

## Tieflegung Zentralbahn Luzern Geotechnische und statische Aspekte beim Entwurf des Hubelmatttunnels

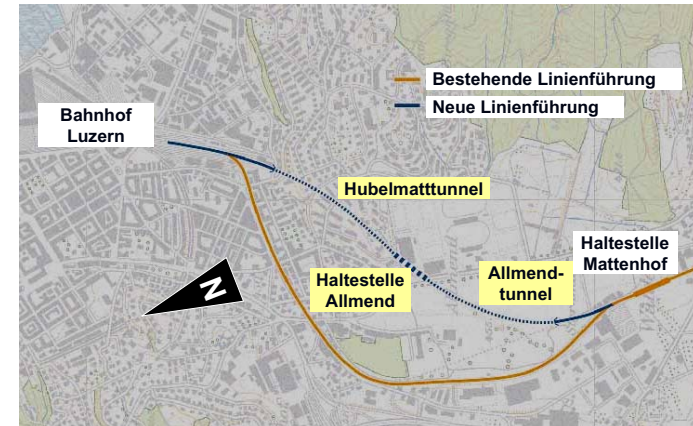
Beat Gugger, Dipl. Bauing. FH  
Stefan Wachter, Dr.-Ing.



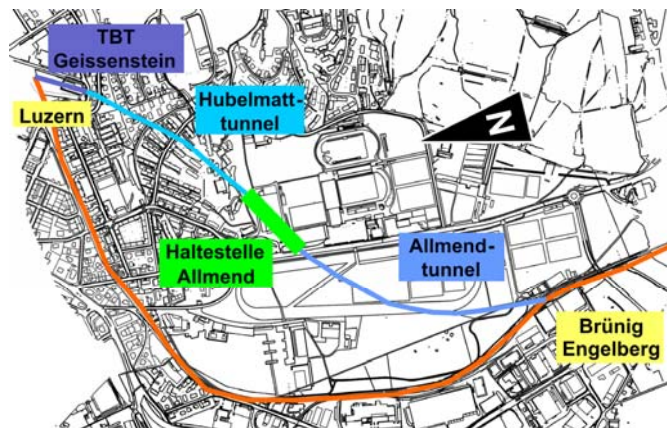
IUB INGENIEUR-UNTERNEHMUNG AG

Thunstrasse 2, 3005 Bern  
www.iub-ag.ch

## Tieflegung im Stadtgebiet Luzern



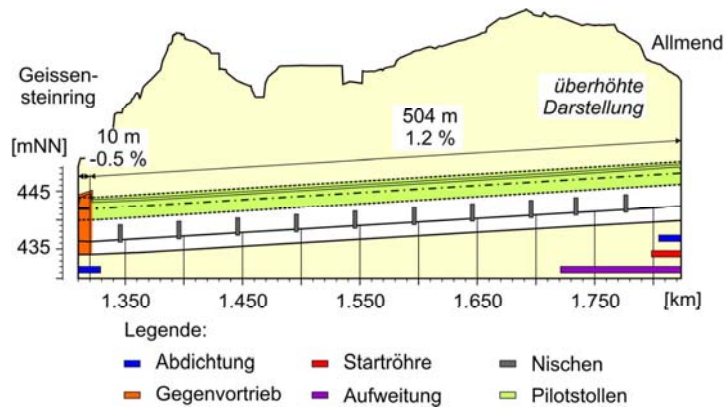
## Projektübersicht



## Situation Hubelmatttunnel



## Längenprofil Hubelmatttunnel



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

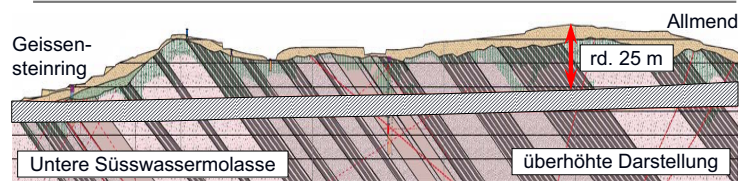
## Herausforderungen

- Stark wechselhafte Geologie (Ruschelzonen), verwittert, oberflächennah (4 – 25 m)
- Bauen im Bestand / innerstädtische Bebauung über Hubelmatttunnel mit geringer Überlagerung → Erschütterungsemissionen, Setzungen
- Unterquerung Sternmattstrasse bei Aufrechterhaltung des Verkehrs und der Versorgungsleitungen
- Beengte Platzverhältnisse am Portal Geissensteinring



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

## Geologie



- Lockergesteinsbedeckung (tonig-siltiger Feinsand mit wenig Kiesen und Sanden)
- Verwitterungszone des Felsen
- Konglomeratische Sandsteine bzw. Sandstein-Bänke
- Sandsteinreiche-pelitische Abfolgen



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

## Gebirgskennwerte (Auszug)

Gebirgszustand	Kohäsion	Reibungswinkel	Einaxiale Druckfestigkeit	Elastizitätsmodul
	$c'$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$\phi'$ [°]	$q_u$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$E$ [GN/m <sup>2</sup> ]
Unverwittert	1.5	55	12	28
Verwittert	0.09	51	0.5	2.2
Stark verwittert	0.015	35	0.03	0.5

Red annotations: 400 (pointing to 0.5), 24 (pointing to 12), 17 (pointing to 0.03)



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

## Ausbruch- / Lösemethode (1)

- Sprengvortrieb
  - ⊗ Auflockerung entlang Ausbruchprofil
  - ⊗ Risiko von Setzungen an Oberfläche
  - ⊗ Erschütterungs- und Lärmproblematik (Sprengungen)
  - ⊗ Kürzere Bauzeit
- Vortrieb mit Teilschnittmaschine (TSM)
  - ⊗ Geringe Auflockerung entlang Ausbruchprofil
  - ⊗ Minimale Erschütterungen
  - ⊗ Kurze Abschlagslängen möglich
  - ⊗ Staubproblematik → Pilotstollen



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

## Ausbruch- / Lösemethode (2)

- Tunnelbohrmaschine (TBM)
  - ⊗ Geringe Auflockerung entlang Ausbruchprofil
  - ⊗ Minimale Erschütterungen
  - ⊗ Vollausbuch möglich
  - ⊗ Unwirtschaftlich bei zu kurzer Tunnellänge
  - ⊗ Grosse Installationsfläche



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

## Vortriebskonzept (1)

### Vortriebsrichtung

- Allmend → Geissensteinring (Installationsfläche auf Seite Allmend vorhanden)
- Fallender Vortrieb 1.2 % (möglich, da nur geringe Wassermenge prognostiziert)
- Seite Allmend „weniger“ Wohngebiet (Emissionen)
- Materialabtransport einfacher, da Portal nicht direkt an stark befahrener Strasse mit Öffentlichem Verkehr



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

## Portalstandorte



Portal  
Geissensteinring

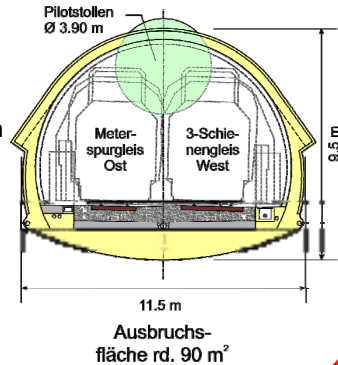


Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

## Vortriebskonzept (2)

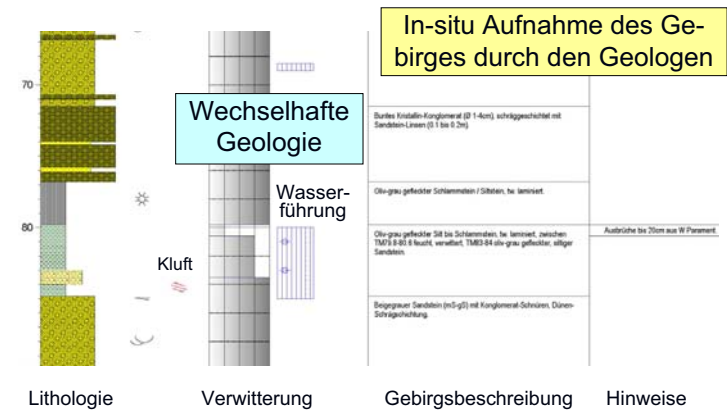
### Pilotstollen mittels TBM

- Notwendiger Lüftungstollen für TSM-Ausweitung
- Stabilisierung des Firstes → Reduktion der Setzungen
- Aufnahme der tatsächlich anstehenden Geologie
- Stabilisierende Wirkung auf Tunnelbrust und Reduktion des Risikos von Niederbrüchen bei Aufweitung



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

## Stollenband des Pilotstollens



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

## Ruschelzonen

- Zerrüttungszonen infolge Kompensation von Bewegungen zwischen steifen Schichten
- Schichtstärke von rd. 1.0 m
- Geringe Festigkeit ( $c' = 0 \text{ kN/m}^2$ ), nachbrüchig

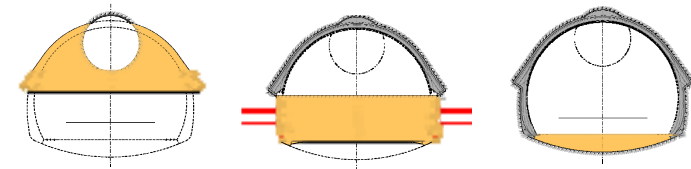


Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

## Vortriebskonzept (3)

### Kalottenvortrieb / Strossenabbau / Sohlaushub mit Teilschnittmaschine

- Unterteilung des Ausbruchquerschnitts in 3 einzelne Phasen



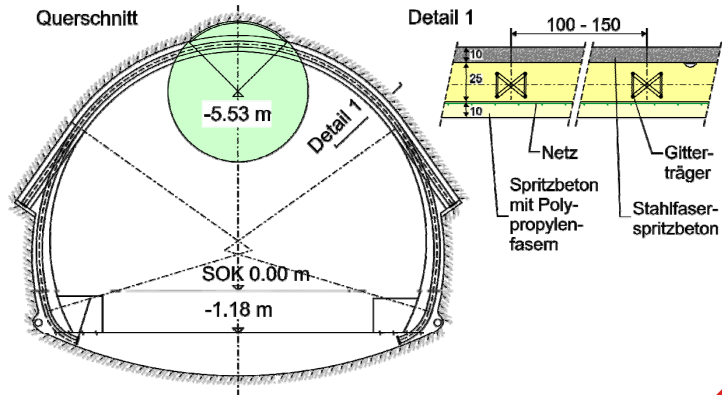
- Sofortige Sicherung möglich
- Keine Erschütterungen an Oberfläche
- Unterteilung Kalotte aufgrund Ruschelzonen möglich
- Sohlschluss innerhalb 10 TM gegen mögliche Quellhebungen



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

## Vortriebskonzept (4)

### Profiltyp / Einschaliger Ausbau



## Vortriebskonzept (5)

### Gegenvortrieb Geissensteinring

- Vorauseilende Sicherung mittels Rohrschirm im Bereich geringer Überdeckung unterhalb Sternmattstrasse
- Gegenvortrieb mit TSM unterhalb Sternmattstrasse unter Verkehr und Betrieb der Versorgungsleitungen (u.a. Gasleitung)
- Keine Unterquerung mit Pilotstollen

## Vortriebskonzept (6)

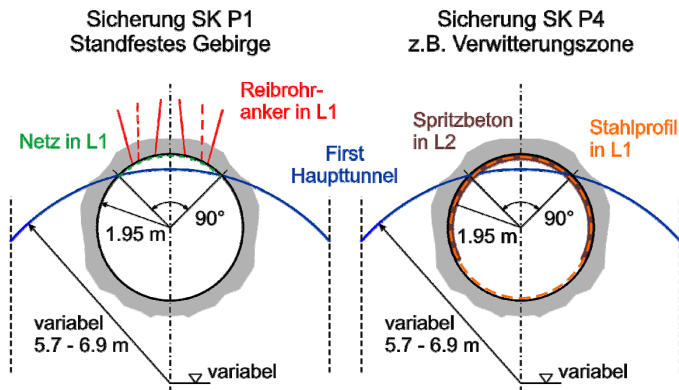
### Vor- und Nachteile

- ⊗ Vierfaches Auffahren der Tunnellänge → längere Bauzeit
- ⊕ Keine Erschütterung an Oberfläche bzw. Gebäuden
- ⊕ Minimierung der Setzungen an Oberfläche
- ⊕ Quellmessung über längeren Zeitraum
- ⊕ Optimierung der Ausbruchsicherung nach Auffahren des Pilotstollens

## Wesentliche Gefährdungsbilder

Gefährdungsbild	Gegenmassnahme
Ortsbrustinstabilität	Kalottenvortrieb / Querschnittsaufteilung
Steinfall	Versiegelung mit Stahlfaserspritzbeton bzw. Sicherung mit Ankern und Netzen (TBM: Möglichkeiten der Ausbruchsicherung beschränkt)

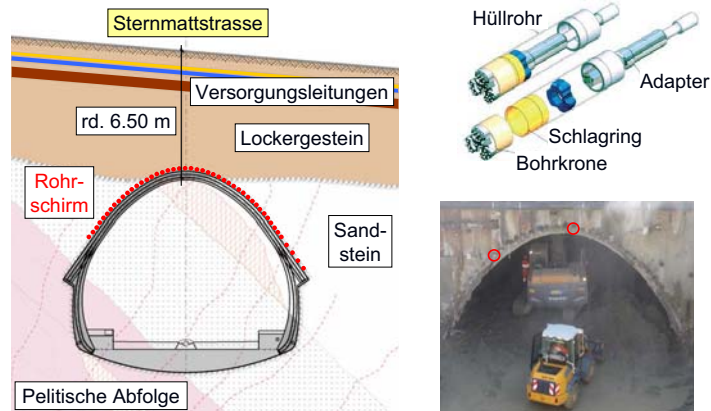
## Gefährdungsbild: Steinfall



## Wesentliche Gefährdungsbilder

Gefährdungsbild	Gegenmassnahme
Ortsbrustinstabilität	Kalottenvortrieb / Querschnittsaufteilung
Steinfall	Versiegelung mit Stahlfaserspritzbeton bzw. Sicherung mit Ankern und Netzen
Nieder-, Tagbruch	Sicherung, Reduktion der Abschlagslänge, Anordnung des Rohrschirmes

## Gefährdungsbild: Tagbruch

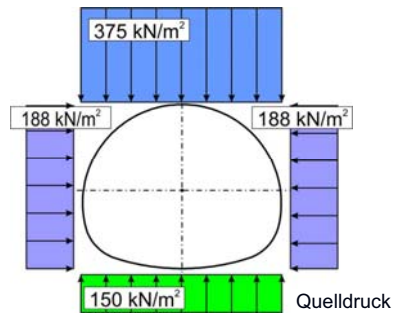


## Wesentliche Gefährdungsbilder

Gefährdungsbild	Gegenmassnahme
Ortsbrustinstabilität	Kalottenvortrieb / Querschnittsaufteilung
Steinfall	Versiegelung mit Stahlfaserspritzbeton bzw. Sicherung mit Ankern und Netzen
Nieder-, Tagbruch	Sicherung, Reduktion der Abschlagslänge, Anordnung des Rohrschirmes
Auflockerung	Statische Berechnungen / Dimensionierung der Verkleidung

## Gefährdungsbild: Auflockerung

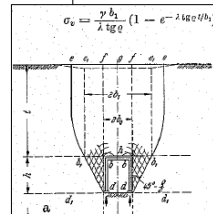
Lastfall:  
Auflockerungsdruck nach  
TERZAGHI (Silotheorie)



### Theoretische Bodenmechanik

Von  
Dr.-Ing. Karl Terzaghi  
in. Professor an der Cornell University  
Ithaca, New York, USA  
Charakterist. und bearbeitet nach  
der fünften amerikanischen Auflage  
von  
Dr.-Ing. Richard Jelinek  
Technische Hochschule, München

Mit 112 Abbildungen



1944  
ED-23



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

## Wesentliche Gefährdungsbilder

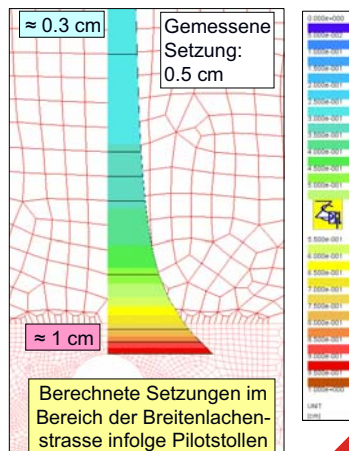
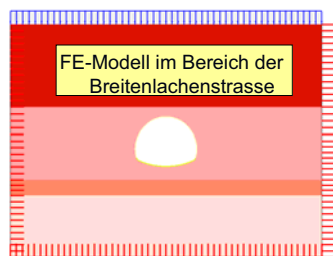
Gefährdungsbild	Gegenmassnahme
Ortsbrustinstabilität	Kalottenvortrieb / Querschnittsaufteilung
Steinfall	Versiegelung mit Stahlfaserspritzbeton bzw. Sicherung mit Ankern und Netzen
Nieder-, Tagbruch	Sicherung, Reduktion der Abschlagslänge, Anordnung des Rohrschirmes
Auflockerung	Statische Berechnungen / Dimensionierung der Verkleidung
Setzungen	Messungen (Kontrollplan), Setzungsprognose



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

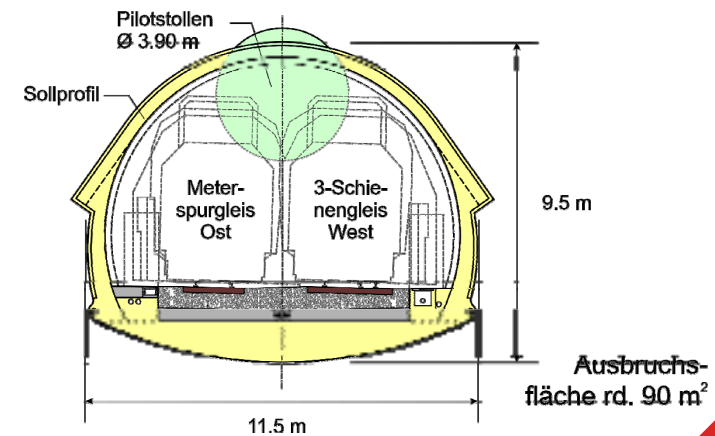
## Gefährdungsbild: Setzungen

- ⇨ Verformungsprognose
- ⇨ Rückrechnung
- ⇨ Verifizierung des Modells



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

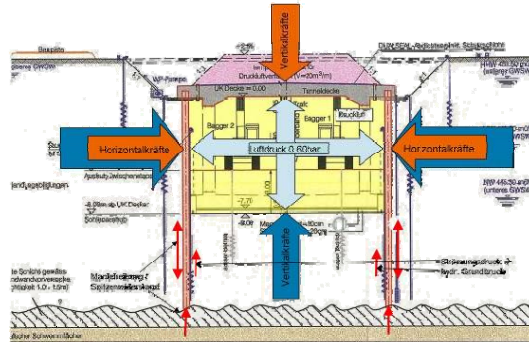
## Normalprofil Hubelmatttunnel



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

# Allmendtunnel - Deckelbauweise

SWISS TUNNEL CONGRESS 2010 → Jürg Biese



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

# Bauen in der Praxis



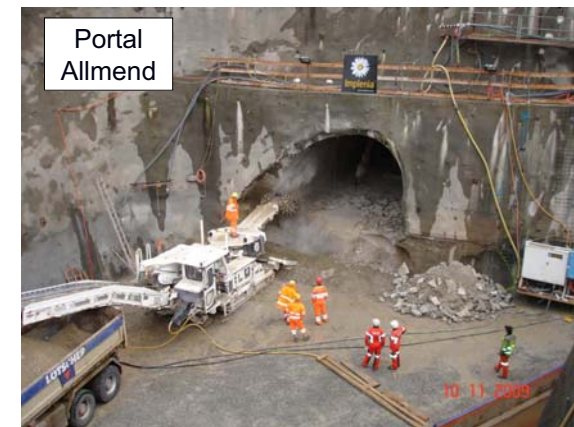
Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

# Bauen in der Praxis



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

# Bauen in der Praxis



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009



## Projektbeteiligte



InGe Pilatus

**Herzlichen Dank an die Projektbeteiligten!**



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009



**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!**

[www.iub-ag.ch](http://www.iub-ag.ch)

[www.ausbau-zentralbahn.lu.ch](http://www.ausbau-zentralbahn.lu.ch)



Kolloquium STÄDTISCHER TUNNELBAU • ETH Zürich • 10. Dezember 2009

