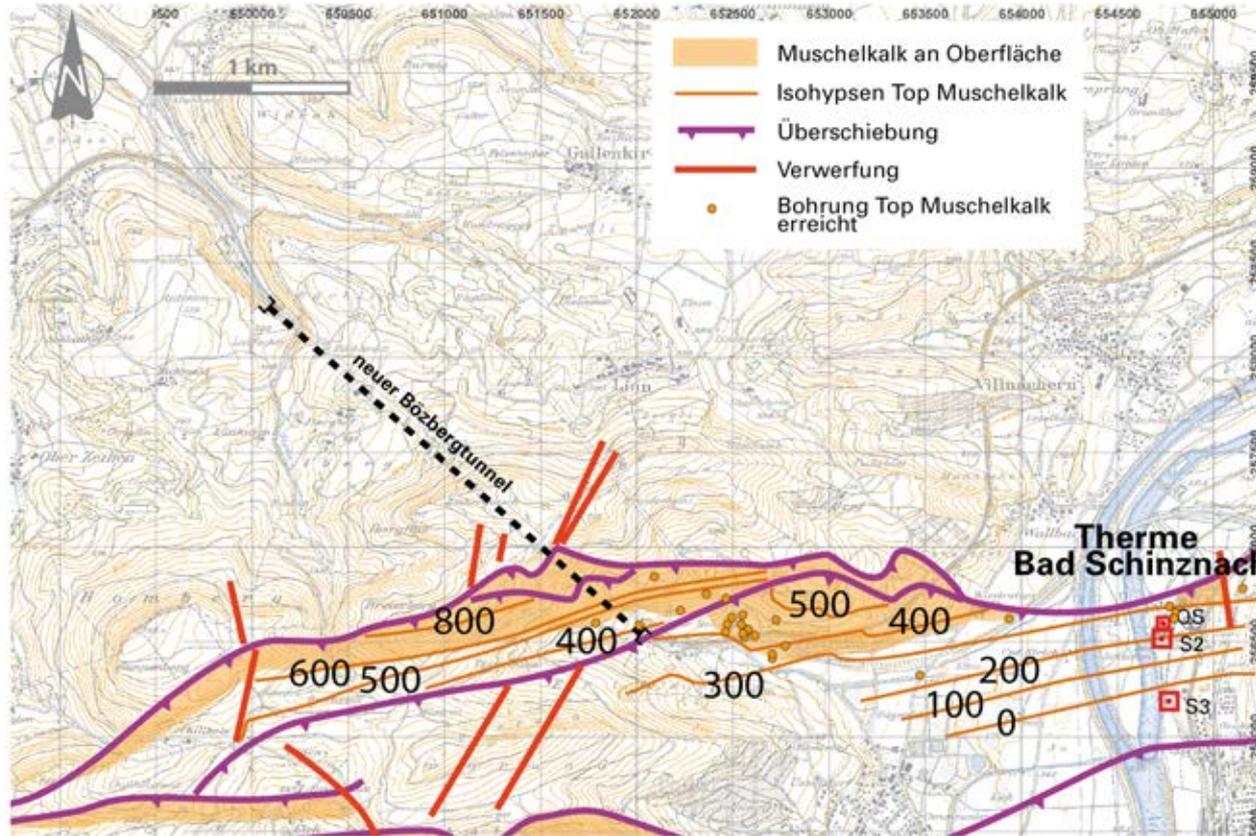
Anspruchsvolle, stark wechselhafte Geologie insbesondere im südlichen Teil des Tunnels

Bözbergtunnel – Anforderungen Tübbingbeton **BETONSUISSE**



Teilweise Ton- und Anhydritquellen

→ **statische Beanspruchung**



Quelle: Dr. von Moos AG

- Therme Bad Schinznach ca. 2.7 km östlich Südportal
- Potentielle Beeinflussung Thermalwasserträger
- Einsprache von Thermenbesitzer beim Bau des A3-Tunnels



Calcium-Natrium-Sulfat-Chlorid-Wasser

Kationen

		mg/l
Ammonium	NH ₄ ⁺	0,24
Lithium	Li ⁺	0,60
Natrium	Na ⁺	370
Kalium	K ⁺	16
Magnesium	Mg ²⁺	83
Calcium	Ca ²⁺	384
Strontium	Sr ²⁺	5,5
Übrige Kationen		0,5
Summe Kationen		859,84

Anionen

Fluorid	F ⁻	2,3
Chlorid	Cl ⁻	525
Bromid	Br ⁻	0,10
Jodid	J ⁻	0,018
Nitrat	NO ₃ ⁻	< 0,05
H ⁺ karbonat	HCO ₃ ⁻	353
Sulfat	SO ₄ ²⁻	1050
Übrige Anionen		0,105
Summe Anionen		1930,573

hoch mineralisiertes Bergwasser

→ chemische Beanspruchung

Geforderte Tübbingbeton-Eigenschaften

Beton nach Eigenschaften:

Betonsorte 198260 nach SN EN 206-1

Festigkeitsklasse:	C45/55
Expositionsclassen:	XC2, XD3, XA3(CH)
D_{\max} :	16 mm
Konsistenzklasse:	F2
Chloridklasse:	0.2



- ⇒ besondere Massnahmen zur Gewährleistung Dauerhaftigkeit
- ⇒ Ausschreibung des Betons nach Eigenschaften
- ⇒ Ausführungskontrollen

Tübbinge Bözbergtunnel

Betontechnologie – Zertifizierung – Logistik

- Projekt Neubau Bözbergtunnel
- Anforderungen aus dem Baugrund an Tübbingbeton:
hohe Festigkeiten, Sulfatbeständigkeit
- ⇒ **Zertifizierung ausserhalb der Schweiz hergestellter Betonelemente nach Schweizer Normen**
- Logistik bei Produktion und Anlieferung der Tübbinge

durch UN GU+ vorgeschlagene Betonrezeptur:

CEM III/A 52,5 N-SR	370 kg/m ³
Flugasche	30 kg/m ³
Wasser	138 kg/m ³
Verflüssiger	3 kg/m ³
Gesteinskörnung 0 - 16 mm	1'898 kg/m ³

Anforderungen an die Betonausgangsstoffe

Zement (aus BB):

- Zement mit hohem Sulfatwiderstand nach SN EN 197-1
- CEM III/A ist nach SN EN 197-1 nicht ein Zement mit hohem Sulfatwiderstand
- weitere Zementarten aufgrund nationaler Zulassungsverfahren sind möglich
- Freigabe: durch eine **Schweizer Zertifizierungsstelle (CH)**

Zulassungsverfahren nach SN EN 197-1 (basiert auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D)

⇒ Nachweis via Volumenänderung in Natriumsulfatlösung

durch eine **Europäische Technische Zulassung ETA (D)**

ETA-12/0389: Sonderzement CEM III/A mit hohem Sulfatwiderstand

⇒ Nachweis via Widerstand gegenüber Bildung Thaumasit



Anforderungen an die Betonausgangsstoffe

Zement:

SN EN 206: Bedingungen für die Expositionsklassen XA1 bis XA3

⇒ sulfatbeständiger Zement

oder

⇒ andere Zemente zulässig sofern:

- Sulfatprüfung nach SIA 262/1, Anhang D nachgewiesen
- regelmässige Sulfatprüfung (Konformitätsnachweis)
- Grenzwert der Längsdehnung 1.0‰ (neue Version der Norm)

SIA

Abweichungen von Normen sind zulässig, wenn sie durch Theorie oder Versuche ausreichend begründet werden oder wenn neue Entwicklungen und Erkenntnisse dies rechtfertigen.



Anforderungen an die Betonausgangsstoffe

Zement:



- ⇒ Nachweis Sulfatwiderstand mit Normprüfung nach SIA 262/1 Anhang D
- ⇒ Projektspezifische Ergänzung/Verschärfung durch Thaumasitprüfung
- ⇒ Europäische Zulassung als Zement mit hohem Sulfatwiderstand vorhanden

In diesem Fall wird der Beton wie ein Beton ohne Zement mit hohem Sulfatwiderstand betrachtet und entsprechend geprüft unter Anwendung des Grenzwertes von 1.0‰ für die Längsdehnung.

Erfolgreiche Sulfatprüfungen -> Antrag OE -> projektspezifische Freigabe Zement XA3 -> Freigabe Bauherr -> Voraussetzung Zertifikat Tübbingproduktion

Anforderungen an die Betonausgangsstoffe

Flugasche:

Flugasche



- ⇒ die Anforderungen der SN EN 450-1 sind zwingend zu erfüllen (Bundesamt für Bauten und Logistik: harmonisierte Norm!)
- ⇒ zusätzliche Schweizer Bedingungen eingehalten und bestätigt (S-Cert)

Anforderungen an die Betonausgangsstoffe

Gesteinskörnung :

aus eigenen Steinbrüchen: Quarzsande und Kalksplitte



- ⇒ Anforderungen DIN EN 12620 und SN EN 12620 sind meist deckungsgleich
- ⇒ nach DIN EN 12620 müssen mehr Eigenschaften geprüft werden
- ⇒ Die Zertifizierung der WPK nach DIN EN 12620 deckt die Schweizer Anforderungen ab
- ⇒ Weder Quarzsand noch Kalksplitt enthalten ungeeignete Anteile (quellfähige, verwitterte, poröse, weiche Körner, Glimmer usw.)
- ⇒ sie können somit ohne Einschränkung verwendet werden

Anforderungen an die Betonausgangsstoffe

Gesteinskörnung :

Alkali-Aggregat-Reaktion

- ⇒ D: aufgrund der petrographischen Zusammensetzung und geographischen Herkunft als unbedenklich klassiert (DAfStb-Richtlinie, 2007, Teil.1)
- ⇒ CH: petrographische Analyse und eine Mikrobar-Prüfung nach SIA 2042 gefordert
- ⇒ Der Beton erfüllt die Kriterien nach SIA Merkblatt 2042 nach 5 Monaten



Anforderungen an die Betonausgangsstoffe

Zusatzmittel / Anmachwasser:

- ⇒ Gemäss SN EN 932-1 und SN EN 932-2 gibt es keine besonderen, zusätzlichen Schweizer Anforderungen für Fließmittel
- ⇒ Gemäss SN EN 1008 gibt es keine besonderen, zusätzlichen Schweizer Anforderungen für das Anmachwasser



Zertifizierung Produktionskontrolle

- ⇒ Die werkseigene Produktionskontrolle (WPK) ist nach DIN 1045-4 zertifiziert
- ⇒ Erweiterung der WPK, damit die Anforderungen der SN EN 206-1 erfüllt sind:
 - ⇒ Die eigene Überwachungsstelle hat die WPK-Erweiterung inspiziert. Die schweizerische Zertifizierungsstelle (S-Cert) hat sie zertifiziert.
 - ⇒ Die Ausführungs- und Qualitätsvorschriften Stahlbeton der SBB (AQV) verlangen eine Zertifizierung durch eine schweizerische Stelle für die Betonproduktion und die Herstellung der Gesteinskörnungen. Mit dem Zertifikat der S-Cert liegt ein Zertifikat einer schweizerischen Stelle vor, so dass auch die Forderung der AQV erfüllt sind.

Ergebnisse der Eignungsnachweise (1)

Eigenschaft	Anforderung	Proben mit Wärmebehandlung	Proben ohne Wärmebehandlung
Druckfestigkeit	C45/55	92.8 MPa 94.2 MPa 93.6 MPa Ø: 93.5 MPa ✓	101.8 MPa 102.1 MPa 94.3 MPa Ø: 99.4 MPa ✓
Rohdichte	-	2421 kg/m ³	2449 kg/m ³
Chloridwiderstand	Mittelwert ≤ 3x10 ⁻¹² m ² /s kein Einzelwert > 5 x 10 ⁻¹² m ² /s	0.0 x10 ⁻¹² m ² /s 0.0 x10 ⁻¹² m ² /s 0.1 x10 ⁻¹² m ² /s 0.0 x10 ⁻¹² m ² /s ✓	0.0 x10 ⁻¹² m ² /s 0.0 x10 ⁻¹² m ² /s 0.0 x10 ⁻¹² m ² /s 0.0 x10 ⁻¹² m ² /s ✓
Wassereindringtiefe	≤ 20 mm	6 mm ✓	8 mm ✓

Ergebnisse der Eignungsnachweise (2)

Eigenschaft	Anforderung	Proben mit Wärmebehandlung	Proben ohne Wärmebehandlung
Wasseraufnahmekoeffizient	$\leq 0.150 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0.5}$	0.023 $\text{kg/m}^2\text{h}^{0.5}$ ✓	0.019 $\text{kg/m}^2\text{h}^{0.5}$ ✓
Sulfatwiderstand	$\Delta I \leq 1.0 \text{ ‰}$	0.43 ‰ nach 16 Wochen Zusatzlagerung ✓	0.47 ‰ nach 16 Wochen Zusatzlagerung ✓
Widerstand gegen Thaumasil	$\Delta I \leq 1.0 \text{ ‰}$	0.33 ‰ nach 16 Wochen Zunahme E-Modul ca. 7 % Schwefeleintrag bis ca. 1 mm Tiefe, keine Thaumasilbildung, minimale Ettringitbildungen ✓	0.34 ‰ nach 16 Wochen Zunahme E-Modul ca. 12 % Schwefeleintrag bis ca. 1 mm Tiefe, keine Thaumasilbildung, minimale Ettringitbildungen ✓
AAR-Beständigkeit	$\leq 0.200 \text{ mm/m}$	–	–0.041 mm/m ✓

Fazit

- sehr guter Beton
- erfüllt Anforderungen bzgl. Festigkeit und Sulfatbeständigkeit
- zertifiziert durch S-Cert



Tübbinge Bözbergtunnel

Betontechnologie – Zertifizierung – Logistik

- Projekt Neubau Bözbergtunnel
- Anforderungen aus dem Baugrund an Tübbingbeton:
hohe Festigkeiten, Sulfatbeständigkeit
- Zertifizierung ausserhalb der Schweiz hergestellter Betonelemente
nach Schweizer Normen

⇒ **Logistik bei Produktion und Anlieferung der Tübbinge**



Produktion der
Bewehrung

- Rollenstahl
- hoch automatisiert



«Leiter» kurze
Tübbingseite
(Längsfuge)



«Leiter» lange
Tübbingseite
(Ringfuge)



«Leitern» und Netze
vor Endmontage



Schweiss-Lehre für
Bewehrungs-Körbe



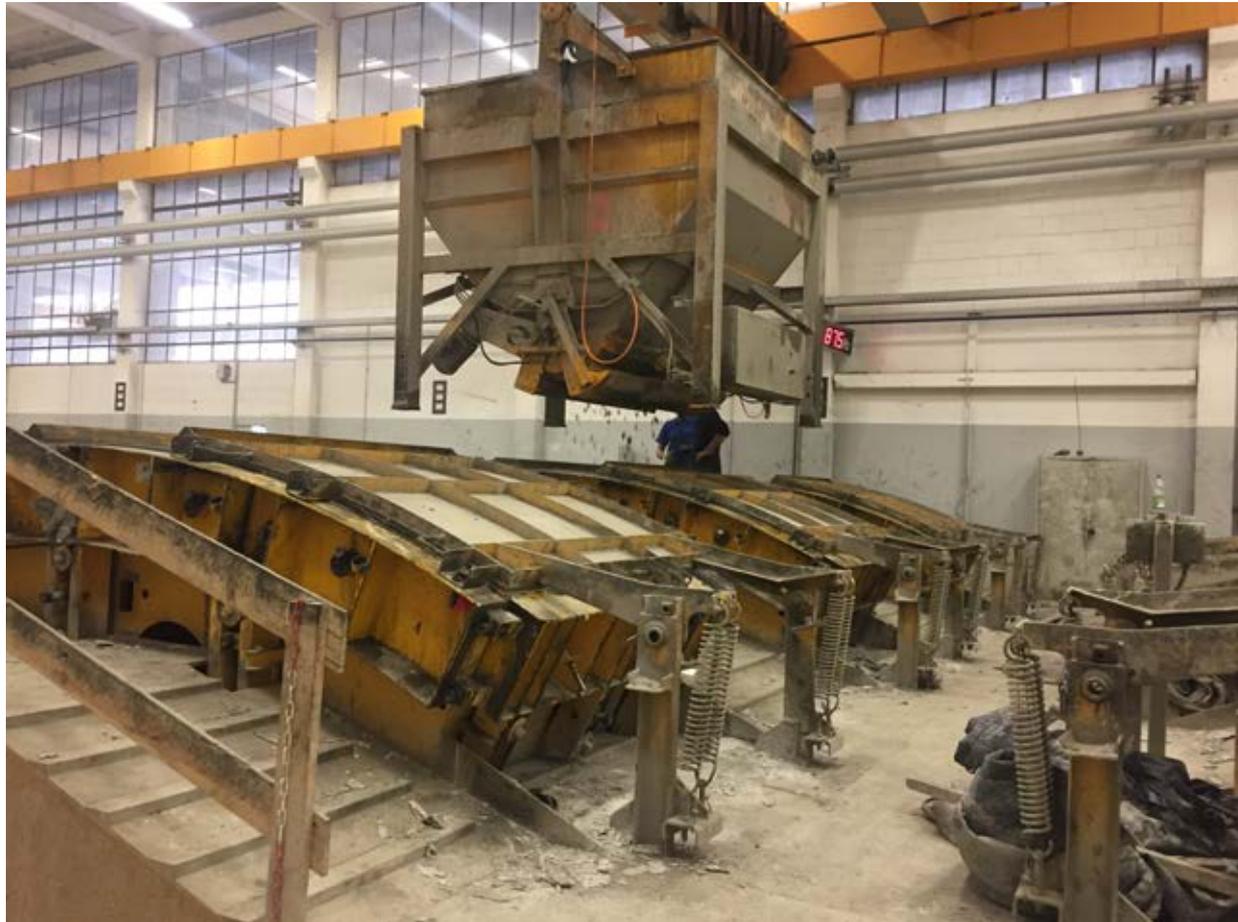
Schweissen der Körbe



Aussenlager
Bewehrungskörbe



Tübbingschalungen



Füllen der Schalungen
mit Beton



Betonieren



Nachbehandlung



Handling in Halle



Handling in Halle



Aussenlager



Bahntransport



Umlad auf LW
in Neuenburg D



Umlad auf LW
in Neuenburg D



Ablad auf
Tübbinglager
Baustelle



Ablad auf
Tüblinglager
Baustelle



Lieferung unter
TBM mit
Spezialfahrzeug

Bauherr

SBB AG, Infrastruktur, Projekte,
Nord-Süd-Achse Gotthard

Projektierung bis Phase 4
Owner's Engineer

IG BB-N
Gähler und Partner AG, Ennetbaden
Rothpletz, Lienhard & Cie AG, Olten

Ausführung und
Projektierung ab Phase 5

Implenia Schweiz AG, Wallisellen
IG Bözberg Plus
Amberg Engineering AG, Regensdorf-Watt
Basler & Hofmann AG, Esslingen
F. Preisig AG, Zürich
Heierli AG, Zürich

Photos: Owner's Engineer / SBB (Keystone)

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Glück Auf!