

Ausgewählte Planungsaspekte für die Untertagbauten und Druckstollenverkleidung am Beispiel des PSW Nant de Drance



ETH-Kolloquium

Zürich, 12.12.2013

Marcel Winter, Pöyry Schweiz AG



INHALT

1. Einführung & Anlagelayout
2. Bemessungsaspekte Triebwassersystem (Auslegung Druckschächte)
3. Bemessungsaspekte Logistikstollen- und Kavernen (Strukturelle Anisotropie)
4. Rolle des Untertagebaus im Wasserkraftbau



1. EINFÜHRUNG

Projektbeteiligte

Auftraggeber:



Nant de Drance SA [Alpiq 39%, SBB 36%, IWB 15%, FMV 10%]

Hauptunternehmer Bau:



Groupement Marti und Implenia [GMI]

Fachplaner Triebwassersystem (Untertag-, Beton- und Stahlwasserbau):



Pöyry Schweiz AG

1. EINFÜHRUNG

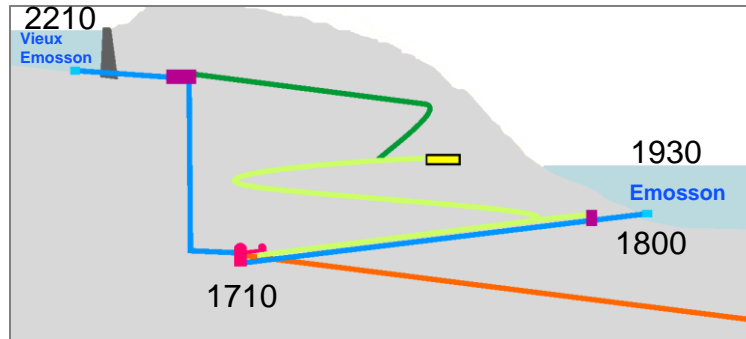
Standort PSW Nant de Drance



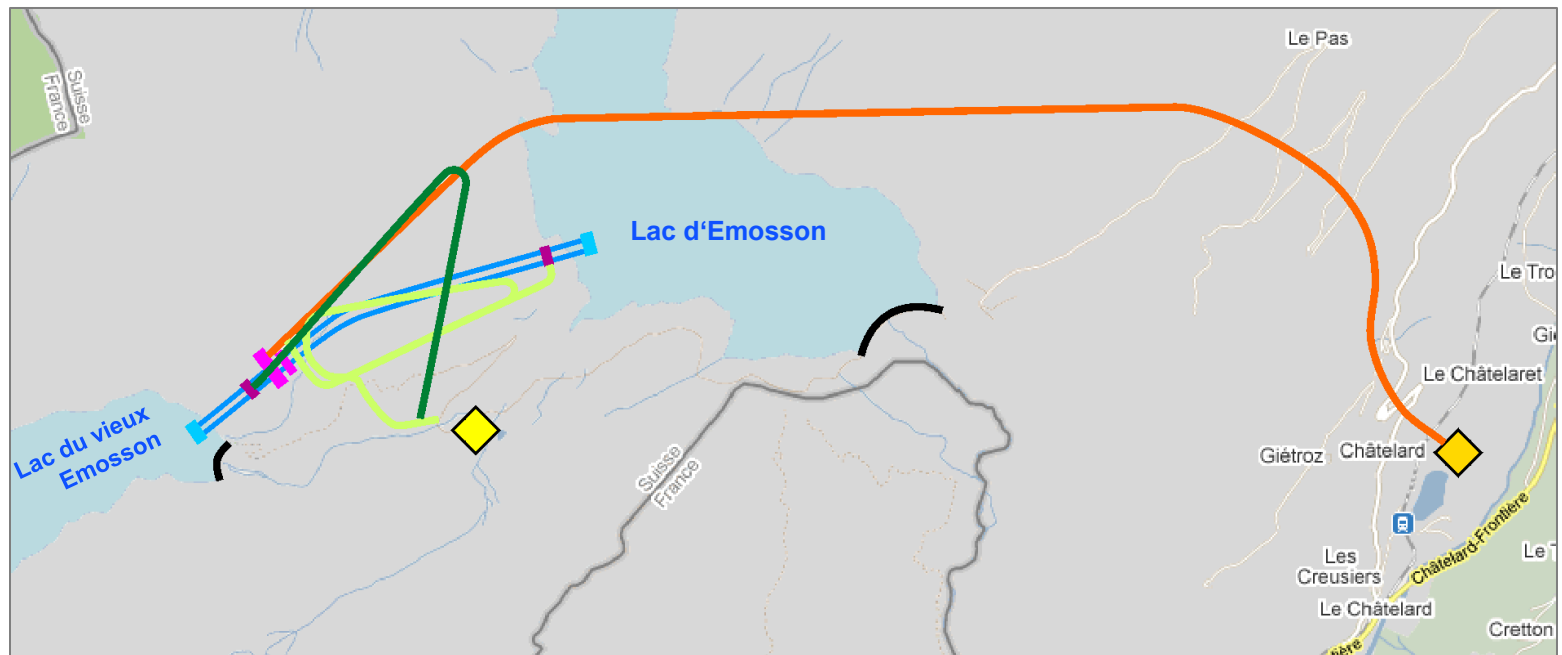
Nant de Drance
900 MW

1. ANLAGELAYOUT

Längsschnitt und Grundriss

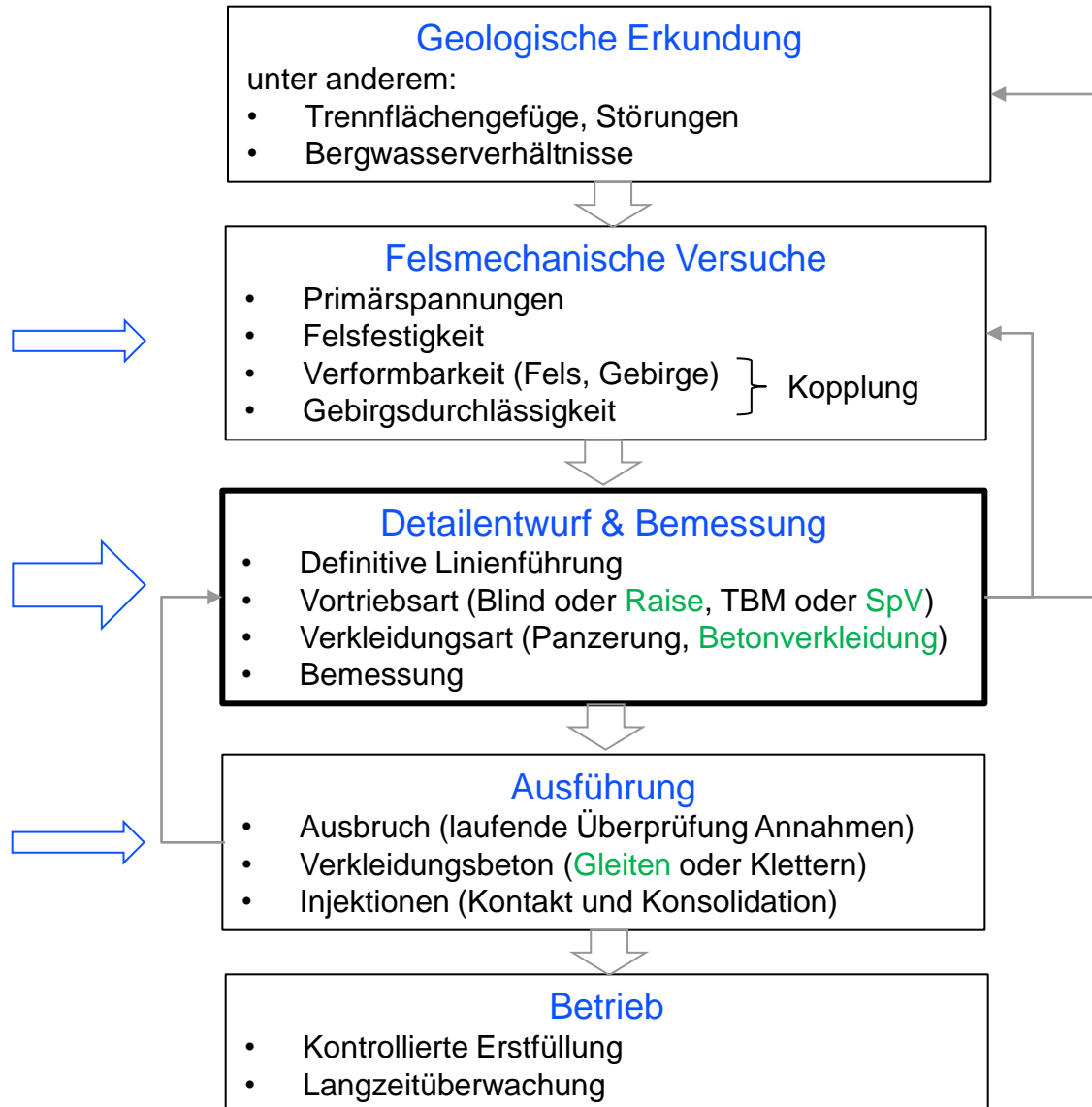
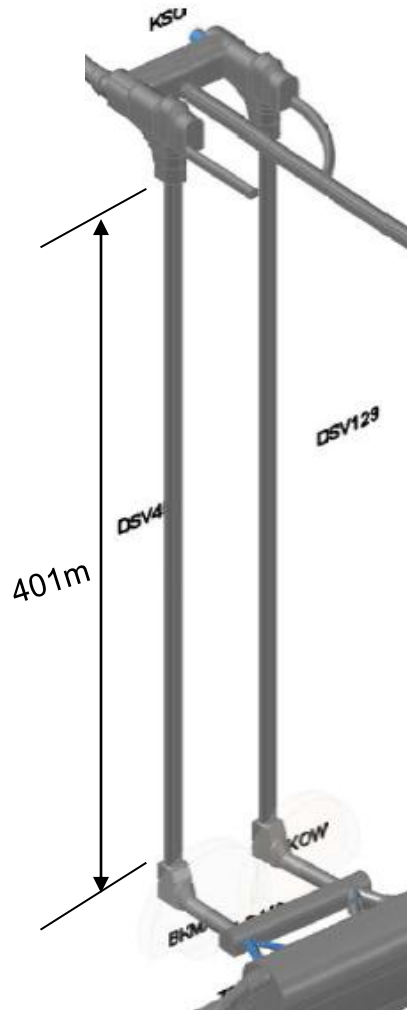


- Blue line** Druckstollen und -schächte (L=2*2.7km)
- Pink line** Obere / Untere Schützenkavernen
- Red line** Maschinen- und Trafokaverne
- Orange line** Hauptzugangstunnel (TBM, L=5.5km, d=9.4m)
- Light green line** Zugangstunnel Emosson (L=2.3km)
- Dark green line** Zugangstunnel Vieux Emosson (L=1.8km)



2. BEMESSUNGSASPEKTE TRIEBWASSERSYSTEM (DRUCKSCHACHT)

Ablaufschema



2. BEMESSUNGSASPEKTE TRIEBWASSERSYSTEM (DRUCKSCHACHT)

Wahl Verkleidungssystem (Schacht & Druckstollen)

Mögliche Verkleidungstypen:

- Panzerung
- Unverkleidet (Spritzbeton)
- Betonverkleidung

Betonverkleidung anstelle Panzerung:

- Hohe Kosten- und Bauzeiteffizienz
- Voraussetzung: Sehr gute topografische und geologische (Layout)
→ Ausreichende Gebirgstragfähigkeit und Dichtigkeit des Gebirges

Betonverkleidung anstelle Spritzbetonverkleidung (unverkleidet):

- Geringere Durchlässigkeit und bessere Dauerhaftigkeit
- Kein Geschieberückhalt notwendig, geringere Aufwendungen im Unterhalt
- Geringere Energieverluste im Betrieb
- Grösserer Verformungswiderstand bei Injektionsarbeiten

2. BEMESSUNGSASPEKTE TRIEBWASSERSYSTEM (DRUCKSCHACHT)

Auslegung Betonverkleidung:

Überprüfung Tragfähigkeit und Dichtigkeit Fels:

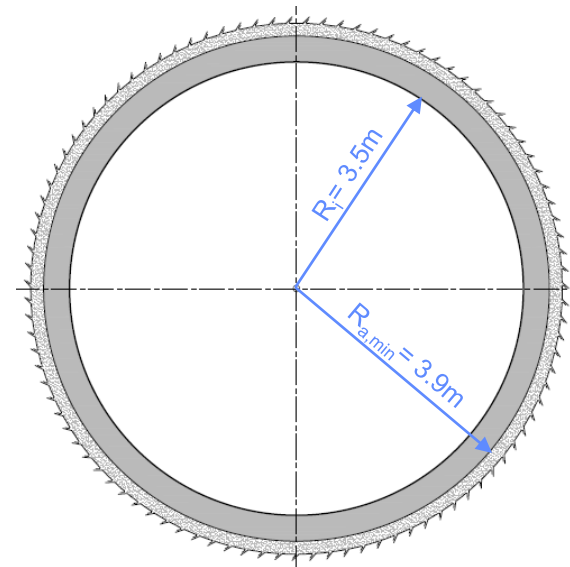
- Gebirgst Tragfähigkeit → Hydrofrac-Risiko
- Dichtigkeit → Beschränkung Sickerwasser (Reichweite, Verluste)

Auslegung Betonverkleidung:

- Hydraulische Lasten
 - Innenwasserdruck
 - Aussenwasserdruck
- Schwinden, Temperatur
- Gebirgslasten
- Injektionsdrücke

Bemessungsergebnisse

- Verkleidungsdicke
- Bewehrungsgehalt und -führung zur Rissbeschränkung
- Art und Umfang Injektionsmassnahmen



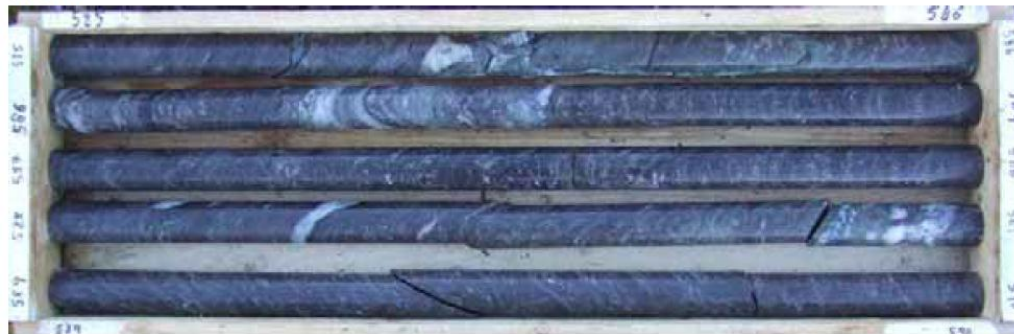
2. BEMESSUNGSASPEKTE TRIEBWASSERSYSTEM (DRUCKSCHACHT)

Geologie - geotechnische Information

Bohrung TSB 5

- Aiguilles Rouges Massiv
 - Orthogneis und Paragneis (Metagrauwake)

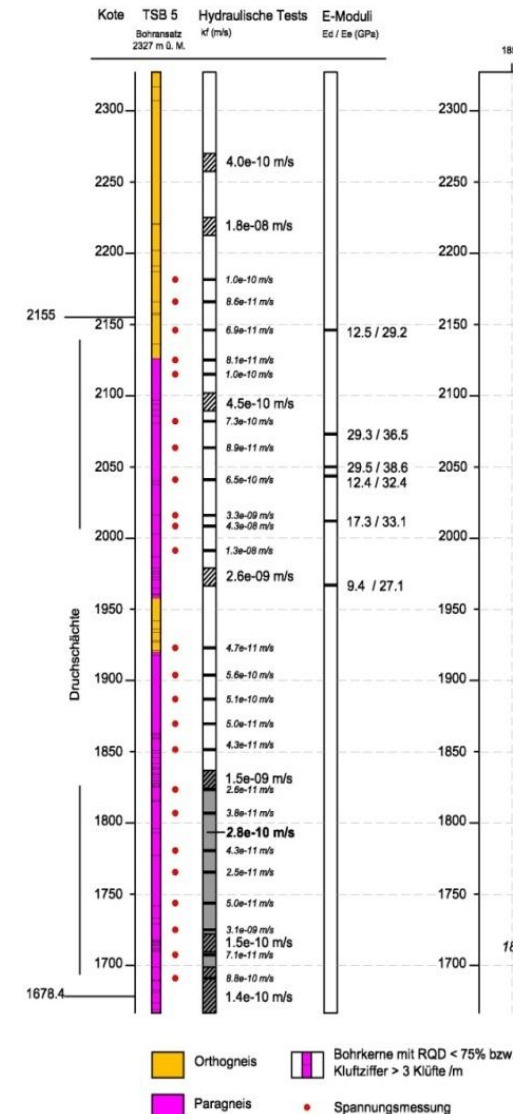
585 m



590 m

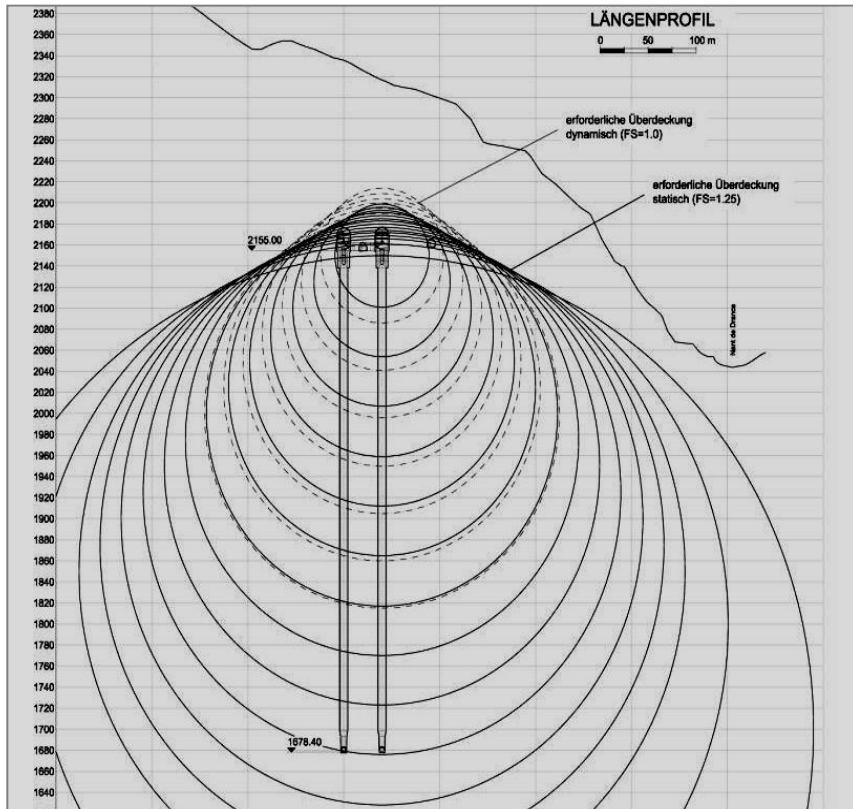
- Bemessungswerte:

	Ed			Kf		
	ungünstig (GPa)	typisch (GPa)	günstig (GPa)	ungünstig (m/s)	typisch (m/s)	günstig (m/s)
massig geklüftet	17	20	38	1.0e-09	1.0e-10	1.0e-11
stark geklüftet	7	15	22	1.0e-07	1.0e-08	1.0e-09
	2*	6	7	5.0e-06*	5.0e-07	1.0e-07

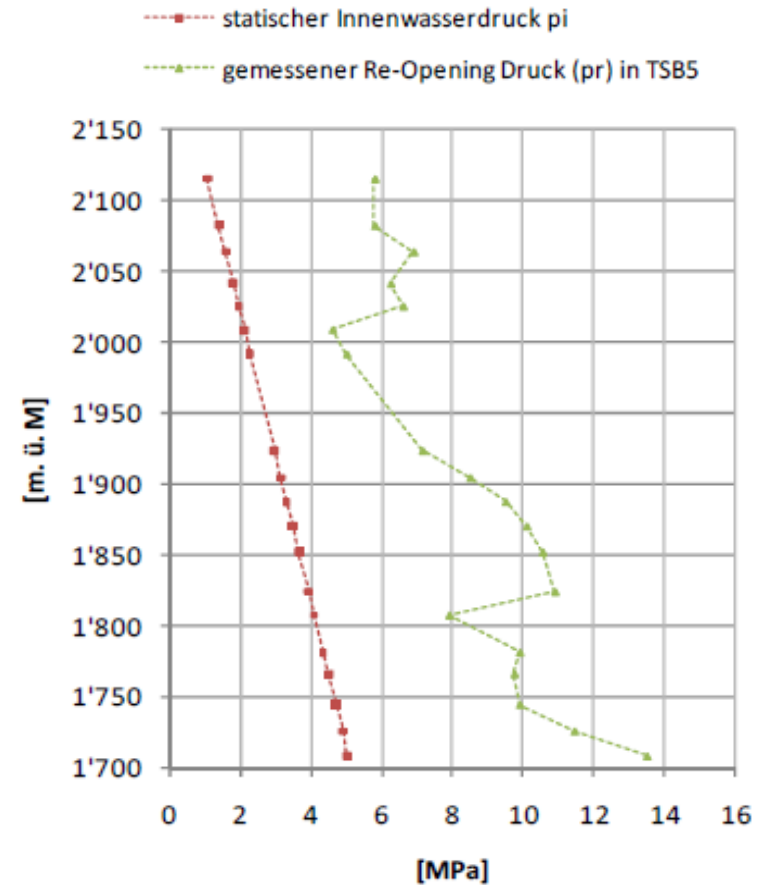


2. BEMESSUNGSASPEKTE TRIEBWASSERSYSTEM (DRUCKSCHACHT)

Überprüfung Gebirgstragfähigkeit



Überprüfung Felsüberdeckung (Österreichischer-Kriterium)



Abschätzung Hydrofrac-Risiko (p_i zu p_r)

2. BEMESSUNGSASPEKTE TRIEBWASSERSYSTEM (DRUCKSCHACHT) Innenwasserdruckbemessung

Einseitige Entleerung des Systems (Zwillingschacht)

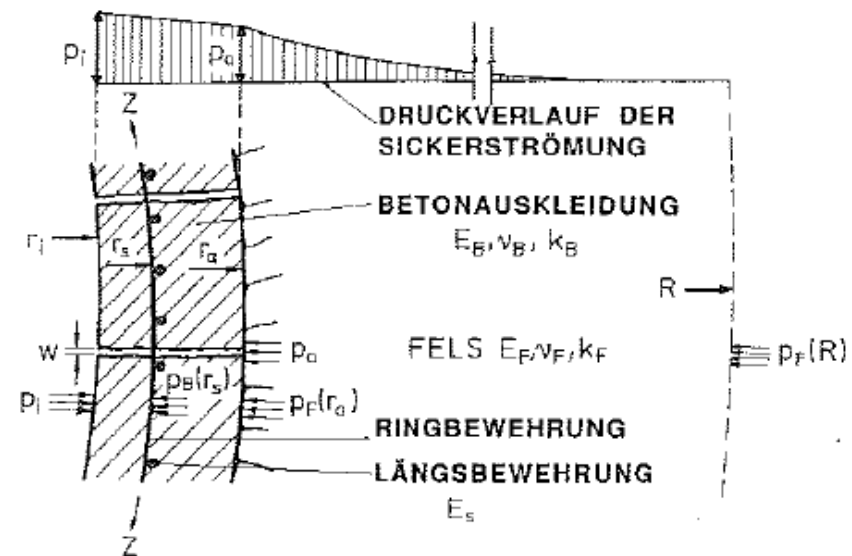
- Überprüfung Gradient und Sickerverluste zwischen Schächte

Bemessung nach Methode Schleiss

Berücksichtigung Kräfte der Sickerströmungen in Auskleidung und Fels, sowie deformationsabhängige Auskleidungsdurchlässigkeit (→ Hydraulische Kopplung)

Nachweis Rissbeschränkung

- Ziel: möglichst viele feine Risse
- Bemessung mit unterschiedlichen Gebirgstefigkeiten durchführen
- Bewehrung unter Berücksichtigung der Rissentstehungsgeschichte bemessen
- Beschränkung der Rissbreiten und Bewehrungsstahlspannungen
- Abschätzung Sickerwasserverluste und deren Reichweite aufgrund Rissverteilung



2. BEMESSUNGSASPEKTE TRIEBWASSERSYSTEM (DRUCKSCHACHT)

Aussenwasserdruckbemessung

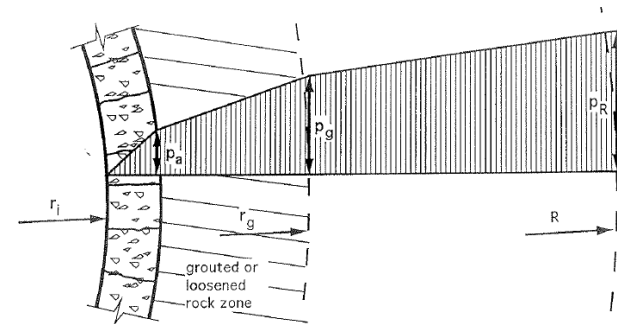
Bemessung nach Methode Schleiss

Berücksichtigung Kräfte der Sickerströmungen in Auskleidung und Fels aufgrund deren Durchlässigkeiten

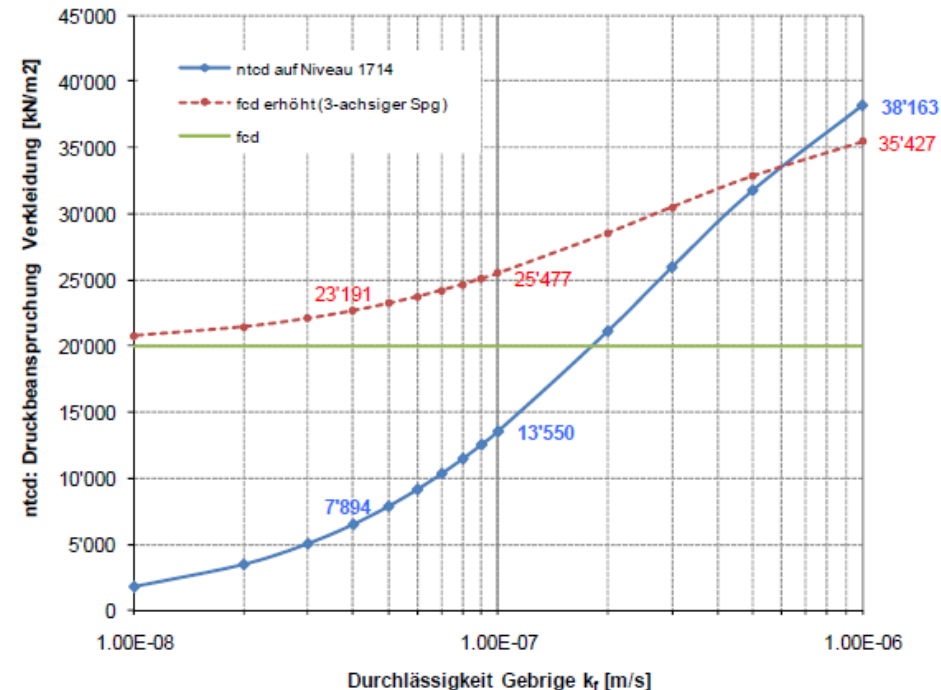
Bemessungsfälle und Kombinationen

Berücksichtigung Durchlässigkeit Beton

- Ungerissene Innenschale
- Gerissene Innenschale
- Variation Gebirgsdurchlässigkeiten
- Variation Durchlässigkeiten aufgelockerte bzw. Injizierter Zone

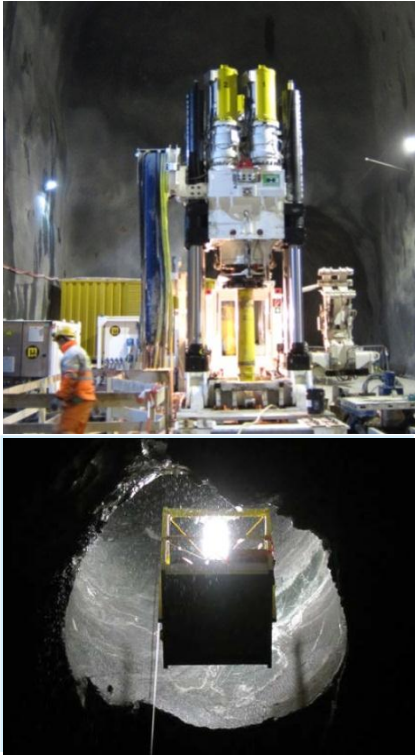


Sickerströmung durch unterschiedliche Zonen

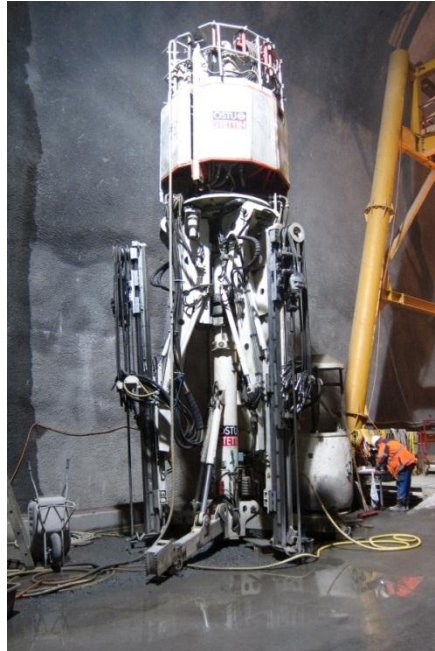


2. BEMESSUNGSASPEKTE DRUCKSCHACHT

Baumethode und Ausführung:



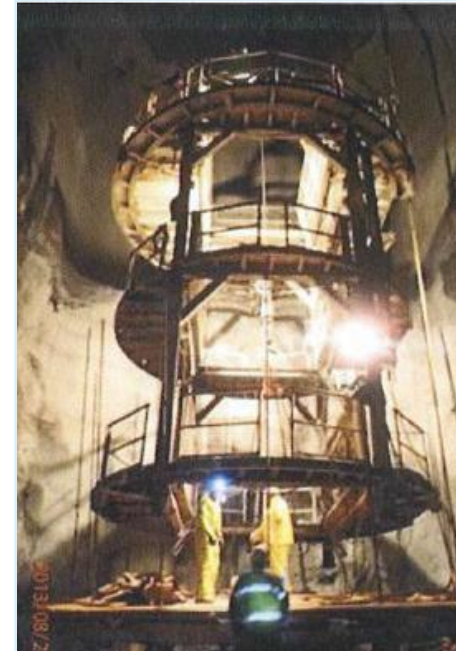
Raise drill
(d=2.2m)



Abteufung im SpV
(d=8.0m)



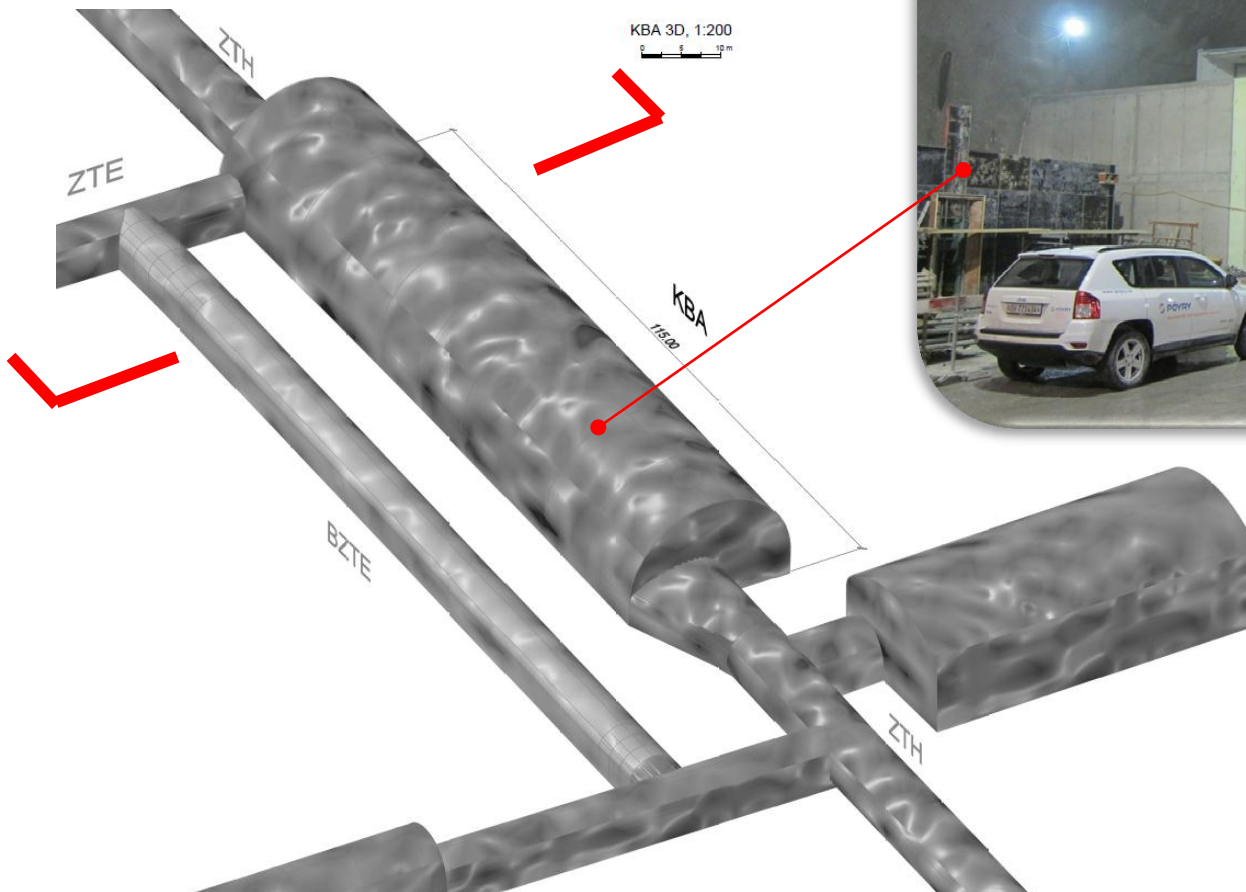
Gleitbeton



Injektionen
(Kontakt & Konsolidation)

3. BEMESSUNGSASPEKTE LOGISTIKSTOLLEN- UND KAVERNEN

Interaktionen Stollen und Kavernen



3. BEMESSUNGSASPEKTE LOGISTIKSTOLLEN- UND KAVERNEN

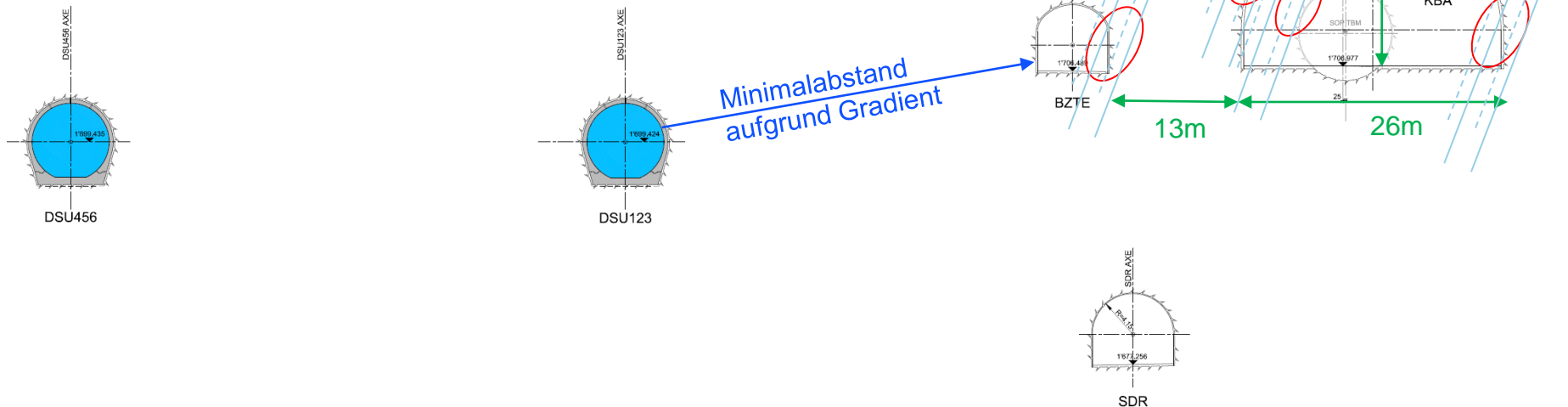
Interaktionen Stollen und Kavernen

Kennwerte KBA:

- Spritzbetonverkleidung mit Anker 6-8m
- Überlagerung ca. 600m
- Orthogneis mit Paragneislinsen und Metagrauwacken
- $UCS_{\text{Gneis}} = 78 (\pm 40) \text{ Mpa}$
- $UCS_{\text{Grauwacke}} = 45 (\pm 21) \text{ Mpa}$

Herausforderung:

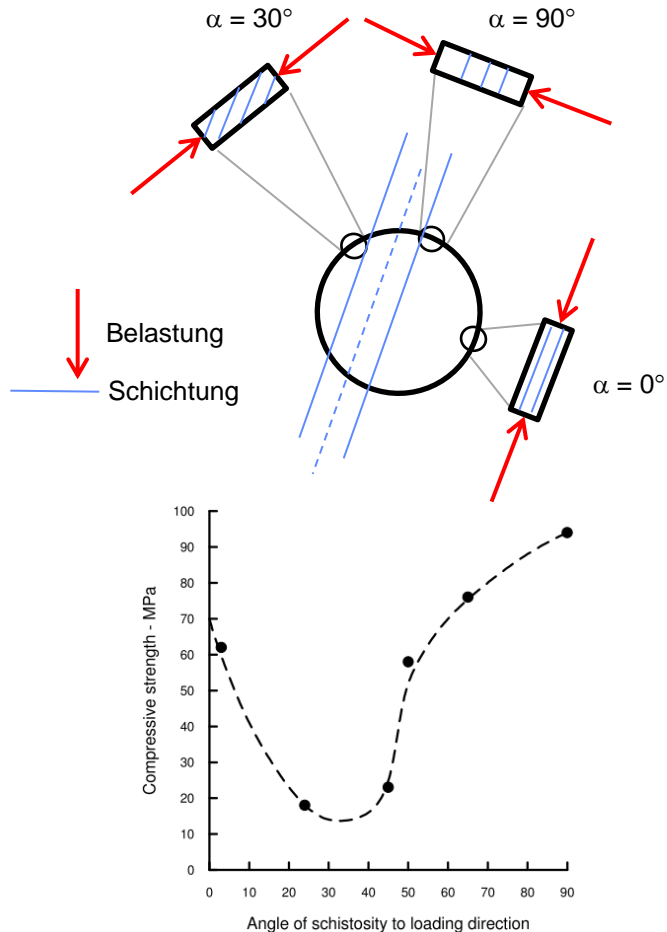
- Gradient Triebwasserweg
- Klassisches Felsfeilerproblem (?)
- Wechselnde Geologie
- Signifikante Schichtung → Strukturelle Anisotropie



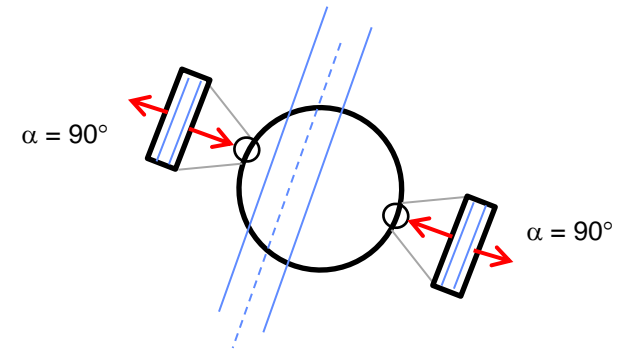
3. BEMESSUNGSASPEKTE LOGISTIKSTOLLEN- UND KAVERNEN

Strukturelle Anisotropie

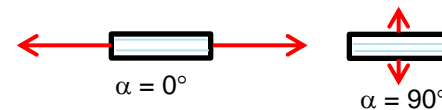
Druckfestigkeit



Zugfestigkeit



Starke Achse: Zugfestigkeit längs zur Schichtung
 Schwache Achse: Zugfestigkeit normal zur Schichtung

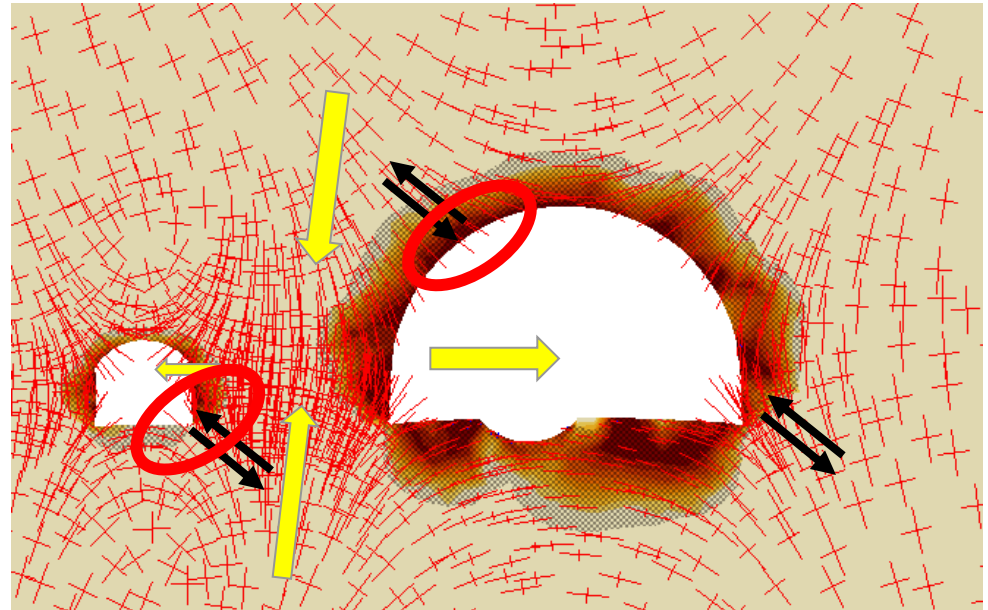


4. BEMESSUNGSASPEKTE LOGISTIKSTOLLEN- UND KAVERNEN

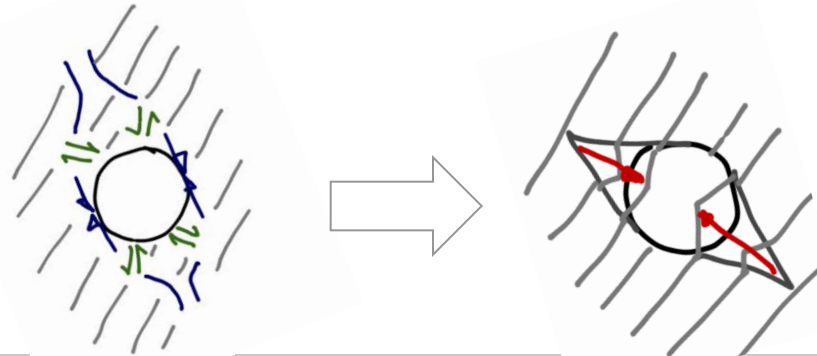
Interaktionen Stollen und Kavernen



Einseitige Aufblätterung & Abschaltungen im ZTH



Spannungsverlauf und platische Zone



3. BEMESSUNGSASPEKTE LOGISTIKSTOLLEN- UND KAVERNEN

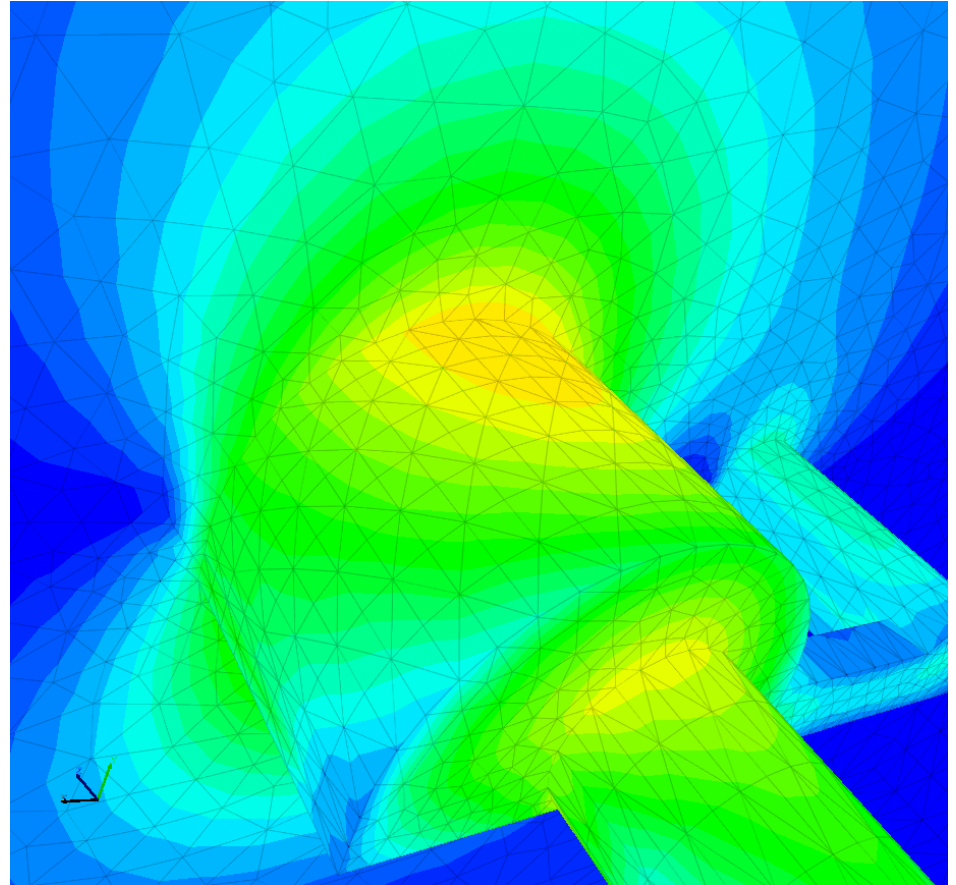
Interaktionen Stollen und Kavernen

Modell des sequenziellen Auffahrens der Bauwerke

- FLAC 3d
- Bi-linear strain-hardening/softening
- Ubiquitous Joints

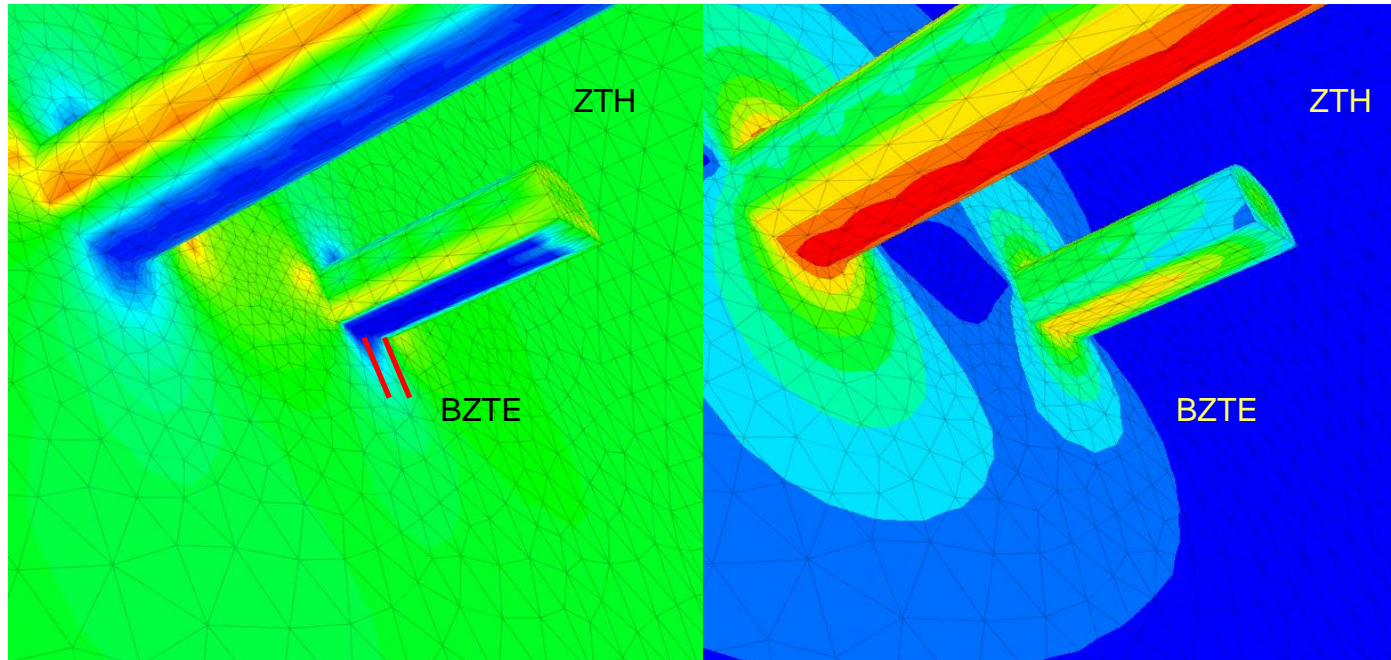
Ausbruchsequenzen:

1. Hauptzugangstunnel ZTH (TBM)
2. Bauzugang BZTE
3. Baukaverne KBA
4. Verbindungsstück ZTE



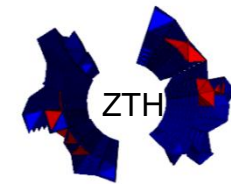
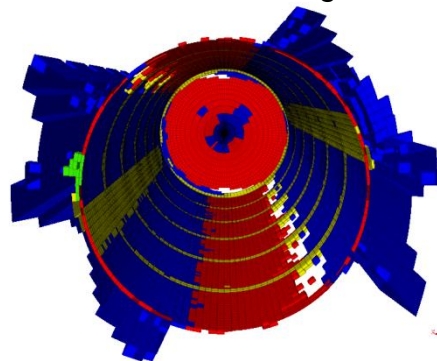
3. BEMESSUNGSASPEKTE LOGISTIKSTOLLEN- UND KAVERNEN

Interaktionen Stollen und Kavernen

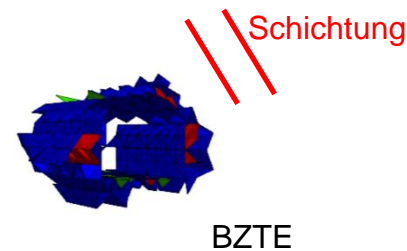


Verschiebungen

Vertikalspannungen



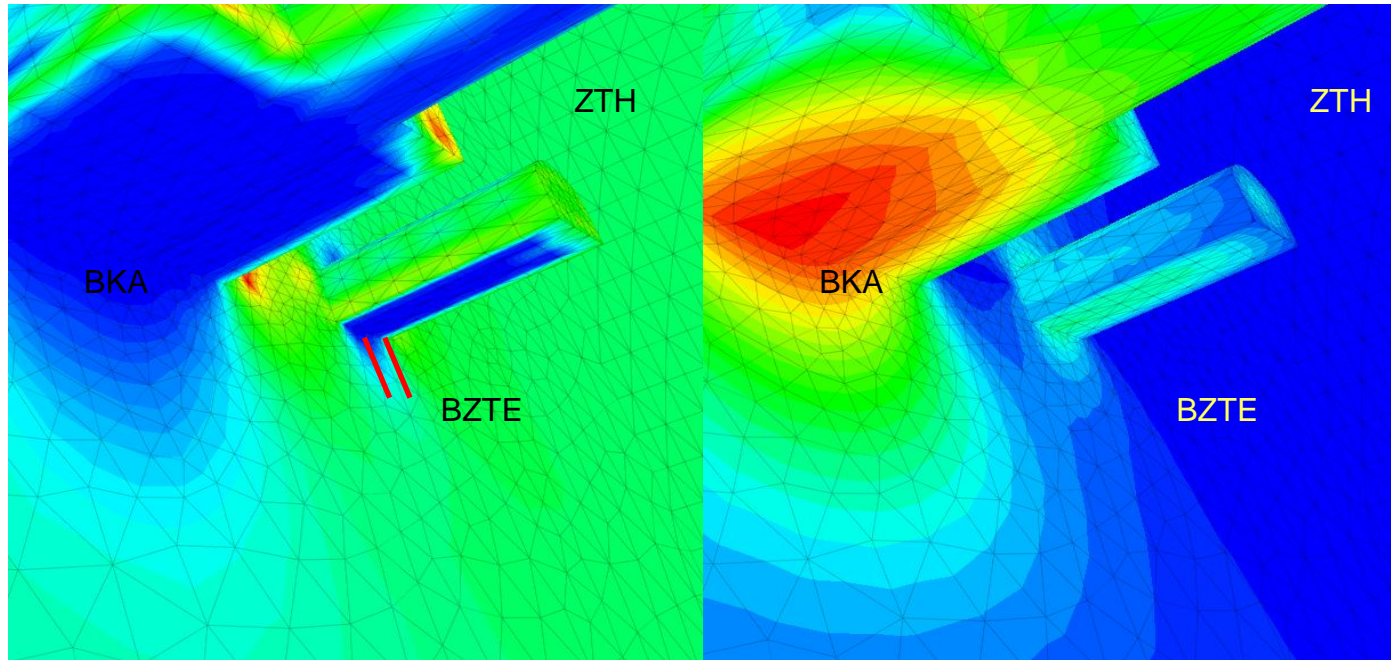
Plastische Element



BZTE

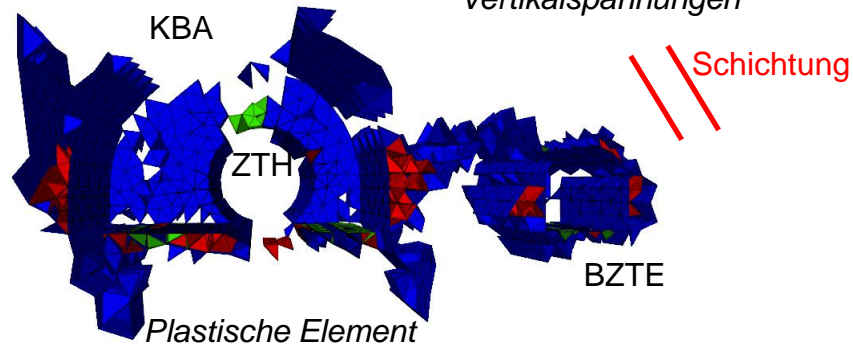
3. BEMESSUNGSASPEKTE LOGISTIKSTOLLEN- UND KAVERNEN

Interaktionen Stollen und Kavernen



Verschiebungen

Vertikalspannungen

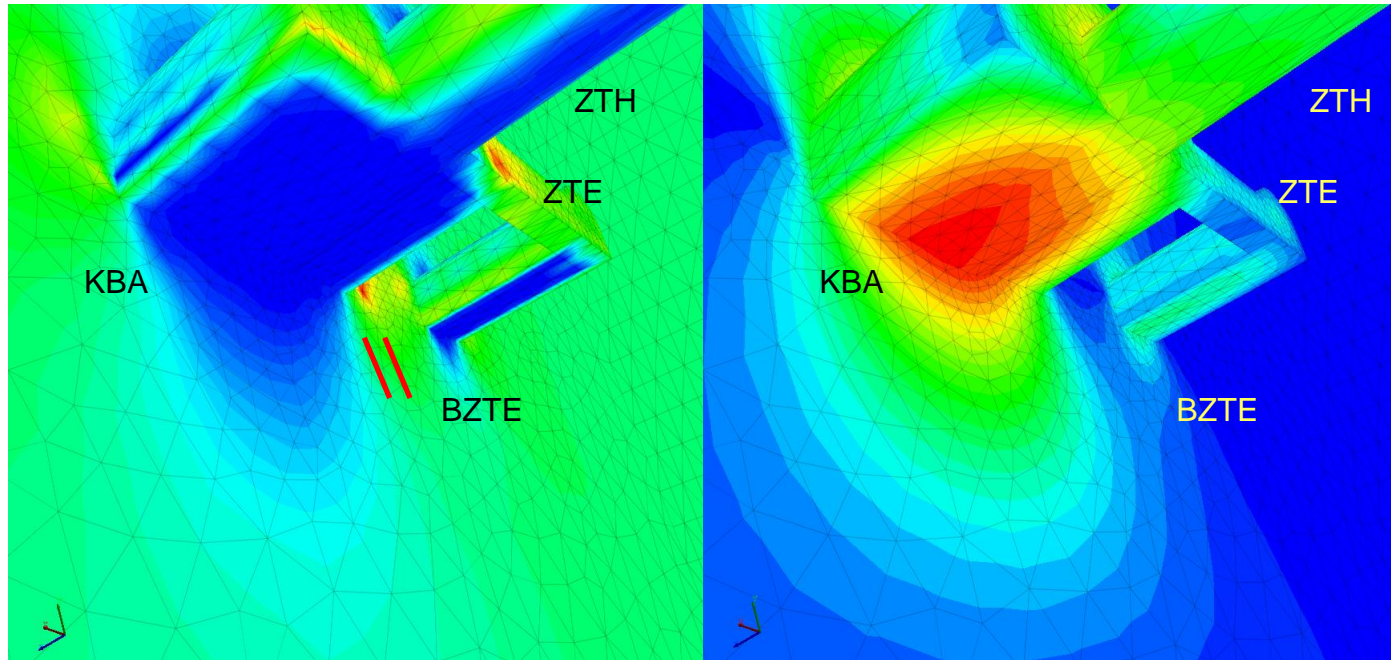


Plastische Element

Schichtung

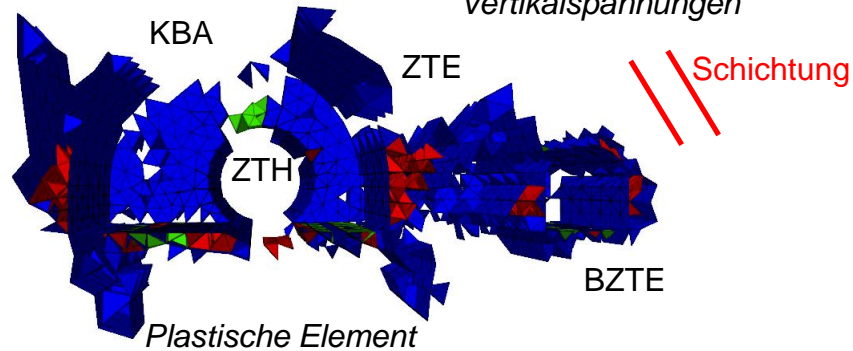
3. BEMESSUNGSASPEKTE LOGISTIKSTOLLEN- UND KAVERNEN

Interaktionen Stollen und Kavernen



Verschiebungen

Vertikalspannungen



4. ROLLE DES UNTERTAGBAUS IM WASSERKRAFTBAU

Bauverfahren (Bsp. NdD):

- Rohrschirmvortrieb
- TBM
- Raise-drill & Schachtabteufung
- Sprengvortrieb (sequentiell)

Bemessung Hohlraumsicherung

- Stollen, Kavernen, Schächte

Auslegung Druckstollenverkleidung

- Interaktion Hydraulische Lasten – Verkleidung – **Fels**
- Injektionsmassnahmen

Kosten & Risiken

- Hauptkosten fallen bei einem PSW auf Untertagbau
- Hauptrisiken liegen in der Geologie und somit im Untertagbau





Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !

Kontakt:

Marcel Winter, Bauingenieur ETH
marcel.winter@poyry.com
+41 76 356 20 44

