

# **Geological investigation and documentation during construction**

**Alfred Fasching**

## Purpose

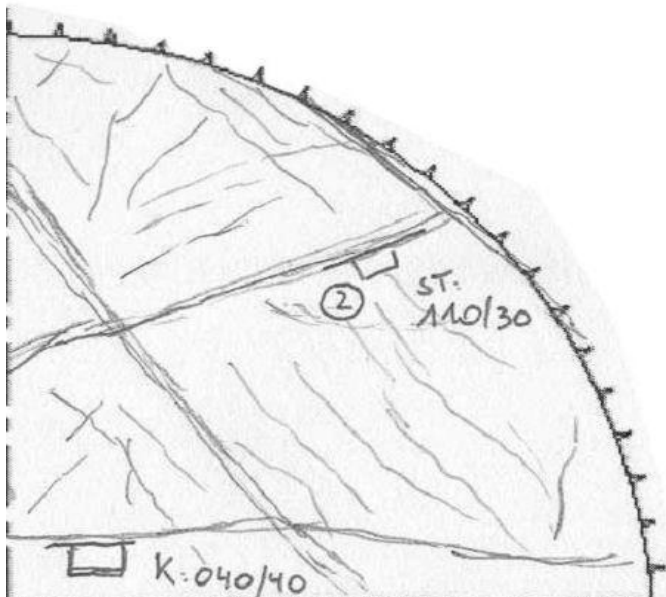
- documentation of encountered geological and geotechnical conditions
- comparison of predicted and encountered conditions
- provision of geological information for the evaluation of geotechnical monitoring results
- evaluation of documentation data for short-term prediction ahead of the tunnel face
- provision of geological information concerning classification of overbreak, behaviour of unsupported rock mass, excavation method, etc.
- investigation of the rock mass in the surrounding of the excavation for detection and characterisation of geological hazards, e.g. fault zones, cavities, water inflow, collapse areas

## Basics

- basic content of documentation shall always be in accordance with the tender
  - for comparability of the documentation data with the geological and geotechnical data of the tender the same features, using the same classification systems shall be recorded
  - documentation systems shall be flexible to allow for the implementation of features, which have not been included in the tender, but are of importance for the construction

## Documentation

- constrains
  - physical access
  - safety
  - time constraints
  - number of measurements



## Documentation

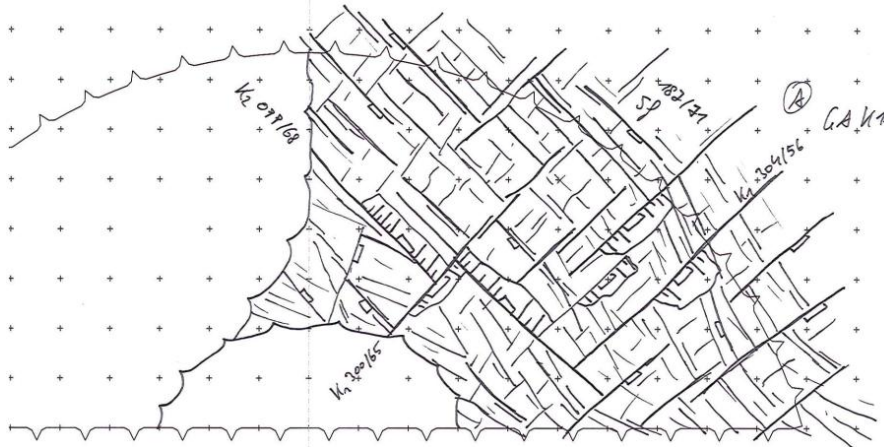
- content of documentation
  - the content of documentation has to be adjusted according to the type of excavation (e.g. drill & blast, hydraulic excavator, road header, TMB), because excavation methods limit the accessibility and influence the appearance of geological and geotechnical features





# Documentation

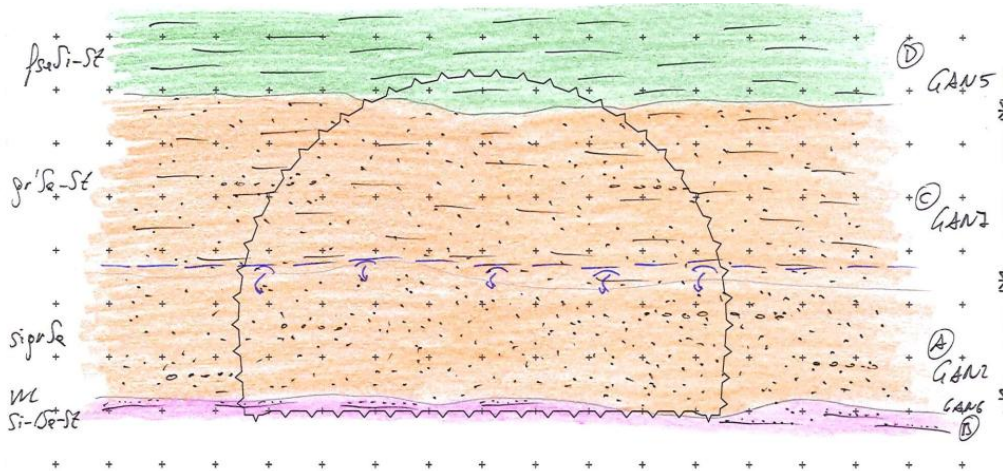
## ■ drill & blast excavation



<b>Gebirgsarten:</b> 100% GA K11		<b>maßgebende Gebirgsart f. Ausbruchverhalten:</b> GA K11		<b>Bergwasserverhältnisse:</b> trocken / bergfeucht	<b>Vortriebsart:</b> Sprengen	<b>Gesteinsprobe:</b> nein		
<b>maßgebende Gebirgsart f. Gebirgsverhalten:</b> GA K11				<b>Ausbruchverhalten:</b> mäßig	<b>Erweichbarkeit:</b> nicht anwendbar	<b>Wasserprobe:</b> nein		
<b>Geologische und geotechnische Gesamtbeurteilung:</b> mäßig bis lokal stark zerlegter und überwiegend mittelstündig (20-60 cm) geschieferter, unverwitterter Schiefergneis mit einzelnen bis zu wenigen dm-mächtigen Silikatmarmorlagen				<b>Gebirgsverhalten beim Ausbruch:</b> in mittlerer Ortsbrust führen die steil gegen die VTR einfallenden Schieferungsflächen in Kombination mit den mittelsteil einfallenden Klüftscharen (K1, K2) zum Ausgleiten größerer Klüftkörper aus der Ortsbrust; im südlichen Ulm und Kämpfer besteht durch die plattige Ausbildung der Schieferung Potenzial zum Ablösen von Schichtpaketen				
<b>Gebirgsaufbau:</b> Schieferungsflächen fallen in oberer Ortsbrust steil nach S (gegen VTR) ein und schwenken in unterer Kalotte in ein flaches Einfallen nach SW um; zwei Klüftscharen mit mittelsteilem Einfallen nach O bzw. NW; steil stehende Kleinklüfte mit geringer Persistenz orthogonal zur Schieferung		<b>Bergwassersituation:</b> Gebirge ist trocken/bergfeucht		<b>Bemerkungen zum Vortrieb:</b> Sprengen und Ablauten mit dem Tunnelbagger; Dokumentation der linken Kalotte in Vortriebsrichtung der Haupttröhre NW betrachtet  -> BLICKRICHTUNG (= VORTRIEBSRICHTUNG) ist nach Osten (78°)				
<b>Parameter Kristallin:</b>								
A) 100% Glimmerschiefer - Schiefergneis				zugeordnete Gebirgsart: GA K11				
<b>Schlüsselparameter:</b>		<b>Sonstige Parameter:</b>		<b>Lithologie:</b>				
UCS*: 50 - 100 MPa	Zerlegung: 20 - 60 cm	SF-Abstand: 20 - 60 cm	60% Schiefergneis, grau 20% Silikatmarmor, hellgrau 20% Feinkongneis, dunkelgrau					
Verwitterung: frisch	Kataklasitität: -	Klüftkörperform: rhombisch						
Tropie: anisotrop	Verkarstung: nicht anwendbar	TF-Öffnung: TF geschlossen						
<b>Beschreibung:</b> mittelstündig geschieferter, unverwitterter, mäßig bis lokal stark zerlegter Schiefergneis bis stark glimmerführender Feinkongneis mit schieferungsparallelen, dm-mächtigen Silikatmarmorzwischenlagen und mit bereichsweise ausgeprägter Kleinklüftung (vorwiegend steilstehend)				* Gesteinsdruckfestigkeit geschätzt nach Feldversuch				
<b>Trennflächentyp</b>	<b>Azmut / Dip</b>	<b>Rauigkeit</b>	<b>TF-Oberfläche</b>	<b>TF-Öffnung [mm]</b>	<b>TF-Füllung</b>	<b>Besteige</b>	<b>TF-Schar</b>	<b>TF-Abstand [cm]</b>
1) Schieferungsfläche	187 / 71	rau	wellig	geschlossen	keine	keine	SF	20 - 60 cm
2) Klüftfläche	304 / 56	rau	eben (planar)	geschlossen	keine	keine	K1	60 - 200 cm
3) Klüftfläche	300 / 65						K1	
4) Klüftfläche	099 / 68	glatt	wellig	geschlossen	keine	keine	K2	60 - 200 cm

# Documentation

## ■ mechanical excavation with hydraulic excavator



<b>Gebirgsarten:</b> 49% GA N7, 44% GA N2, 4% GA N5, 3% GA N6	<b>Bergwasserverhältnisse:</b> rinnend - nass	<b>Vortriebsart:</b> Sprengen+Bagger	<b>Gesteinsprobe:</b> nein
<b>maßgebende Gebirgsart f. Ausbruchverhalten:</b> GA N2	<b>Ausbruchverhalten:</b> mäßig	<b>Erweichbarkeit:</b> mäßig erweichbar	<b>Wasserprobe:</b> nein
<b>maßgebende Gebirgsart f. Gebirgsverhalten:</b> GA N2		<b>Klebrigkeit:</b> nicht klebrig	

<b>Geologische und geotechnische Gesamtbeurteilung:</b> in Firste gering verfestigter, tw. stark feinsandiger Schluffstein; darunter gering verfestigter, z.T. entfestigter, kiesiger Sandstein mit fließenden Übergängen in sehr dicht gelagerten, gut verzahnten, kiesigen Sand; in der unteren OB-Hälfte schwach schluffiger, kiesiger Sand; direkt oberhalb der Kolktonische Wechsellagerung aus gering verfestigtem, unvewittertem, massigem, feinsandigem Schluffstein und gering verfestigtem, z.T. entfestigtem, massigem, schluffigem Sandstein (wgw. im dm-Bereich)	<b>Gebirgsverhalten beim Ausbruch:</b> vereinzelt kleinvolumige, schollenartige Ablösungen aus der wasserführenden, kiesigen Sandschicht in der unteren OB-Hälfte; geringfügige oberflächliche Erosionserscheinungen im "Sand"; in Firste vereinzelt Nachbrechen kleinvolumiger Gesteinskörper an Grenzfläche zwischen Si- und Sa-Stein
--	--

<b>Gebirgsaufbau:</b> flaches Schichteneinfallen in Vortriebsrichtung nach Osten; Grenzfläche zw. Schluffstein in Firste und Sandstein mechanisch wirksam	<b>Bergwassersituation:</b> rinnende Wasserzutritte aus der kiesigen Sandschicht (ca. 0,5 l/s) in der OB	<b>Bemerkungen zum Vortrieb:</b> Lockerungsschüsse in unterer und mittlerer OB und vollflächiger Ausbruch mittels Tunnelbagger; aufgeweichte Fahrbahn im Ortsbrustbereich durch rinnende Wasserzutritte aus Ortsbrust
--	---	--

<b>Lithologie Neogen:</b>			
<b>B) 3% Wechsellagerung Schluffstein u. Sand/Sandstein; grau bis dunkelgrau</b>			
<b>Festgestein:</b>			<b>Lockergestein:</b>
<b>Gesteinsdruckfestigk.:</b> 1 - 3 MPa	<b>Schichtflächenabstand:</b> nicht beobachtbar		
<b>Verwitterung:</b> frisch	<b>Schichtmächtigkeit:</b> 20 - 6 cm		
<b>Kornbindung:</b> mäßig	<b>Kluftkörpergröße:</b> ungekluftet		
<b>Zementation:</b> tonig	<b>Kluftkörperform:</b> massig		
<b>Veränderlichkeit:</b> veränderlich	<b>Trennflächenöffnung:</b> nicht beobachtbar		
<b>Beschreibung:</b>	sandsteindominierte Wechsellagerung im cm- bis unteren Dezimeterbereich aus gering verfestigtem, unvewittertem, feinsandigem Schluffstein und schluffigem Sandstein; schwach ausgeprägte, bevorzugte Spaltbarkeit parallel zur Schichtung		

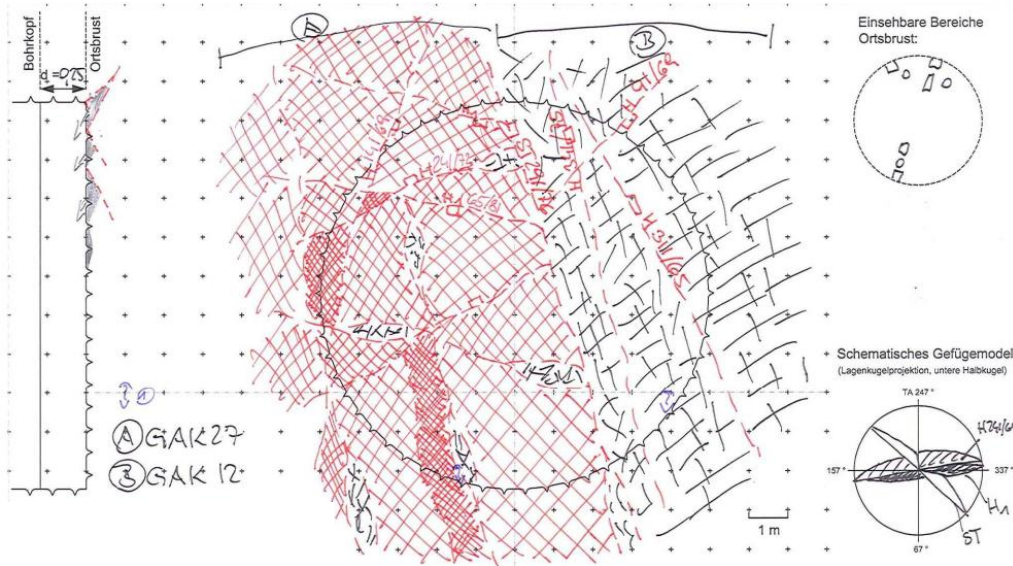
<b>C) 49% Sandstein, überwiegend gering verfestigt; rostbraun</b>			
<b>Festgestein:</b>			<b>Lockergestein:</b>
<b>Gesteinsdruckfestigk.:</b> < 1 MPa	<b>Schichtflächenabstand:</b> nicht beobachtbar		
<b>Verwitterung:</b> stark vewittert	<b>Schichtmächtigkeit:</b> nicht beobachtbar		
<b>Kornbindung:</b> schlecht	<b>Kluftkörpergröße:</b> ungekluftet		
<b>Zementation:</b> tonig	<b>Kluftkörperform:</b> massig		
<b>Veränderlichkeit:</b> stark veränderlich	<b>Trennflächenöffnung:</b> nicht beobachtbar		
<b>Beschreibung:</b>	gering verfestigter, z.T. entfestigter, gut verzahnter, schwach kiesiger Sandstein mit Übergängen in dicht - sehr dicht gelagerten kiesigen "Sand"; im Hangenden zunehmend schluffig; durch Eisenaufällungen rostbraun vewittert		

Lithologie Neogen:						
A) 44% "Sand"; rostbraun						
Festgestein:		Lockergestein:		Lagerungsdichte:		
Korngröße:		Korngröße:		Konsistenz:		
Korngefüge:		Korngefüge:		Plastizität:		
Kornform:		Kornform:				
Beschreibung:		schwach schluffiger, kiesiger Fein- bis Mittelsand, dicht bis sehr dicht gelagert und gut verzahnt (lokal übergehend in sehr gering verfestigten Sandstein); gesamte Sandschicht ist wasserführend (im Liegenden stärker rinnend) mit tw. oberflächlicher Aufweichung und Erosion aufgrund des Wasserzutrittes				
D) 4% Schluffstein, überwiegend gering verfestigt; grau						
Festgestein:		Lockergestein:				
Gesteinsdruckfestig*:		Schichtflächenabstand:				
Verwitterung:		Schichtmächtigkeit:				
Kornbindung:		Kluftkörpergröße:				
Zementation:		Kluftkörperform:				
Veränderlichkeit:		Trennflächenöffnung:				
Beschreibung:		gering verfestigter, unvewitterter, feinsandiger Schluffstein; einzelne stark feinsandige Lagen im cm-Bereich				
* Gesteinsdruckfestigkeit geschätzt nach Festkörperprobe						
Bergwasserzutrittsart						
Zutrittsform		Zutrittsstelle		Auslaufverhalten		Schüttmenge [l/sec]
pH-Wert		Temperatur [°C]		Leitfähigkeit [µS/cm]		
1) rinnend		flächig		Ortsbrust		konstant
						0,50



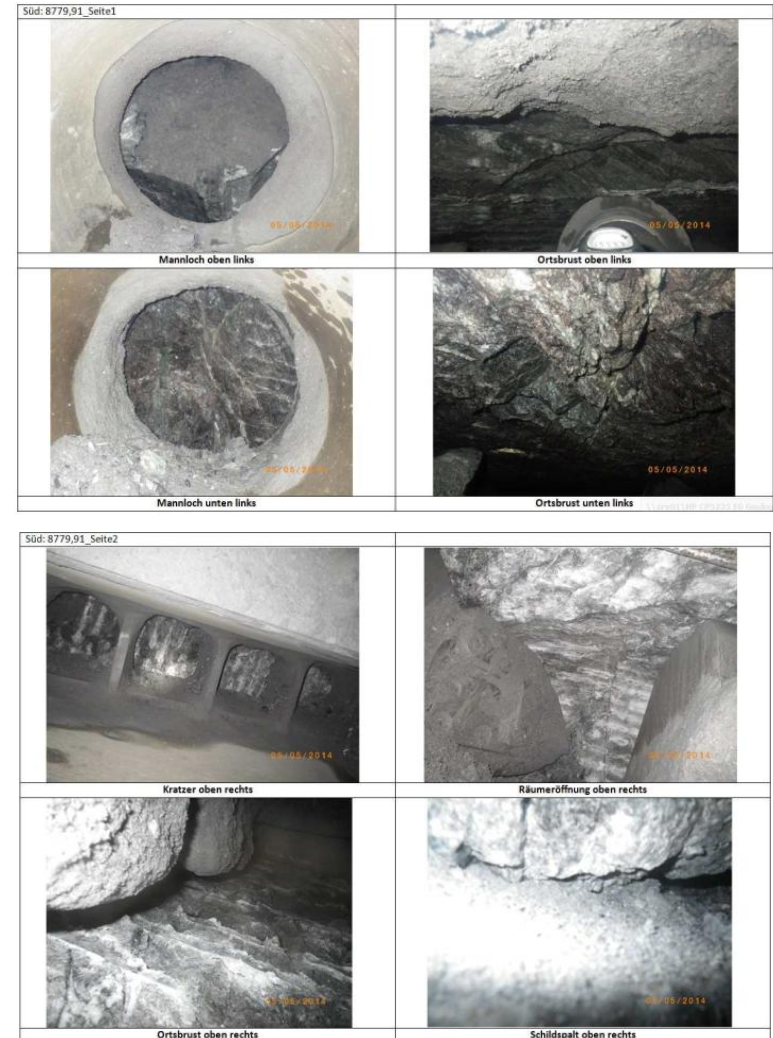
# Documentation

## ■ mechanical excavation with TBM



Gebirgsarten: 65% GA K26, 35% GA K12		Bergwasserverhältnisse: rinnend - nass		Anhaftungen (BK): tw. Anhaftungen		Gesteinsprobe: nein	
maßgebende GA f. Systemverhalten-Ausbruch: GA K26		Systemverhalten: ungünstig		Anhaftpotential (OB): durch bindige Anteile		Wasserprobe: nein	
maßgebende GA f. Gebirgsverhalten: GA K26							
<b>Allgemeine geologische Beschreibung:</b> Störung aus feinklastischen Störungsgesteinen (Scherflächen dm <sup>2</sup> mächtig) mit tonig-schluffiger Matrix; im rechten Bereich stark zerlegter, z.T. kataklastischer Schiefergneis; Trennflächen teilweise kalzitisch verteilt		<b>Systemverhalten beim Ausbruch:</b> Störung links: Vorbruch ca. 0,5 m; Überbruch in Laibung im dm <sup>2</sup> -Bereich; Nachbruch während Begehung hörbar; rechte Ortsbrust: silg Zahartig durch starke Zerlegung		<b>Oberfläche (OB):</b> blockig ausgebrochen (0,1 - 0,5 m)		<b>Diskensuren:</b> üwgld. nicht sichtbar	
<b>Gefüge / Gebirgsaufbau:</b> Störung fällt steil zum rechten Urm und in VTR ein; Harnschichten fallen steil in sämtliche Richtungen ein		<b>Bergwassersituation:</b> Wasserzutritt aus Ortsbrust; Gesamtschüttungsmenge ca. 0,5 l/s		<b>Bemerkungen zum Vortrieb:</b> Putzöffnungen: rechts: verklaut mit Wasserzutritt; links: tw. verklaut mit Wasserzutritt; Verbläsoffnungen: Ring 3651 Firse und beide Kämpfer frei;			

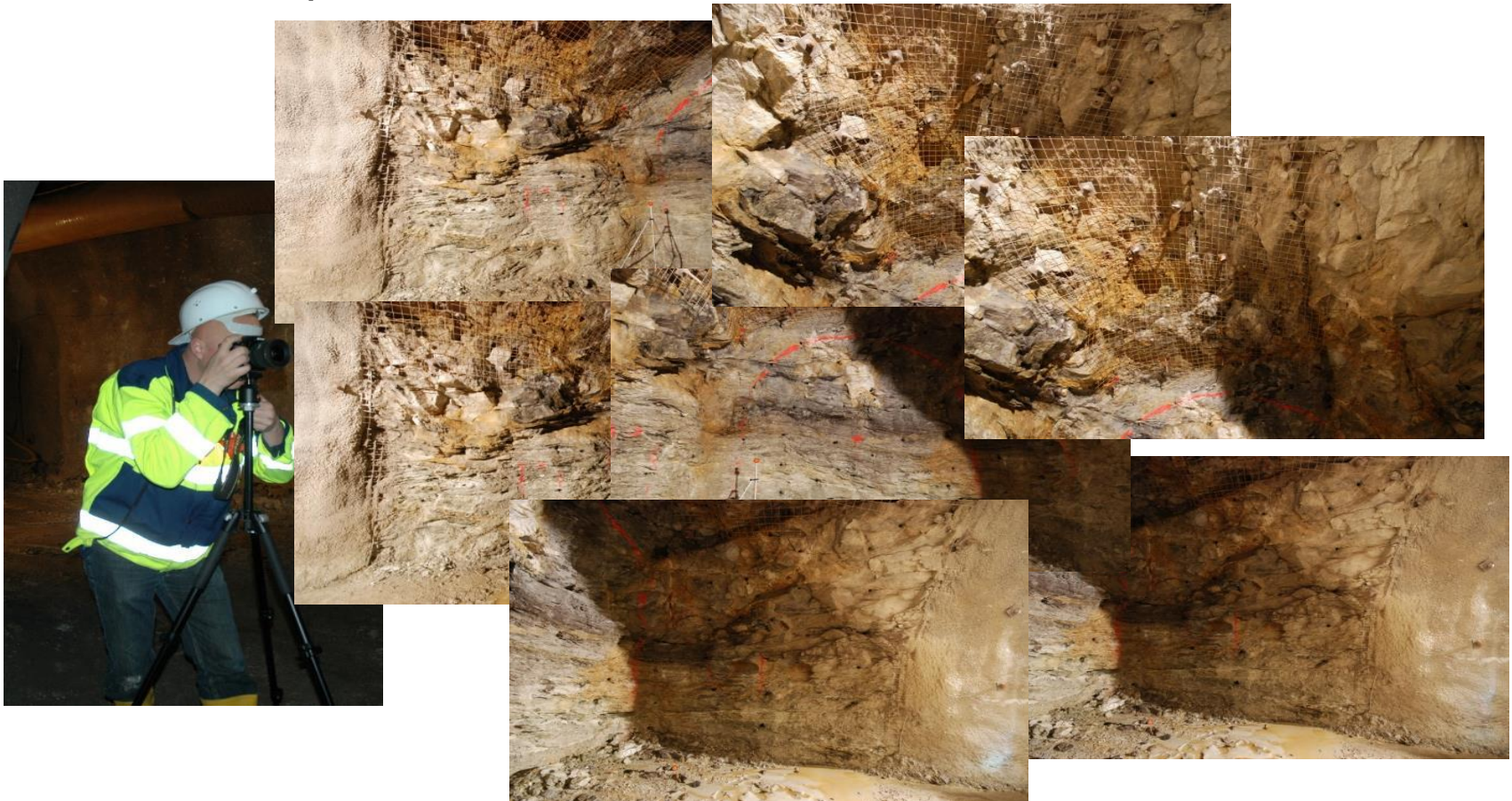
Parameter Kristallin:							
A) 65% Störungsgesteine			zugeordnete Gebirgsart: GA K27		Wiederverwertbarkeit: Typ G		
Schlüsselparameter:			Sonstige Parameter:			Lithologie:	
UCS:	< 5 MPa	Zerlegung:	nicht anwendbar	SF-Abstand:	nicht beobachtbar	Veränderlichkeit:	stark veränderlich
Verwitterung:	frisch	Kataklasstyp:	Typ I	Kluftkörperform:	vielfältig	100% Störungsgestein, grau/braun	
Tropie:	anisotrop	Verkarstung:	nicht anwendbar	TF-Öffnung:	TF üwgld. offen	* Gesteinsdruckfestig, geschult nach Feldversuch	
Beschreibung:					Störung aus feinklastischen Störungsgesteinen (Scherlinsen dm <sup>2</sup> mächtig) mit tonig-schluffiger Matrix		
B) 35% Glimmerschiefer - Schiefergneis			zugeordnete Gebirgsart: GA K12		Wiederverwertbarkeit: Typ E		
Schlüsselparameter:			Sonstige Parameter:			Lithologie:	
UCS:	50 - 100 MPa	Zerlegung:	6 - 20 cm	SF-Abstand:	6 - 20 cm	Veränderlichkeit:	veränderlich
Verwitterung:	frisch	Kataklasstyp:	-	Kluftkörperform:	vielfältig	100% Schiefergneis, grau	
Tropie:	anisotrop	Verkarstung:	nicht anwendbar	TF-Öffnung:	TF teilweise offen	* Gesteinsdruckfestig, geschult nach Feldversuch	
Beschreibung:					stark zerlegter, z.T. kataklastischer Schiefergneis		





## Documentation

- improvement of photo documentation and discontinuity mapping by processing of oriented 3D-images from freehand photos



## Documentation

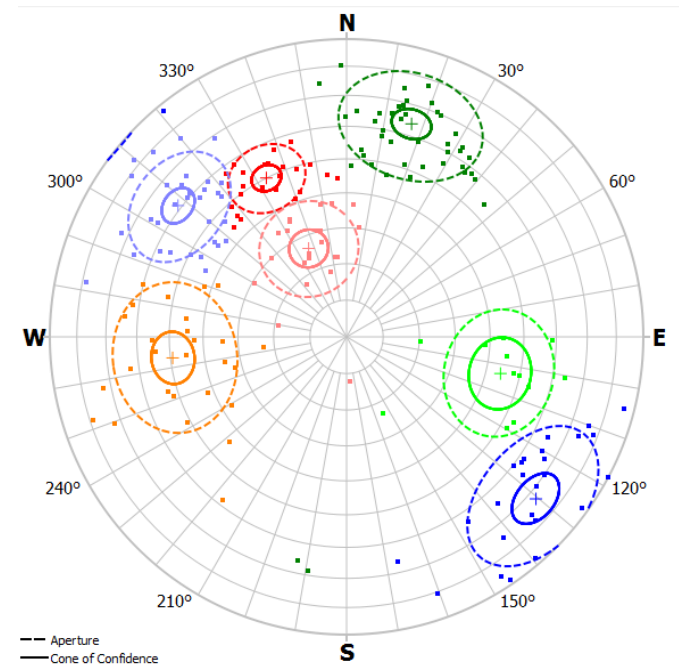
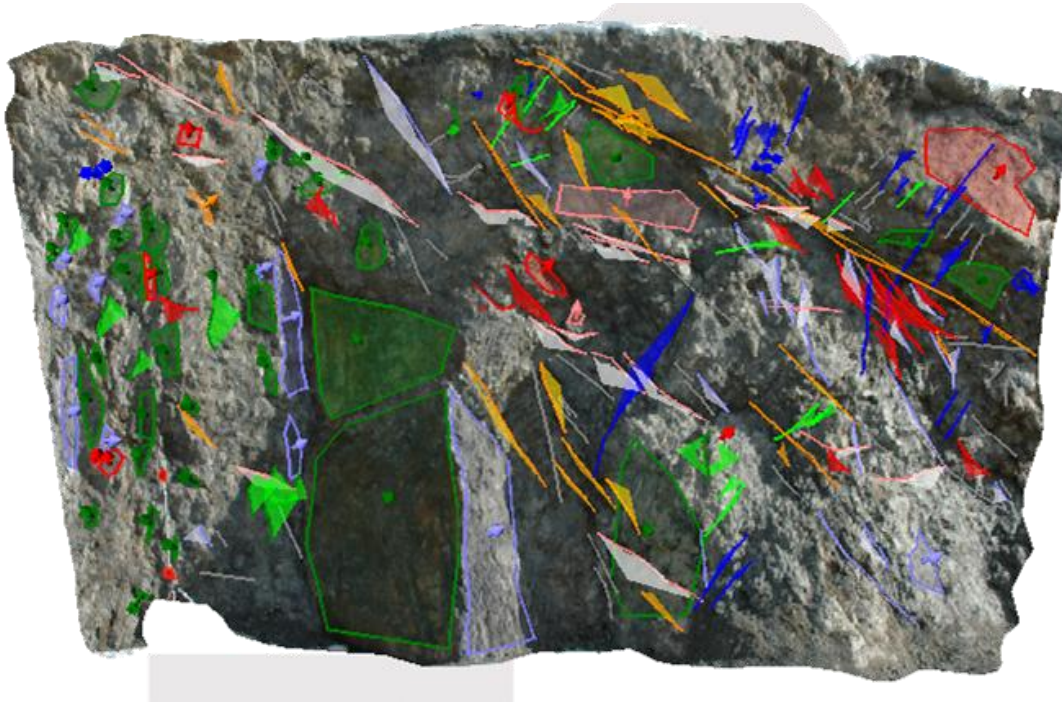
- improvement of photo documentation and discontinuity mapping by processing of oriented 3D-images from freehand photos
  - combines geometry and visual information
  - provides an objective documentation of a rock surface
  - enables geologic mapping (among others)
  - increases working safety





## Documentation

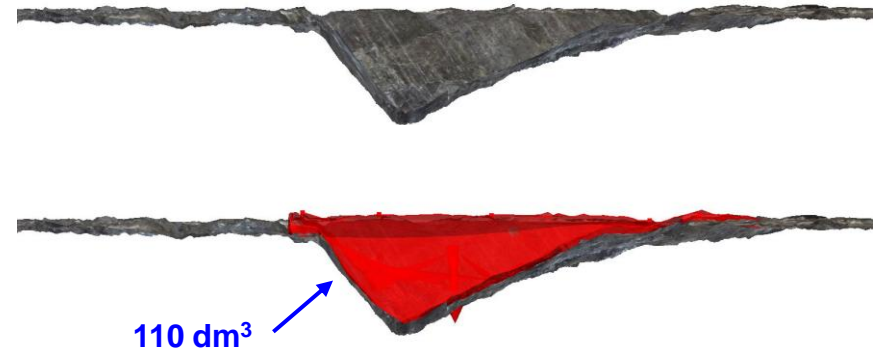
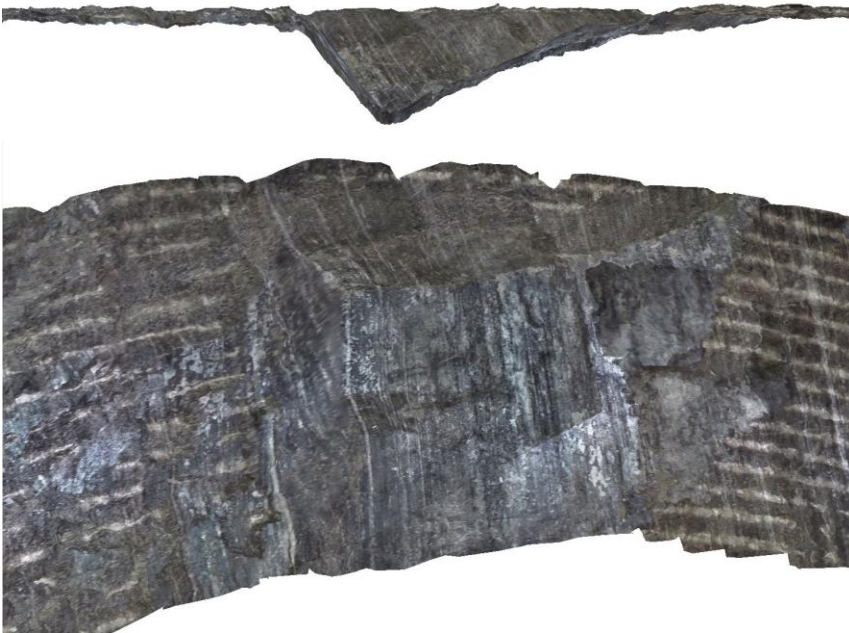
- discontinuity measurements
  - interactive joint set generation (automatic pending)
  - automatic joint set clustering





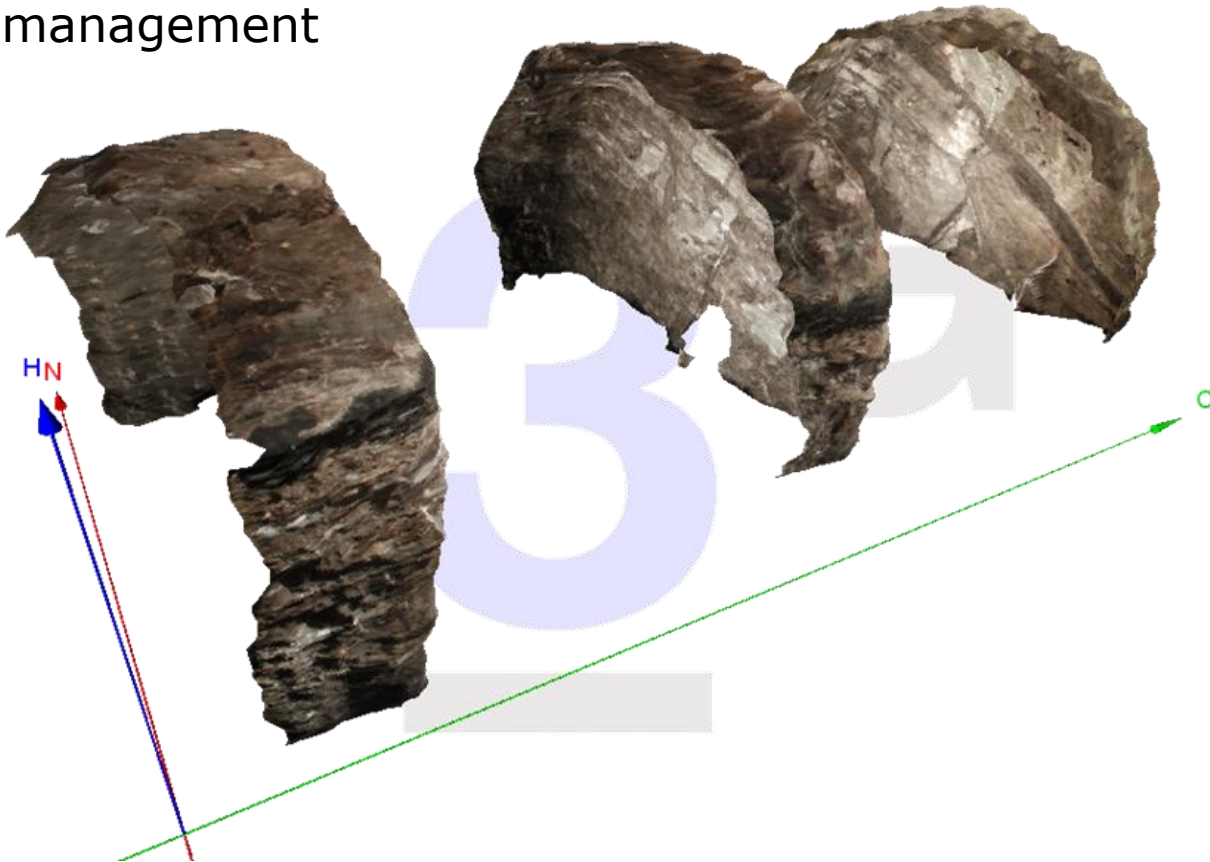
## Documentation

- quantification of overbreak



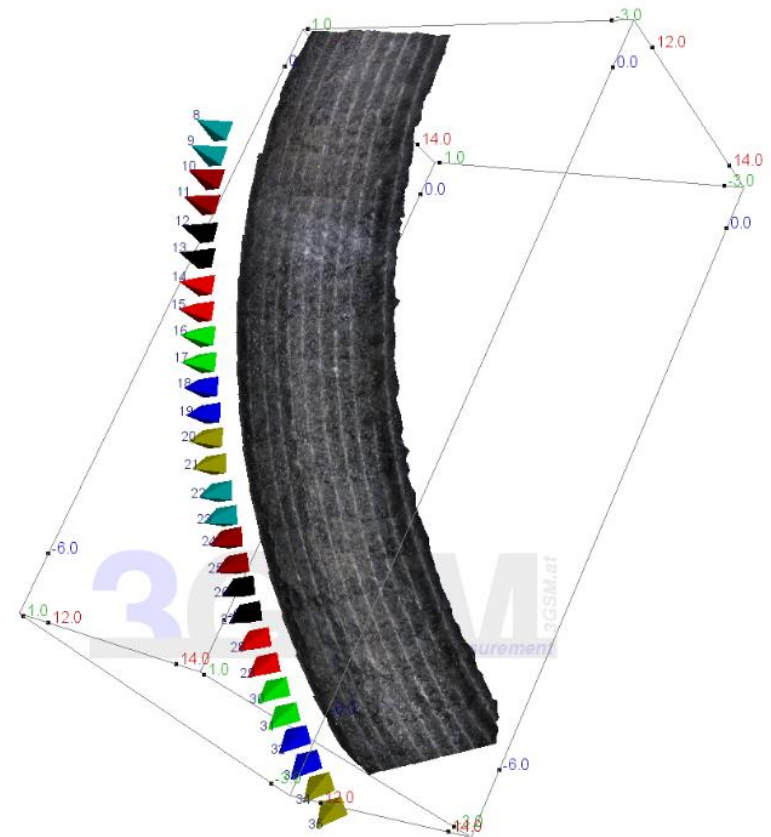
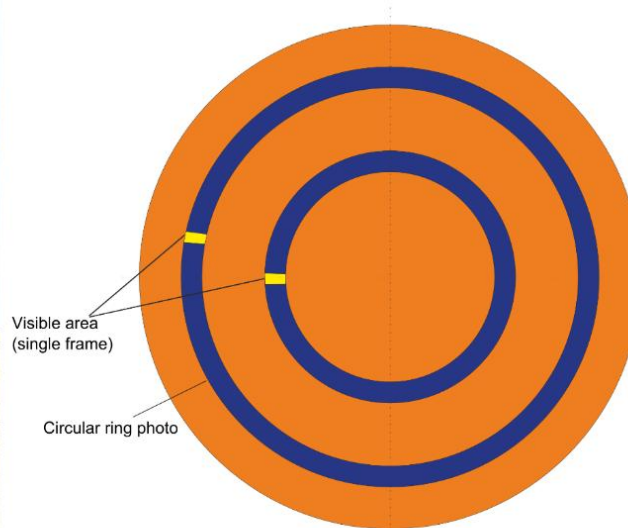
## Documentation

- subsequent acquisition and assessment of the tunnel face
  - objective, reproducible data
  - improved use of support
  - claim management



## Documentation

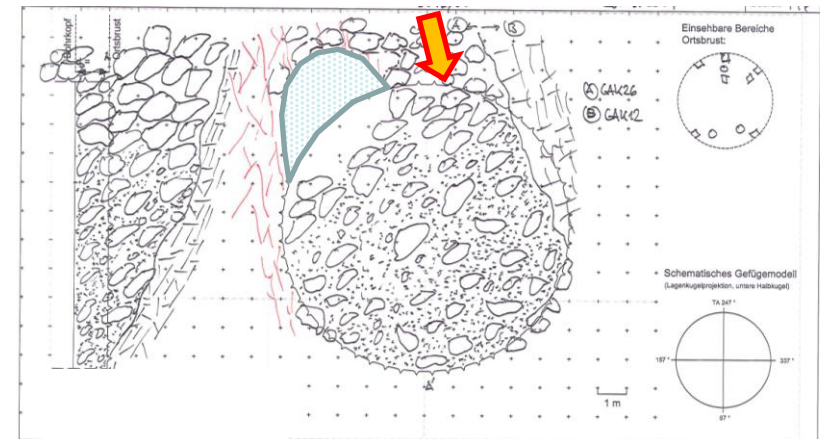
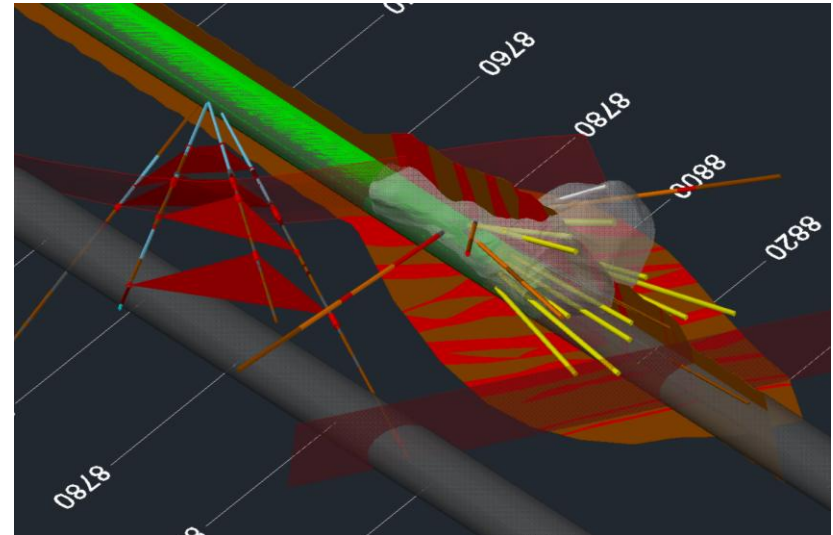
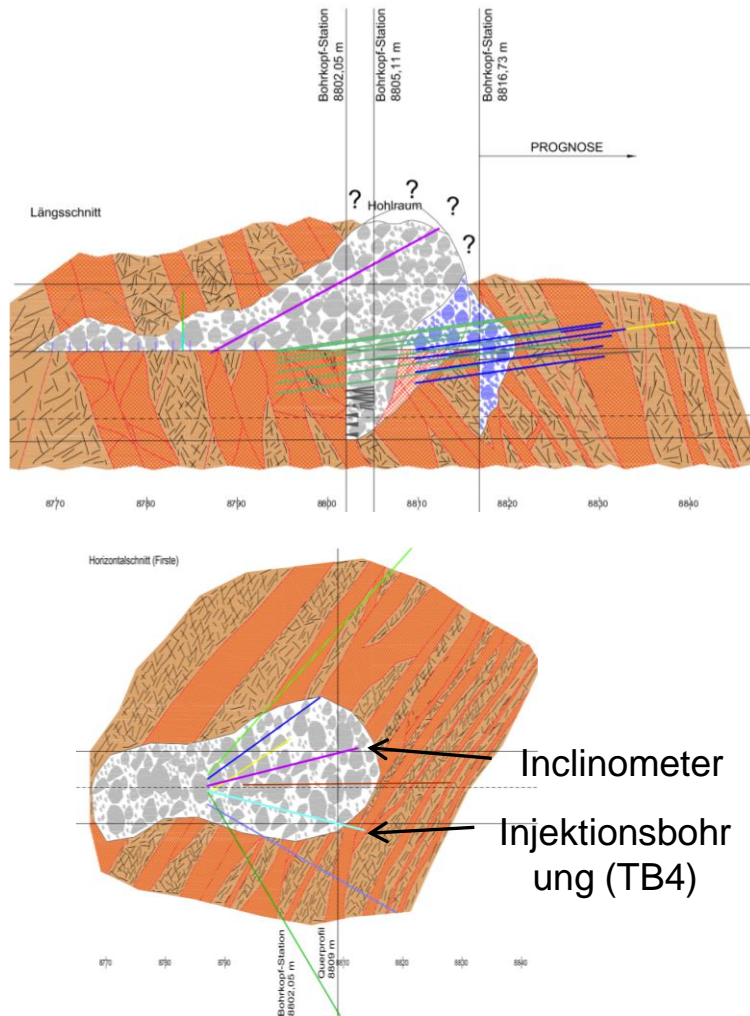
- cutter head of TBM is used as moving platform for video camera (rugged compact camera, LED lights, laser pointers)





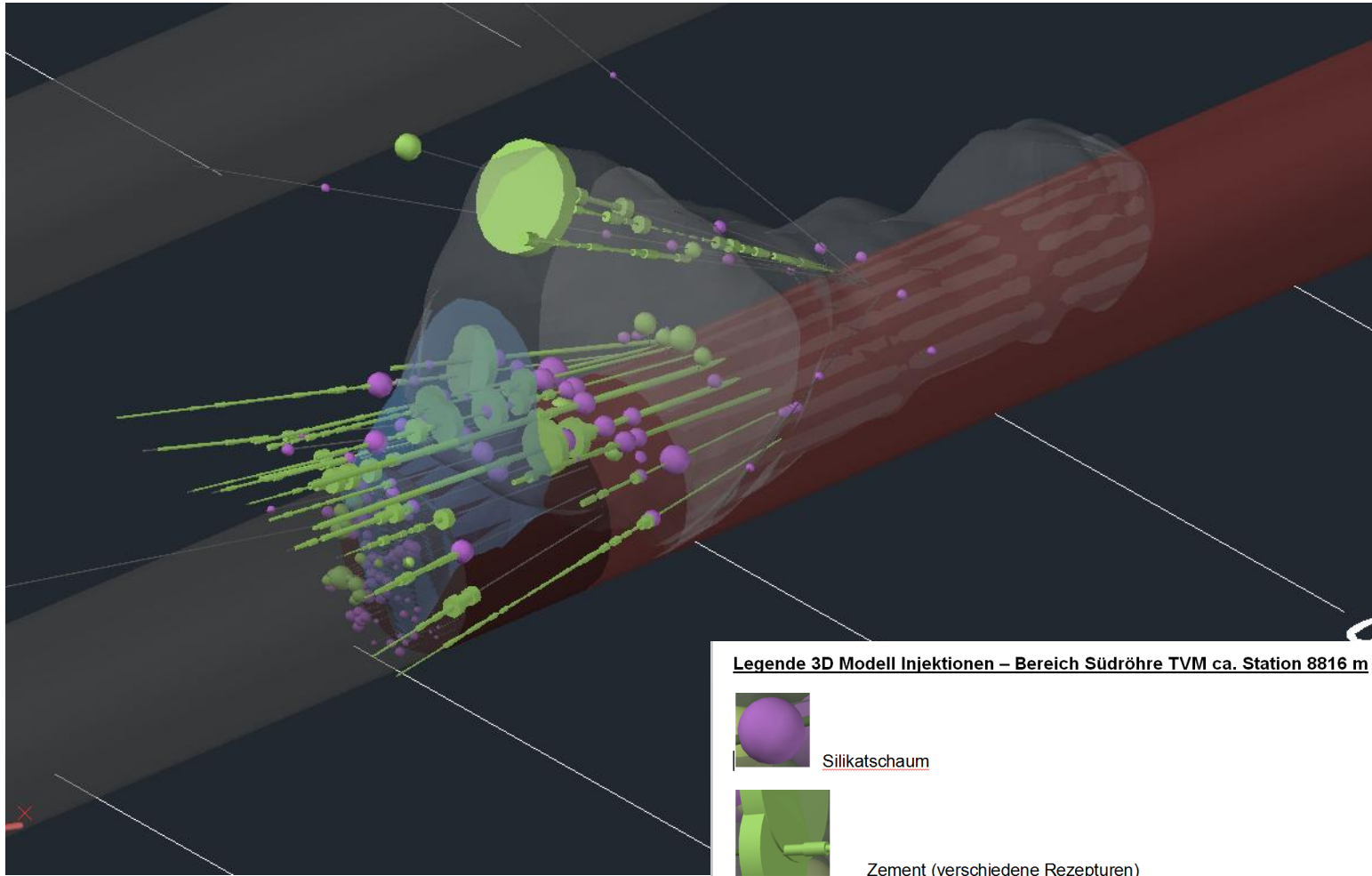
# Investigation

- investigation of collapse area for design of remedial actions



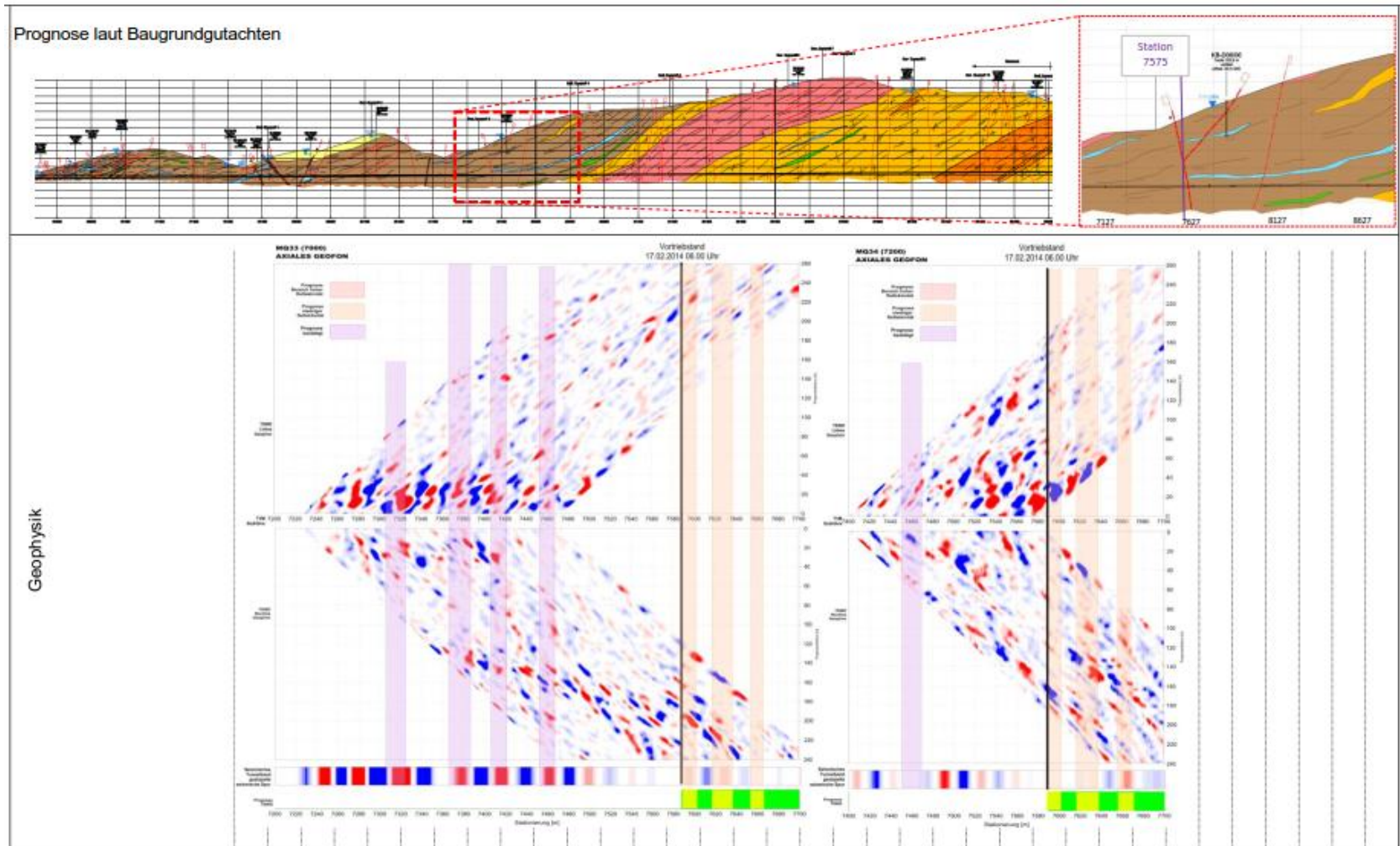
## Investigation

- investigation of collapse area for design of remedial actions



# Investigation

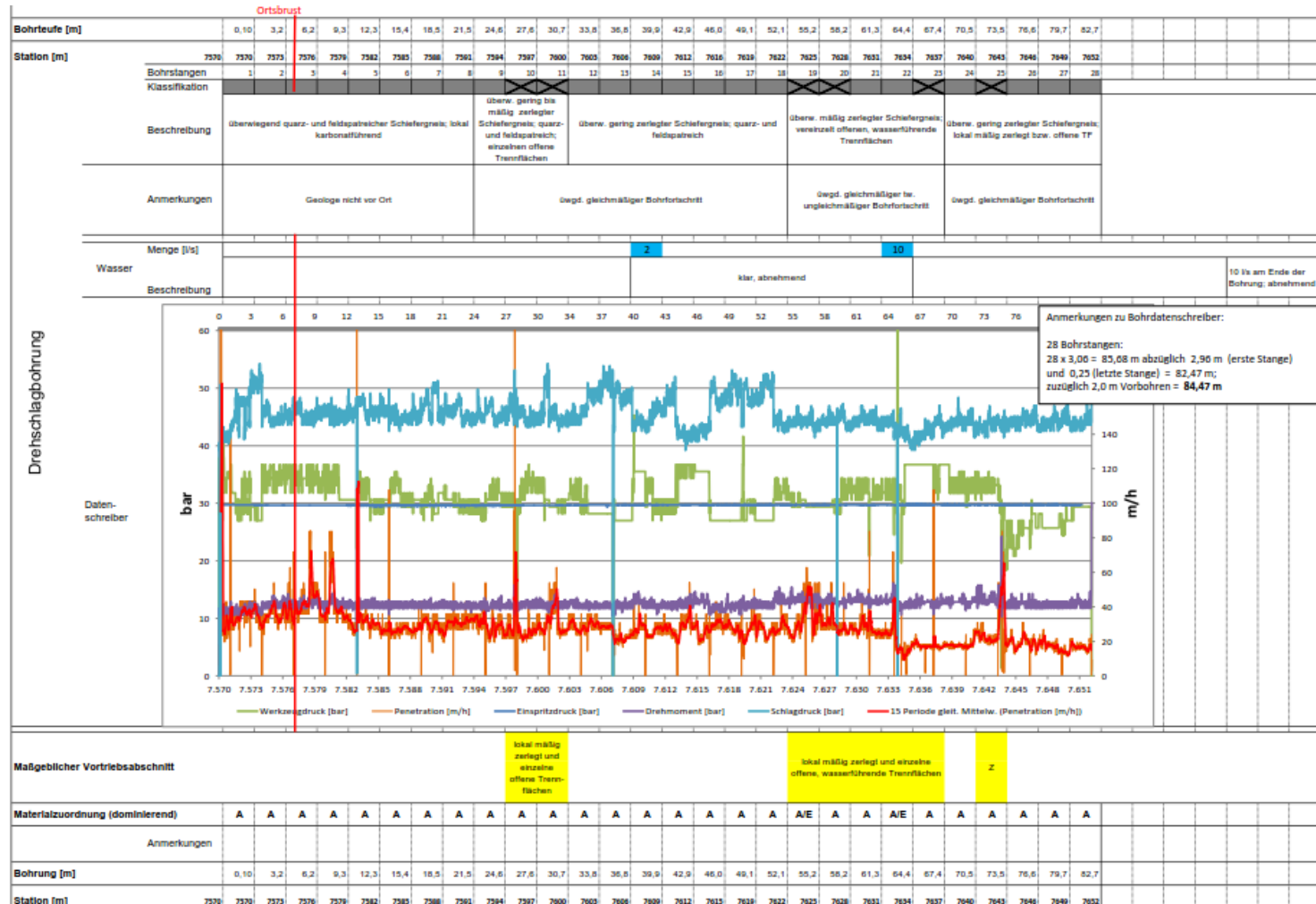
- geophysical investigation in combination with rotary drilling





# Investigation

## ■ geophysical investigation in combination with rotary drilling





There is no data acquisition system existing, which has the versatile capabilities of a human being. The ability to view and move simultaneously to survey a rock mass in three dimensions from a range of distances and angles, to touch and probe the rock exposure, to make comparisons with features observed elsewhere simultaneously, are not achievable by an automatic data collection system. But it has also to be considered that humans are susceptible to subjectivity and personal bias. Humans may have different education, degrees of experience and motivation, they work relatively slowly and can get bored or tired, particularly when working under adverse environmental conditions. (after Priest, 1993)

Therefore the combination of both systems, human and computerised technology is a good solution.