

Felsmechanische und felshydraulische Aspekte einer Grosskaverne

Kolloquium “Grosse Querschnitte”

Dr. Philippe Nater
philippe.nater@poyry.com
+41 76 356 29 10
Herostr. 12
8048 Zurich

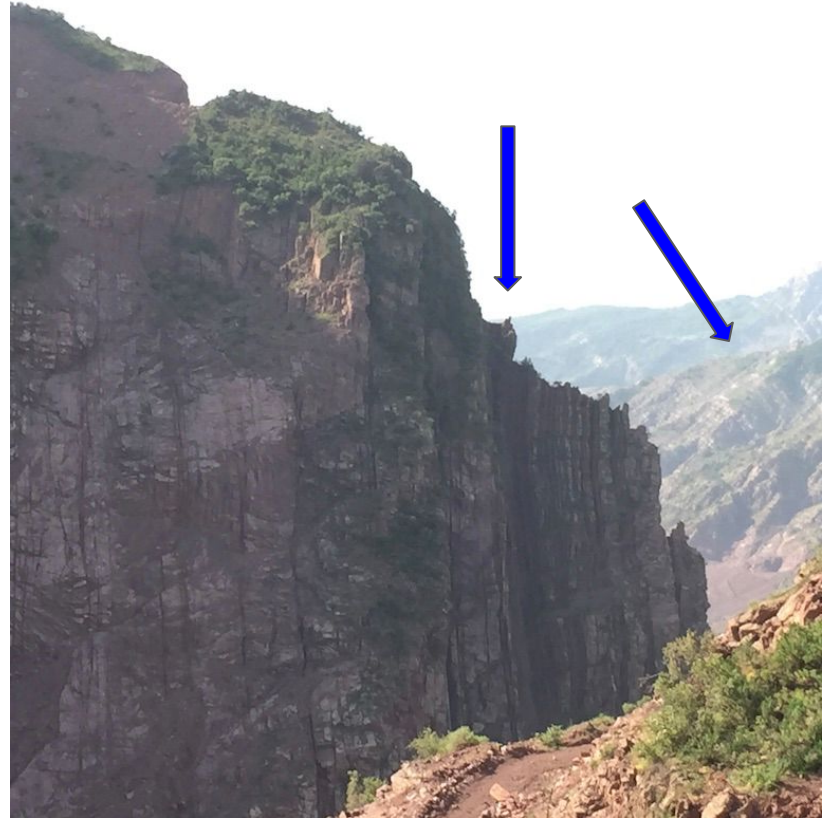


Dr. Pascal Minder
pascal.minder@poyry.com
+41 78 643 26 26
Herostr. 12
8048 Zurich

Agenda

- Projektbeschreibung
- Grosse Querschnitte im Projekt
- Felshydraulische Aspekte

Richtungsänderung der Schichtung



Projektbeschreibung

Überblick über die Anlage

- Projekt im Bau und in rollender Planung
 - Kunde wünscht keine Nennung und keine spezifischen Angaben
- Projekt hat Geschichte - Planung 70'er - Baubeginn 80'er Jahre
 - Aufgabe der Bautätigkeit nach politischen Umwälzungen
 - Teilweise Flutung tiefliegender Bauteile
 - Studien zur Machbarkeit nach 20 Jahren
 - Wiederaufnahme des Projekts nach mehr als 25 Jahren



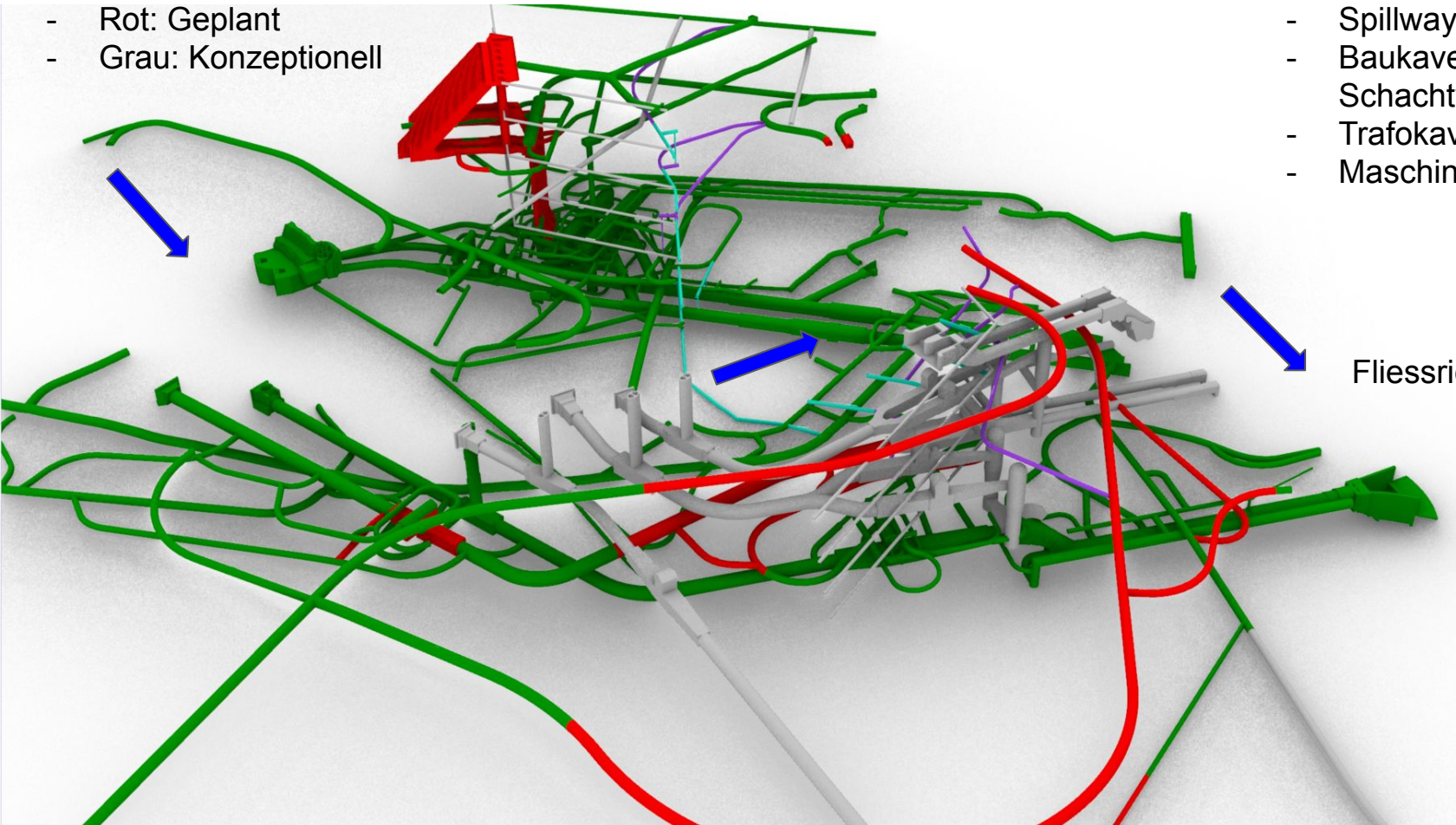
Stark beschädigter Zugangstunnel

Grosse Querschnitte im Projekt

- Gebirge
 - Sandsteine + Siltsteine
 - Gipseinlagen => Auslösungen?
 - Salzsichten bei den Hauptstörungen => Auslösungen?
- Eigenschaften
 - Keine aktuellen Laborversuche - bestellt...
 - Wasserabpressversuche und Überwachung von Injektionsarbeiten
- Spannungsregime
 - Durch aktiven tektonischen Schub und Erosion stark geprägt
 - Regionale Störzonen mit grossen jährlichen Verschiebungsraten und potentiellern Versatz bei Starkbeben

(Fast) Alle Untertagbauwerke im Projekt

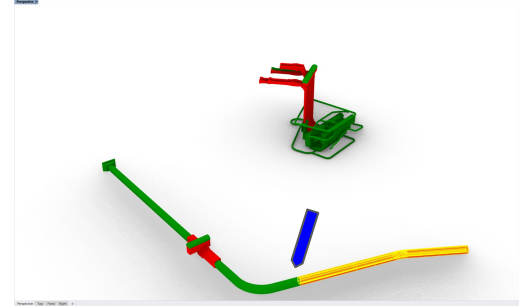
- Grün: Gebaut
- Rot: Geplant
- Grau: Konzeptionell



4 Querschnitte werden
näher vorgestellt:

- Spillway Level 4
- Baukaverne für die
Schachtvortriebe
- Trafokaverne
- Maschinenkaverne

Fließrichtung



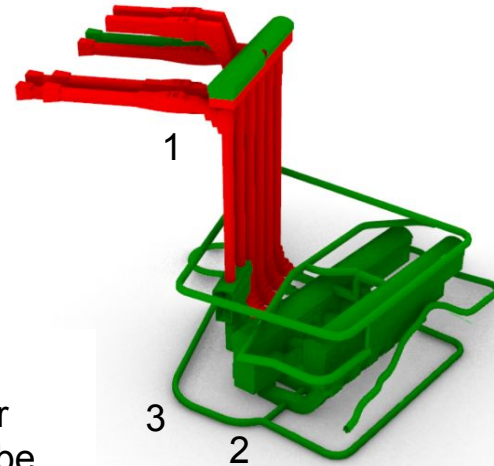
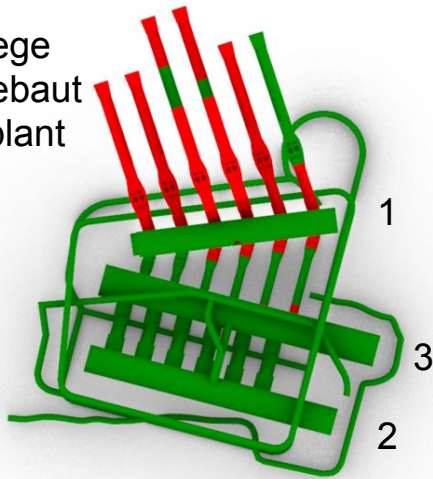
4 Spillway Level 4

Beim Anfahren einer der
Hauptstörzonen => Versatz

B x H = 18 m x 18 m

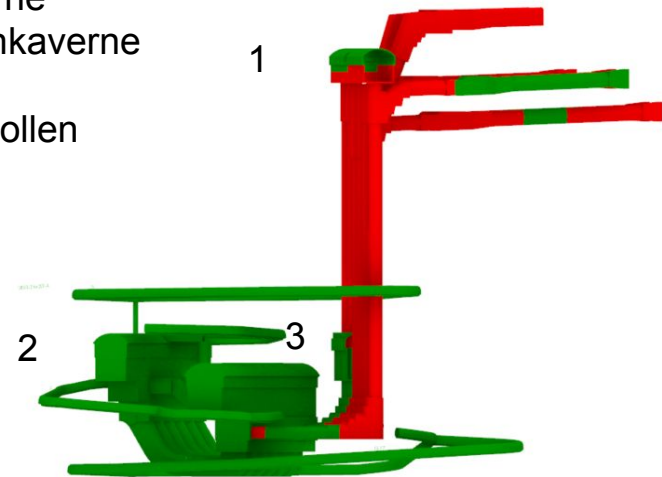
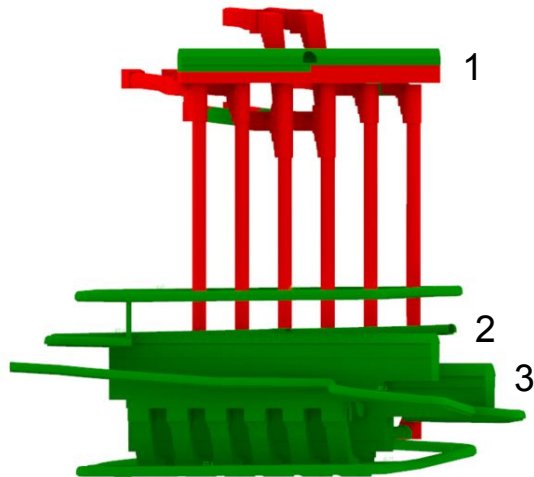
Fokus auf Triebwasserwege

- Grün: Gebaut
- Rot: Geplant



Linke Talflanke

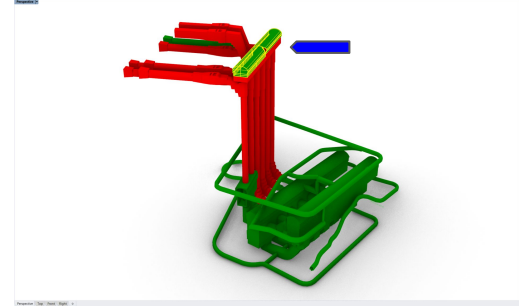
1. Baukaverne für Schachtvortriebe
2. Trafokaverne
3. Maschinenkaverne & Dränagestellen



1 Baukaverne für die Schachtvortriebe

L x B x H = 156 m x 20 m x 21 m

- Kalottenvortrieb - Kavernendach
- Vorwiegend im stark durchtrennten Sandstein



Weitere Herausforderungen:

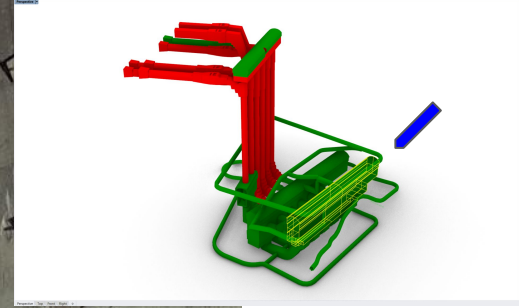
- Systematische Injektionen zur Gebirgsverbesserung
- Drainagekonzept muss neu überdacht werden
- Etlche Verschneidungen mit den Triebwasserwegen



2 Trafokaverne

L x B x H = 200 m x 22 m x 41 m

- Vorwiegend im kompakten Sandstein
- Systematischer Einbau von vorgespannten Ankern
- Systematische Injektionen zur Gebirgsverbesserung



3 Maschinenkaverne

L x B x H = 220 m x 25 m x 54 m

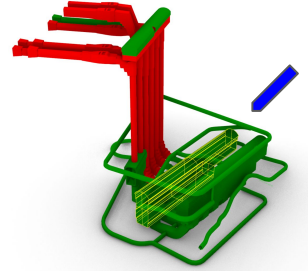
6 Turbinen

2 davon bereits in Betrieb

=> Produktion liefert Anteil an die Finanzierung

Installierte Kapazität 3.5 GW

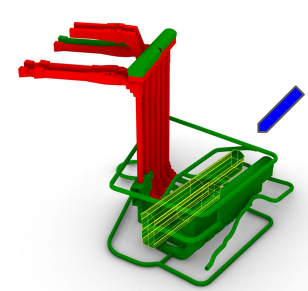
- Vorwiegend im kompakten Sandstein
- 1 grössere Störung
- Systematischer Einbau von vorgespannten Ankern
- Systematische Injektionen zur Gebirgsverbesserung



3 Maschinenkaverne

Mit permanenter Wandverkleidung

- Weiße Blechpaneele
- Was ist hinter der Wand?



Felshydraulische Aspekte

- Beherrschung der einsickernden Wassermenge und Einfluss des Wasserdrucks auf die Kavernen - und andere Bauteile

Dazu:

- Erstellung von Arbeitshypothesen zur Beurteilung der Sickerwasserwege
- Statistische Auswertung von ca. 2'000 Wasserabpressversuchen - Lugeon
- Statistische Auswertung von systematisch durchgeführten Zementinjektionen in den Kavernen
- Statistische Auswertung von Testinjektionen

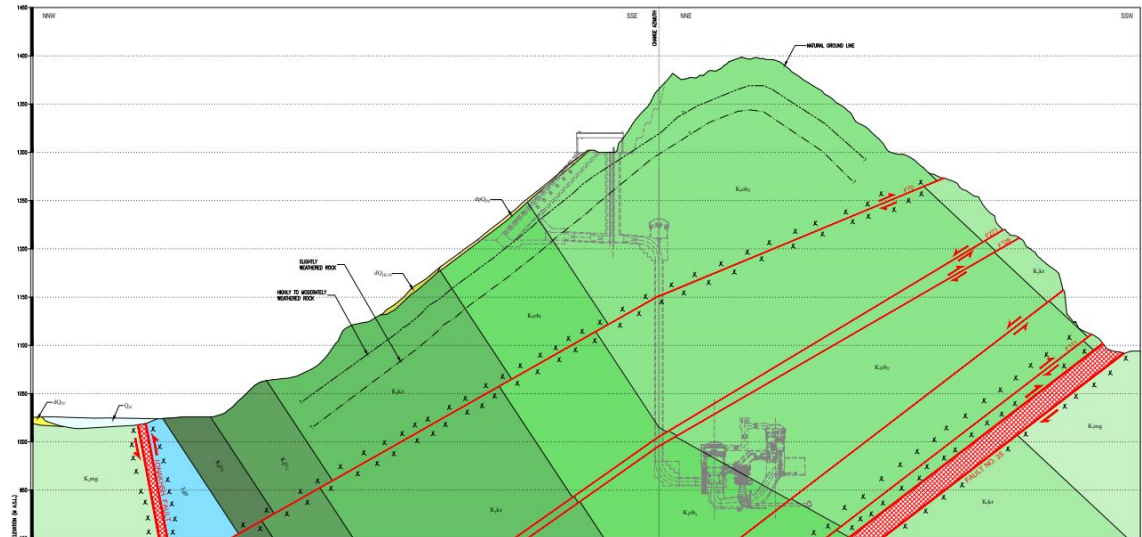
Sickerströmung zur Maschinenkaverne im Endzustand

Ausgangslage und Problemstellung

Geplanter Einstau bei ca. 340 m über Maschinenkaverne

Mögliche Wasserwegigkeiten infolge Klüftigkeit und Wechsellagerung Siltstein/Sandstein

Wirksamkeit von Drainage
und Abdichtungsmassnahmen
sind abzuklären



Modellbildung

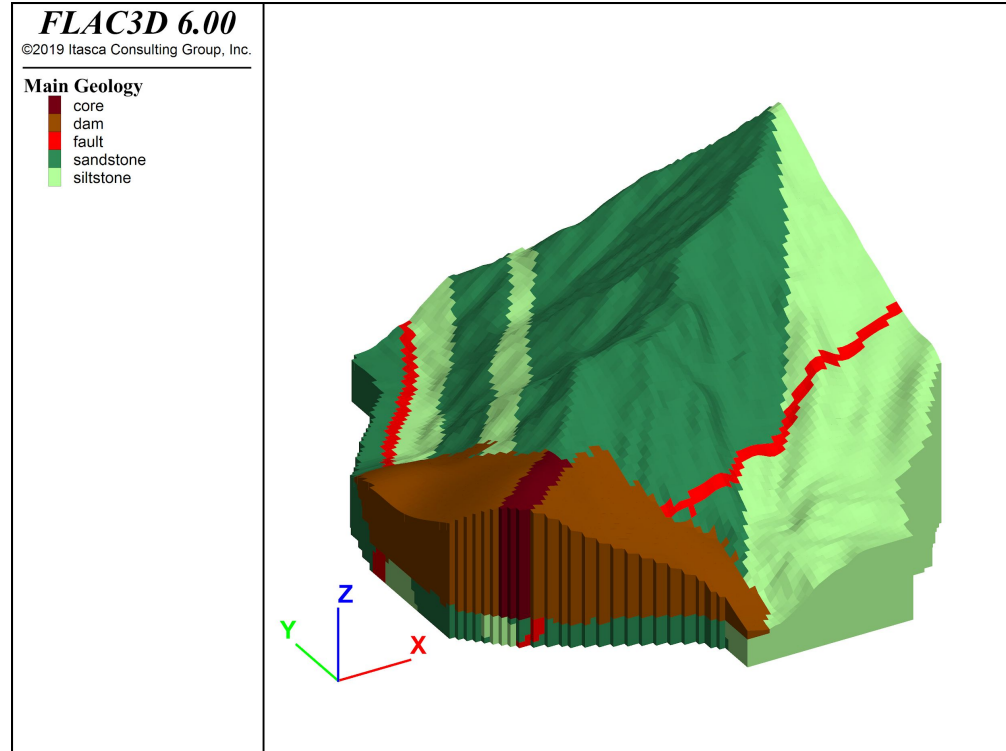
Grundlagen

- Topographie
 - Drohnenaufnahmen
- Geologie
 - 3D Modell der Schichtpakete und Hauptstörungen
- Ausgewählte Strukturen (gebaut/geplant)
 - Hauptkavernen
 - Dränagestollen

FD-Modell in FLAC 3D

Abmessungen: 1670m x 1360m x 800m

Von Beginn an dynamische Modellgenerierung, da mit Änderungen und Erweiterungen des Auftrags / Modells gerechnet wurde.

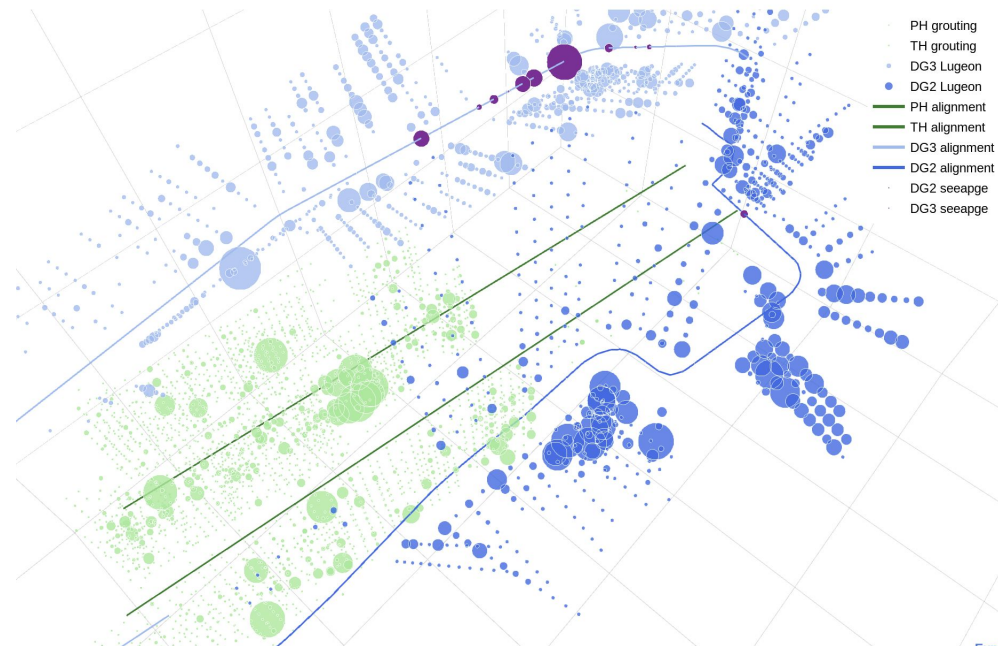


Bodenkennwerte

Haupt-Eingangsparameter: Gebirgsdurchlässigkeit

- Erste Angaben
 - Siltstein $1\text{E-}10$ m/s
 - Sandstein $1\text{E-}7$ m/s
- Statistische Auswertung aller verfügbarer Lugeon-Test
 - Kompakter Siltstein $1\text{E-}7$ m/s
 - Kompakter Sandstein $2\text{E-}7$ m/s
 - Keine erhöhte Durchlässigkeiten entlang Schichtgrenzen in Feldversuchen gemessen.

Auswahl an Messpunkten der Lugeon Tests



Erhöhte Durchlässigkeit an Oberfläche

Main Geology

Cut Plane: on

- dam
- faults
- sandstone
- sandstone_w1
- sandstone_w2
- siltstone
- siltstone_w1
- siltstone_w2

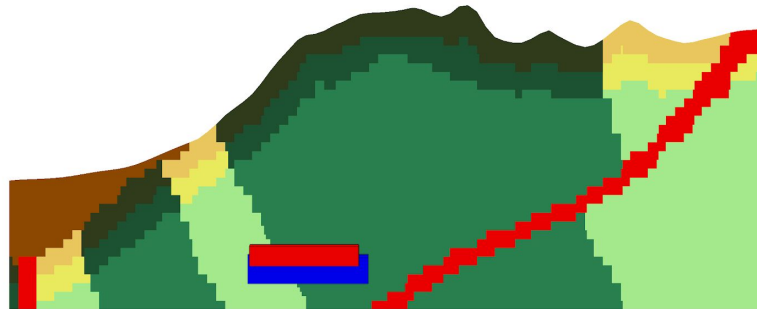
Geometry Group

- PH2
- TH2

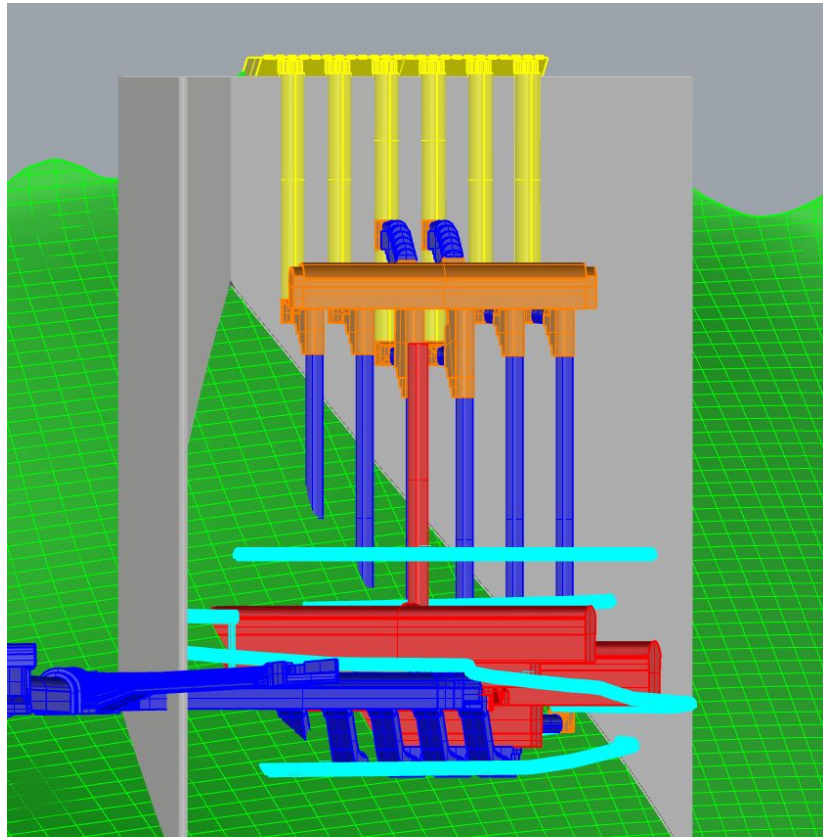
Wesentlich tiefere “Verwitterung” in Oberflächennähe gemessen als prognostiziert.

Durchlässigkeitsunterschiede zwischen aufgelockertem Gestein und gesundem Fels (Faktor 7-50) ist grösser als zwischen Silt und Sandstein (Faktor 2)

Szenarien: Verwitterungstiefe 80 m /150 m



Massnahmen bezüglich Sickerwasser



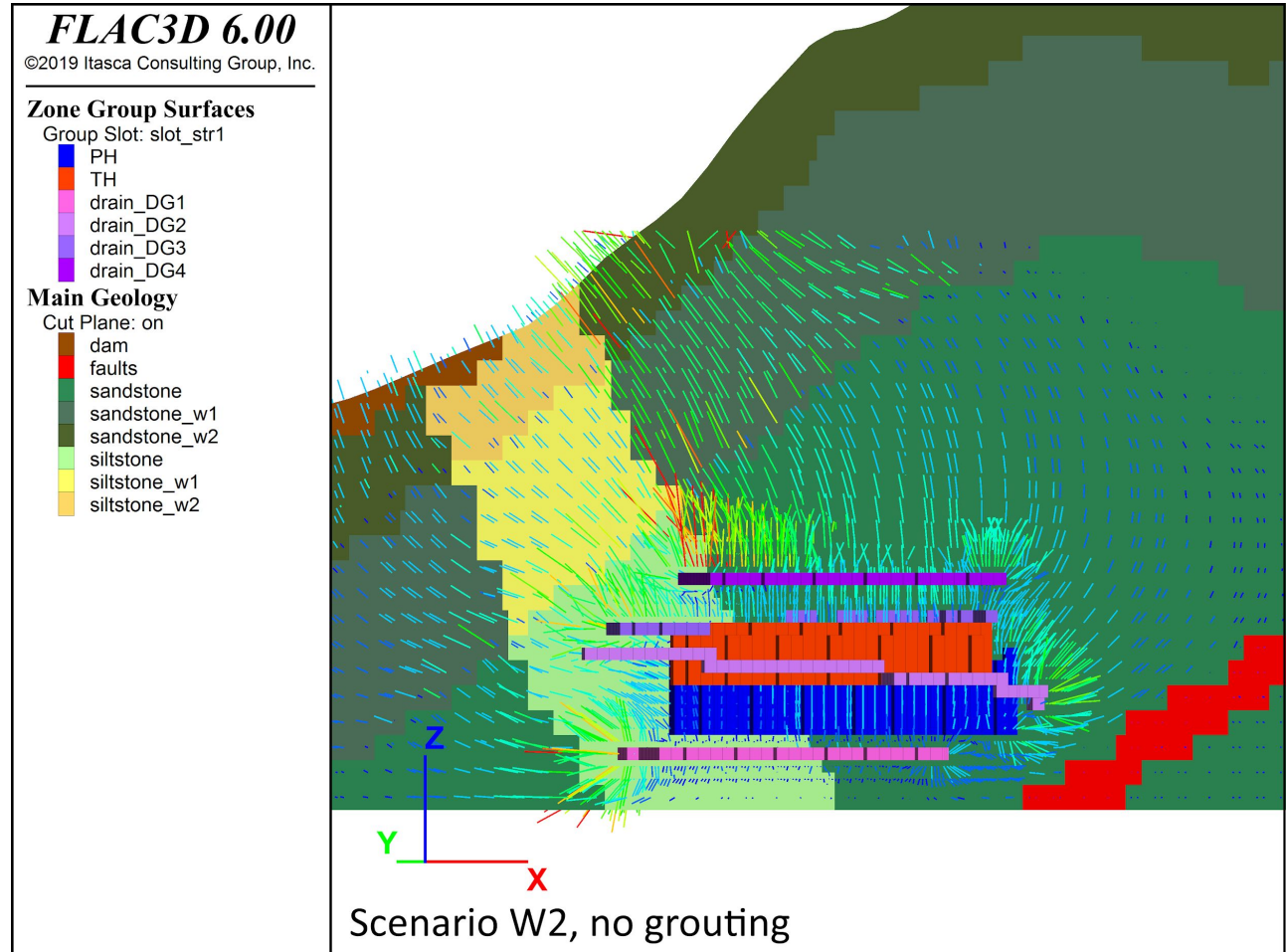
Szenarien Abdichtungsschirme:

- keine zusätzlichen Massnahmen
- Schirm in Verwitterungszone entlang Damm-Achse
- erweiterter Schirm entlang Dammflanke im durchlässigen Sandstein mit Einbindung in die Siltsteinpakete

In allen Szenarien sind 4 Drainagegalerien um die Grosskavernen aktiv am Entwässern.

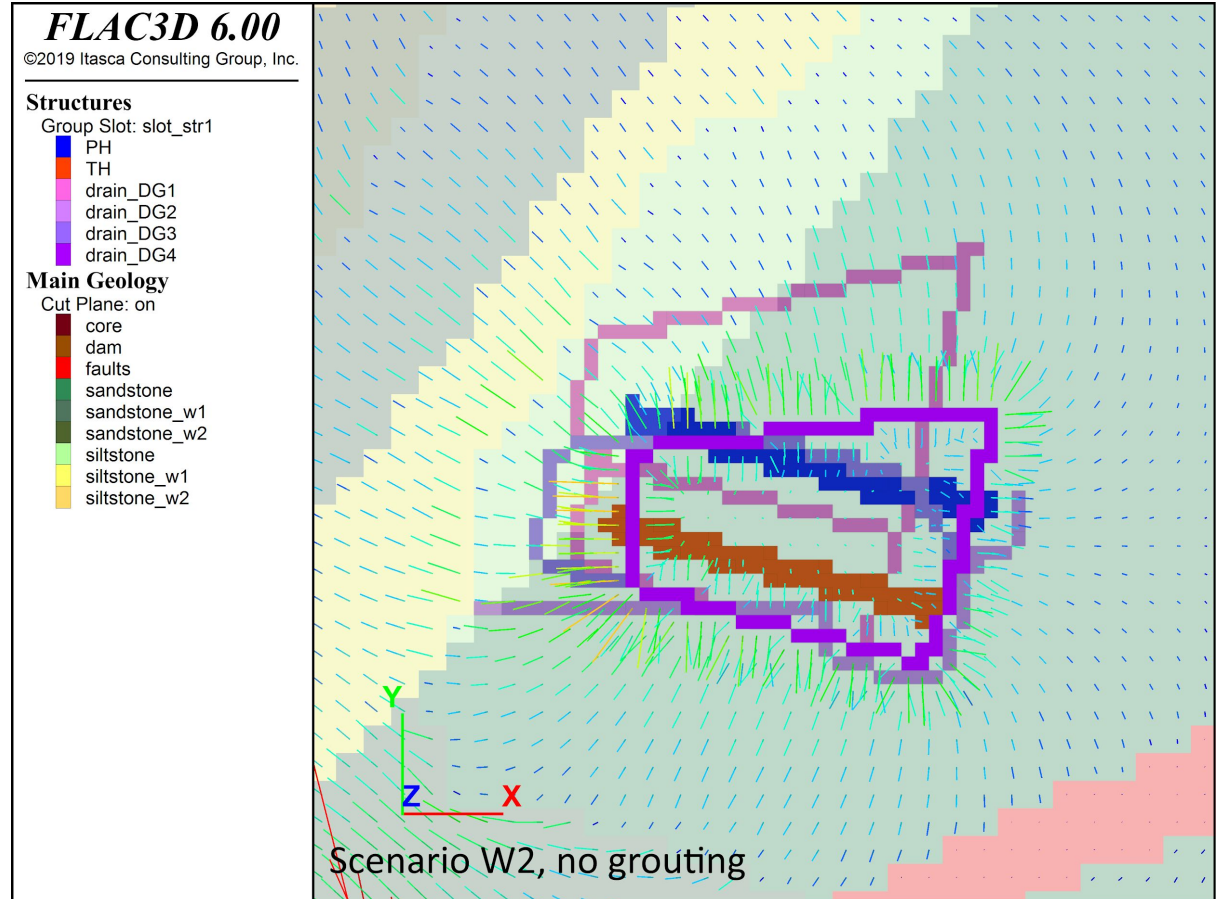
Resultate

Strömungsfeld
allgemein



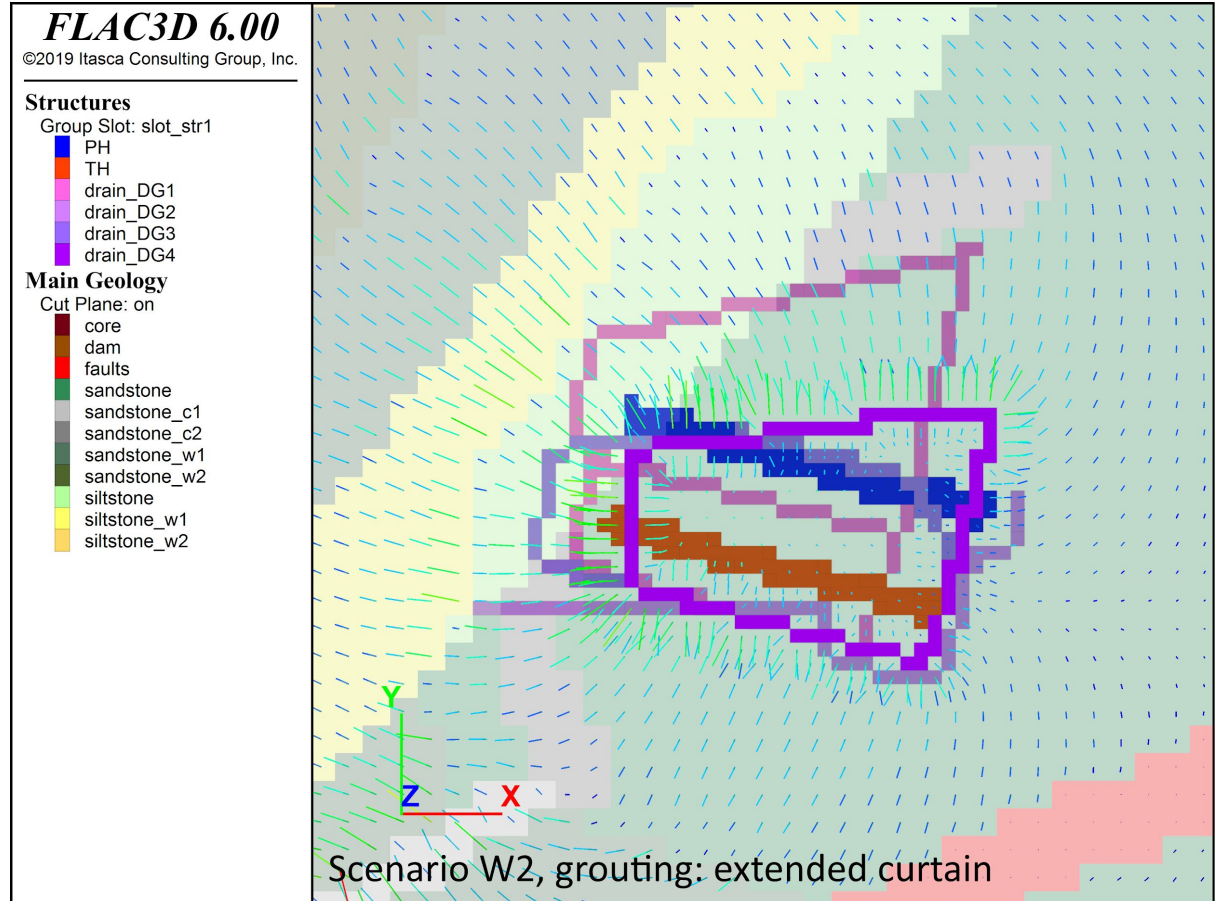
Resultate

Strömungsfeld auf
Niveau Galerie 4 ohne
Abdichtungsschirm



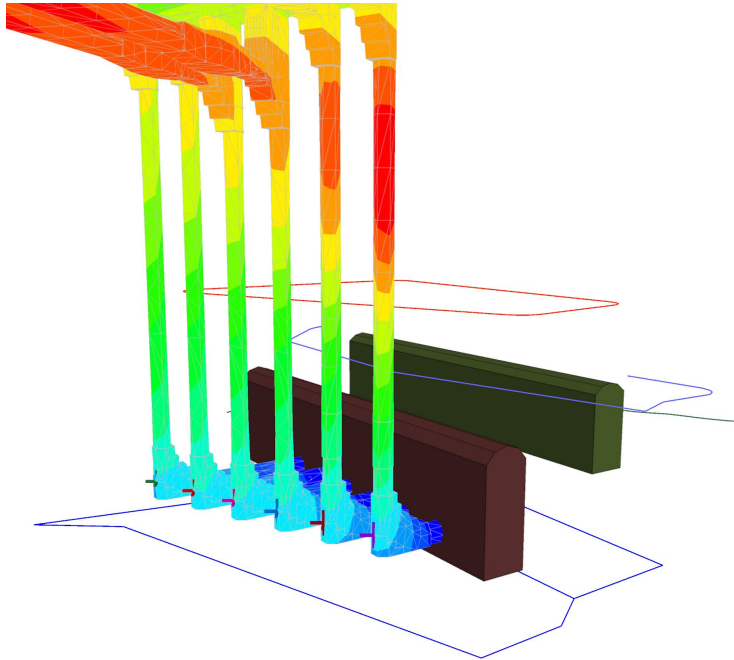
Resultate

Strömungsfeld auf
Niveau Galerie 4 mit
Abdichtungsschirm

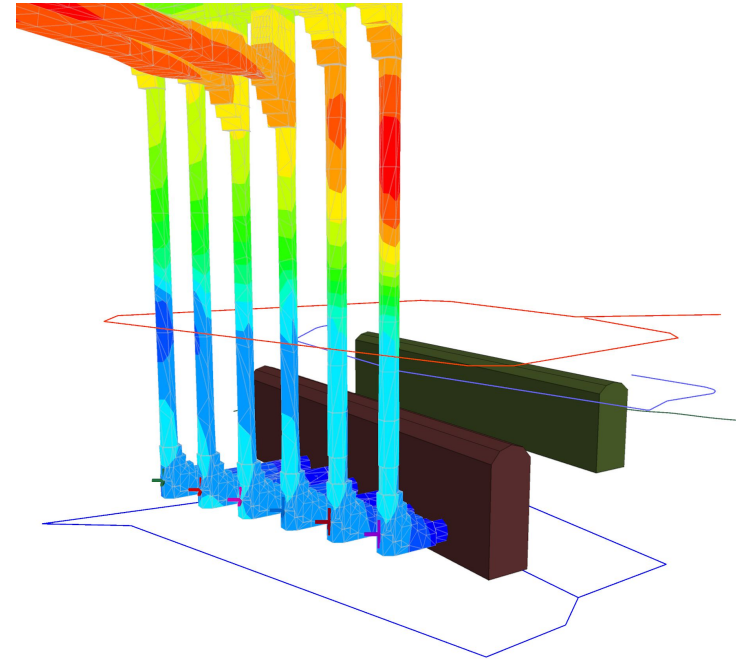


Resultate: Wasserdruck auf angrenzende Strukturen

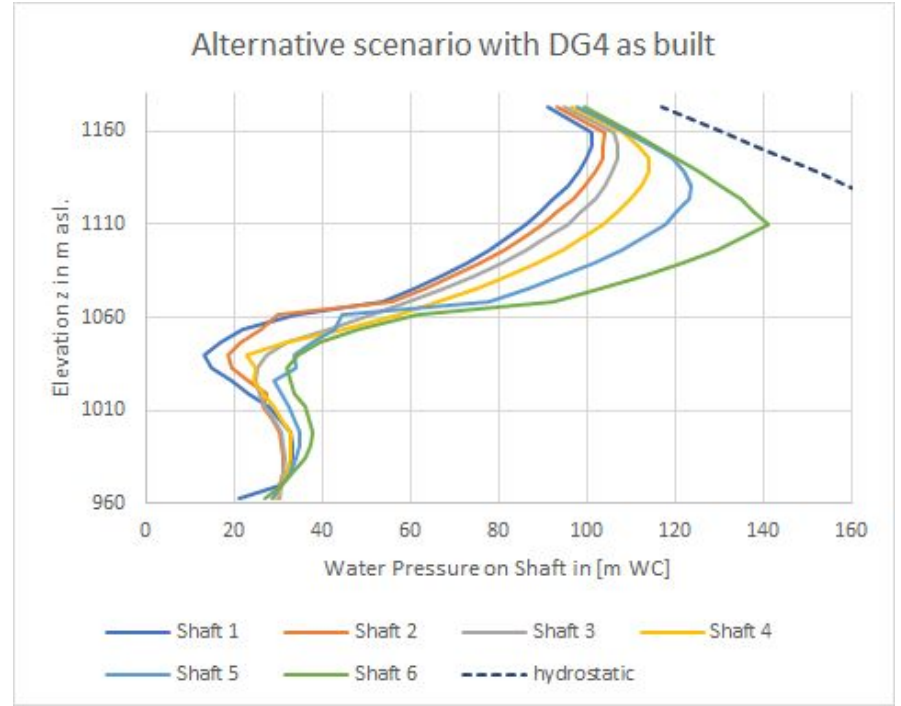
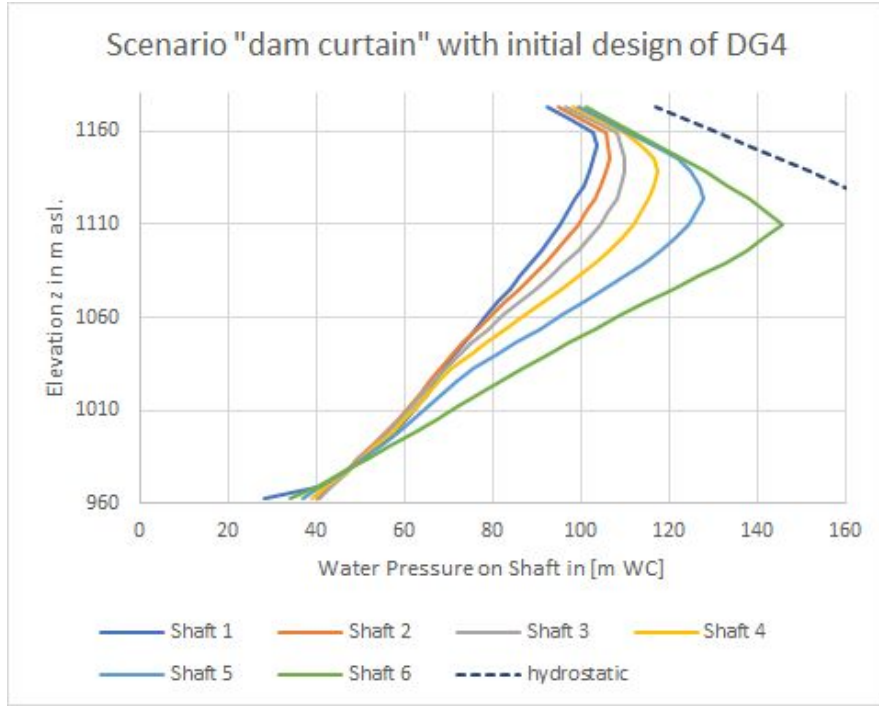
Triebwasserschächte



Triebwasserschächte mit angepasster DG4



Vergleich des Druckverlaufs entlang der Schächte



Zusammenfassung

Projektbeschreibung

- Grosses Projekt, komplexe Anordnung der Bauwerke, schwierige Geologie => grosse Herausforderungen
- Geschichte, Normen, Länder => Schwierigkeit in einem gewachsenen Projekt Dinge wirklich zu ändern
- Alle Herausforderungen gleichzeitig, Priorisierung faktisch unmöglich

Grosse Querschnitte

- Bis jetzt keine grossen felsmechanischen Probleme
- Kleinteilige Arbeitsweise mit grossem Sicherungsaufwand und langsamem Baufortschritt

Sickerströmungsmodell:

- Modellerzeugung aus aufbereiteten 3D-Daten:
 - Vereinfachungen bezüglich Geologie und Strukturen nötig infolge Komplexität der Anlage
 - Programmierte Import-Routinen für dynamische Anpassungen (Änderungen/Varianten)
- Entscheidungsgrundlage für Massnahmenpakete und Überwachungskonzept

Dr. Philippe Nater
philippe.nater@poyry.com
+41 76 356 29 10
Herostr. 12
8048 Zürich



Dr. Pascal Minder
pascal.minder@poyry.com
+41 78 643 26 26
Herostr. 12
8048 Zürich