



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Landestopografie swisstopo

# Kolloquium, 13. April 2018

wissen wohin  
savoir où  
sapere dove  
knowing where



**Photogrammetrie beim Tunnelvortrieb im Mont Terri Felslabor**

**Photogrammétrie lors de l'avancement de  
l'excavation au laboratoire souterrain du Mont Terri**

Fabrice Burrus, Groupe Grands Travaux & ATB SA (RCJU)

David Jaeggi und Paul Bossart, swisstopo, Felslabor Mont Terri



## **1. Erweiterung des Felslabors Mont Terri, Einführung**

Paul Bossart

## **2. Extension du laboratoire: Le projet d'exécution**

Fabrice Burrus

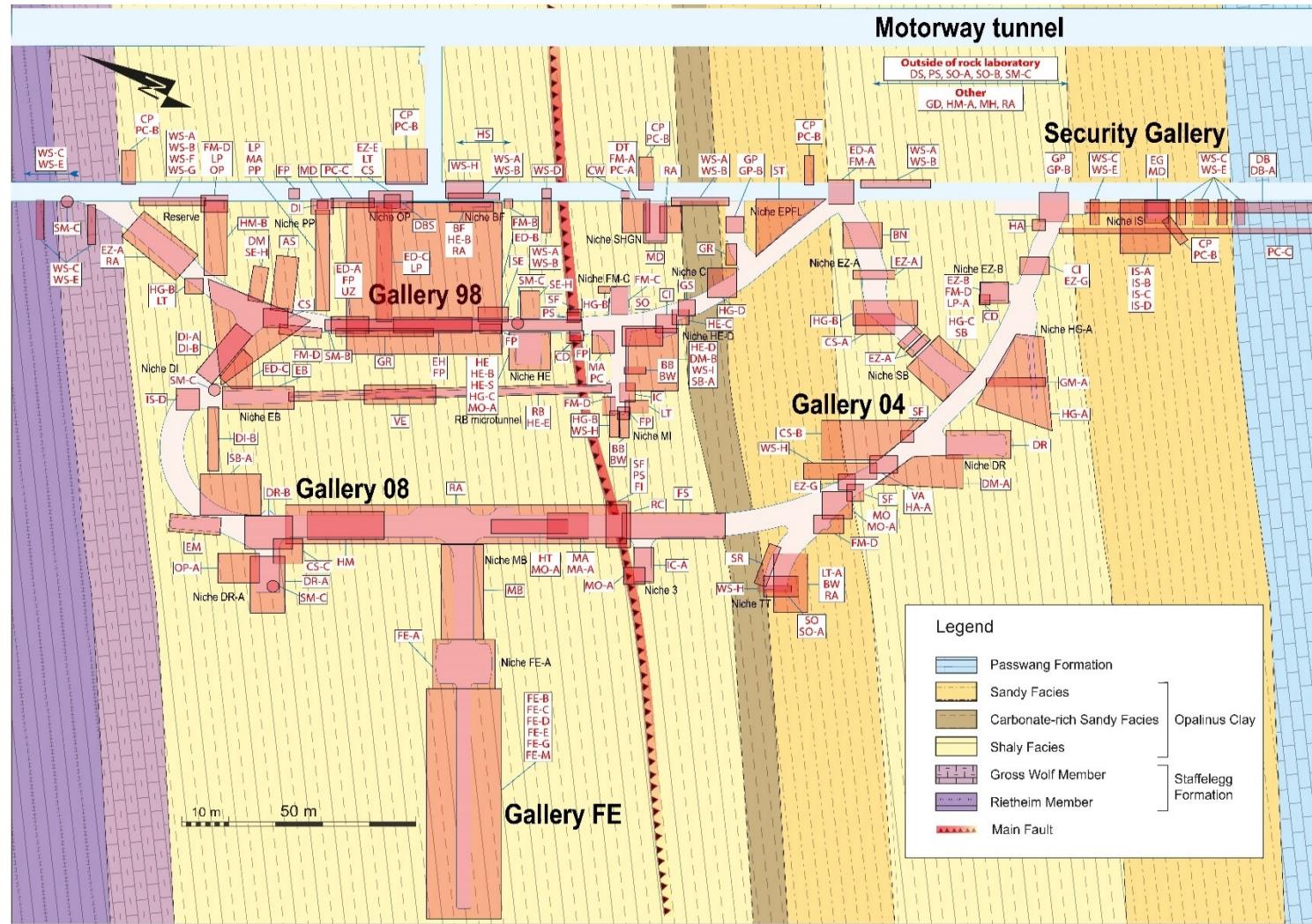
## **3. Photogrammetrie: erste Erfahrungen aus der berührungsfreien Tunnelkartierung**

David Jaeggi



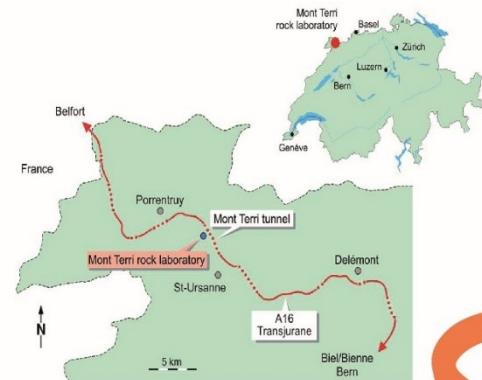
Ziel: Platz schaffen für neue Experimente

But: Créer de la place pour de nouvelles expériences

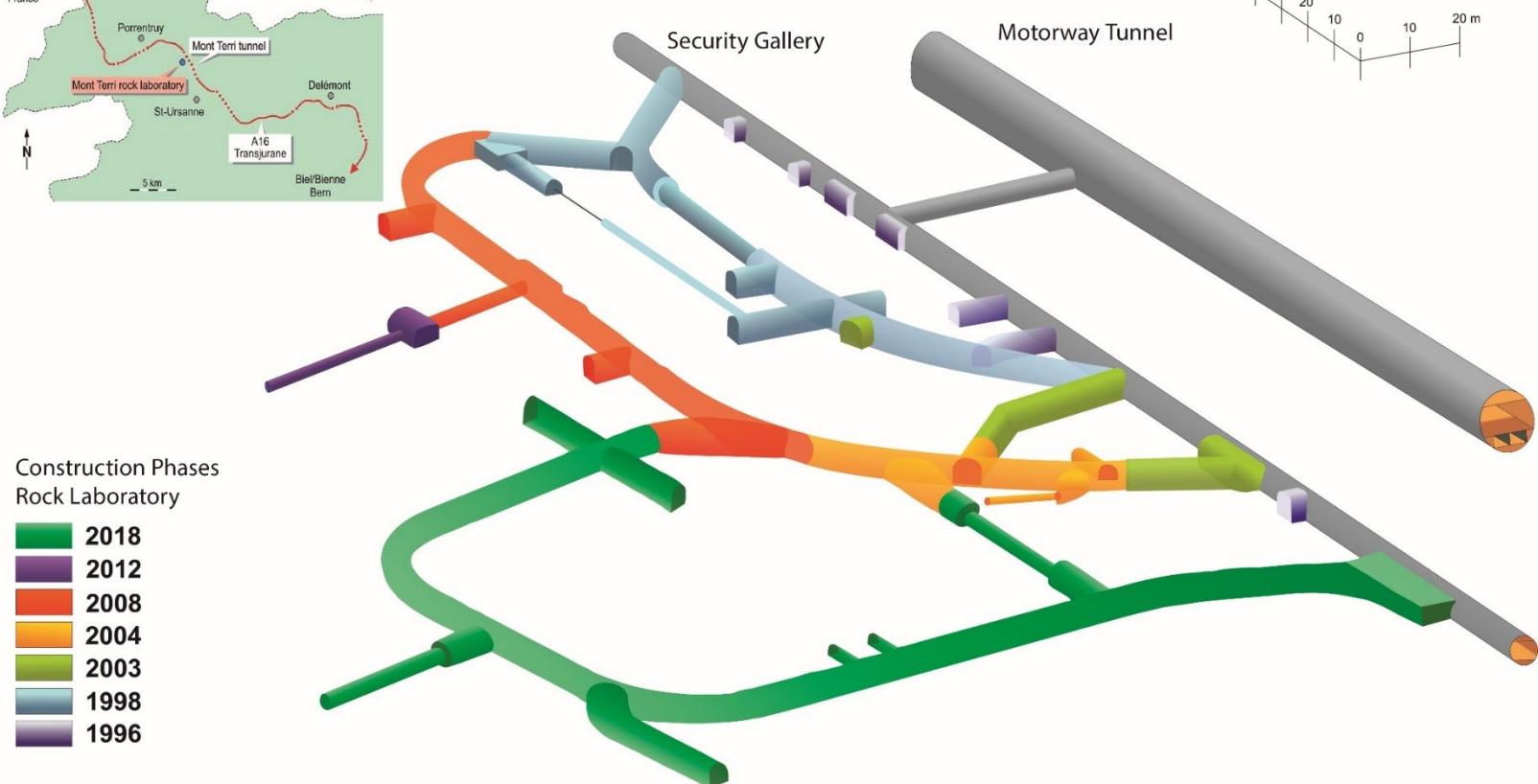




# Erweiterung des Felslabors Agrandissement du laboratoire



## Rock Laboratory Mont Terri





## Die Projektpartner (Finanzierung) Les partenaires du projet (financement)

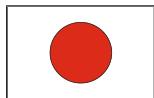


- **16 Organisationen aus 8 Ländern**
- **Implementoren und Sicherheitsorganisationen**
- **Aber auch Geologische Landesdienste und 1 Ölfirma**
- **Mehr als 1000 Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker**



**swisstopo**

**nagra.** **ENSI**

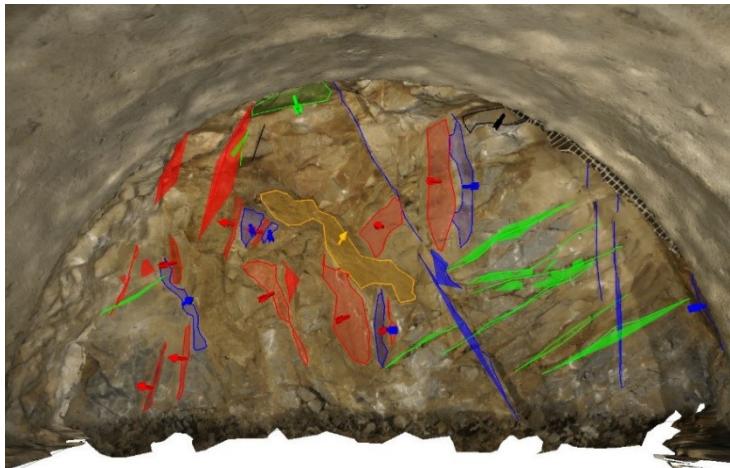




# Geologische Kartierung: Erhöhung der Sicherheit Cartographie géologique: renforcement de la sécurité



Niederbruch 9.-11. September 2003, Felslabor Mont Terri, Exkavation EZ-A Nische



## Ermittlung georeferenziert Strukturdaten mittels Photogrammetrie

- Risiko von Arbeitsunfällen kann massiv reduziert werden
- Erhöhung der Effizienz von geologischen Tunnelkartierungen



# **Extension du laboratoire: Le projet d'exécution**

Fabrice Burrus

Groupe Grands Travaux & ATB SA (RCJU)



# Erweiterung des Felslabors : das Ausführungsprojekt

## Extension du laboratoire: le projet d'exécution



### Gliederung:

1. Verfahren
2. Präsentation des Projekts
3. Arbeitsmethode
4. Monitoring, Deformationsmessungen
5. Arbeitsplanung
6. Baukosten
7. Sicherheit





Verfahren : wichtige Daten

Procédure : historique

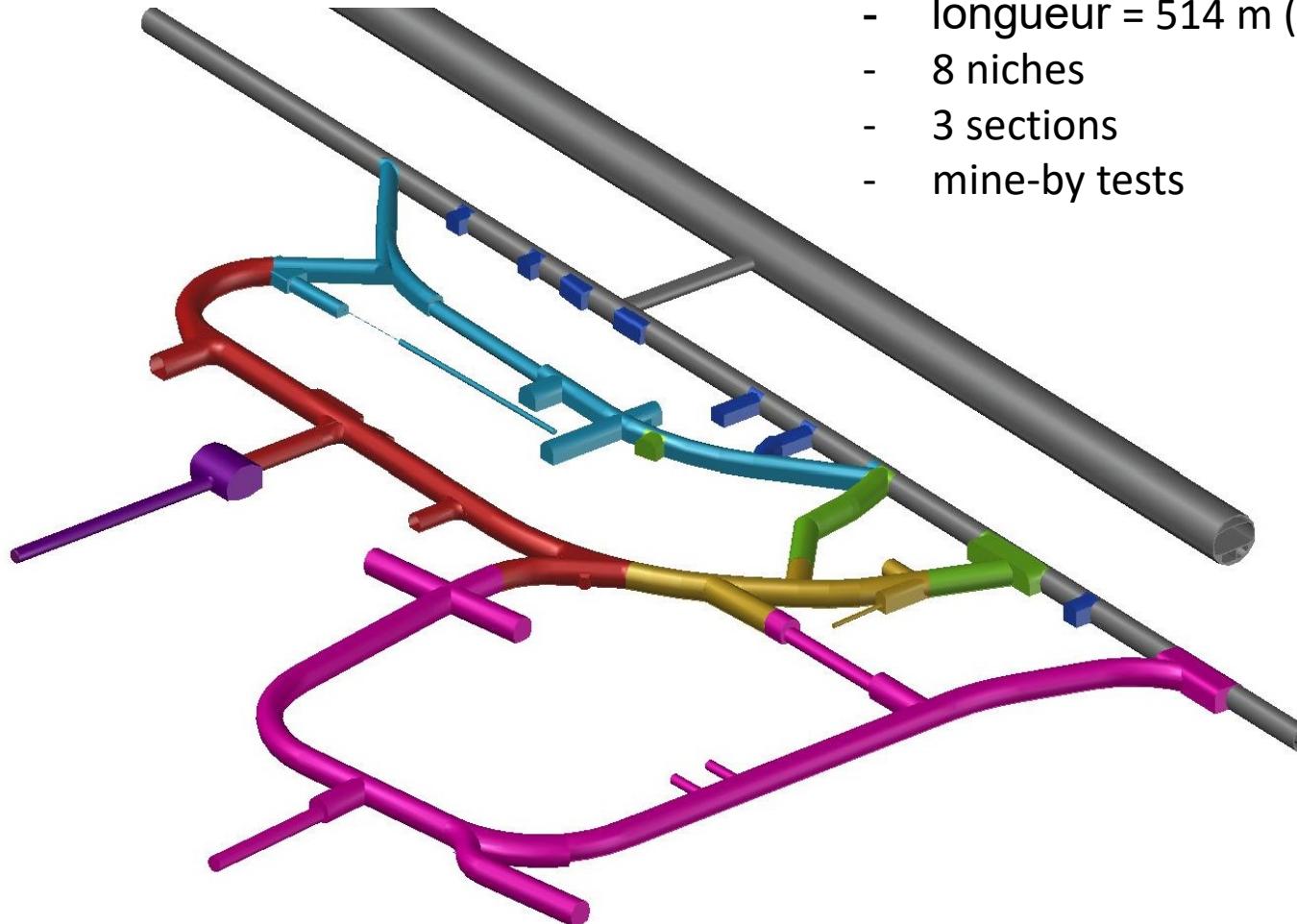


- **2014** : évaluation des besoins
- **Septembre 2014** : élaboration de l'avant-projet
- **20 novembre 2014** : validation des choix techniques
- **28 mai 2015** : avant-projet soumis au Canton
- **16 décembre 2015**: autorisation de principe du Canton
- **19 mai 2016** : décision de réalisation de l'extension
- **14 novembre 2016** : projet et demande d'autorisation
- **22 décembre 2016**: autorisation du Canton du Jura
- **15 juin 2017** : publication appel d'offres, procédure ouverte
- **24 août 2017** : délai pour dépôt des offres (5 offres reçues)
- **19 octobre 2017** : travaux adjugés à Rothpletz, Lienhard + Cie AG
- **12 février 2018** : début des installations de chantier
- **12 mars 2018** : début des travaux d'excavation



3D-Ansicht des Felslabor

Vue 3D de l'extension du laboratoire



### Eléments principaux :

- longueur = 514 m (yc niches)
- 8 niches
- 3 sections
- mine-by tests

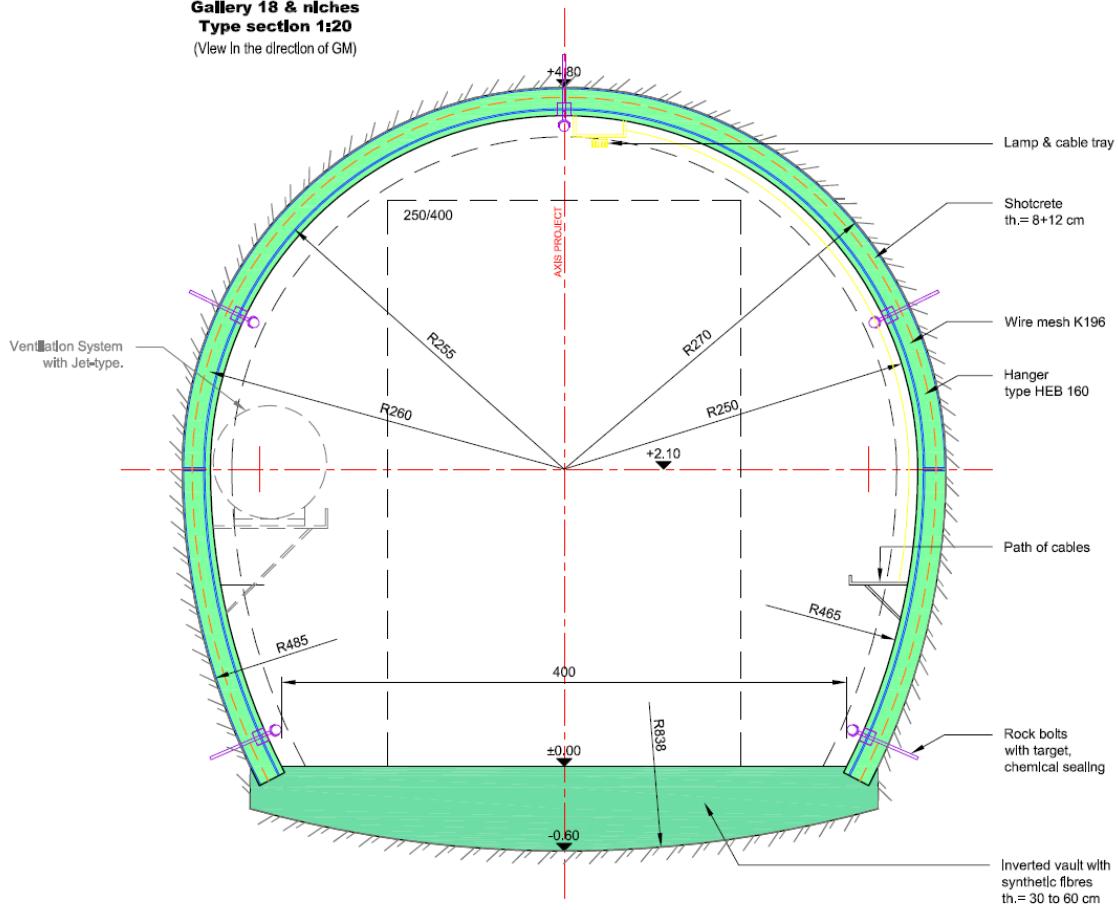


# Normalprofil Profil type

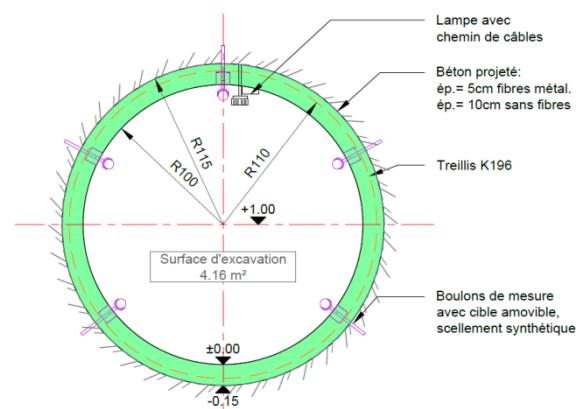


**Gabarit d'espace libre 2.50 x 4.00 m, RH<sub>min</sub> = 25 m**

**Gallery 18 & niches**  
**Type section 1:20**  
(View in the direction of GM)



**Profil type 1:20**  
**Niches 3 et 4**  
(Vue dans le sens du NM)





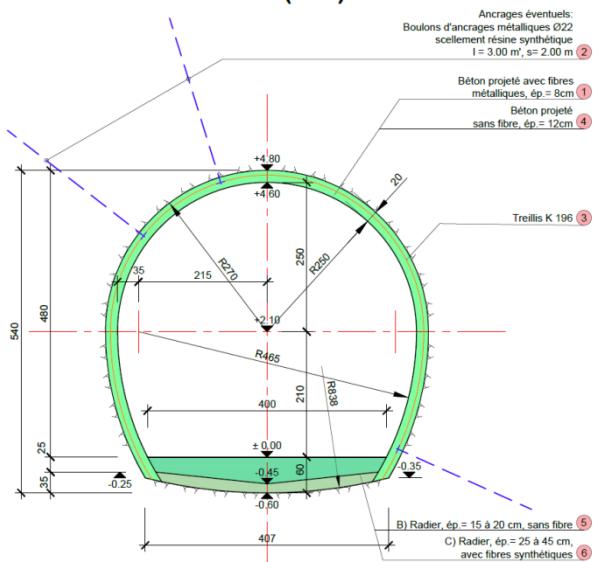
# Ausbruch- und Sicherungsprofile

## Profils d'excavation et soutènement

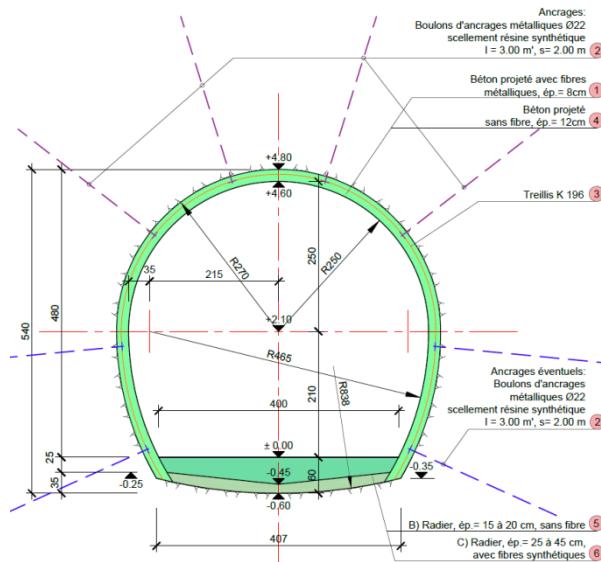


### 3 niveaux de profils de soutènement

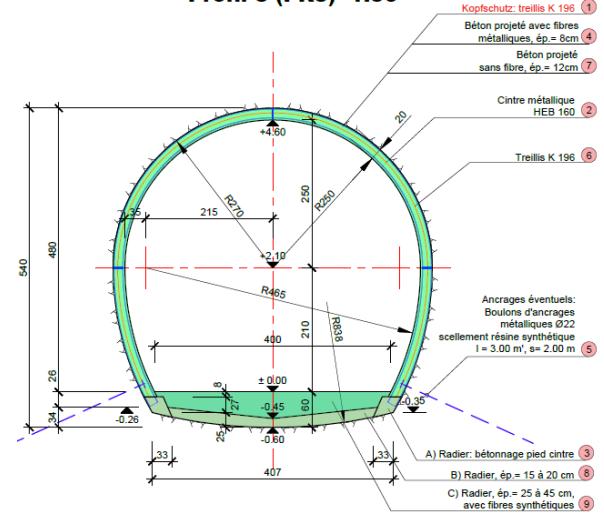
**Profil 1 (PR1) 1:50**



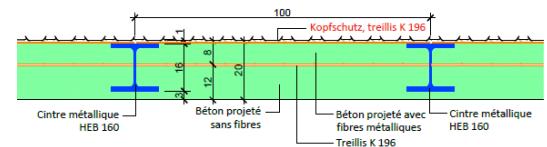
**Profil 2 (PR2) 1:50**



**Profil 3 (PR3) 1:50**



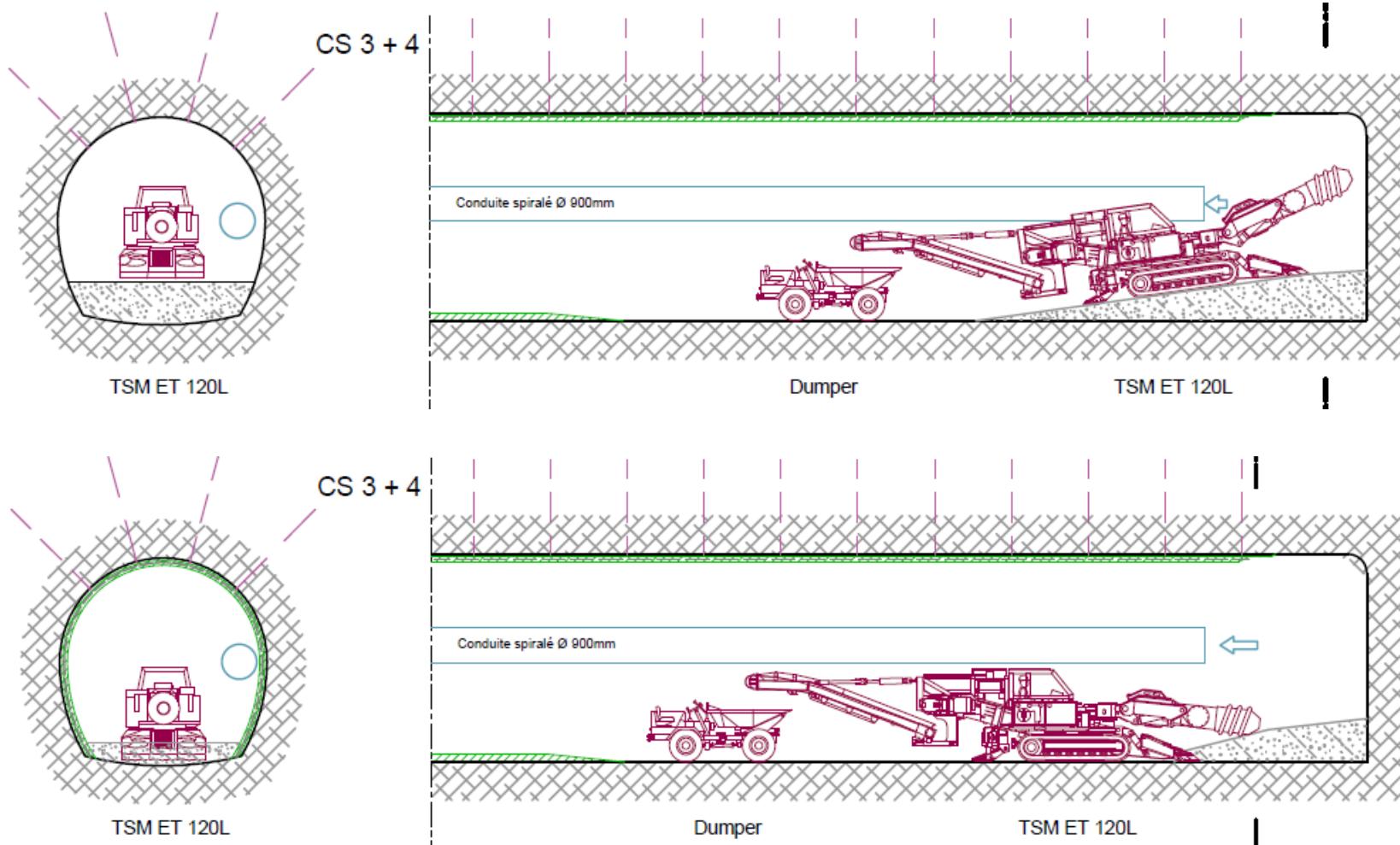
**Détail de pose HEB 160 (PR3) 1:10**  
cintre / béton projeté / treillis





# Vortrieb mit Teilschnittmaschine (TSM) und Schuttern mit Dumpern

Excavation à la haveuse et marinage par dumpers



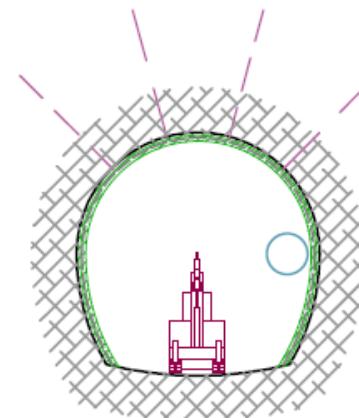


Ausbruchsicherung :

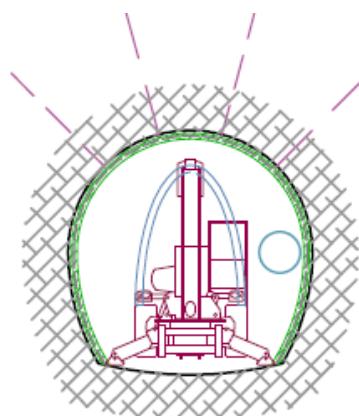
Spritzbeton mit Fasern und optionalen Stahlbögen

Soutènement :

Béton projeté fibrés et cintres métalliques éventuels

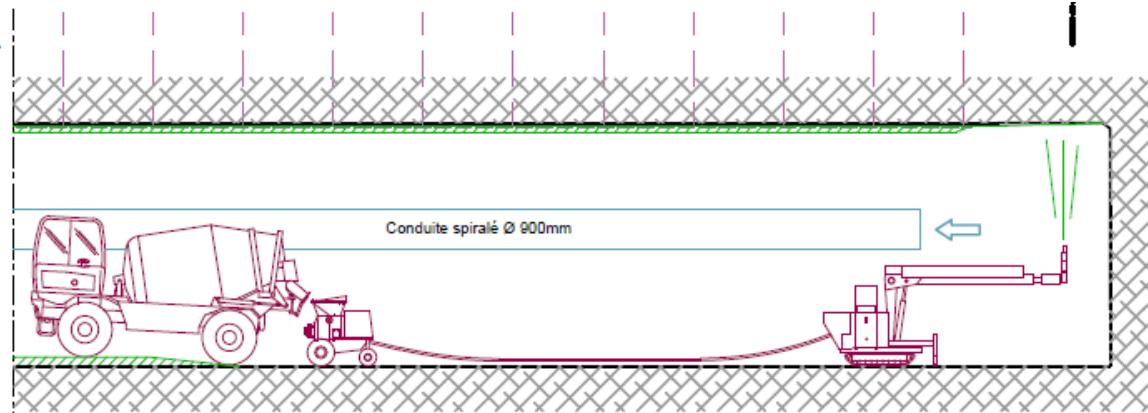


Oruga

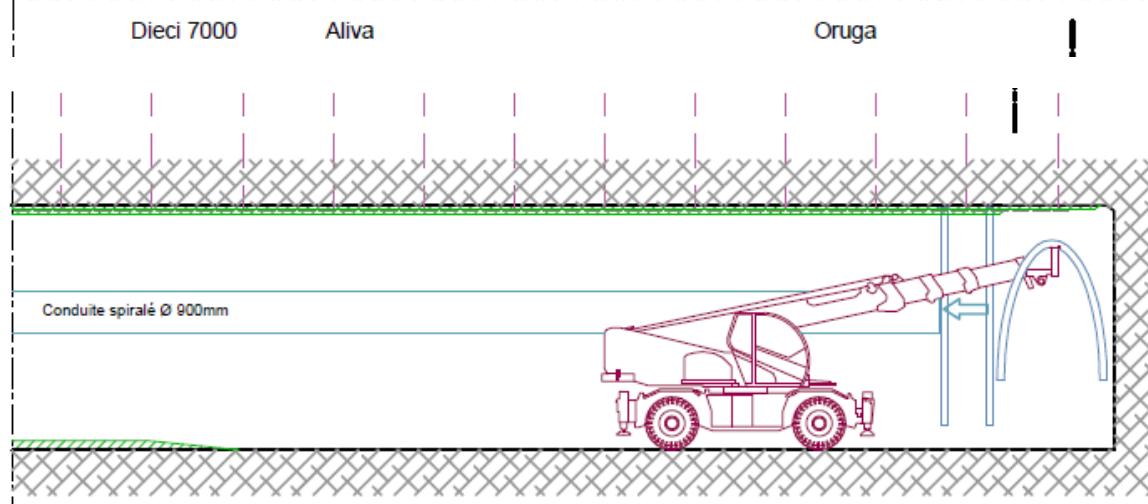


Manitou

CS 3 + 4



CS 4



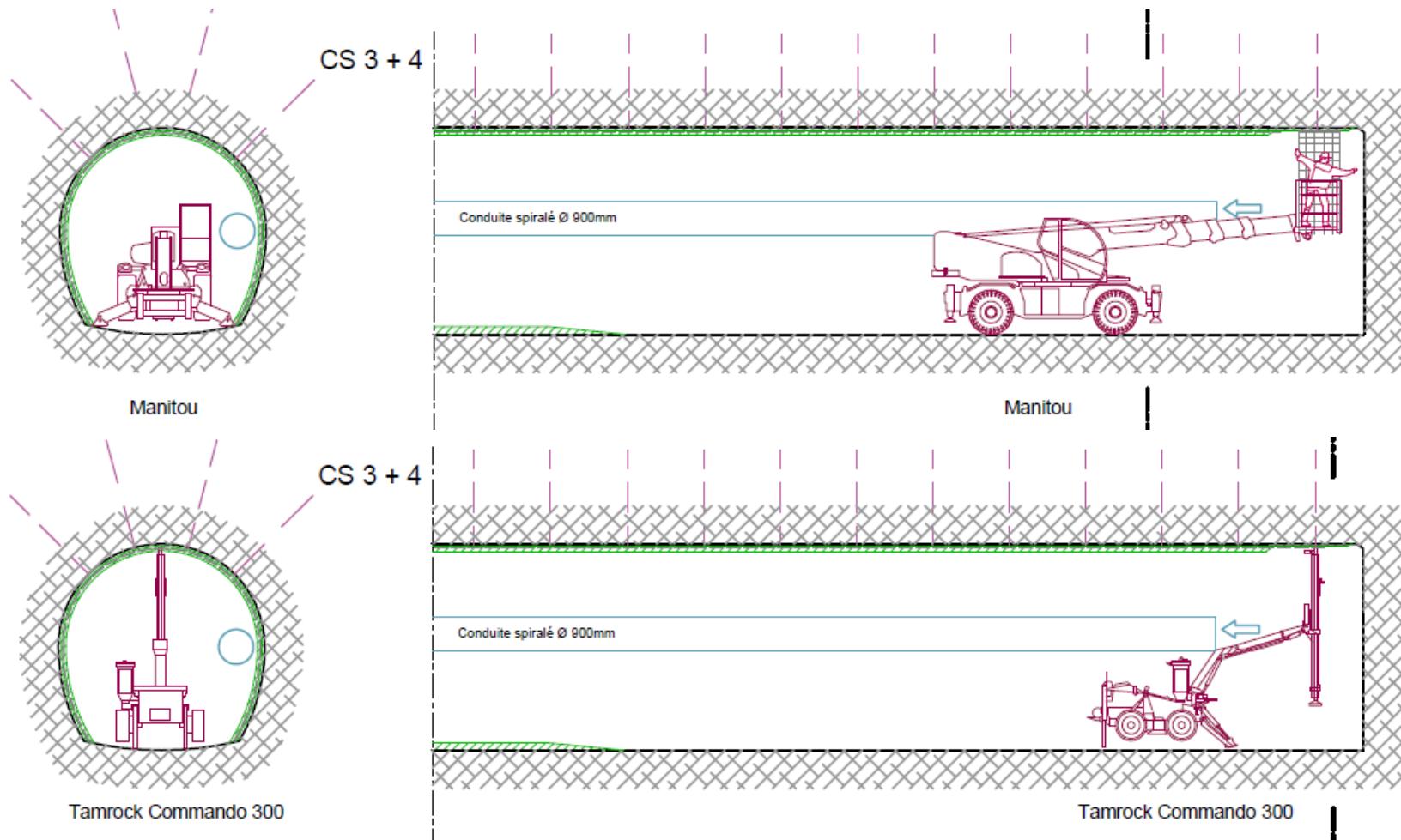


Ausbruchsicherung :

Netz und Felsanker

Soutènement :

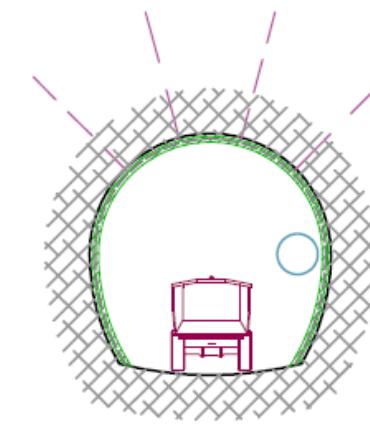
Treillis métalliques et boulons d'ancrages



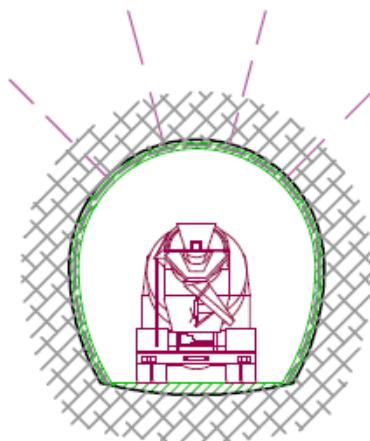
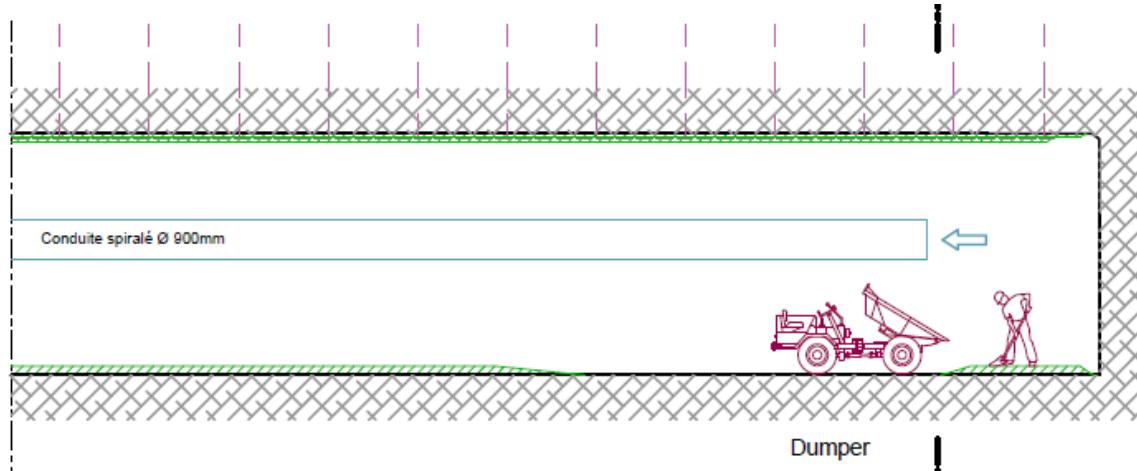


Verkleidung : Betonsohle

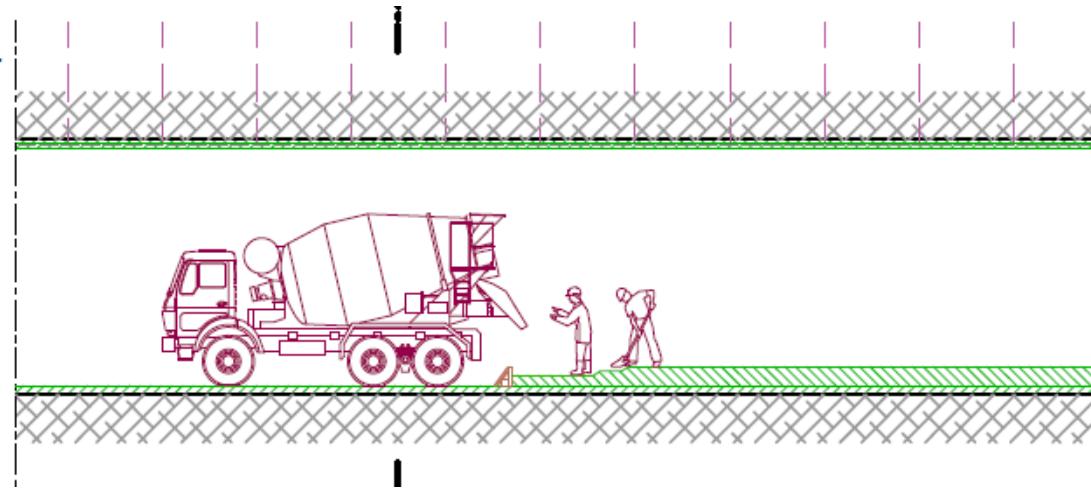
Revêtement : Radier en béton coulé sur place



CS 3 + 4



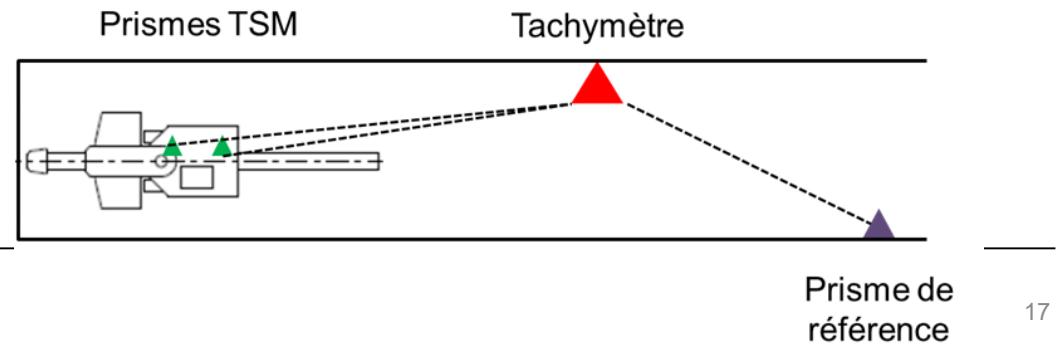
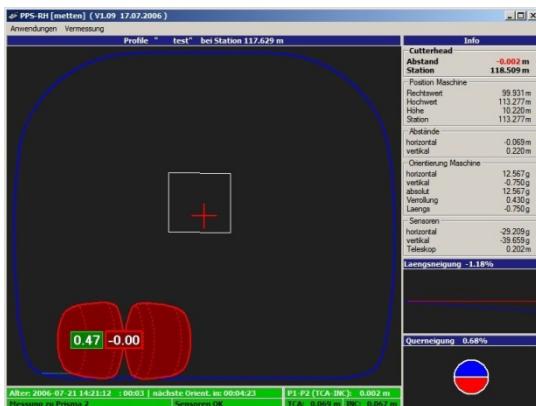
CS 3 + 4





## Contrôles géodésiques :

- **Contrôles de l'entreprise (RL)**  
Système PPS de guidage de l'excavation  
Contrôles ponctuels effectués par le géomètre
- **Contrôle de la direction des travaux (GGT)**  
Contrôles ponctuels du profil définitif
- **Contrôle du Maître d'Ouvrage (swisstopo)**  
Scanning du revêtement de la galerie  
Expérience MH durant l'extension





# MH-Experiment während der Erweiterung Expérience MH durant l'extension

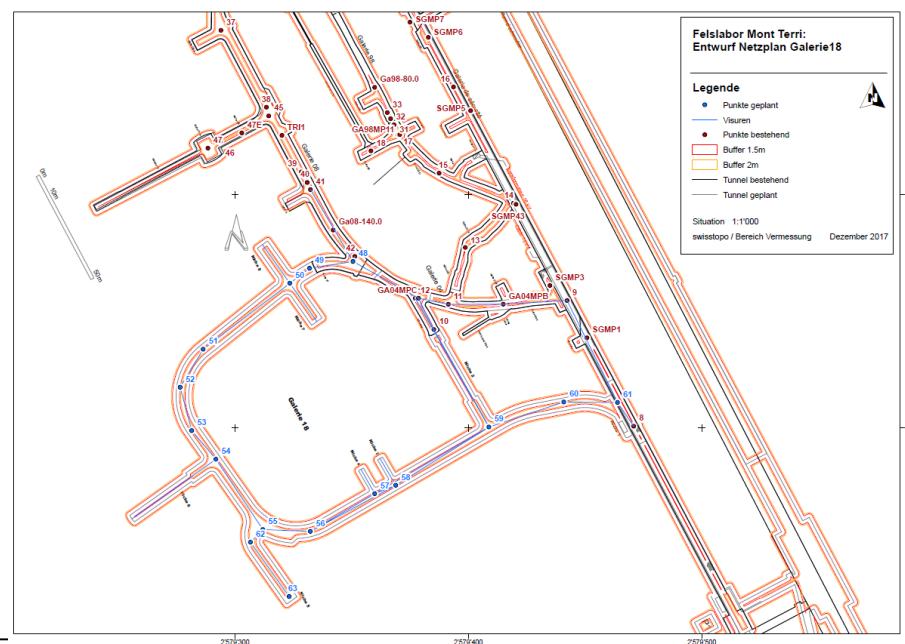


## Ziele während Laborausbau:

- Langzeitüberwachung Felslabor und Umgebung bezüglich geometrischen Veränderungen («4D-Überwachung»)
  - Erweiterung Vermessungspunktnetz

## Durchführung:

- swisstopo, Geodäsie (Matthias Kistler, Sebastian Condamin, u.a.)
  - Studenten der Fachhochschule NW Schweiz (Leitung Prof. Mahler)





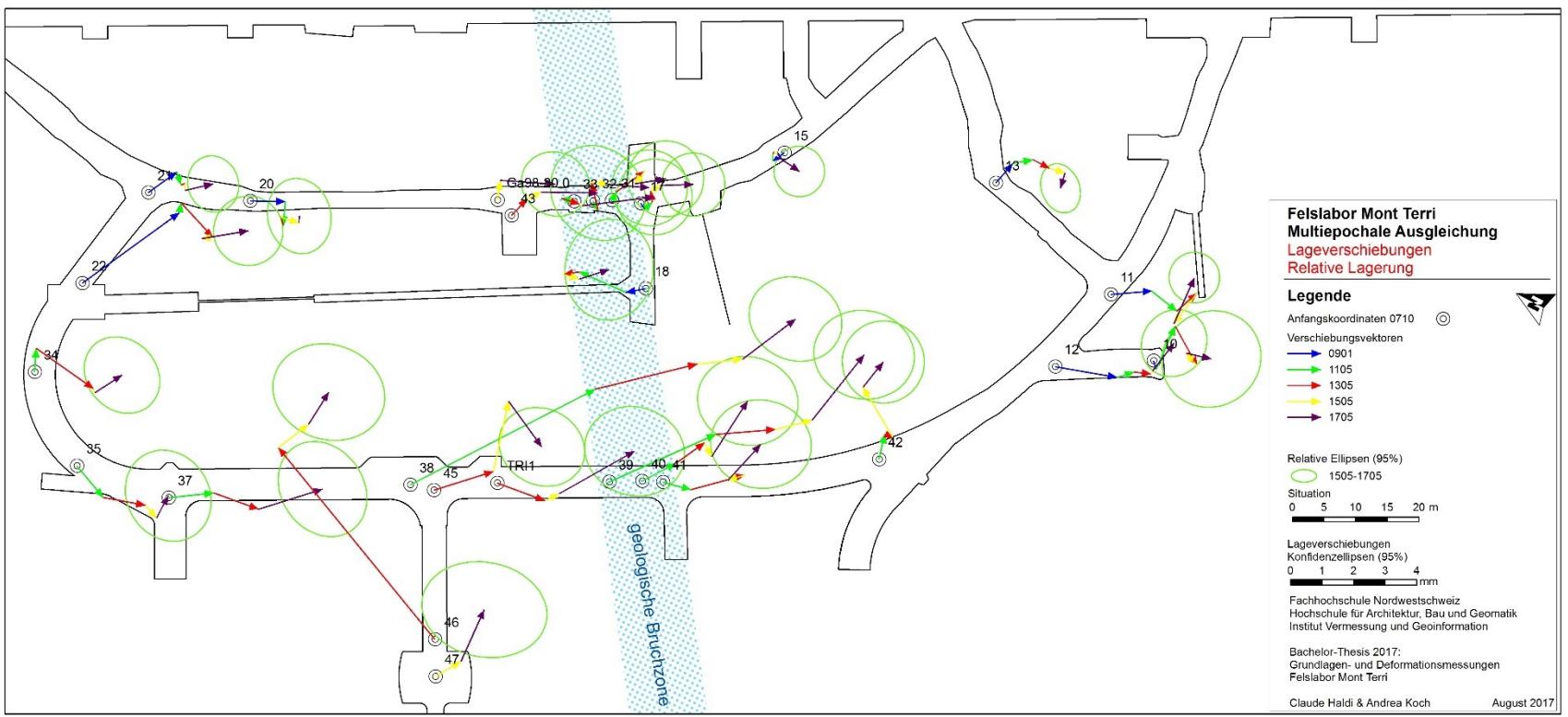
# MH-Experiment während der Erweiterung

## Expérience MH durant l'extension



## **Methoden und Kampagnen:**

- Nivellement: Mai, Juli und Herbst 2018
  - Laserscanning: Mai, Juli und Herbst 2018
  - Hydrostatic Levelling: permanent, nur in Ga98





## Différents types de monitoring

- **Mesures de convergence 2D (invar)**  
Mesures de 5 longueurs effectuées à l'aide d'un distomètre et de câbles en métal invar.
- **Mesures de convergence 3D (tachéomètre)**  
Détermination des coordonnées de 5 prismes dans chaque section de mesure.
- **Inspection du revêtement**  
Observation du comportement du soutènement de béton projeté et de l'évolution de sa fissuration.

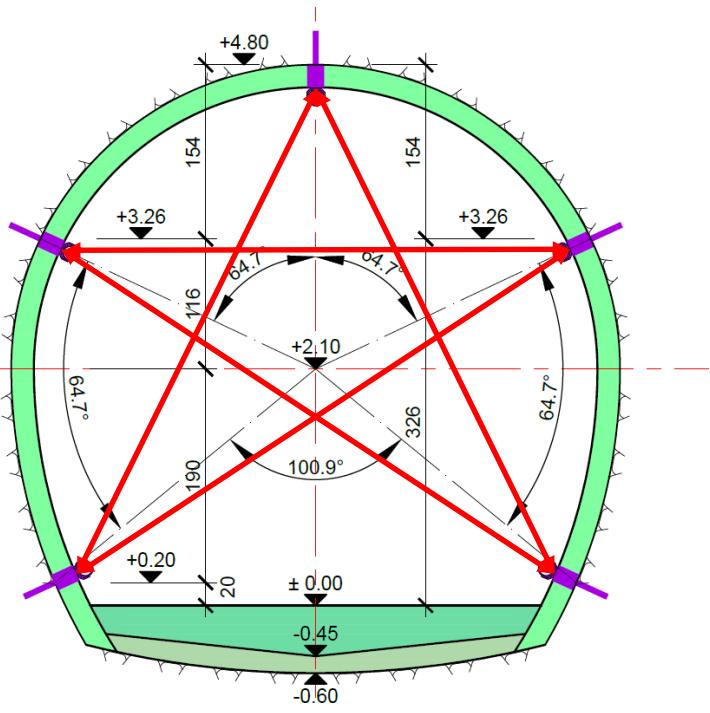


# Konvergenzmessungen 2D (invar)

## Mesures de convergence 2D (invar)



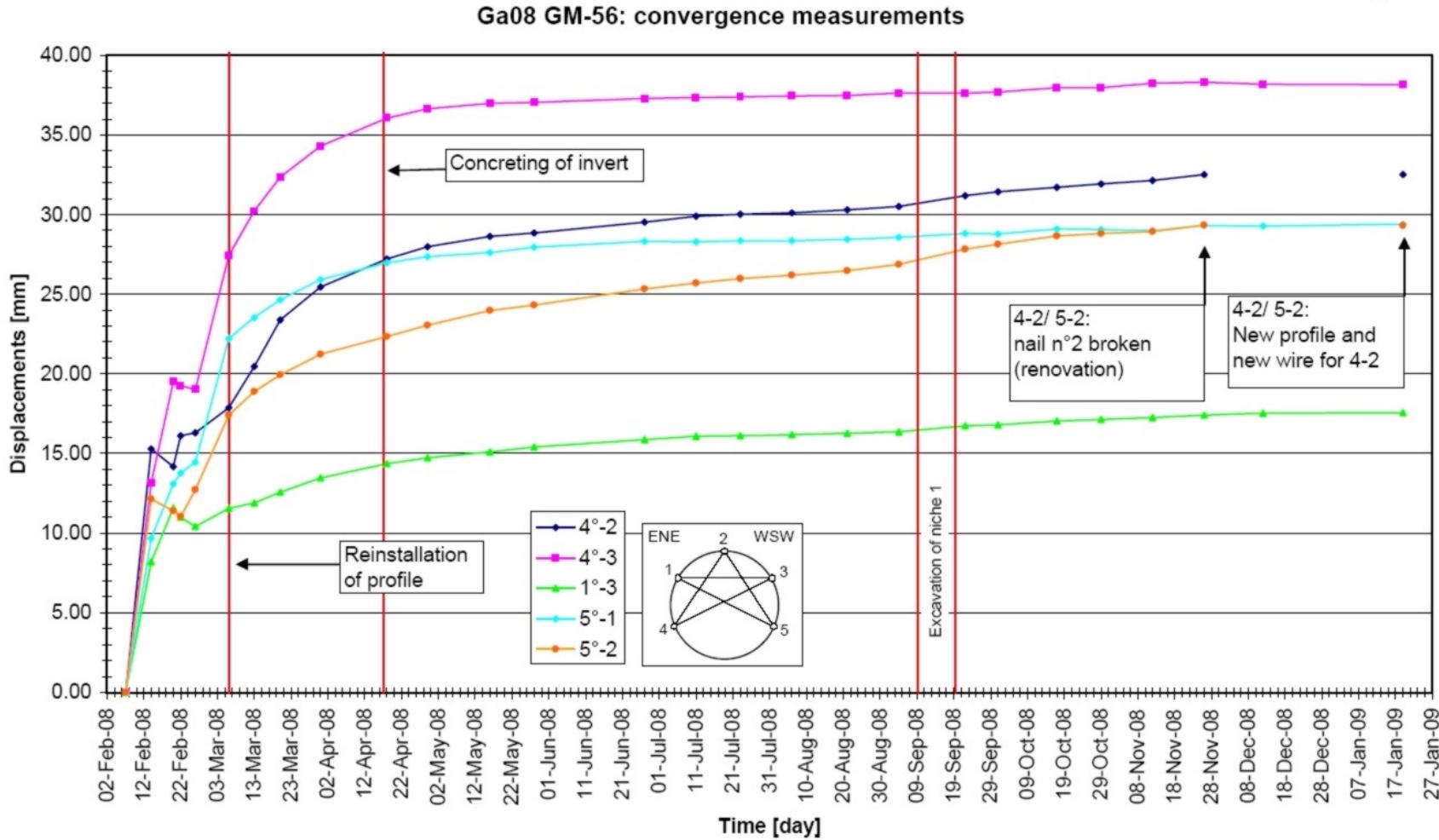
### 5 mesures de longueur par section





# Konvergenzmessungen 2D (invar)

## Mesures de convergence 2D (invar)





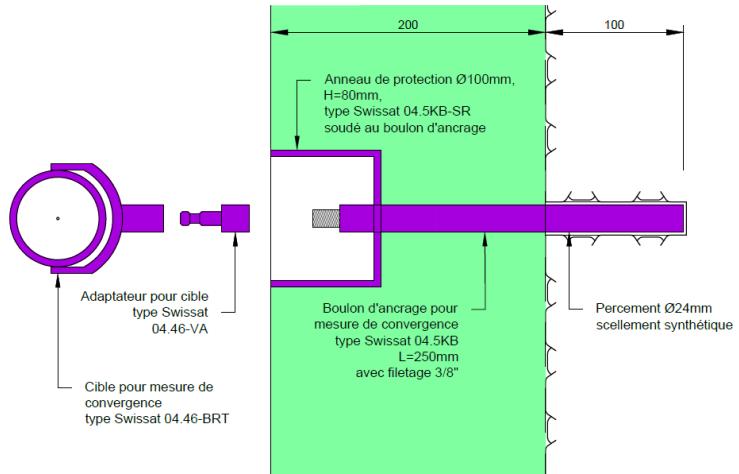
# Konvergenzmessungen 3D (Totalstation)

## Mesures de convergence 3D (tachéomètre)



**5 prismes par section**

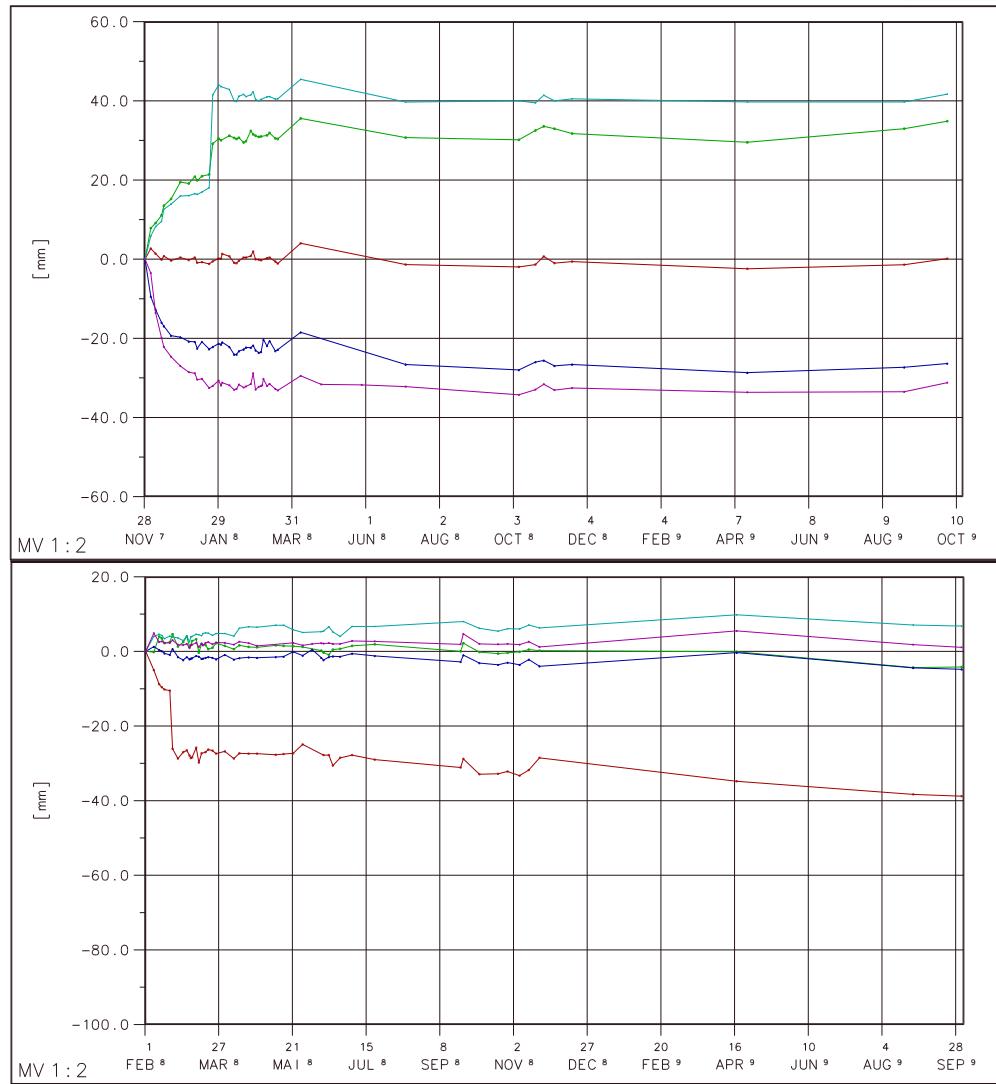
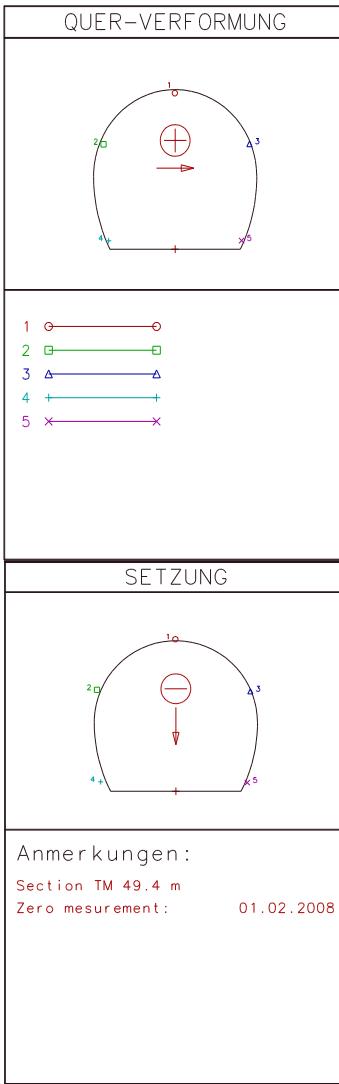
**Tachéomètre :**  
**Leica TCRP1201 R300**





# Konvergenzmessungen 3D (Totalstation)

## Mesures de convergence 3D (tachéomètre)





## Suivi des fissures du revêtement :

- Apparition
- Ouverture, largeur
- Evolution





# Arbeitsplanung

## Programme des travaux



Durée des travaux : 17 mois

	2018												2019						
	JANV.	FEV.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.	JANV.	FEV.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	JUILLET
Installations de chantier													Percementie 28.11.2018						
Excavation Ga18 depuis Niche TT																			
Excavation Ga18 depuis Niche 1																			
Excavation Niche 7																			
Excavation Niche 8																			
Bétonnage radier Niches 7 et 8																			
Excavation Niche 1																			
Excavation Niche 2																			
Excavation Niche 5																			
Excavation Niche 6																			
Excavation Niche 3																			
Excavation Niche 4																			
Bétonnage radier Ga18 et Niches																			
Repli des installations de chantier																			
Réserve																			

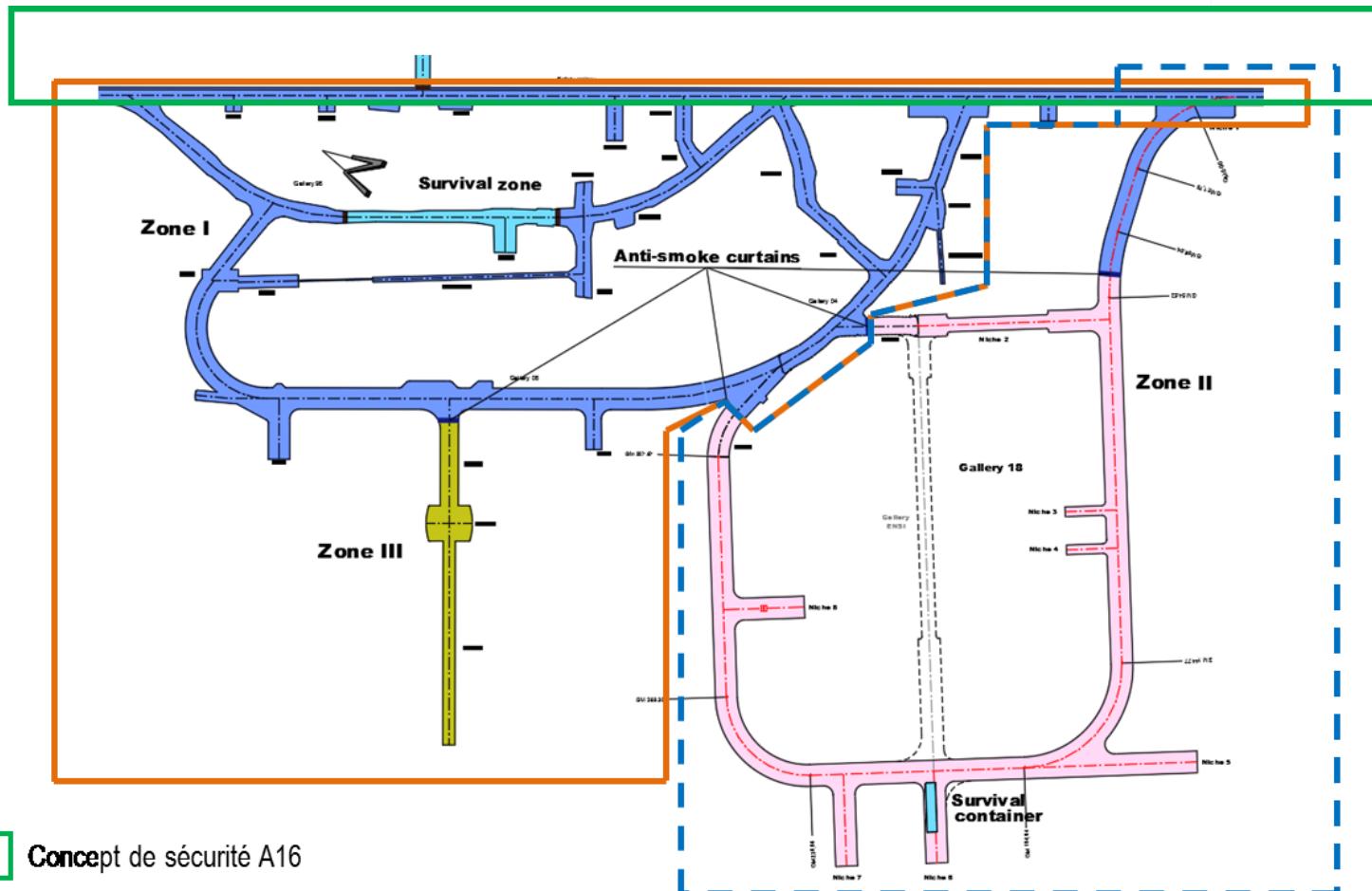


## Coûts de l'ouvrage [HT] :

Devis estimatif du projet :	CHF 5.363 mio.
Devis estimatif des travaux :	CHF 4.187 mio.
5 offres obtenues :	min. CHF 3.210 mio. (100.0%)
	max. CHF 5.448 mio. (169.7%)
Contrat Rothpletz, Lienhard+Cie AG :	CHF 3.210 mio.



# Sicherheitskonzepte Concepts de sécurité



  Concept de sécurité A16

  Concept de sécurité du laboratoire souterrain

  Concept de sécurité du chantier



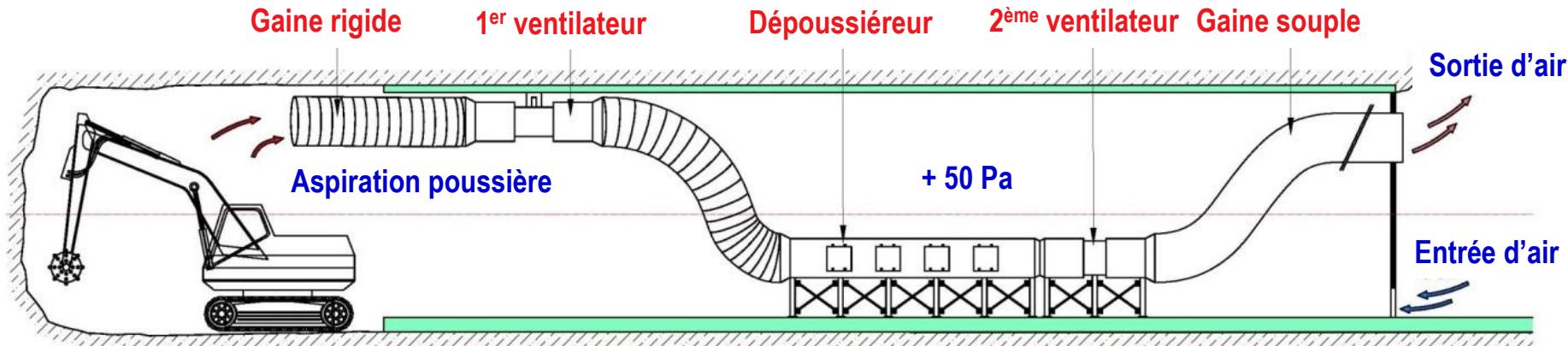
## Mesures de protection de l'environnement :

- Pas d'utilisation d'eau autre que pour le béton projeté
- Produits absorbants et feuilles plastiques à disposition
- Système de traitement des eaux de lavage (décantation, déshuilage et neutralisation)
- Entreposage des substances et stationnement des engins de chantier de façon adéquate
- Procédures d'urgence en cas d'événement
- Contrôles réguliers (suivi environnemental de réalisation)



## Ventilation / dépoussiérage :

- Aspiration de l'air vicié au front d'attaque
- Dépoussiérage et évacuation via une gaine souple
- Maintien de la surpression de 50 Pa dans la galerie de sécurité et dans le laboratoire souterrain



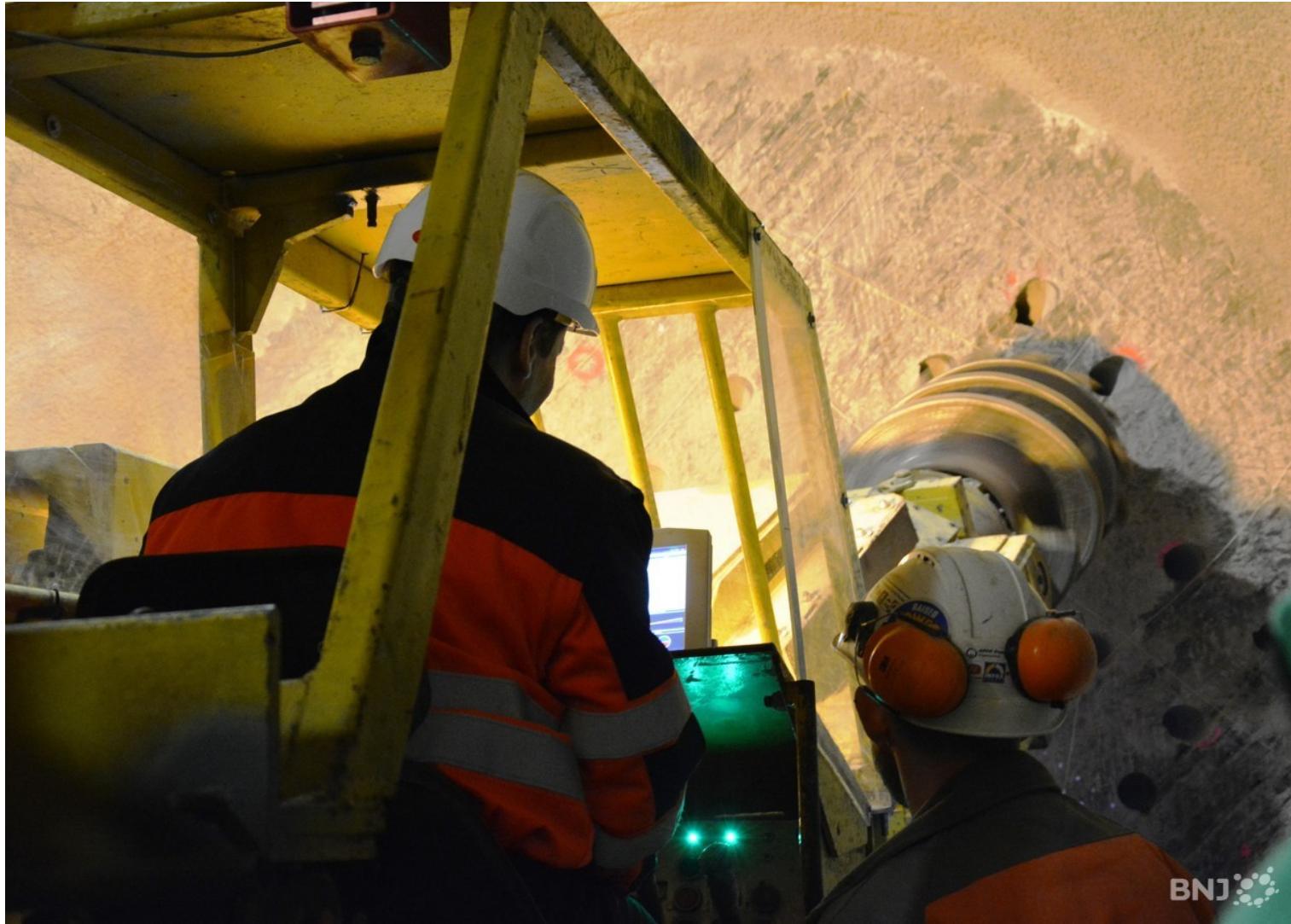


- Sicherheit ist Priorität. Wenn sie nicht gegeben ist, werden die Bauarbeiten gestoppt.  
*La priorité est donnée à la sécurité.*  
*Si celle-ci n'est pas assurée, le chantier est arrêté.*
- Der Betrieb des Autobahntunnels A16 hat Vorrang vor dem Betrieb des Felslabors Mont Terri.  
*L'exploitation du tunnel autoroutier A16 prime sur le fonctionnement du laboratoire.*
- Die Überwachung und Erfassung der gesammelten Informationen sind die Basis für die zukünftigen Experimente.  
*Le suivi du chantier et l'enregistrement des informations recueillies sont la base pour les expériences futures.*



Beginn der Ausbruch : 12. März 2018

Premier coup de pioche : 12 mars 2018





# **Photogrammetrie: Erste Erfahrungen aus der berührungsfreien Tunnelkartierung**

**Wabern, 13. April 2018**

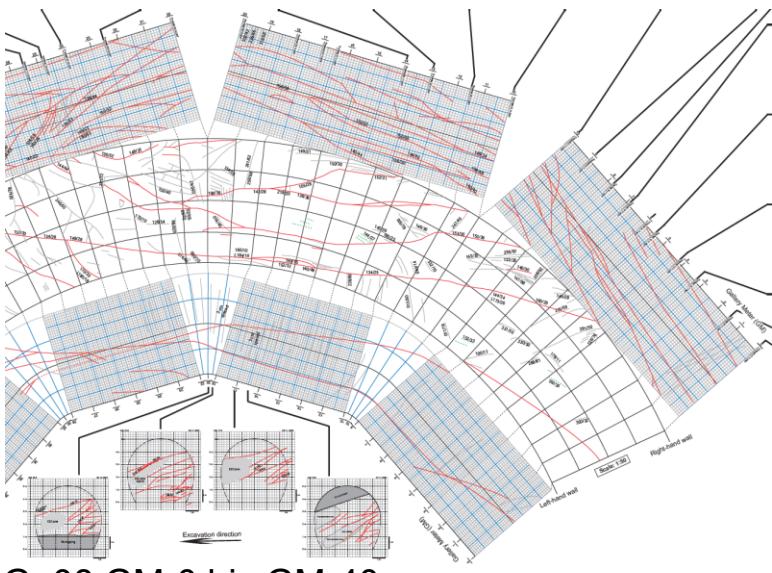
David Jaeggi, Christophe Nussbaum, Paul Bossart  
swisstopo



1. Einführung in geologische Tunnelkartierung und Ziele
2. Methode ShapeMetriX 3D von 3GSM™
3. Workflow der digitalen Tunnelkartierung am Mont Terri
4. Erste Resultate mit dem System
5. Beurteilung System und Schlussfolgerungen



# Geologische Tunneldokumentation bisher Documentation géologique du tunnel jusqu'à présent

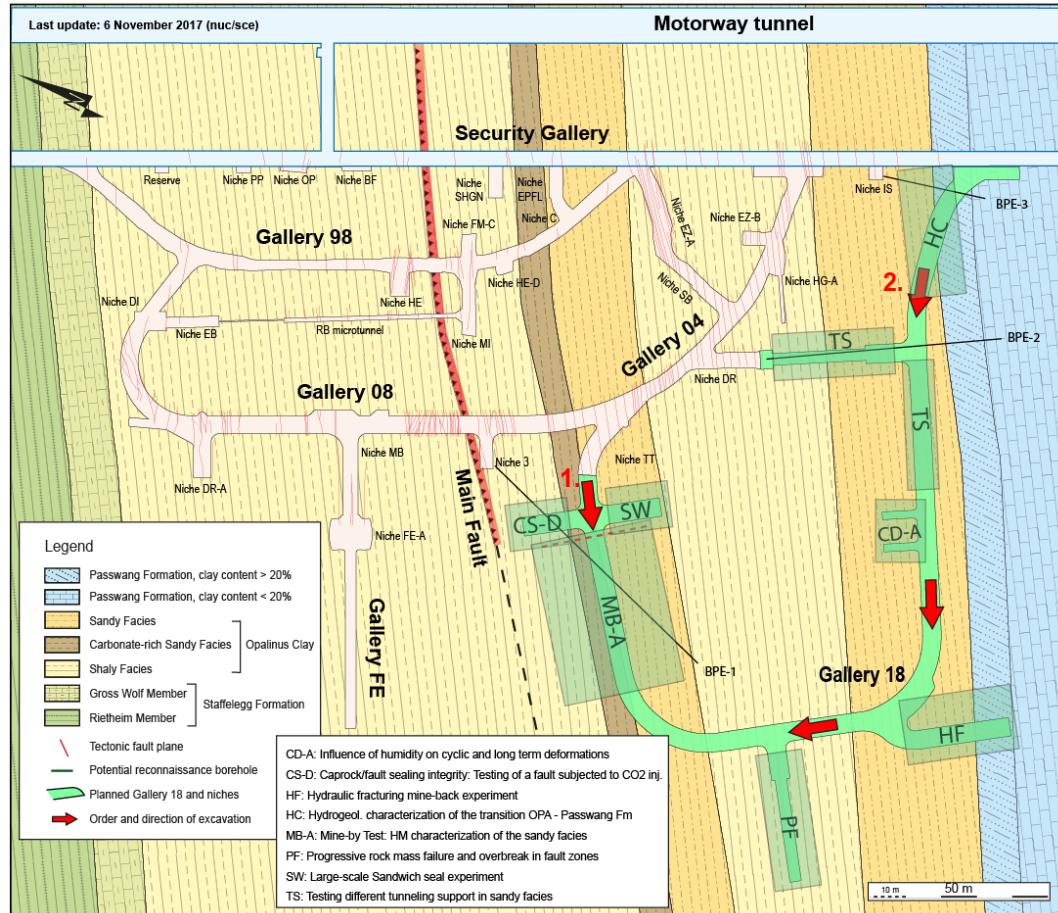


- Erweiterungen 1998, 2004, 2008, 2012
- Aufnahmen direkt an Tunnelbrust, mit Vorlage auf Papier (Einschichtbetrieb)
- Digitalisierung im Anschluss, keine Datenbankabfragen möglich
- Tagesberichte manuell
- Nachführung Karten auf Adobe Illustrator

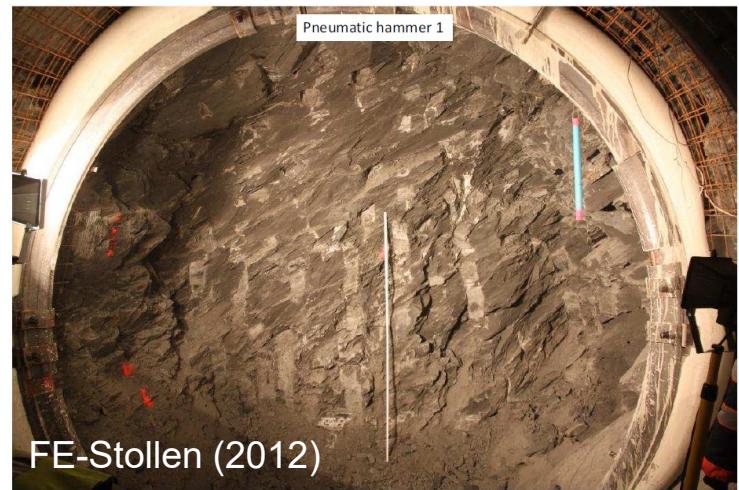
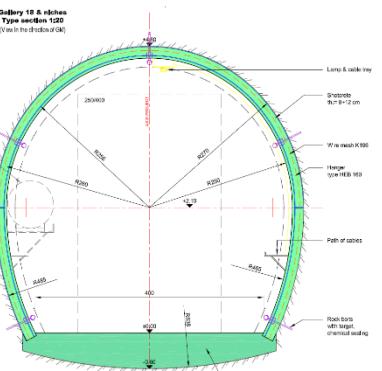


# Grosse Datenmengen bei Erweiterung 2018/19

## Grande quantité de données pour l'extension 2018/19



Typprofil Ga18  
(D=5.2 m,  
Hufeisenform)



- Erweiterung Felslabor Mont Terri 2018/19
  - 514 m neue Galerien und Nischen werden durch swisstopo kartiert
  - Täglich nur 30 min Zeitfenster für geol. Aufnahmen (Zweischichtbetrieb)
  - Exkavationsdauer ca. 1.5 Jahre



## Ziele swisstopo für zukünftige Tunnelkartierungen Buts de swisstopo pour la future cartographie des tunnels



- **Anwendung von modernen und innovativen Methoden**  
(Digitalisierung, hohe Datenqualität für Mont Terri Partner)
- **Verbesserung der Sicherheit an der Stollenbrust**  
(Berührungs frei, Verringerung der Expositionszeit)
- **Zeitersparnis bei Aufnahme und Digitalisierung**  
(Optimierung von Ressourcen und Abläufen, Vereinheitlichung)
- **Erhöhung der Menge akquirierter Geodaten, georeferenziert**  
(Georeferenzierte Punktwolken, Datenbank, Inputdaten für geologische und numerische Modellierungen)



## Technische Anforderungen an neues System (1/2) Exigences techniques du nouveau système (1/2)



1. System (Hardware und Software) zum berührungslosen, digitalen Kartieren von Ortsbrust, Paramenten, Firste und Sohle (mit Tablet vor Ort und am 3D-Modell im Büro)
  - a. Bruchstrukturen, Fazies- oder Formationsübergänge, inkl. exakter Lokalisierung und Orientierung (Azimut und Dip) und der Zuordnung von Attributen (Striemung, Rauigkeit, Mineralogie, Wasserzutritte, usw.)
  - b. 3D-Visualisierung der Ortsbrustoberfläche + Seitenwänden (Punktwolke) als Inputdaten für 3D-Modelle (numerische und geologische Modelle)
2. Georeferenzierung aller Daten, 3D-Oberfläche



3. Post-processing von Aufnahmedaten durch Picking und Attribuierung am Bildschirm (Faziesgrenzen, Brüche, EDZ-Klüfte) und Erstellung von Stereoplots
  4. Einbinden von CAD-Daten, wie Stützmittel, Anker, bestehenden Bohrungen, usw. ins geologische Modell
  5. Ablage in Datenbank, Abfragemöglichkeit von Exkavationsständen
  6. Schnittstelle mit Move, geologisches 3D-Modell
- Evaluation führte zur Anschaffung des photogrammetrischen Systems ShapeMetriX 3D der Firma 3GSM™



1. Einführung in geologische Tunnelkartierung und Ziele
2. Methode ShapeMetriX 3D von 3GSM™
3. Workflow der digitalen Tunnelkartierung am Mont Terri
4. Erste Resultate mit dem System
5. Beurteilung System und Schlussfolgerungen



# Was ist ein photogrammetrisches System? Qu'est-ce qu'un système photogrammétrique?



**Definition:** Photogrammetrie ist eine Gruppe von Messmethoden und Auswerteverfahren der Fernerkundung, um aus Fotografien und genauen Messbildern eines Objekts seine räumliche Lage oder dreidimensionale Form zu bestimmen.

## → Nahbereichsphotogrammetrie (wenige cm bis 100 m)

- Objekte werden im künstlichen Licht von mehreren Standpunkten der Kamera aufgenommen (Structure from motion principle)
- Passpunkte (Referenzpunkte mit bekannten Koordinaten)
- Kalibrierte Kamera (Kameraeigenschaften für die Orientierung des Bildes)
- Software zur Rekonstruktion des 3D-Bildes



# Geologische Dokumentation mit ShapeMetriX 3D von 3GSM™

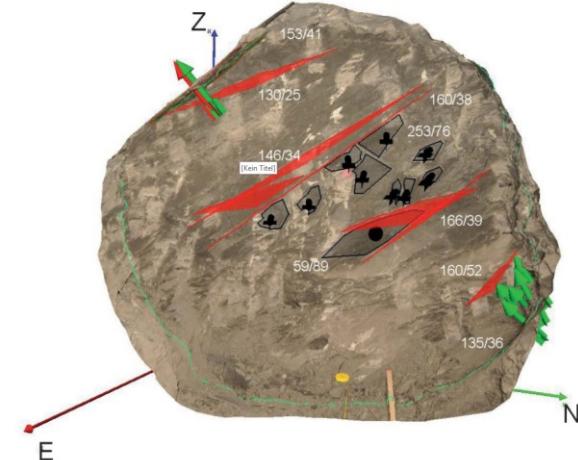
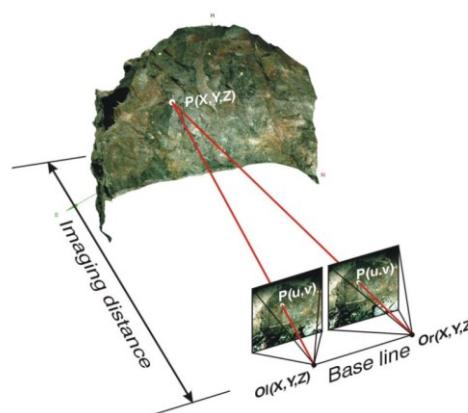
## Cartographie avec ShapeMetriX 3D de 3GSM™



Kalibrierte  
Spiegelreflexkamera  
(Zoomobjektiv,  
Objektivwechsel)

Markierungs-  
elemente zur  
Referenzierung

Software für  
3D Bilderstellung,  
Messung und  
Bewertung

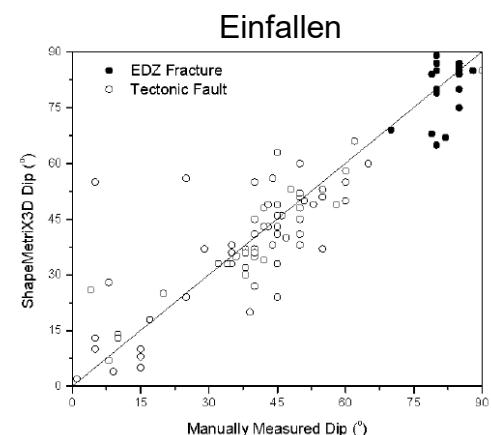
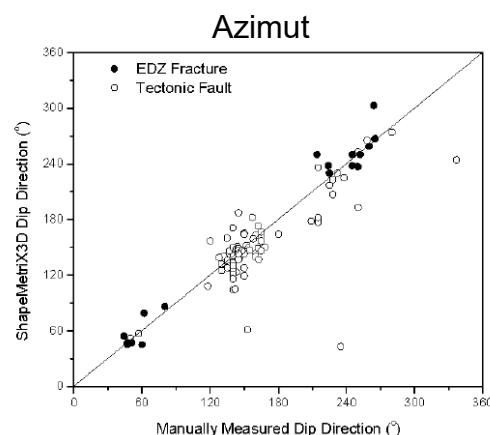


Fotos und Kartierung  
an der Ortsbrust

Generierung 3D-Bild und  
Nachbearbeitung im Büro

Vergleich ShapeMetriX 3D mit  
herkömmlicher Kartierung bei 50 m  
Stollen:

- Gute Übereinstimmung und Nachvollziehbarkeit
- Zeitersparnis im Tunnel
- Erhöhung Arbeitssicherheit
- Digitale Daten von Strukturen (Ascii) und Geometrie (Punktwolke)



Vergleich von ShapeMetriX3D mit  
herkömmlichem Kartieren für Azimut und Dip



# Geologisches Kartieren mit Tablet und PC

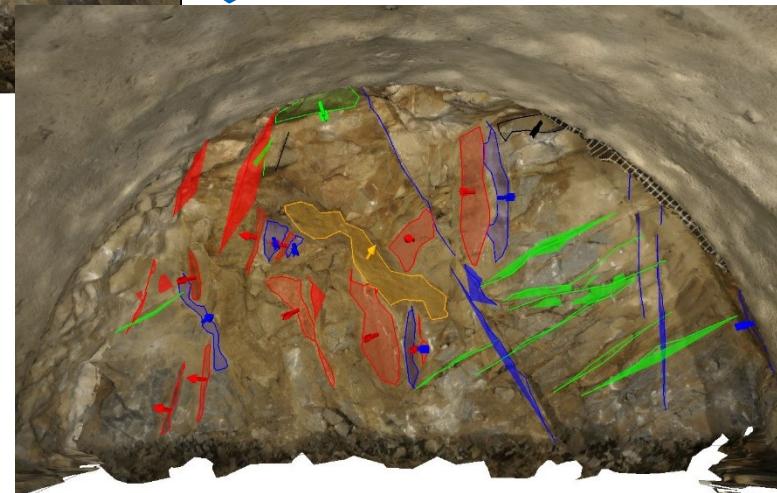
## Cartographie avec tablette et ordinateur



- **Kartierung on-site auf Foto**
- **Ad-hoc Übertragung der Bilder von Kamera auf Tablet**



- **2D Strukturkarte auf Foto, on-site erstellt durch Geologen**



- **Import der 2D Strukturkarte ins Modell führt zu einer 3D Strukturkarte, metrisch skaliert**
- **Gruppierte Strukturen**
- **Generierung von Stereoplots, usw.**



# Nachbearbeitung am 3D-Bild im Büro Retouches de l'image 3D au bureau



The screenshot shows a 3D geological model of a quarry face. The rock surface is covered with various structural features, including numerous red lines representing joints or fractures, several yellow and blue polygons representing larger geological units or zones, and small blue arrows indicating orientations. A legend on the right side of the interface, titled "StructureSet 01", lists 20 numbered entries from 6.51 to 7.19, each associated with a red line icon. The software interface includes a menu bar at the top with options like File, Edit, StructureMap, Annotations, View, Extras, and Help. Below the menu is a toolbar with icons for file operations and drawing tools. A color bar and rotation controls are visible at the bottom left.

- Orientierungen aus Ausbisslinien oder Flächen, inkl. Standort (x,y,z)
- Attribuierung
- Distanzmessungen
- Scanlinien
- Stereoplots
- Volumenberechnung
- Querprofile

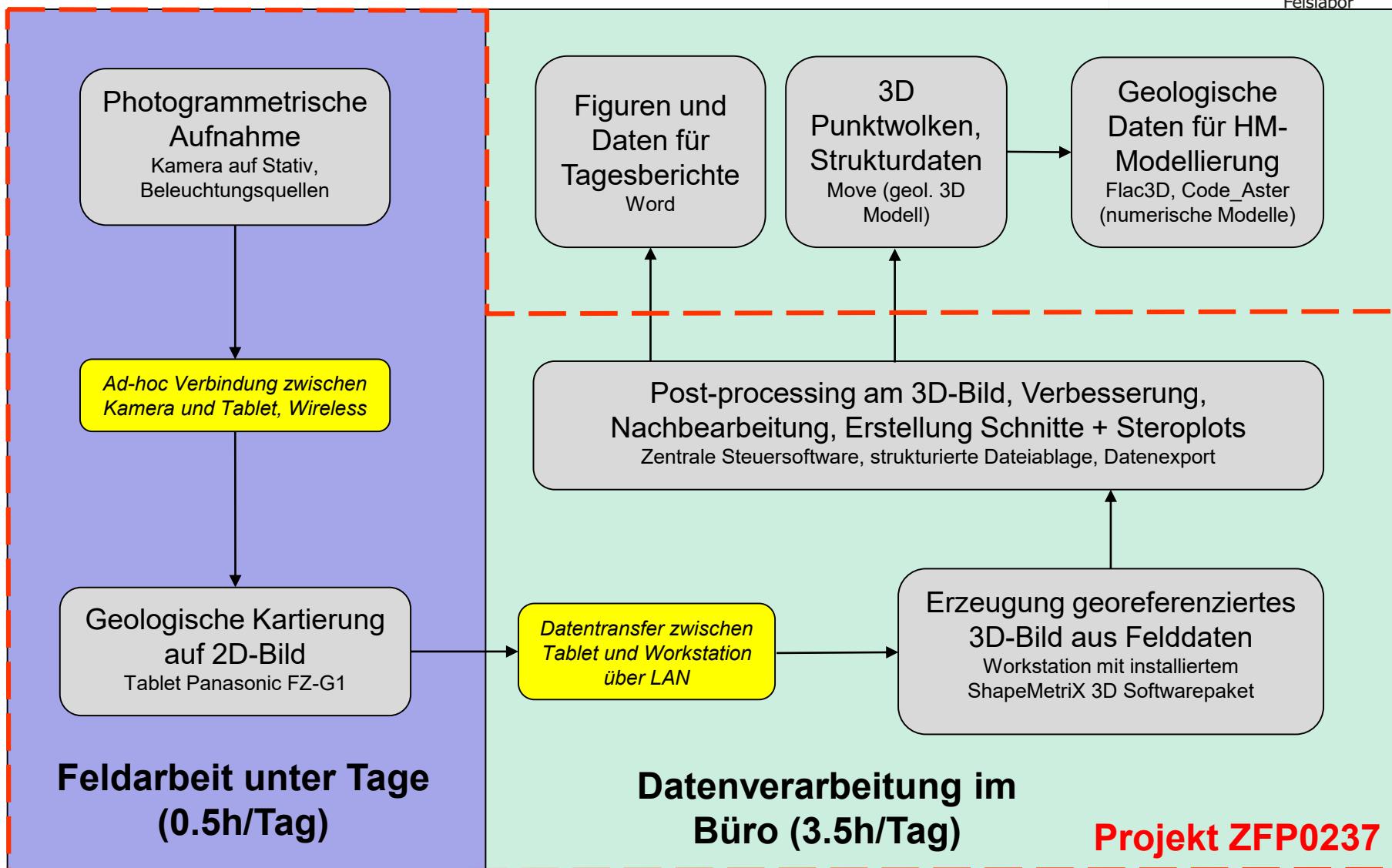


1. Einführung in geologische Tunnelkartierung und Ziele
2. Methode ShapeMetriX 3D von 3GSM™
3. Workflow der digitalen Tunnelkartierung am Mont Terri
4. Erste Resultate mit dem System
5. Beurteilung System und Schlussfolgerungen



# Workflow digitale Tunnelkartierung

## Séquences de travail de la cartographie digitale





## 1. Geodätische Vermessung von Passpunkten

- Freistellen Theodolit (Anpeilen von mindestens 2 Referenzpunkten)
- Markieren von Passpunkten
- Messen von 4 Passpunkten in Paramenten links/rechts, Front und Firste

## 2. Photogrammetrische Aufnahme

- Positionieren der Beleuchtung (2 Akkuleuchten)
- Fotos von Tunnelfront, Paramenten und Firste (30-50 Bilder), >50% Überlappung

## 3. Geologische Kartierung mit Tablet (Adhoc-Link mit Kamera)

- Auswahl Bild mit Abdeckung Tunnelbrust und Paramenten
- Geologische Kartierung auf Tablet mit Mapper



# Geodätische Vermessung (Freistellen) Mensurations (mise en station)



- Anpeilen von Reflektoren/Prismen
- Neueste Referenzdaten (Konvergenzen)



## Geodätische Vermessung (4 Passpunkte) Mensuration (4 points de référence)

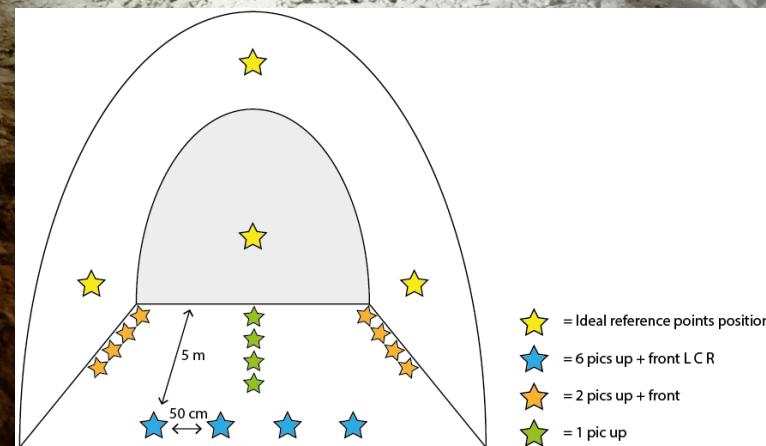




# Photogrammetrische Aufnahme Mensuration photogrammétrique

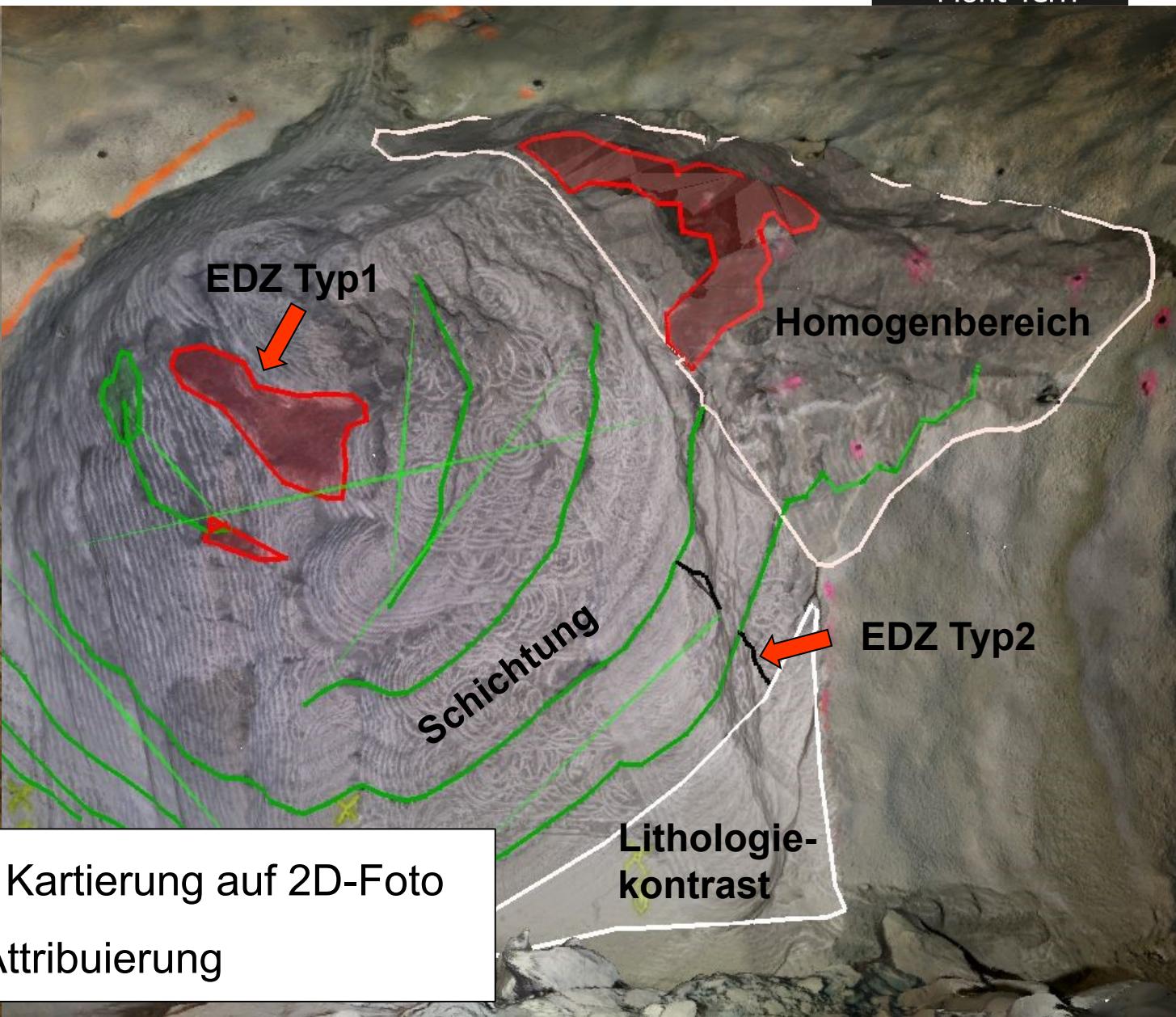


- Aufnahme der Tunnelfront (30-50 Bilder)
- Abstand Kamerapositionen 1:10
- Ad-hoc-Export der Bilder aufs Tablet





# Geologische Kartierung mit Tablet Cartographie avec la tablette



- Geologische Kartierung auf 2D-Foto
- Mapper mit Attribuierung



## 4. Erstellung des 3D-Bildes

- Laden der Bilder ab Toughpad und Import der Vermessungsdaten
- Grobe Rekonstruktion: Struktur aus überlagernden Fotos (Multiphoto)
- Dichte Rekonstruktion: Generierung Fläche (Multiphoto)
- Ermittlung der Stereopaare mit Passpunkten (Multiphoto)
- Punktzuordnung, Referenzierung (Referencer)
- Zuschneiden des Modells (Trimmer)

## 5. Nachbearbeitung und Ergänzung der geol. Aufnahme

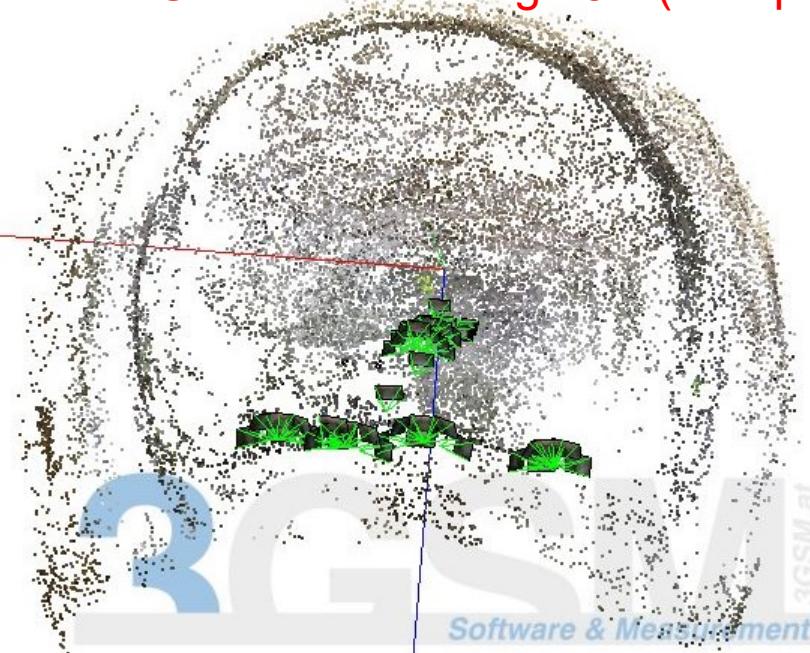
- Laden der 2D-Kartierung aus dem Labor (Analyst)
- Verbesserung und Ergänzung der Karte, Analyse (Analyst)

## 6. Verwaltung, räumliche Darstellung der Abschläge, Reporting

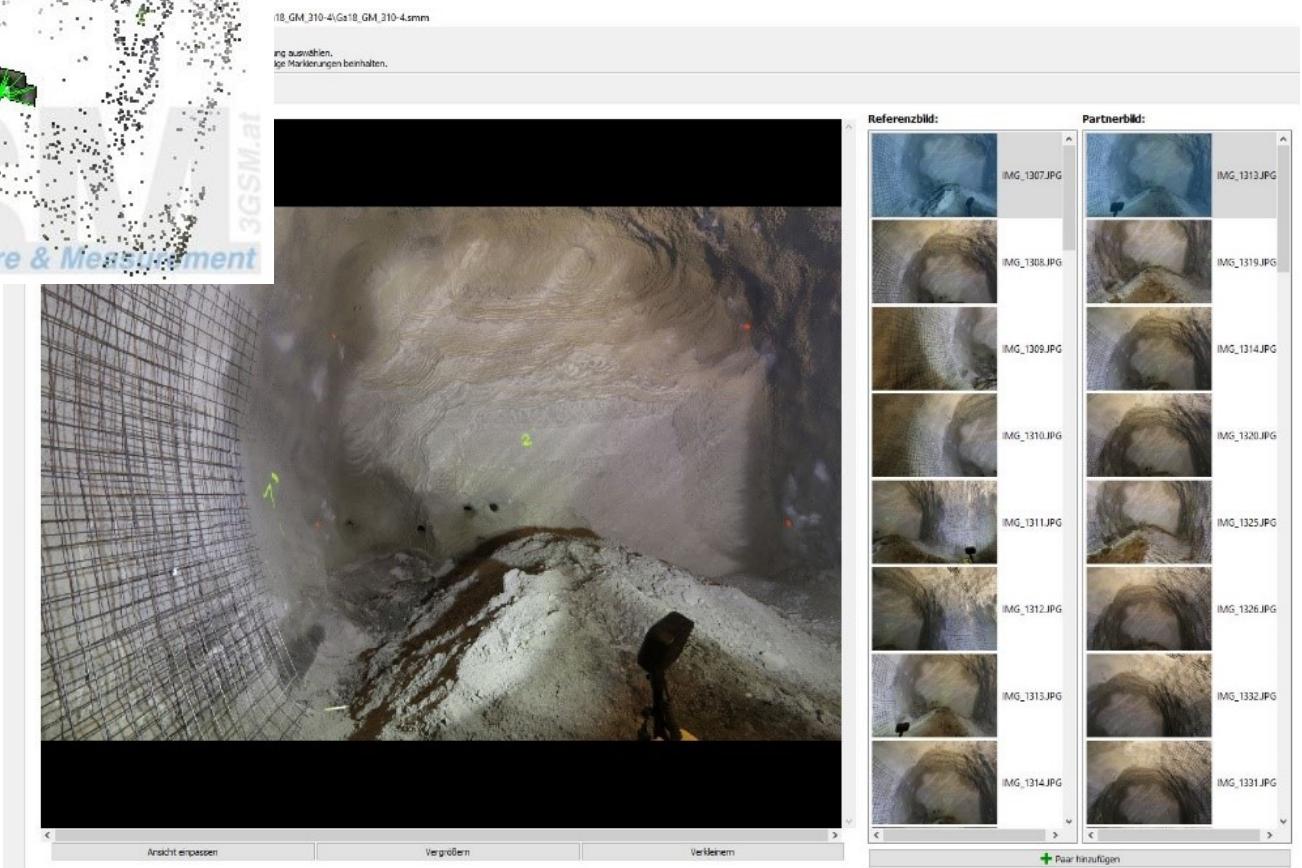
- Ablage und Visualisierung der Daten (CCR)
- Export Tagesbericht und in Move™



## Erstellung des 3D-Bildes (Multiphoto) Création de l'image 3D (Multiphoto)



- Bestimmung Stereobildpaare mit Passpunkten





# Erstellung des 3D-Bildes (Referencer) Création de l'image 3D (Referencer)



SMX Referencer - C:/Users/LocalAdmin/Desktop/Ga18/Ga18\_GM\_310-4/Ga18\_GM\_310-4.jm3  
Datei Bearbeiten Optionen Hilfe  
Punkt 1 X Teilebild: Stereopaar 1

Referenzpunkte  
Globale Koordinaten Bezeichnung erzeugen  
Referenzpunkte Kamerastandpunkte

Stereopaar 1	E	N	H	Zeichnung
1	257933...	124756...	514.918	1

1.

Stereopaar 2	E	N	H	Zeichnung
1	257933...	124756...	514.918	1

2.

Stereopaar 3	E	N	H	Zeichnung
1	257933...	124756...	514.918	1

3.

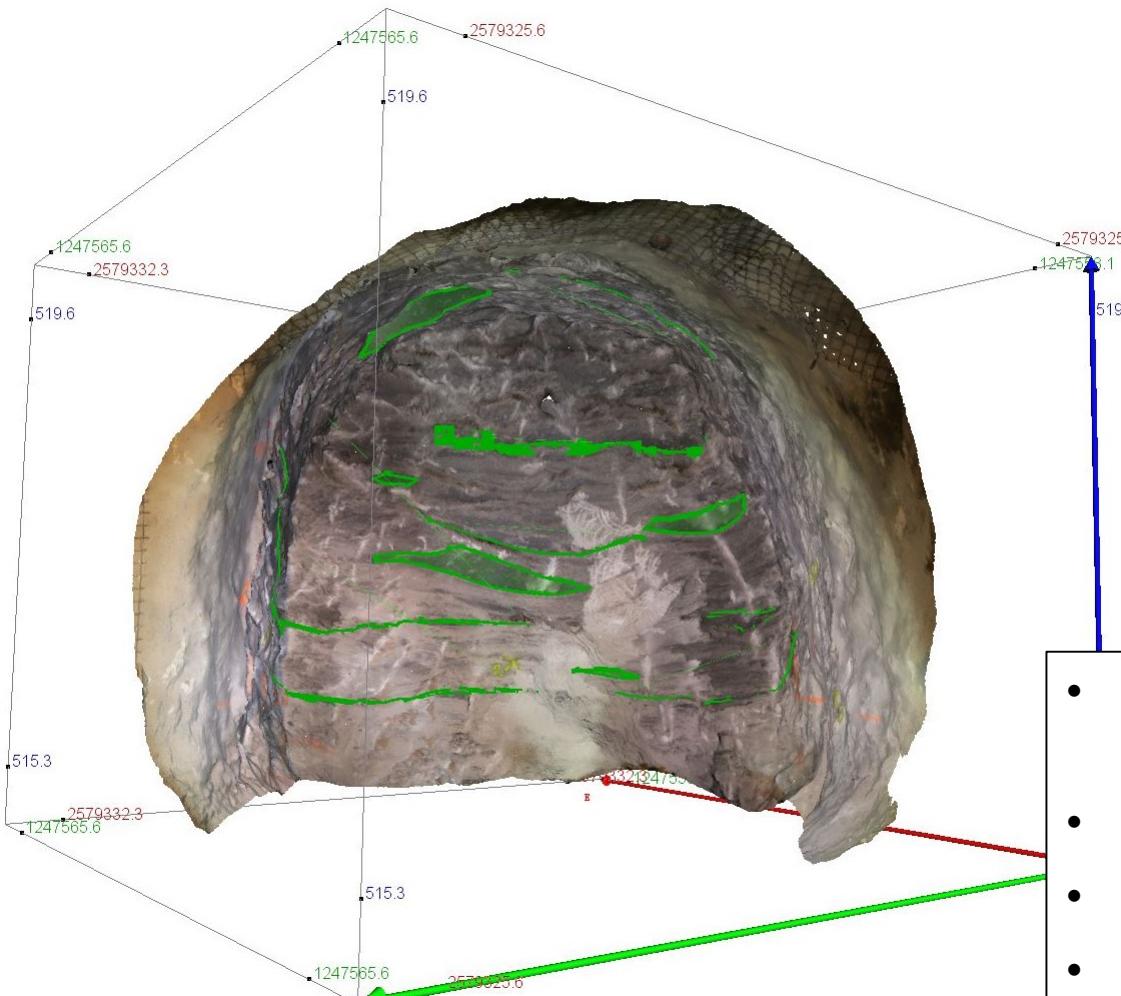
Stereopaar 4	E	N	H	Zeichnung
1	257933...	124756...	514.918	1
2	257932...	124756...	515.034	2
3	257932...	124756...	515.034	3
4	257931...	124756...	517.970	4

Ansicht einpassen Verdecken m / m<sup>2</sup> / °

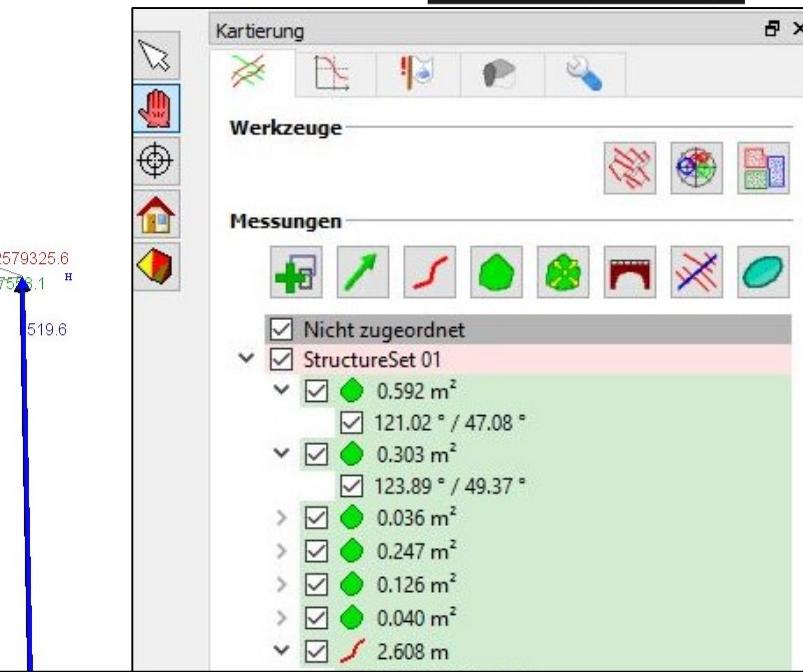
- Punktzuordnung, Referenzierung
- Manuelles Picking



# 3D-Bild nach Rekonstruktion (Analyst) Image 3D après reconstruction (Analyst)



- Laden der 2D-Karte
- Nachbearbeitung der Kartierung

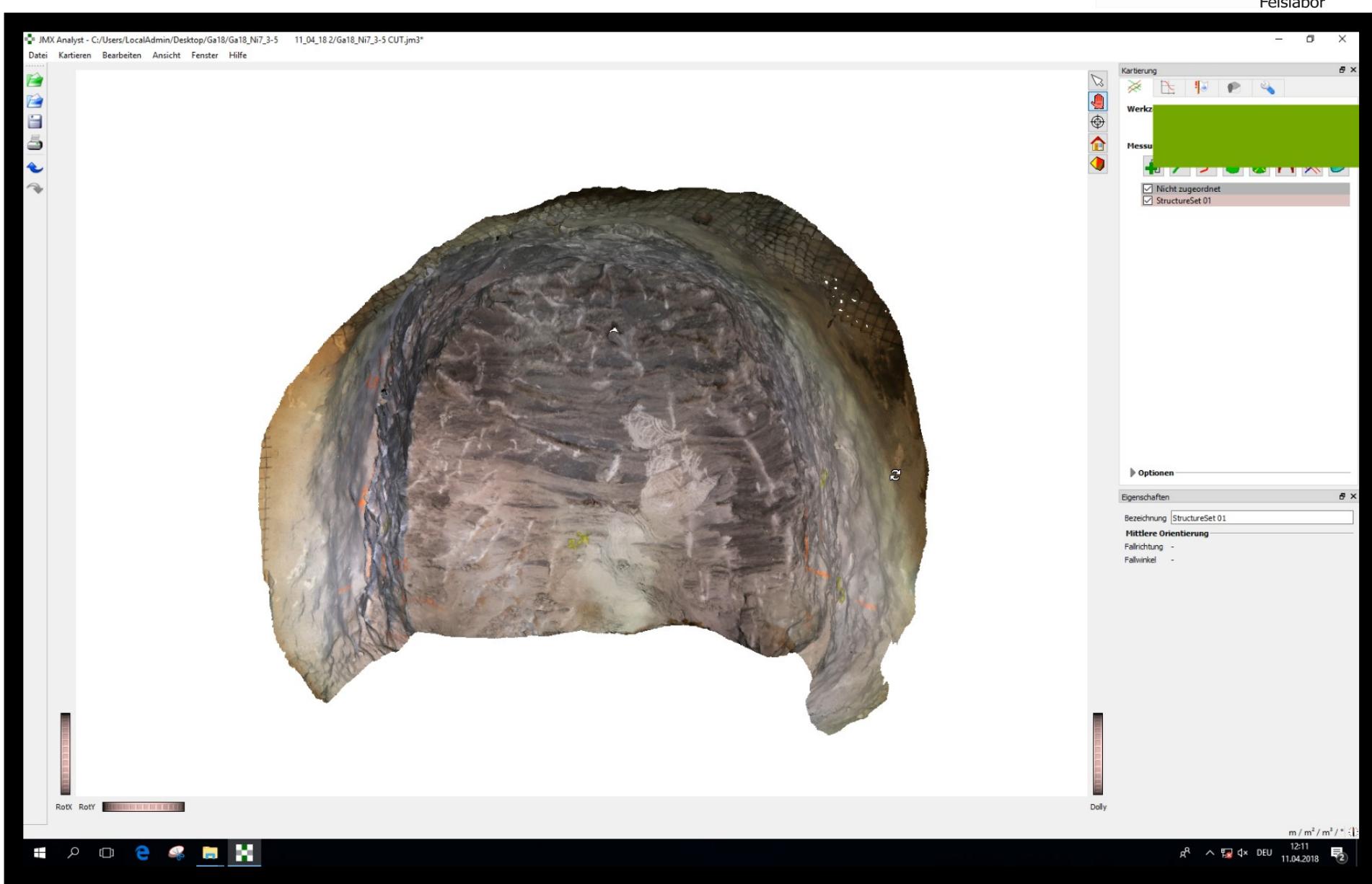


- Orientierungen aus Ausbisslinien oder Flächen, inkl. Standort (x,y,z)
- Attribuierung
- Distanzmessungen
- Scanlinien
- Stereoplots
- Volumenberechnung
- Querprofile



# 3D-Bild nach Rekonstruktion (Analyst)

## Image 3D après reconstruction (Analyst)





# Verwaltung der Daten und Export (CCR)

## Gestion des données et l'export (CCR)



swisstopo CentralControlRoutine

File Options Help

Hierarchical View Custom View

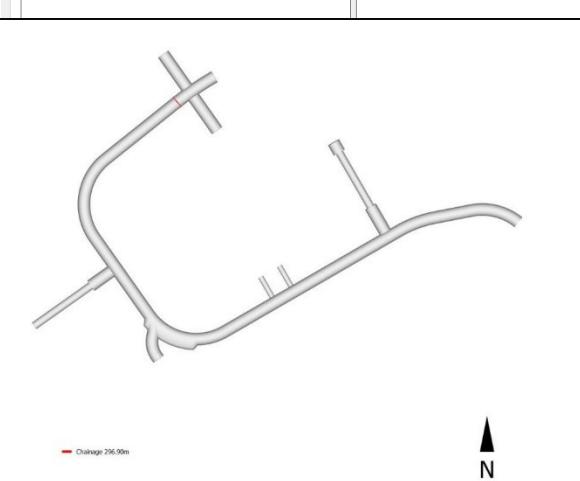
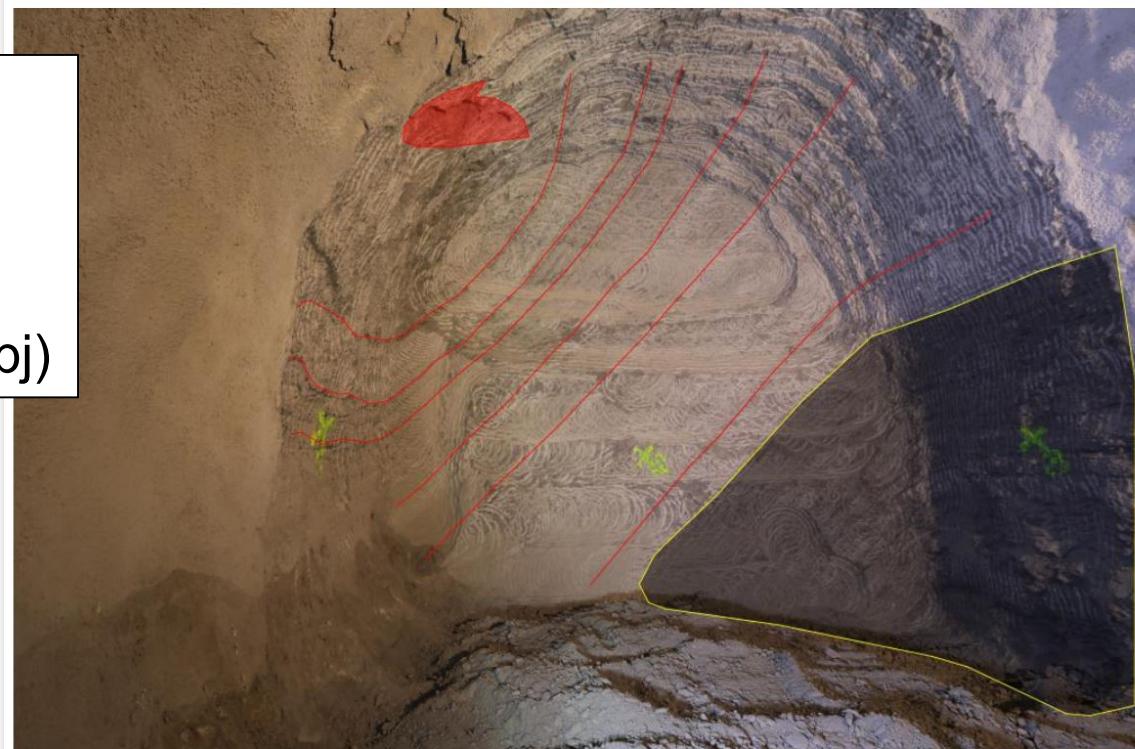
Tunnels  
  Galerie 18  
    [Ga18 Main]  
    Niche 2  
    Niche 3  
    Niche 4  
    Niche 5  
    Niche 6  
  Niche 7  
    Ni7  
  Niche 8  
Excavation types

296.90 m (Drill1)  
299.40 m (Drill1)  
301.30 m (Drill1)  
303.60 m (Drill1)  
305.20 m (Drill1)  
308.00 m (Drill1)  
310.40 m (Drill1)  
311.60 m (Drill1)  
314.40 m (Drill1)  
316.40 m (Drill1)

Position: 296.9 m  
Added: 09.04.2018 08:32  
Date of mapping: 29.03.2018 12:29 Edit  
Excavation type: Drill1  
Geologist: rar Edit  
Mapper image preview Notes Stereonet  
Mapper image with annotations Update Previews

Content:  
Ga18\_GM\_296\_9\_final.jm3  
Ga18\_GM\_296\_9\_final.jnm  
29\_03\_18b.jnm

- Laden/Verwalten von 3D-Abschlägen
- Karte mit Tunnelstand
- Generierung Tagesbericht
- Export Daten ins Move (.obj)



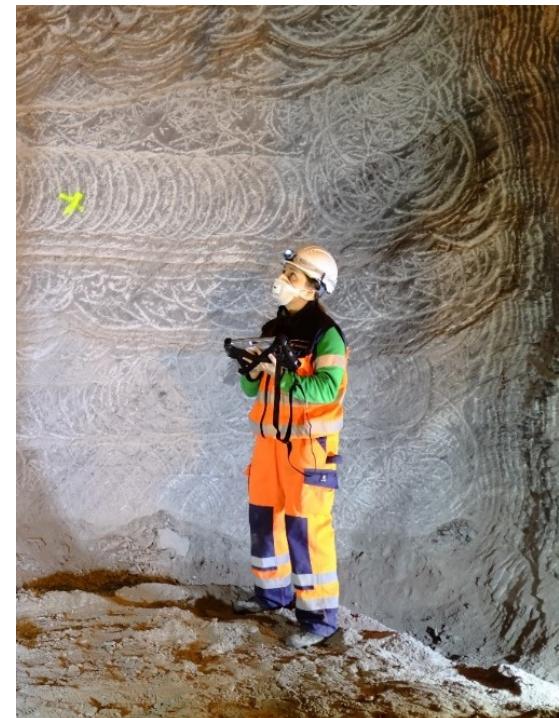
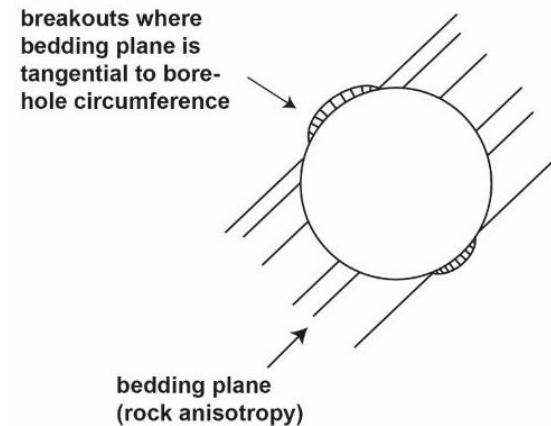


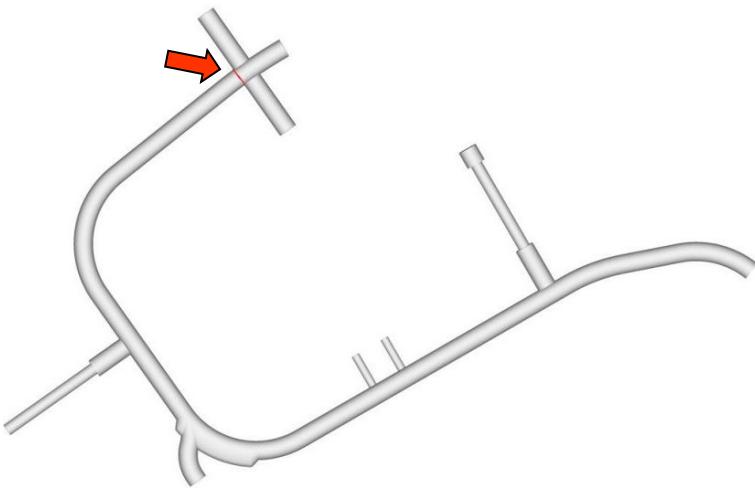
1. Einführung in geologische Tunnelkartierung und Ziele
2. Methode ShapeMetriX 3D von 3GSM™
3. Workflow der digitalen Tunnelkartierung am Mont Terri
- 4. Erste Resultate mit dem System**
5. Beurteilung System und Schlussfolgerungen



## Kartierungen mit dem System Cartographie avec le system

- Bereits 11 Abschläge, Längen zwischen 1.0 und 2.5 m
- Im Mittel zwischen 10 – 15 Strukturmessungen (Schichtung, tektonische Brüche, EDZ)
- Faziesgrenzen und Schichtung auch mit Teilschnittmaschinen-Vortrieb gut erkennbar
- Strukturell bedingte EDZ bei 11 Uhr
- Spannungsinduzierte EDZ bei Pfeilersituation
- Lückenlose Dokumentierung der Felsoberfläche (Spritzbetonmächtigkeiten)
- Tabletkartierung untertage ist wichtig
- Zusätzliche Detailfotos und allenfalls Kartierungen auf Papier weiterhin nötig

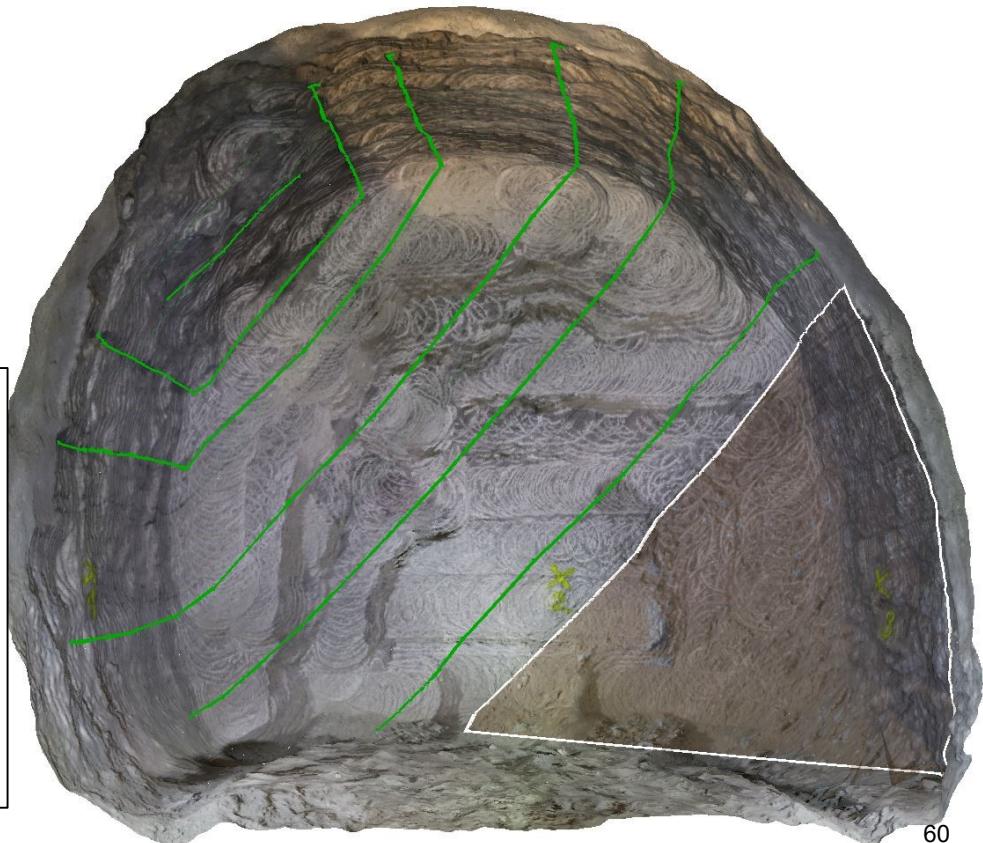


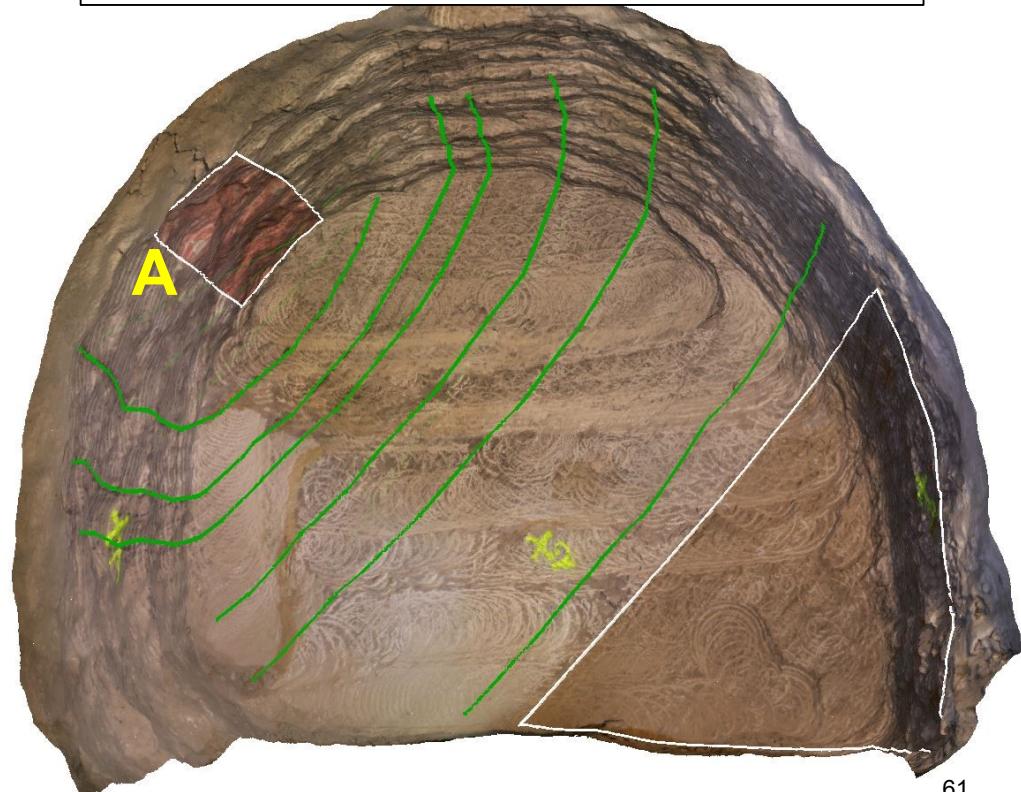
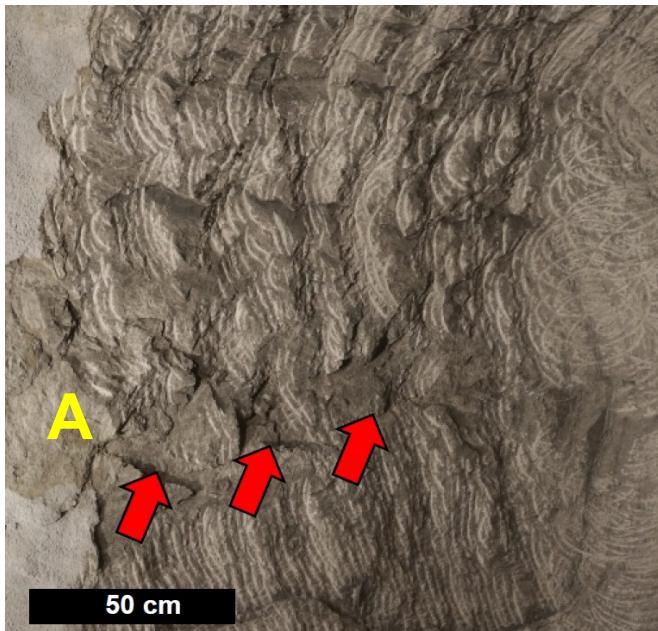
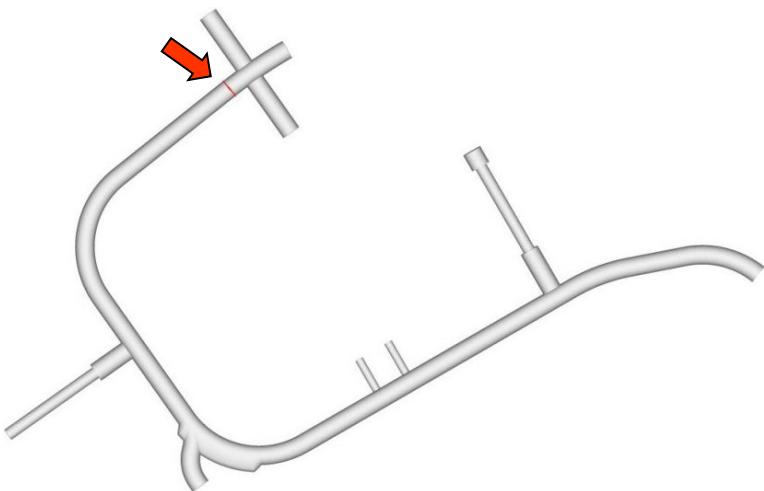


N

### Vortrieb parallel zur Schichtung:

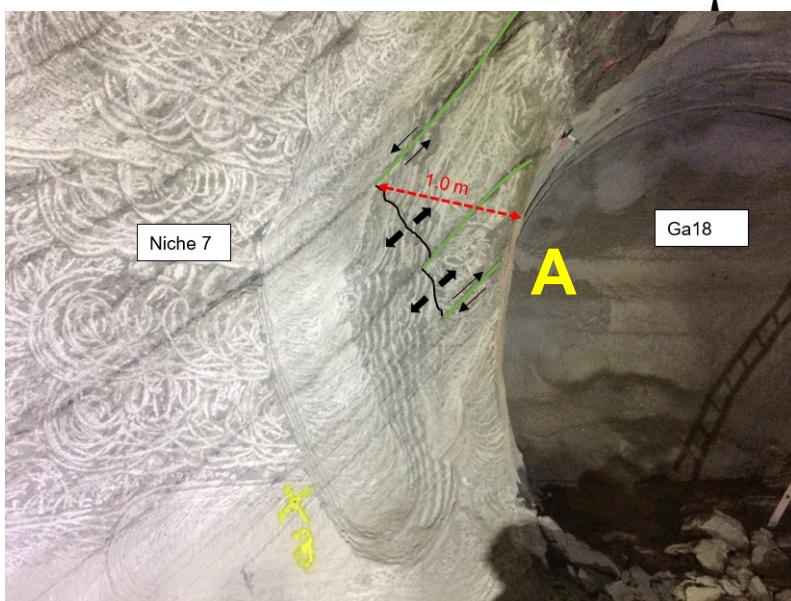
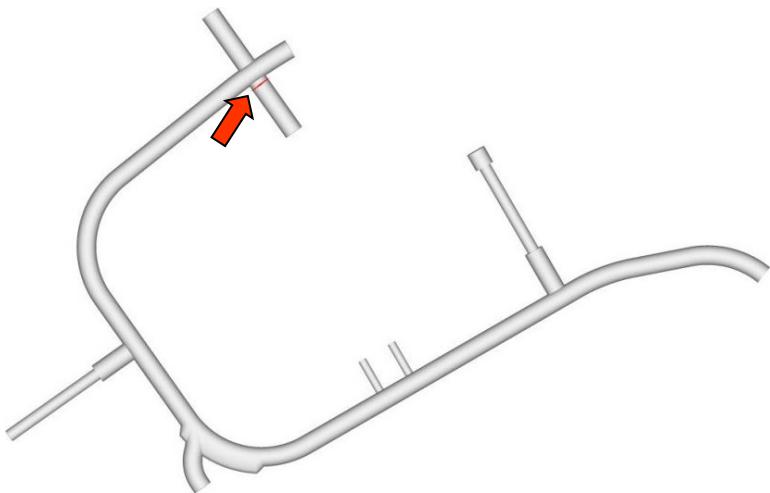
- Schichtung gut erkennbar, auch in Paramenten und Firste (karbonatreiche Lagen)
- Klarer Faziesübergang





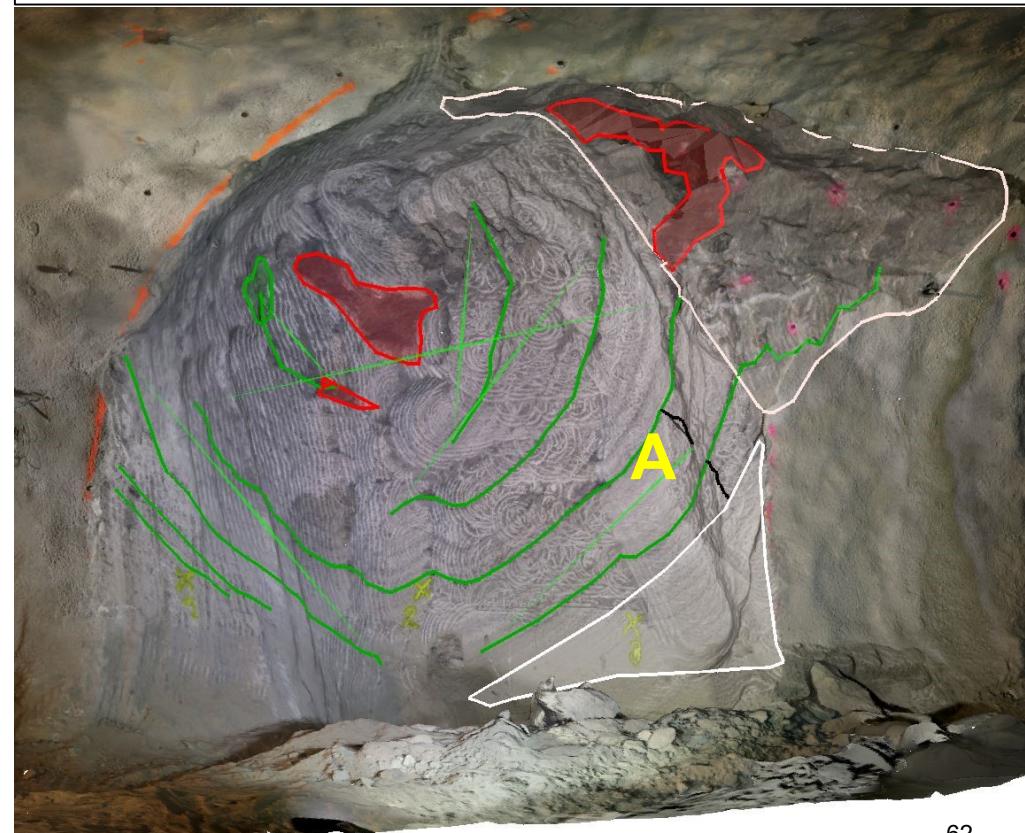
Vortrieb parallel zur Schichtung:

- Dito, sehr projizierbare Verhältnisse
- Strukturell bedingte Ausbrüche bei 10-11 Uhr



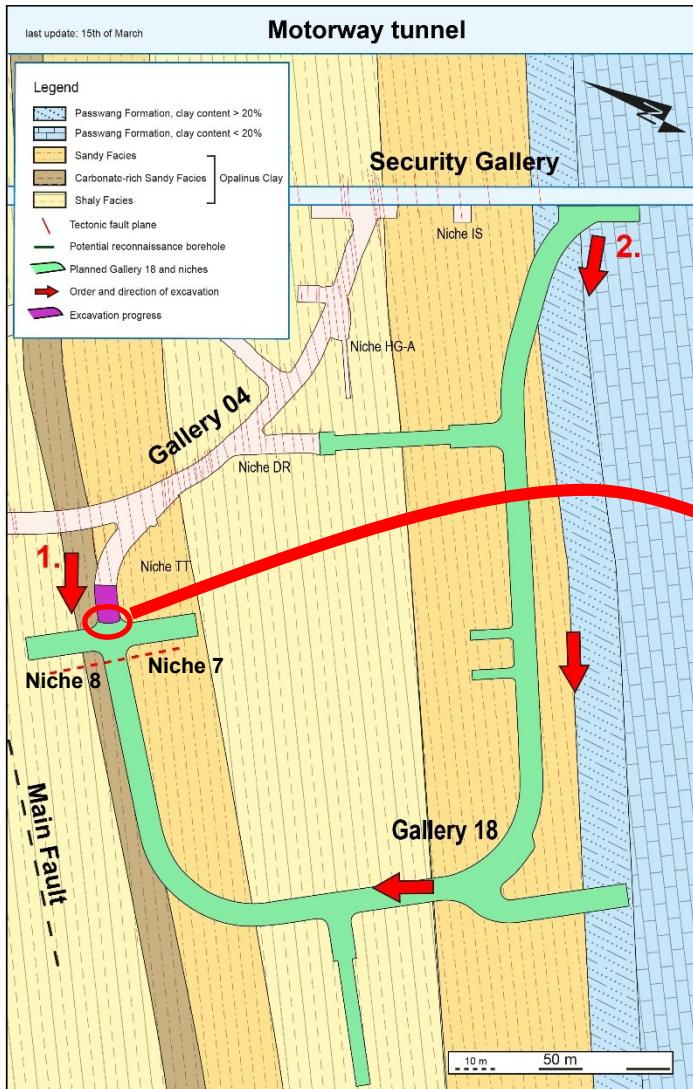
Vortrieb senkrecht zur Streichrichtung:

- Strukturellbedingte EDZ (rot)
- Spannungsbedingte EDZ (schwarz)
- Homogenbereiche (weiss)





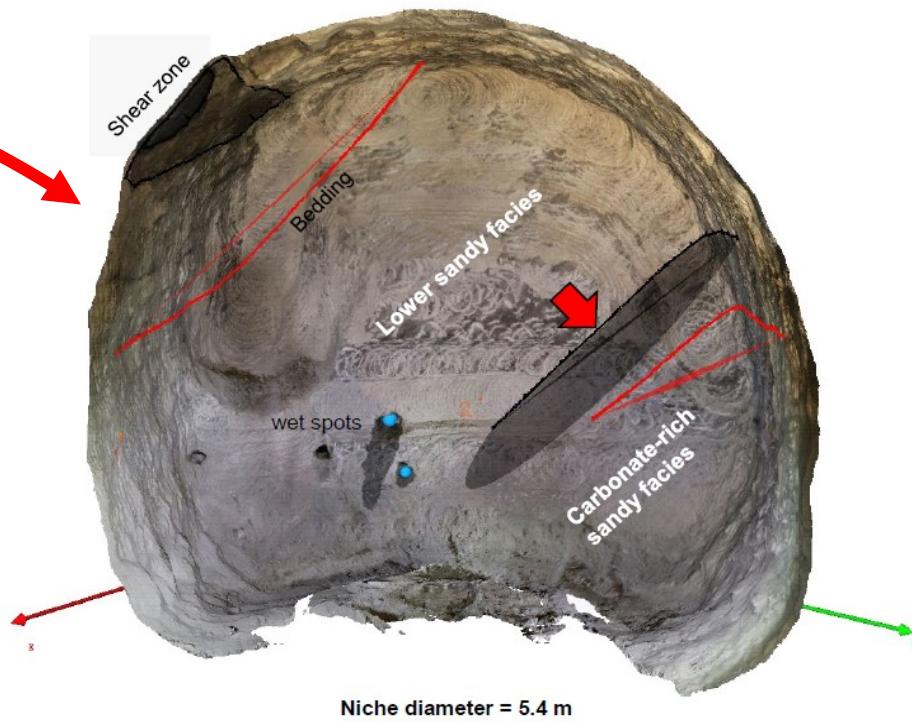
# Erstellung Tagesberichte Edition des rapports journaliers



## Daily report of excavation of Gallery 18

**Daily report No.:** 004  
**Date:** 21/3/2018  
**Mapping time:** 07:55 a.m.–08:35 a.m.  
**Excavation from:** 310.4 m  
**Excavation start:** 02:30 p.m.<sup>1</sup>  
06:00 a.m.<sup>2</sup>  
**Geology (formation):** Opalinus Clay  
**Geology (facies):** Carbonate-rich sandy facies / Lower sandy facies

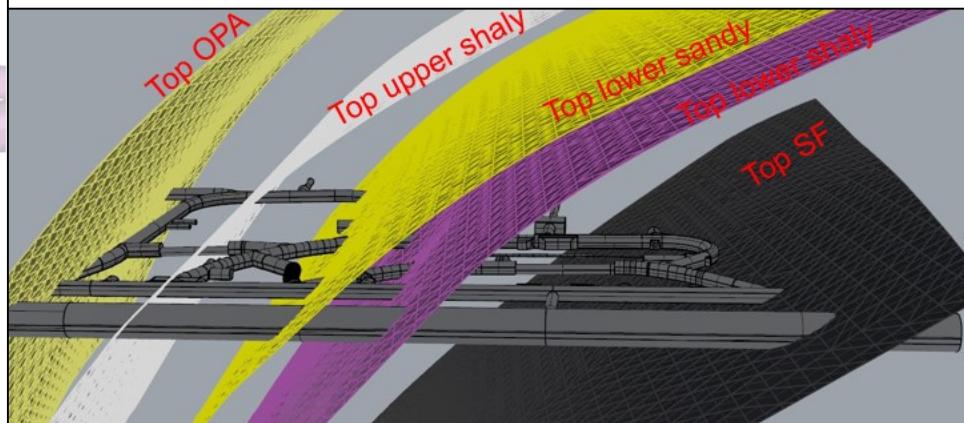
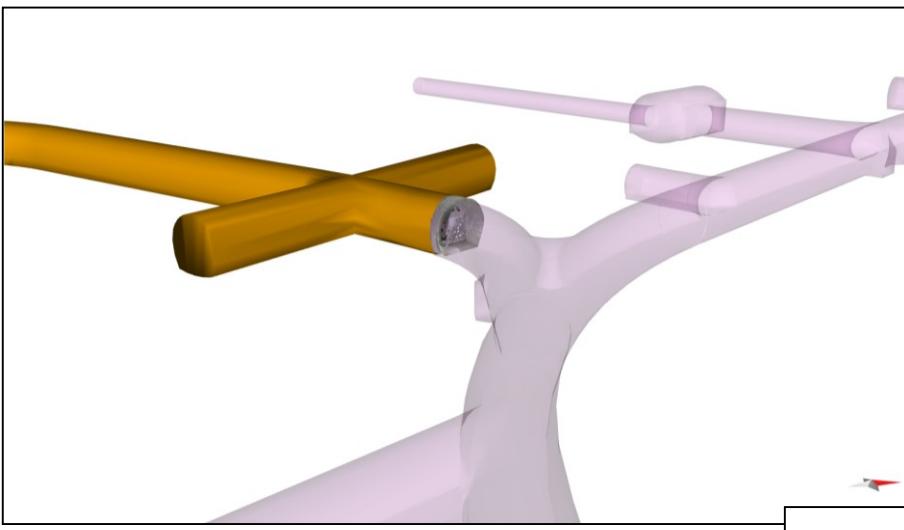
**Mapping Geologists:** jgr, jad, rar  
**Gallery meter:** Ga18\_GM308.0  
**Daily exc. progress:** 2.40 m/0.23 m/h  
**Excavation to:** 308.0 m  
**Excavation end:** 11:00 p.m.<sup>1</sup>  
08:00 a.m.<sup>2</sup>





# Geologisches Modell in Move™

## Modèle géologique en Move™



- Anpassung des geologischen Modells
- Kontrolle des Tunnelverlaufs
- Erstellung von geol. Profilen
- Bestimmung der Spritzbetonmächtigkeiten





1. Einführung in geologische Tunnelkartierung und Ziele
2. Methode ShapeMetriX 3D von 3GSM™
3. Workflow der digitalen Tunnelkartierung am Mont Terri
4. Erste Resultate mit dem System
5. Beurteilung System und Schlussfolgerungen



## Positive Erfahrungen mit dem System ShapeMetriX 3D Expériences positives avec le système ShapeMetriX 3D



- System ist zu 95% berührungslos → erhöhte Sicherheit
- 30 Minuten Kartierungszeit → Zeitersparnis
- Modellrekonstruktion läuft problemlos
- Oberflächen mit hohem Detaillierungsgrad
- Gute Sichtbarkeit von Lithologie und Strukturen auch in sandiger Fazies und mit Teilschnittmaschine
- Orientierungsbestimmung genau
- Nachbearbeitung mit Analyst praktisch
- Analyse der Daten einfach (z.B. Stereoplots, Scanlines)



## Negative Erfahrungen mit dem System ShapeMetriX 3D Expériences négatives avec le système ShapeMetriX 3D



- Genaue Bestimmung der Passpunkte teils schwierig
  - Positionierung Theodolit, Geometrie, fester Stand
  - Referenzpunkte bewegen sich (Konvergenzen)
  - Freie Sicht durch Geräte eingeschränkt
- Schattenwurf bei Beleuchtung von unregelmässigen Oberflächen
- Ursprüngliche Performance-Probleme (Mapper + Analyst) konnten behoben werden
- Zeitplan bei Entwicklung konnte nicht eingehalten werden
- Personelle Ressourcen (Vermessung + ShapeMetrix 3D)
- Lange Rechenzeit



## Schlussfolgerungen und Ausblick Conclusions et perspectives



- Nach Startschwierigkeiten ist das ShapeMetriX3D-System nun zu 100% operativ.
- Es wurden positive und negative Erfahrungen mit dem System gemacht und vieles am Ablauf und bei der Software wurde inzwischen optimiert.
- Die genaue Einmessung der Passpunkte bleibt eine Herausforderung.
- Generell ist das System ein grosser Schritt vorwärts (Sicherheit, Georeferenzierung, digitale Datenablage, Zeitersparnis).
- 25 m von total 514 m sind ausgebrochen, es gibt also noch viel zu dokumentieren bis Anfang 2019.



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

swisstopo LG/FMT

David Jaeggi

Rue de la gare 63

2882 St. Ursanne

[david.jaeggi@swisstopo.ch](mailto:david.jaeggi@swisstopo.ch)

<https://www.mont-terri.ch/>

