

Projektspezifische Bauhilfsmassnahmen in städtischem Umfeld – Vergleich zweier ausgewählter Objekte

Patrick Beeler

ETH Hönggerberg, 10.12.2015

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IGT
Institut für Geotechnik
Institute for Geotechnical Engineering

Inhaltsverzeichnis

1. Projektübersichten Tunnel Oudayas (MAR) und Tunnel Hausmatt (CH)
2. Exkurs: Bauablauf Deckelbauweise Oudayas
3. Vergleichbare Bauhilfsmassnahmen
4. Mikropfähle
5. Strossen-/Sohlabbau unterhalb Meeresspiegel / im Grundwasser
6. Schlussfolgerungen

1. Projektübersicht Tunnel Oudayas (MAR)



Lage

- Oudayas ist das Altstadtviertel der Hauptstadt Rabat in Marokko und liegt direkt an der Küste zum Atlantik.
- Das Festungsanlage Kasbah des Oudayas ist Weltkulturerbe.



Projektziele

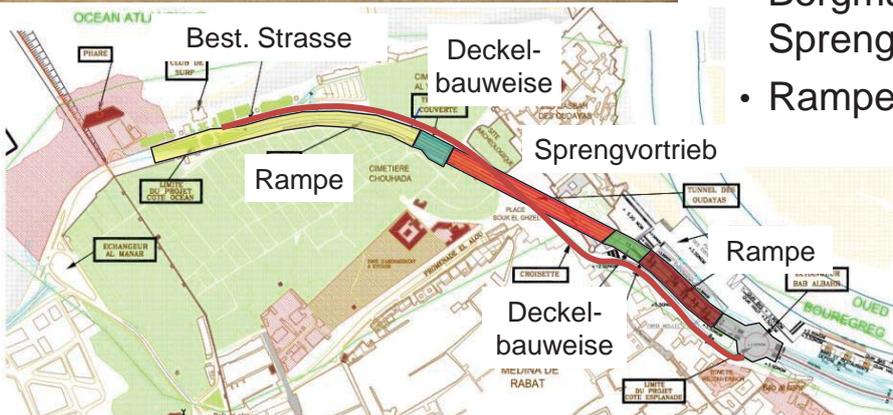
- Entlastung der Altstadt vom Verkehr und touristische Aufwertung
- Erhöhung der Verkehrssicherheit
- Erhalt des Weltkulturerbes

1. Projektübersicht Tunnel Oudayas (MAR)

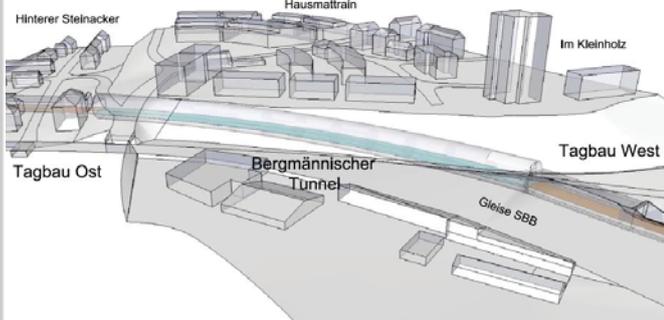


Projektbestandteile

- Zwei Tagbautunnel in Deckelbauweise (Total 125 m)
- Deckelbauweise zur Unterquerung historischer Festung (L = 40 m)
- Bergmännischer Tunnel im Sprengvortrieb (310 m)
- Rampen / Anschlussbauwerke



1. Projektübersicht Tunnel Hausmatt (CH)



Lage

- Der Tunnel Hausmatt ist das Herzstück der Umfahrung Olten
- Tunnel liegt westlich der Aare und unterquert überbautes Gebiet.
- Westlich wird die Umfahrung im Trasse nach Wangen weitergeführt

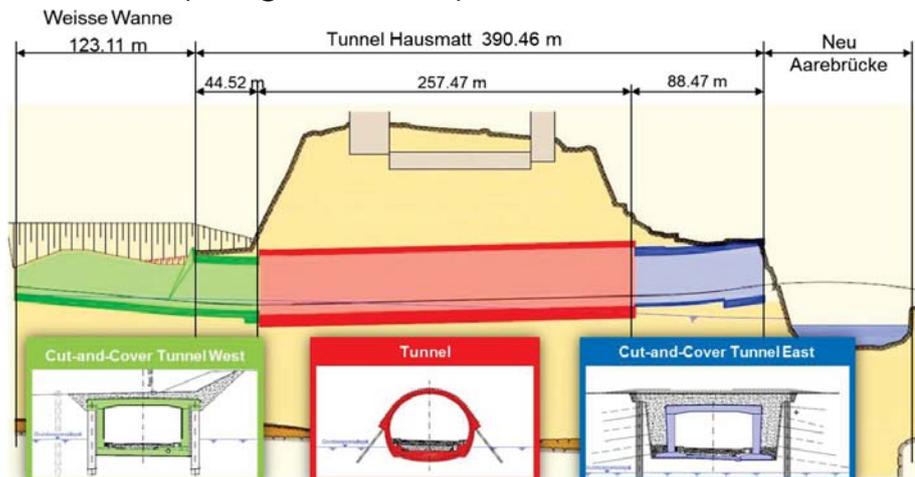
Projektziele

- Verkehrsentslastung der Altstadt
- Flankierende Massnahmen zur Bevorzugung ÖV und Langsamverkehr
- Aufwertung der Innenstadt

1. Projektübersicht Tunnel Hausmatt (CH)

Projektbestandteile

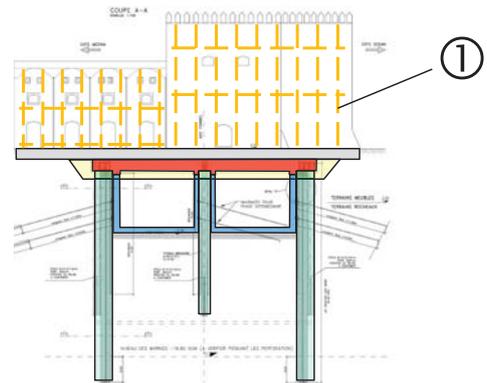
- Tagbaustrecke Ost in Wohnquartier (Länge 88.5 m)
- Bergmännischer Tunnel (Länge 257.5 m)
- Tagbaustrecke West in Deckelbauweise (Länge 44.5 m)
- Weisse Wanne (Länge 123.1 m)



2. Exkurs: Bauablauf Deckelbauweise Oudayas

Unterquerung Historische Festung

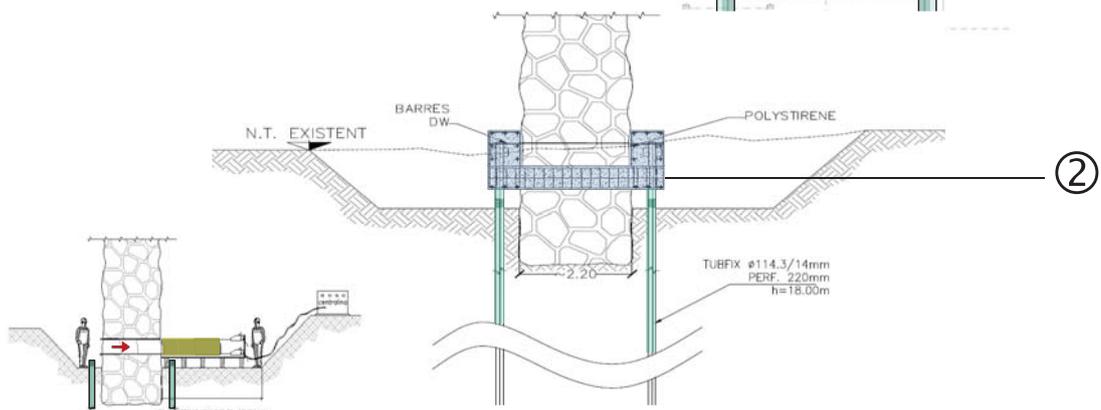
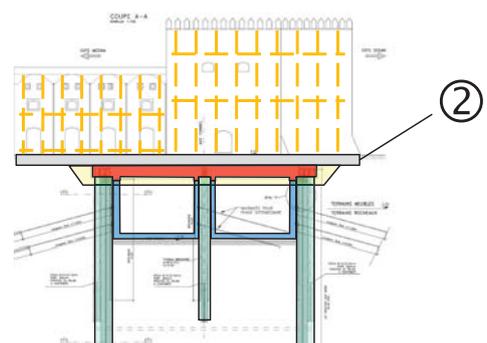
- 1) Vorbereitungsarbeiten, Aussteifung Gebäude



2. Exkurs: Bauablauf Deckelbauweise Oudayas

Unterquerung Historische Festung

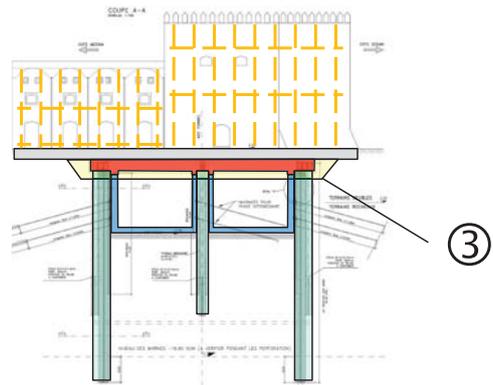
- 1) Vorbereitungsarbeiten, Aussteifung Gebäude
- 2) Etappiertes Unterfangen der Tragstruktur mittels «U-Beams»



2. Exkurs: Bauablauf Deckelbauweise Oudayas

Unterquerung Historische Festung

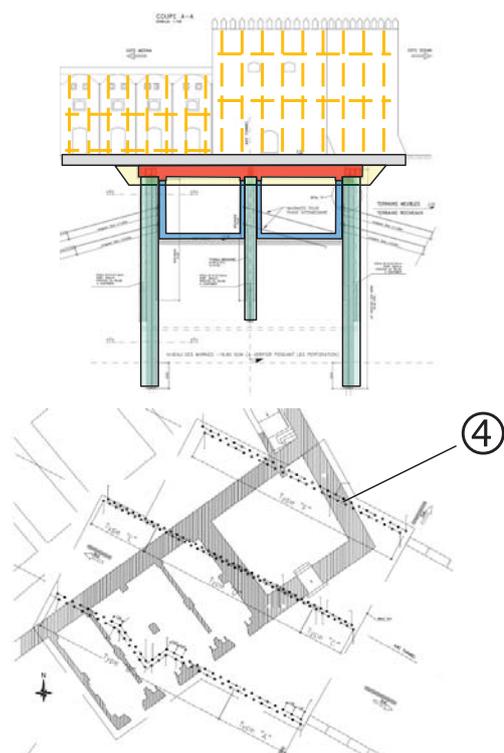
- 1) Vorbereitungsarbeiten, Aussteifung Gebäude
- 2) Etappiertes Unterfangen der Tragstruktur mittels «U-Beams»
- 3) Aushub bis knapp 3 m unter «U-Beams»



2. Exkurs: Bauablauf Deckelbauweise Oudayas

Unterquerung Historische Festung

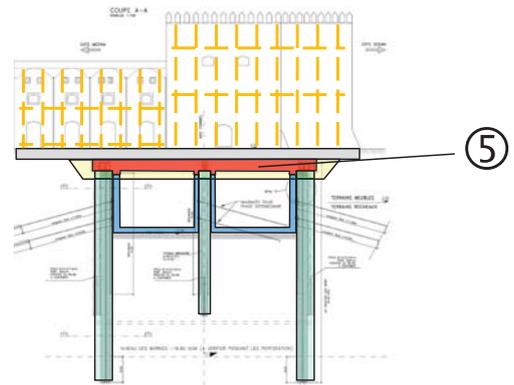
- 1) Vorbereitungsarbeiten, Aussteifung Gebäude
- 2) Etappiertes Unterfangen der Tragstruktur mittels «U-Beams»
- 3) Aushub bis knapp 3m unter «U-Beams»
- 4) Erstellung Mikropfähle für Abfangung Deckel unter Berücksichtigung der Lage der definitiven Tunnelwände



3. Exkurs: Bauablauf Deckelbauweise Oudayas

Unterquerung Historische Festung

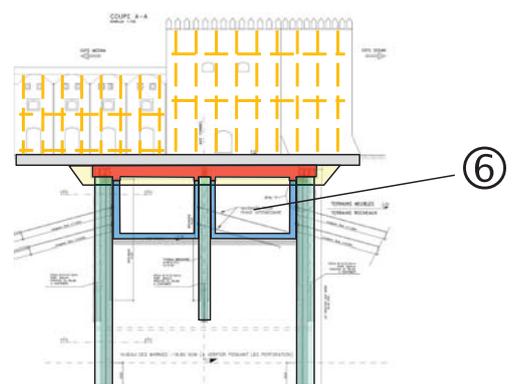
- 1) Vorbereitungsarbeiten, Aussteifung Gebäude
- 2) Etappiertes Unterfangen der Tragstruktur mittels «U-Beams»
- 3) Aushub bis knapp 3m unter «U-Beams»
- 4) Erstellung Mikropfähle für Abfangung Decke unter Berücksichtigung der Lage der definitiven Tunnelwände
- 5) Betonieren des Deckels



2. Exkurs: Bauablauf Deckelbauweise Oudayas

Unterquerung Historische Festung

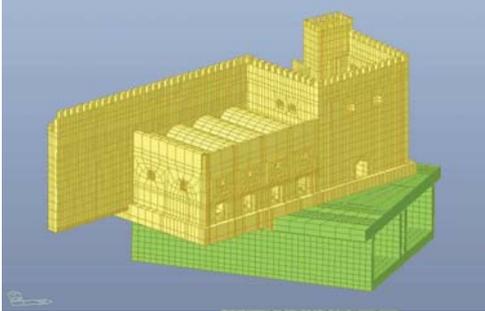
- 1) Vorbereitungsarbeiten, Aussteifung Gebäude
- 2) Etappiertes Unterfangen der Tragstruktur mittels «U-Beams»
- 3) Aushub bis knapp 3m unter «U-Beams»
- 4) Erstellung Mikropfähle für Abfangung Decke unter Berücksichtigung der Lage der definitiven Tunnelwände
- 5) Betonieren des Deckels
- 6) Aushub unterhalb Deckel



3. Vergleichbare Bauhilfsmassnahmen

Tunnel de Oudayas

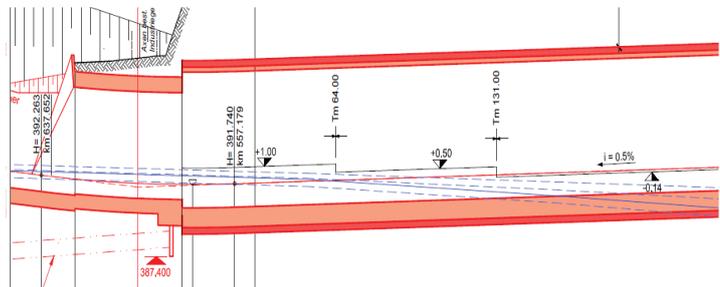
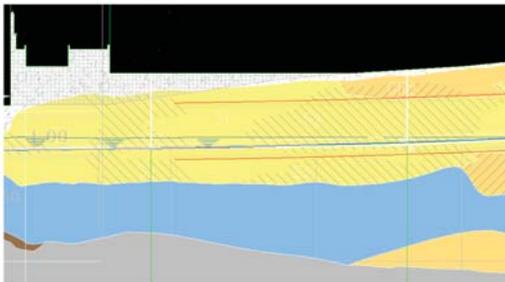
Mikropfähle zur Krafteinleitung in den Baugrund



Tunnel Hausmatt



Strossen-/Sohlausbruch unterhalb Meeres- bzw. Grundwasserspiegel



13 Lombardi AG Beratende Ingenieure, ETHZ, 10.12.2015

2015-Bee-ETHZ-Bauhilfsmassnahmen

4. Mikropfähle - Ausgangslage

Tunnel de Oudayas

Randbedingungen / Anforderungen

- Knappe Platzverhältnisse (knapp 3 m Höhe unter Platte).
- Mikropfähle ausschliesslich vertikal.
- Sandstein, teilweise stark gestört bis lockergesteinsähnlich.
- Aufgrund des Bauablaufs erfolgt eine zweimalige Lastumlagerung
 - Bestehende Fundamente → U-Beam
 - U-Beam → Deckel Tagbautunnel
- Hohe Anforderungen betreffend Setzungen der historischen Festung.



14 Lombardi AG Beratende Ingenieure, ETHZ, 10.12.2015

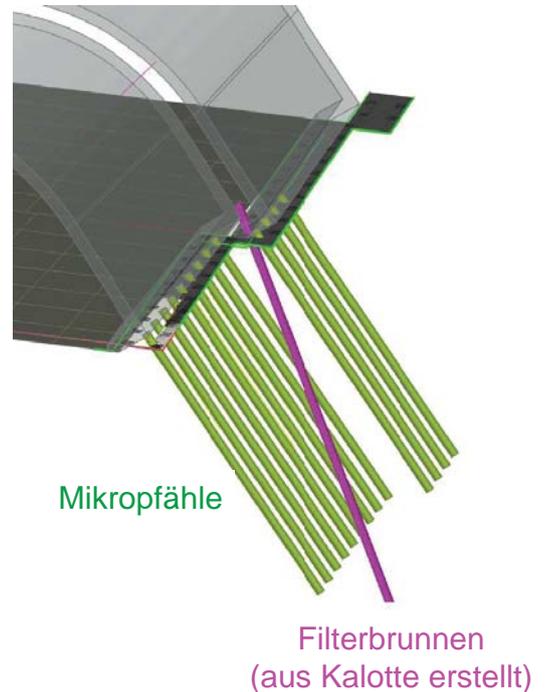
2015-Bee-ETHZ-Bauhilfsmassnahmen

4. Mikropfähle - Ausgangslage

Tunnel Hausmatt

Randbedingungen / Anforderungen

- Ausführung im Vortriebsbereich des Kalottenausbruchs.
- Versetzen der geneigte Mikropfähle sind zwischen den Gitterträgern.
- Erforderliche Bruchlast: 2'000 kN
- Vorgesehene Längen: 6.0 - 9.0 m.
- Keine Beeinträchtigung mit unter-tägigen aus Kalotte erstellten Filterbrunnen.
- Zwei Bohrverfahren im Werkvertrag:
 - Verrohrte Bohrung mit Vollstahlstab
 - Injektionsbohranker.



4. Mikropfähle - Vorversuche

Tunnel de Oudayas

- Zusammenhang zwischen Prüflast und Setzungsverhalten in Abhängigkeit der Länge der Mikropfähle.
- Mikropfahl: $d_a = 114,3\text{mm}$, $t=14\text{mm}$, $f_y = 355\text{Mpa}$
- $L = 6 - 8\text{m}$.

Resultate:

- Untersuchungen zu Setzungsverhalten waren erfolgreich.
- Setzung Pfahlkopf: $\sim 3\text{mm} / 500\text{kN}$



4. Mikropfähle - Vorversuche

Tunnel Hausmatt

- Durchführung mit zwei Verfahren:
 - Verrohrte Bohrung und Vollstab
 - Injektionsbohranker direkt injiziert mit Zement beim Bohren
- Je 3 Stk. mit $L = 6$ oder 9 m.

Resultate

- Prüflasten & gemessene Setzung

	Vollstahl	IBO-Anker
	S670 / 63.5mm	ARCO 76/10
L = 6m	1'250 kN	1'750 kN
	(> 30 mm)	(25 mm)
L = 9m	>2'000 kN	>2'000 kN
	(12 mm)	(9 mm)



4. Mikropfähle – Erkenntnisse Realisierung

Tunnel de Oudayas

- Bohrungen ($D=220$ mm) konnten in der Regel unverrohrt erstellt werden.
- Versetzen der rund 400 Stk. Mikropfähle (je ca. 200 Stk. für U-Beams und für Betonplatte) funktionierte gut.
- Einfache Verfüllung mit Mörtel möglich, da standfestes Bohrloch.
- Längen Mikropfähle konnte optimiert werden ($L = 17.5 - 19.5$ m).
- Setzungsverhalten der Mikropfähle war günstiger als in den Vorversuchen.
- Nach Projektabschluss mussten nur wenige Risse instandgesetzt werden.



4. Mikropfähle - Erkenntnisse Realisierung

Tunnel Hausmatt

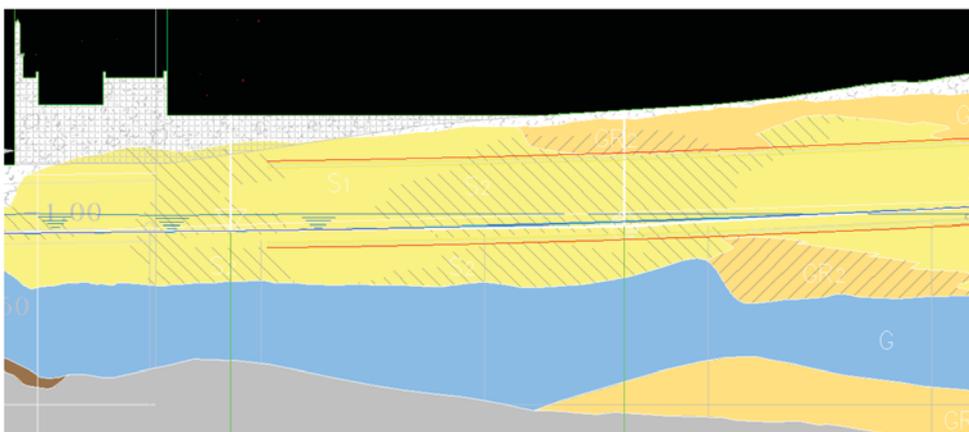
- Direkt injizierte Mikropfähle (L=9 m) konnten mit vorhandenem Bohrerjumbo möglichst rasch versetzt.
- Mehrverbrauch an Zement.
- Erhöhter Aufwand für Reinigung der Kalottensohle (Rückfluss).
- Einzelne Kontrollen in Startphase Strossenabbau bestätigten Vorversuche.
- Geringe Setzungen des Pfahlkopfs von maximal rund 4-7 mm.
- Keine Verunreinigung des Grundwassers (pH-Wert, etc.)



5. Strossen-/Sohlabbau - Ausgangslage

Tunnel de Oudayas – Strossen-Sohlabbau unterhalb Meeresspiegel

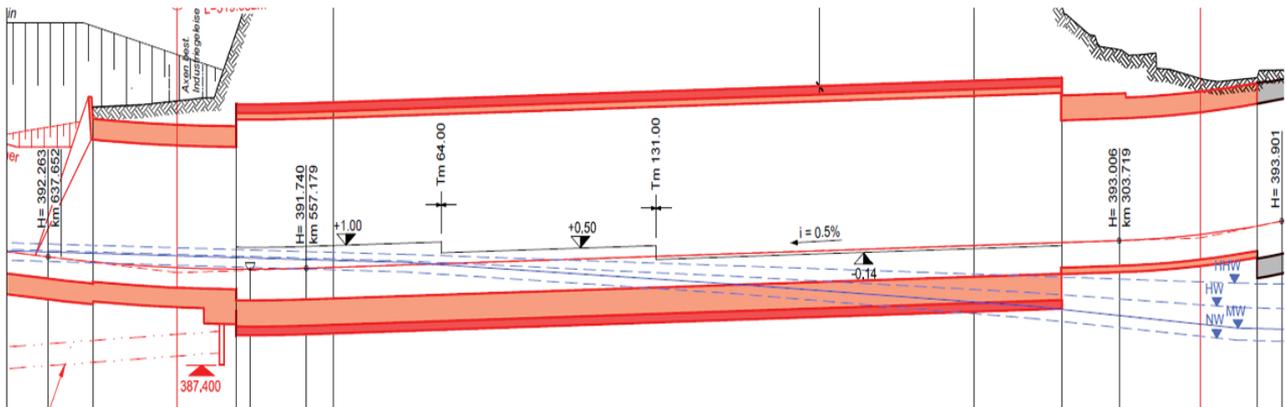
- Sandstein, teilweise stark gestört bis lockergesteinsähnlich.
- Sohlbereich mehrheitlich unterhalb Meeresspiegel.
- Variabler Meeresspiegel (Einfluss Ebbe/Flut).



5. Strossen-/Sohlabbau - Ausgangslage

Tunnel Hausmatt – Strossen-Sohlabbau unterhalb GW-Spiegel

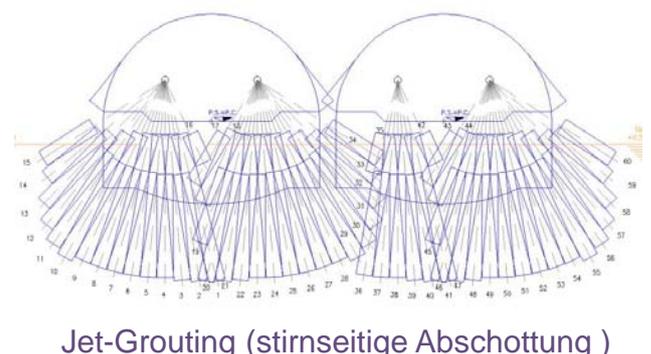
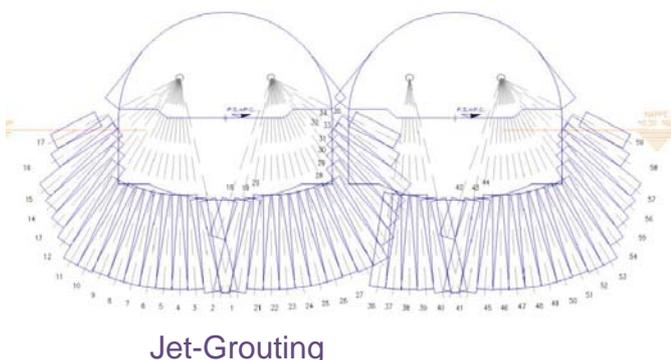
- Niederterassenschotter mit einer Durchlässigkeit von $k = 7-9 \times 10^{-3} \text{ m/s}$.
- Strosse/Sohle bis 3.5 m im Grundwasser (GW).
- variabler GW-Spiegel (Niederschlag).
- Mehrere Grundwasserfassungen im Projektperimeter.



5. Strossen-/Sohlabbau - Konzept

Tunnel de Oudayas – Strossen-Sohlabbau unterhalb Meeresspiegel

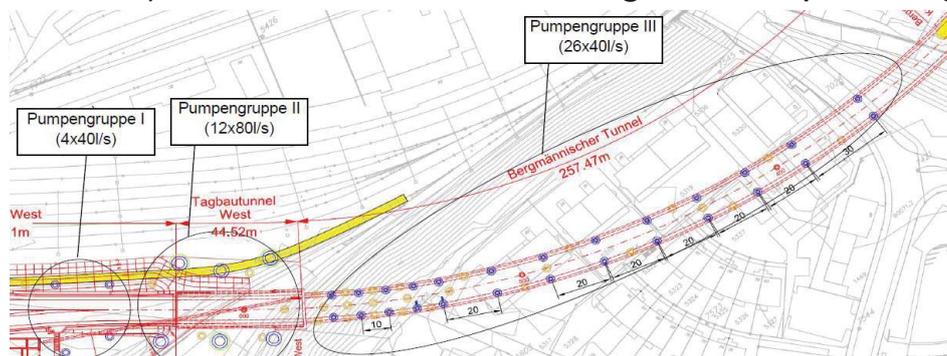
- Ausbruch Kalotte über ganze Tunnellänge über Meeresspiegel.
- Bauhilfsmassnahmen wie Absenkung Meeresspiegels oder Baugrundvereisung waren nicht realisierbar.
- Strossen-/Sohlausbruch im Schutz von vorgängig aus der Kalotte durchgeführten Bodenverbesserungsmassnahmen (Jet-Grouting).
- Ausbildung von stirnseitigen Schotts in einem Abstand von 20 m.



5. Strossen-/Sohlabbau - Konzept

Tunnel Hausmatt – Strossen-Sohlabbau unterhalb GW-Spiegel

- Ausbruch Kalotte über ganze Tunnellänge über GW-Spiegel.
- Injektionen ins GW mit GW- Fassungen im Perimeter nicht bewilligungsfähig.
- Baugrundvereisung aufgrund hoher Durchlässigkeit, Strömungsgeschwindigkeiten und variablem GW-Spiegel verworfen.
- GW-Absenkung mit übertägigen und untertägigen Filterbrunnen (aus Kalotte erstellt) mit stufenweiser Erhöhung der Pumpleistung.



5. Strossen-/Sohlabbau - Vorversuche

Tunnel de Oudayas – Strossen-Sohlabbau unterhalb Meeresspiegel

- Sandstein war weniger zerschert und geklüftet als angenommen.
- Die erforderlichen Jet-Grouting Säulen von D=60 cm konnten alleine mit Hochdruckinjektionen nicht erreicht werden.

Resultate

- Anpassung des Verfahrens: Aufschneiden Baugrund mit Hochdruckwasserstrahl und anschl. zementöse Hochdruckinjektionen (je 400 bar).
- Erforderliche Säulendurchmesser bzw. eine durchgängige Bodenverfestigung konnte erreicht werden.



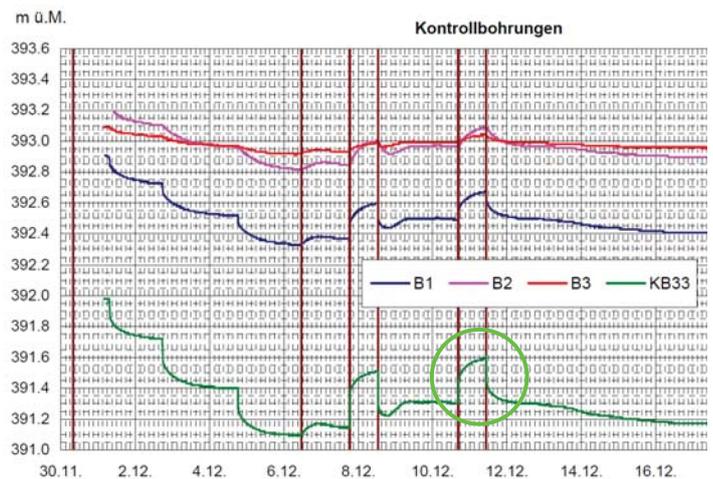
5. Strossen-/Sohlabbau - Vorversuche

Tunnel Hausmatt – Strossen-Sohlabbau unterhalb GW-Spiegel

- Erstellung von drei Filterbrunnen übertag, L = rund 25 m.
- Bohrdurchmesser 1.0m, Filterrohr 60 cm.
- Durchführung mit stufenweiser Erhöhung und Reduktion Pumpenleistung sowie Simulation Pumpenausfall

Resultate

- Machbarkeit GW-Absenkung wurde bestätigt.
- Bestätigung hoher k-Wert.
- Test Pumpenausfall: Reduktion Pumpmenge 20% → Anstieg GW-Spiegel um 20 cm innerhalb 15-20 min.



5. Strossen-/Sohlabbau – Erkenntnisse

Tunnel de Oudayas – Strossen-Sohlabbau unterhalb Meeresspiegel

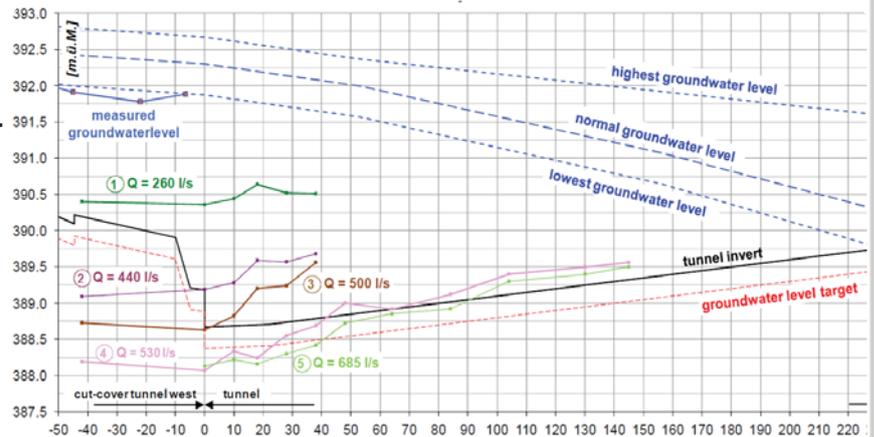
- Systematische Jet-Grouting Massnahmen aus der Kalotte mit zwei Geräten gleichzeitig.
- Nur vereinzelte Fehlstellen im Sohlbereich führten zu Wassereintritten → Sickergräben und Wegpumpen des eintretenden Wassers.
- Keine Instabilitäten während der Bauphase vorgekommen.
- Einbau der Vollabdichtung, des Sohlgewölbes und der Verkleidung war sichergestellt.



5. Strossen-/Sohlabbau – Erkenntnisse

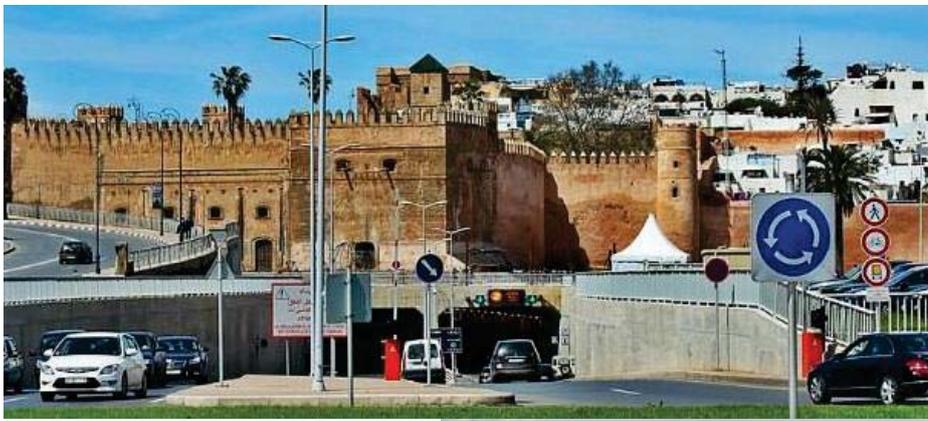
Tunnel Hausmatt – Strossen-Sohlabbau unterhalb GW-Spiegel

- Stufenweise Inbetriebnahme der Filterbrunnen durch permanente Überwachung des Absenkziels umgesetzt.
- Übertägige Filterbrunnen (6 Stk. à 160 l/s): Rückgrat der Absenkung.
- Schräg gebohrte, untertägige Filterbrunnen waren schwierig auszurüsten (Einbau Filterrohr, Filteraufbau) → eff. Pumpleistung bei ca. 70%.
- Trockener Sommer mit niedrigem GW-Spiegel → geringere Pumpmengen und –dauer.



6. Schlussfolgerungen

- Projektspezifische Auslegung der Bauhilfsmassnahmen zentral für die Ausschreibung und Realisierung.
- Die Durchführung von Vorversuchen in-situ sind sehr wertvoll und zeigen den Handlungsspielraum für die Realisierung auf.
- Flexible Ausschreibung und entsprechende werkvertragliche Regelungen sind Voraussetzung für Anpassungen in der Realisierung.
- Durch laufende Kontrollen in der Realisierung können die Bauhilfsmassnahmen entsprechend optimiert werden.



**Vielen Dank
für die
Aufmerksamkeit!**



 **Lombardi**