

# Kolloquium Maschinelle Vortriebe

ETH Zürich, Professur für Untertagbau

## Bewältigung von Störungszonen am Beispiel des Koralmtunnel Baulos KAT2

Remo Crapp, Lombardi AG

Zürich, 23. Mai 2019



PROJEKTGEMEINSCHAFT  
KORALMTUNNEL

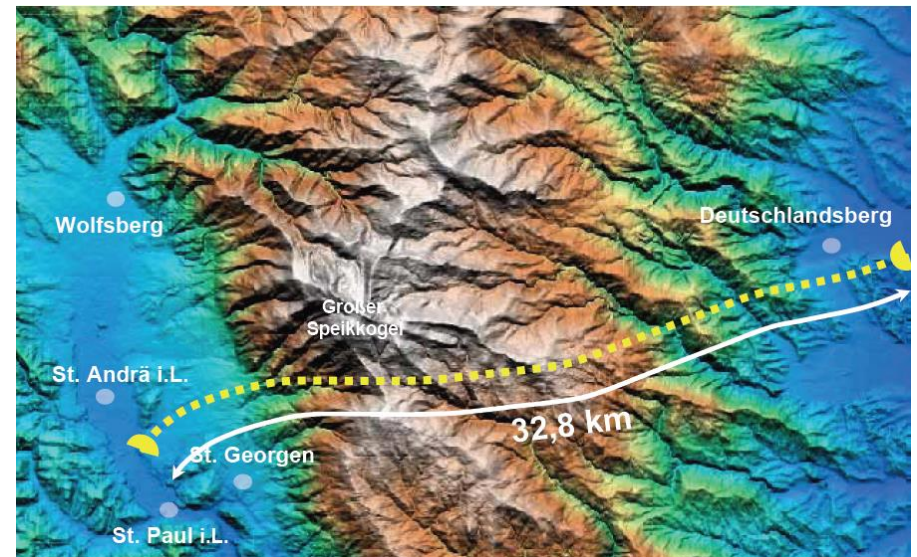
# Inhalt

1. Koralm Tunnel – Projektübersicht *(1 Min.)*
2. Geologie und Geotechnik (Übersicht) *(3 Min.)*
3. Vortrieb in Störzonen (Planung) *(5 Min.)*
4. Vortrieb in Störzonen (Ausführung) *(5 Min.)*
5. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17 *(10 Min.)*
6. Fazit *(1 Min.)*

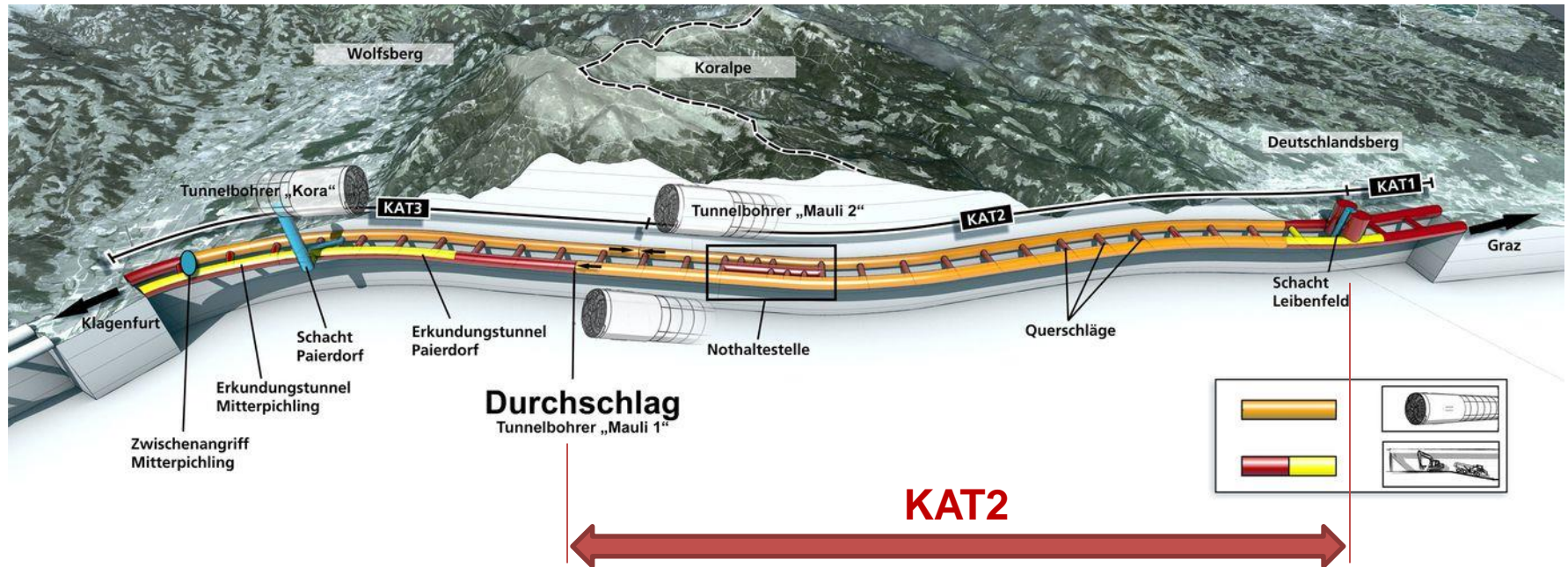
# 1. Koralm Tunnel – Projektübersicht



- Teil des Baltisch-Adriatischen Korridors “Pontebbana”
- Teil der Koralmbahn Graz-Klagenfurt, Länge 127 km
- Kernstück: Koralm Tunnel, Länge 32.8 km



# 1. Koralm Tunnel – Projektübersicht



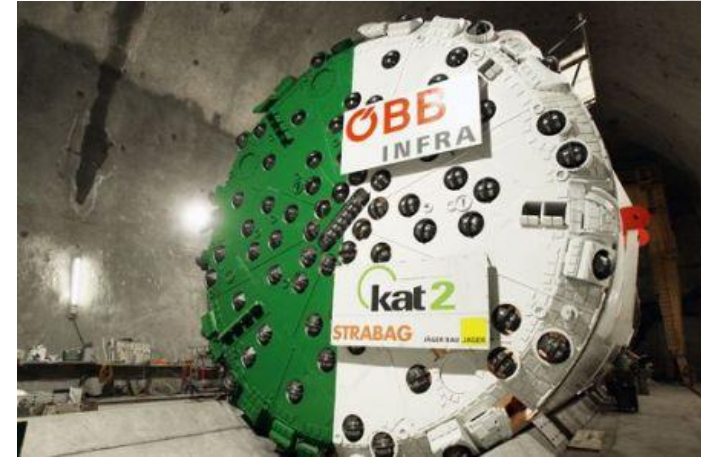
Drei Hauptlose untertag:

- Los KAT 1: Zugangsschacht Leibenfeld bis Ostportal
- **Los KAT 2: Hauptlos Steiermark (Ostseite, Graz)**
- Los KAT 3: Hauptlos Kärnten (Westseite, Klagenfurt)

# 1. Koralm Tunnel – Projektübersicht

## Konventioneller Vortrieb KAT2

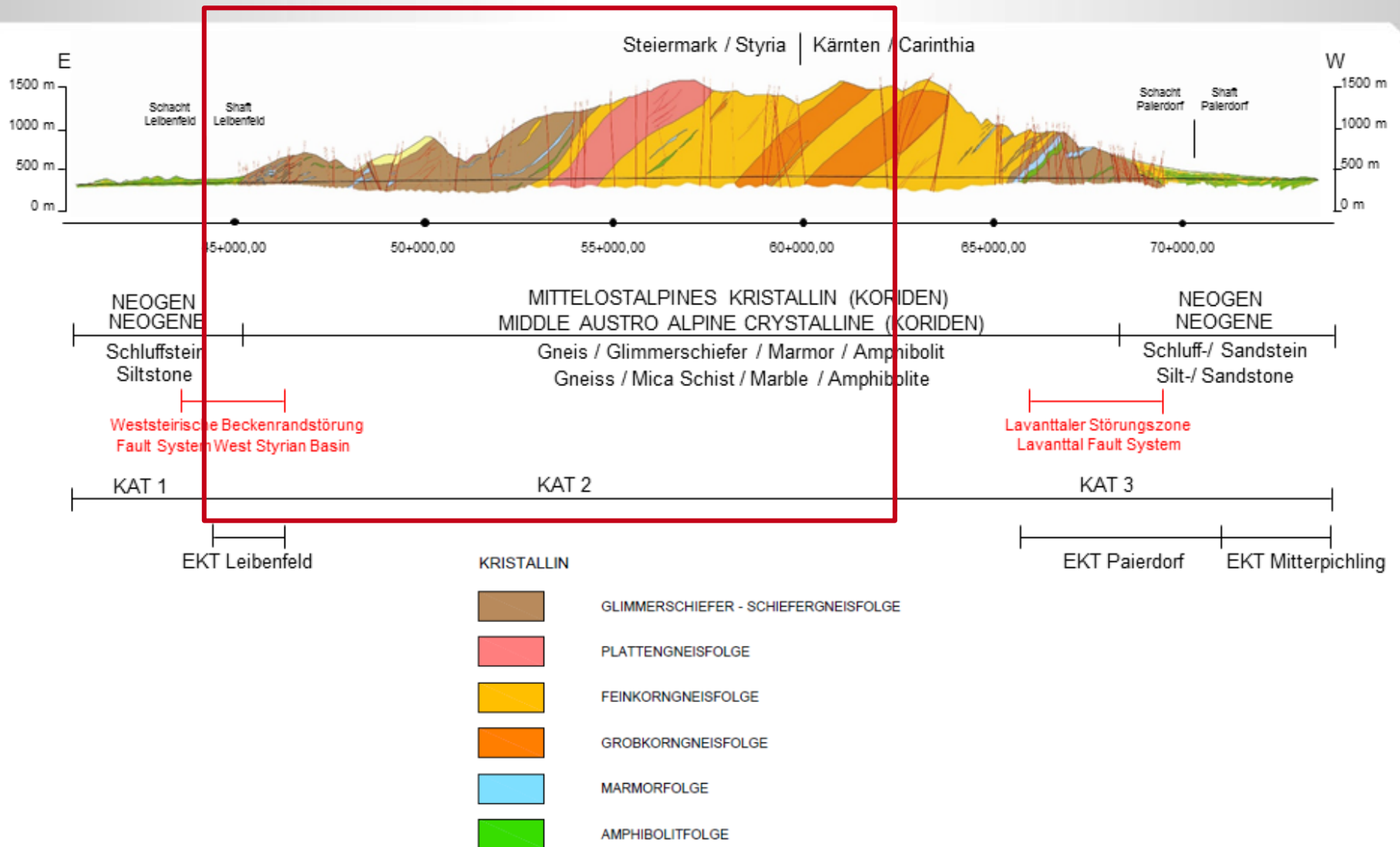
- 4.5 km Haupttunnel:
  - ❖ 2 x 800 m in Richtung Ostportal (Graz)
  - ❖ 1.082 + 1.820 km nach Westen
  - ❖ 2 DS-TBM Montagekammern
- 1 Nothaltestelle in Tunnelmitte
- 38 Querschläge, alle 500 m



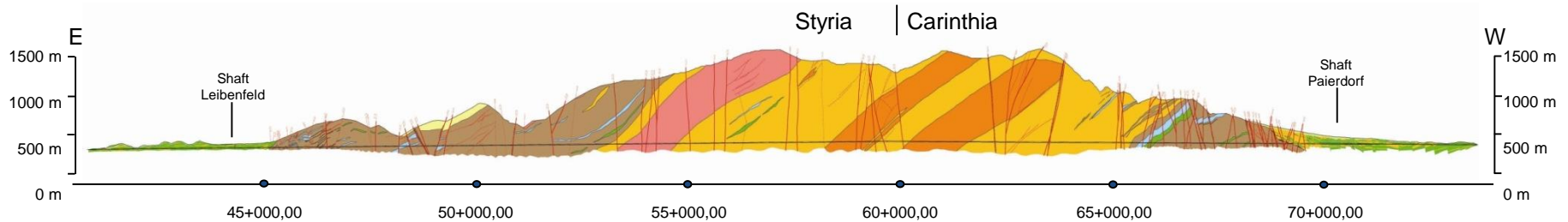
## Maschineller Vortrieb KAT2 (Bohrdurchmesser ca. 10 m)

- 2x TBM-DS (“Mauli 1” und “Mauli 2”)
- 17.144 km Haupttunnel, Nordröhre (inkl. Losverlängerung)
- 17.154 km Haupttunnel, Südröhre (inkl. Losverlängerung)

# 2. Geologie und Geotechnik (Übersicht)



## 2. Geologie und Geotechnik (Übersicht)

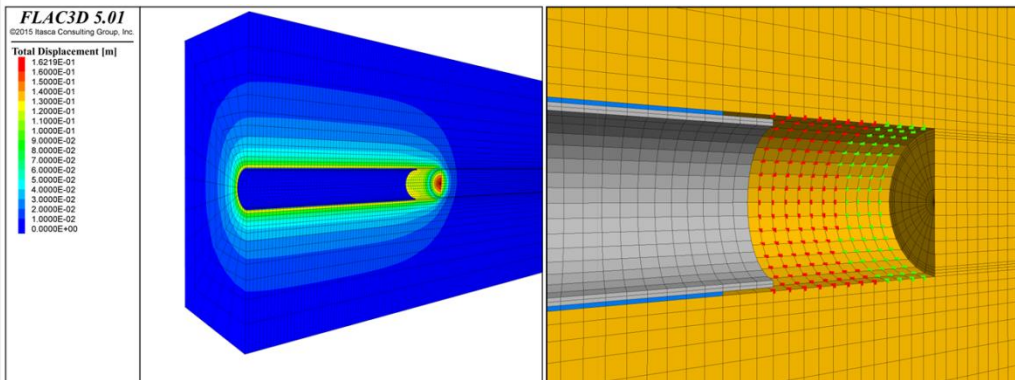
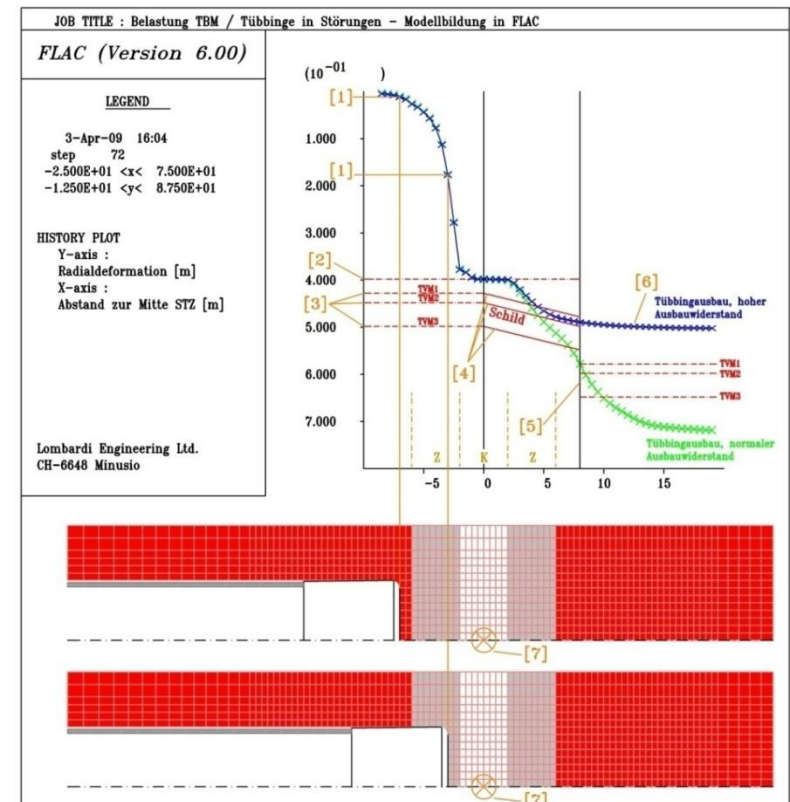


- Neogen (Anfangsbereich, geringe Überlagerung, Sedimentgesteine mit geringen Festigkeiten, teils lockergesteinsähnlich)
- Kristallin (Zentralbereich bei Überlagerungen von bis zu 1'250 m, überwiegend gering zerlegte metamorphe Festgesteine, geringe Wasserzutritte, teils stark abrasiv)
- Störungen (Mächtigkeiten von bis zu einigen Zehnermetern, heterogener Aufbau aus Kataklasiten, Kakiriten und Blöcken (BIM = «Block in Matrix»), mehrheitlich sub-vertical und sub-parallel zur Tunnelachse)

# 3. Vortrieb in Störzonen (Planung)

- Rund 50 Störungen prognostiziert
- Störungen unterteilt in Typ A, B, C, D und E (Typen A und B bautechnisch relevant)
- Untersuchung Machbarkeit TBM und Tübbingausbau (u.a. umfangreiche numerische Simulationen)

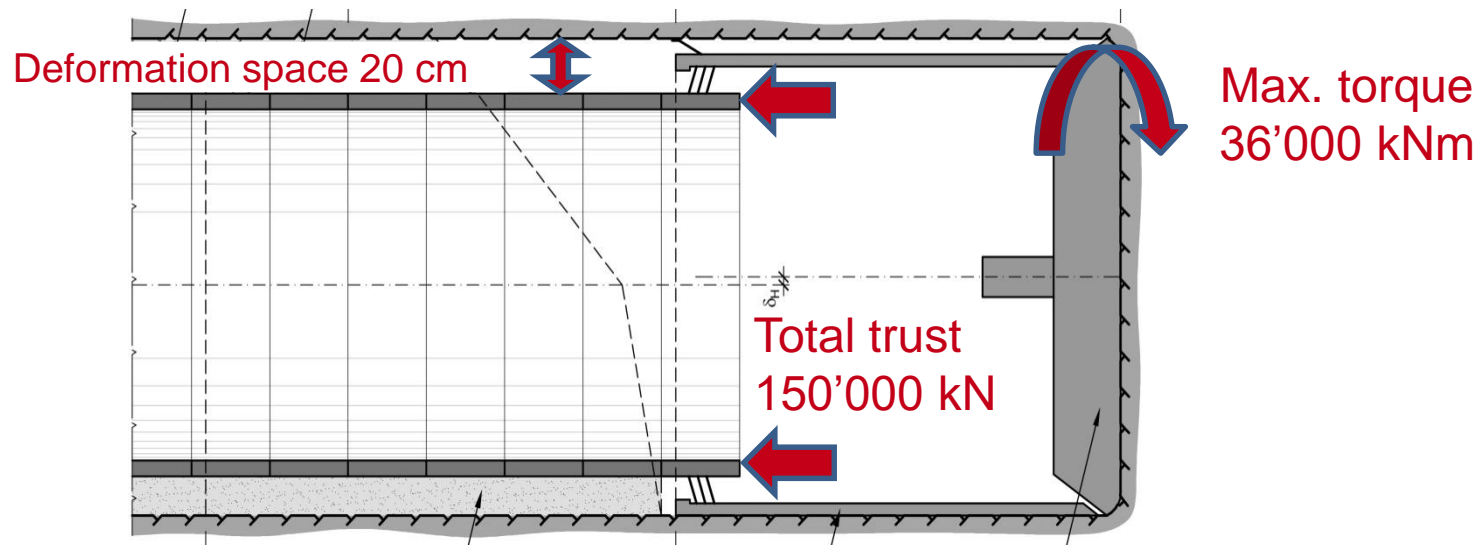
TBM-Vortrieb machbar, aber nicht jede Störung vom Typ A und B ist ohne Bauhilfsmassnahmen machbar.





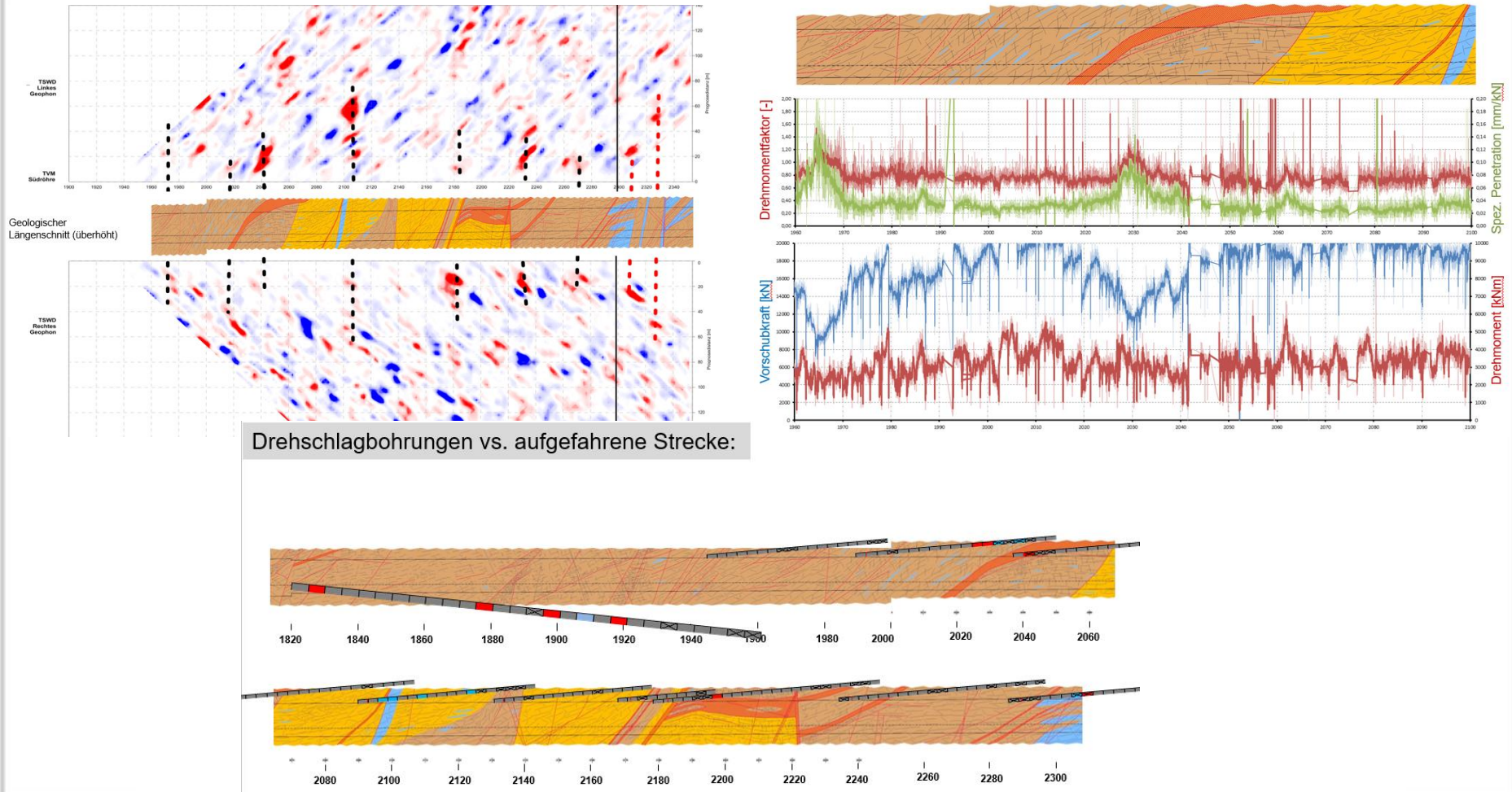
# 3. Vortrieb in Störzonen (Planung)

- Definition der wesentlichen Spezifikationen der TBM (Geometrie, Leistungen)
- Forderung von ausreichenden Leistungsreserven
- Möglichkeit zur Ausführung umfangreicher Bauhilfsmassnahmen ab TBM
- Berücksichtigung Stillstandszeit in Bauprogramm und Bauvertrag



# 3. Vortrieb in Störzonen (Planung)

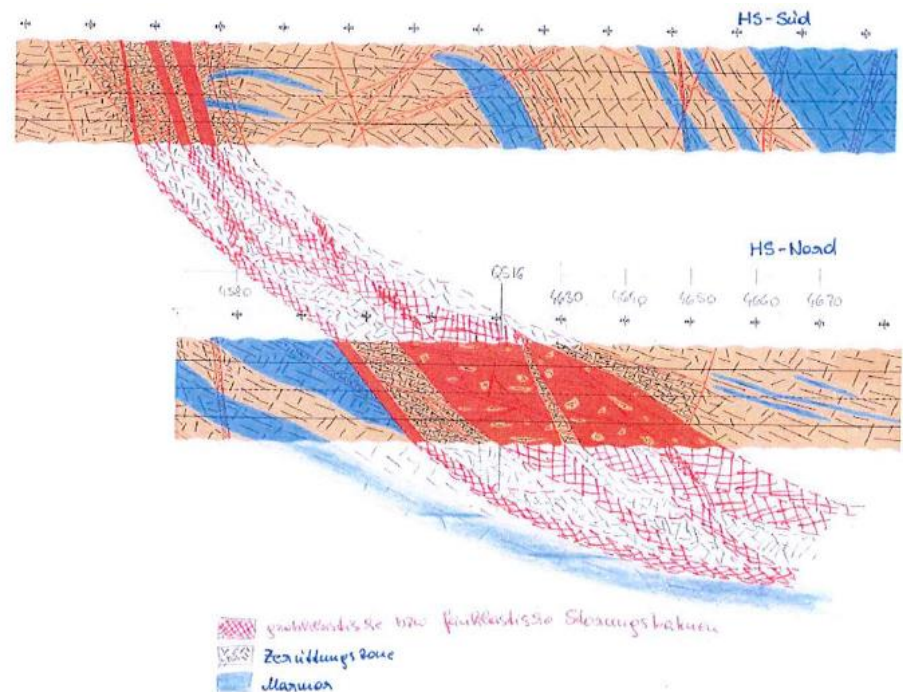
## Umfangreiche Vorerkundungsmassnahmen



# 3. Vortrieb in Störzonen (Ausführung)

## Erkenntnisse Ausführung

- Erkennen einer Störung trotz Vorauserkundung nicht immer einfach
- Erkundung Aufbau und Systemverhalten oftmals unmöglich
- Faktor Zeit von grosser Bedeutung (nicht stehenbleiben!)
- Erkenntnisse/Erfahrungen in der einen Röhre sind nicht unbedingt auf die zweite Röhre übertragbar
- Prognose der Störungen (Lage sowie Aufbau) durch Aufschlüsse an der Oberfläche und Bohrungen war wenig genau



# 3. Vortrieb in Störzonen (Ausführung)

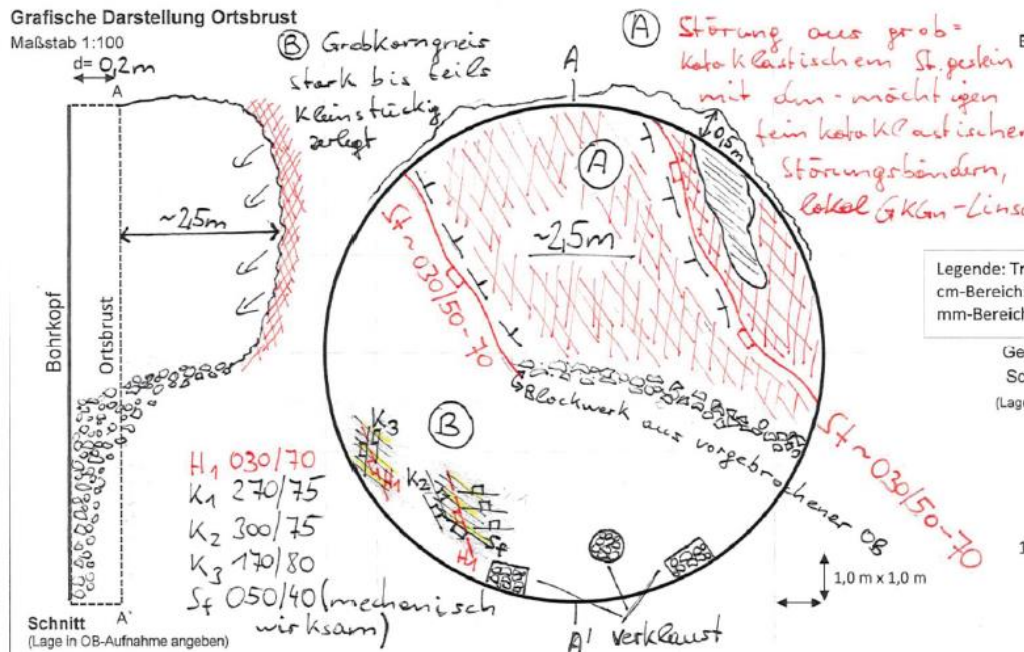
Folgendes generelles Verhalten wurde bei der Durchörterung der Störungen beim Koralmtunnel beobachtet (vereinfachte Darstellung)

- Druckhaftes Verhalten im Randbereich (damage zone, Abstützen Kernbereich auf «gesunde» Randbereiche)
- Ein- und Ausfahren aus Störung kritisch bezüglich Vorschubkraft und Verklemmen TBM-Schild (→ Stillstände vermeiden!)
- Spannungs- und gravitationsbedingte Instabilitäten im Kernbereich (vorausseilende Ortsbrust, Überbrüche, Verbruch Ortsbrust, Niederbruch)
- Bei Aufbringen Ausbauwiderstand im Kernbereich ebenfalls druckhaftes Verhalten (→ Stillstände möglichst kurz halten, um zusätzliches Einklemmen Schild zu verhindern!)

# 3. Vortrieb in Störzonen (Ausführung)

## Typische lokale Instabilität der Ortsbrust

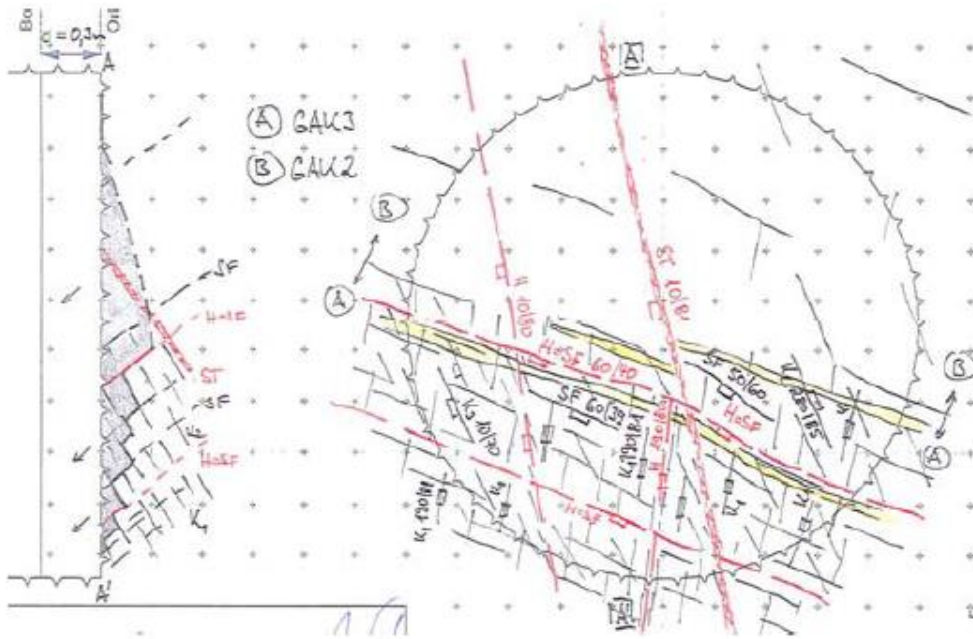
- Vorseilende Ortsbrust 1-4 m
- Schäden an Meissel und Bohrkopf infolge dynamischer Einwirkung unebene Ortsbrust
- Spannungs- oder Schwerkraftinduziert



### 3. Vortrieb in Störzonen (Ausführung)

#### Typische lokale Instabilität der Ortsbrust

- Herauslösen/Herausgleiten von grossen Blöcken und Schollen
- Schäden an Meissel, Bohrkopf und Förderband durch Blöcke



# 3. Vortrieb in Störzonen (Ausführung)

## Verbruch Ortsbrust und Bereich oberhalb Bohrkopf

- Vorauseilende Ortsbrust (“Ausschuttern” Ortsbrust)
- Fortpflanzen Instabilität oberhalb Bohrkopf
- Verbruch Ortsbrust und Niederbruch oberhalb TBM-Schilde
- Spannungs- oder schwerkraftinduziert.



# 3. Vortrieb in Störzonen (Ausführung)

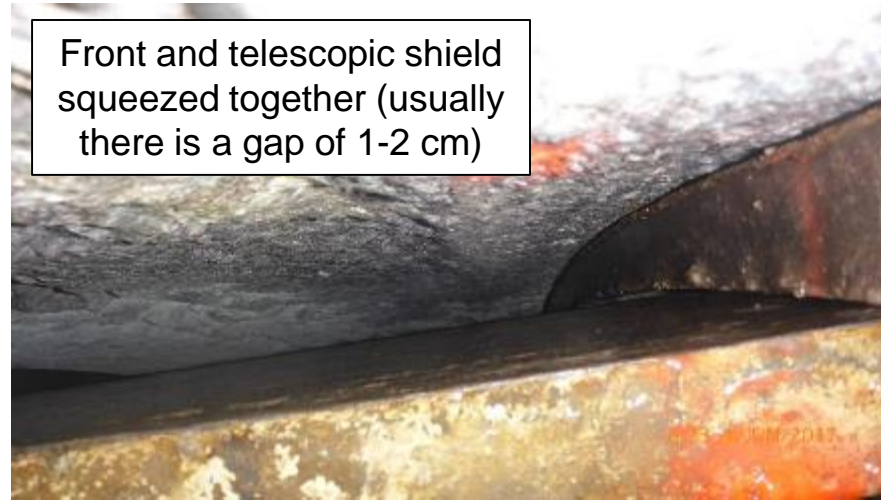
## Verklebten Schilde in druckhaften Verhältnissen

- Gebirge legt sich an Schilde an
- Kritisch insbesondere Ein- und Ausfahren aus Störungen
- Asymmetrische Belastung führt zu verformung der Schildstruktur und Schäden am Tübbingausbau





### 3. Vortrieb in Störzonen (Ausführung)



# 3. Vortrieb in Störzonen (Ausführung)

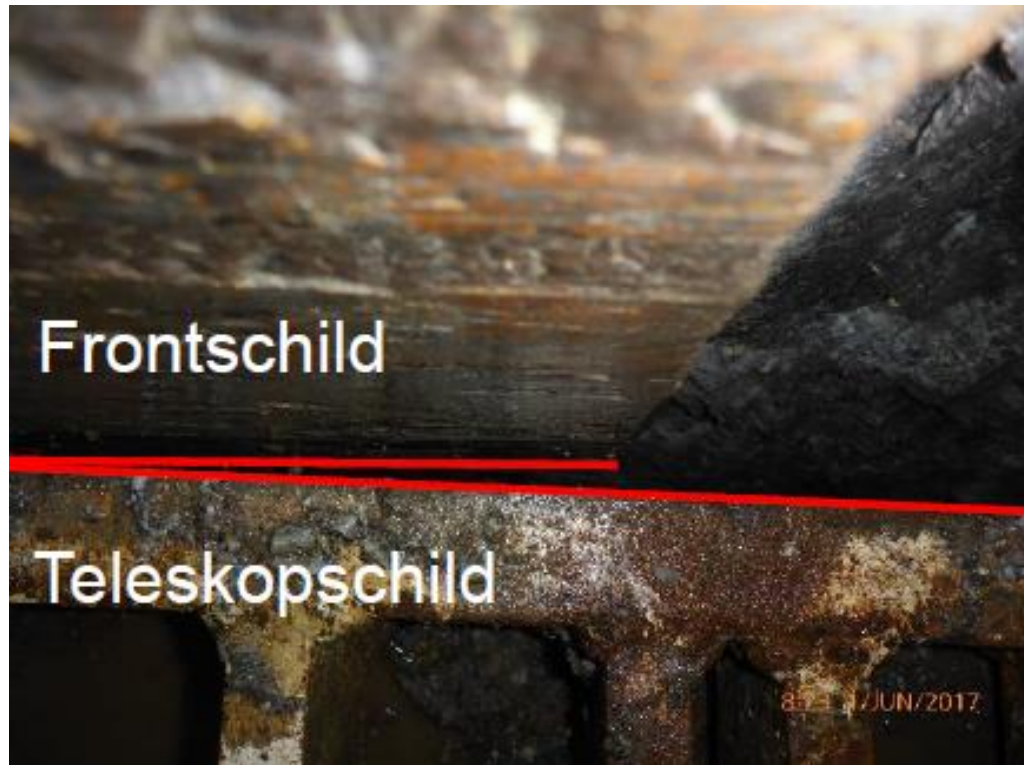


Normal situation:

- Gap between shield (below) and rock (above)
- No shield friction

### 3. Vortrieb in Störzonen (Ausführung)

- Verkippung/Verkantung der Schild-Teleskopie → geometrischer Widerstand und stark ansteigende Vorschubkräfte



# 3. Vortrieb in Störzonen (Ausführung)

## Fazit Ausführung

- Insgesamt kam es zu 5 Stillständen in 3 verschiedenen Störungen, wobei dies lediglich in der letzten Störung vom Typ A prognostiziert war
- Ein Stillstand ist ursächlich auf einen technischen Defekt zurückzuführen, welcher zu einem längeren Vortriebsunterbruch und zum Verklemmen der Schilde führte

## Störung Typ A, Tkm 8.8, Südröhre (2014)

- Bandschaden durch Block infolge vorauseilender Ortsbrust und Überbruch
- Während der Reparaturarbeiten wurde die TBM vom sich verformenden Gebirge eingeklemmt
- Bergung durch Silikatschaum-Injektionen (Stabilisierung Blockwerk), Freispülen der Schilde und Schildschmierung
- Stillstand ca. 3 Monate

# 3. Vortrieb in Störzonen (Ausführung)

## Störung, Tkm 15.2, Nordröhre (2016)

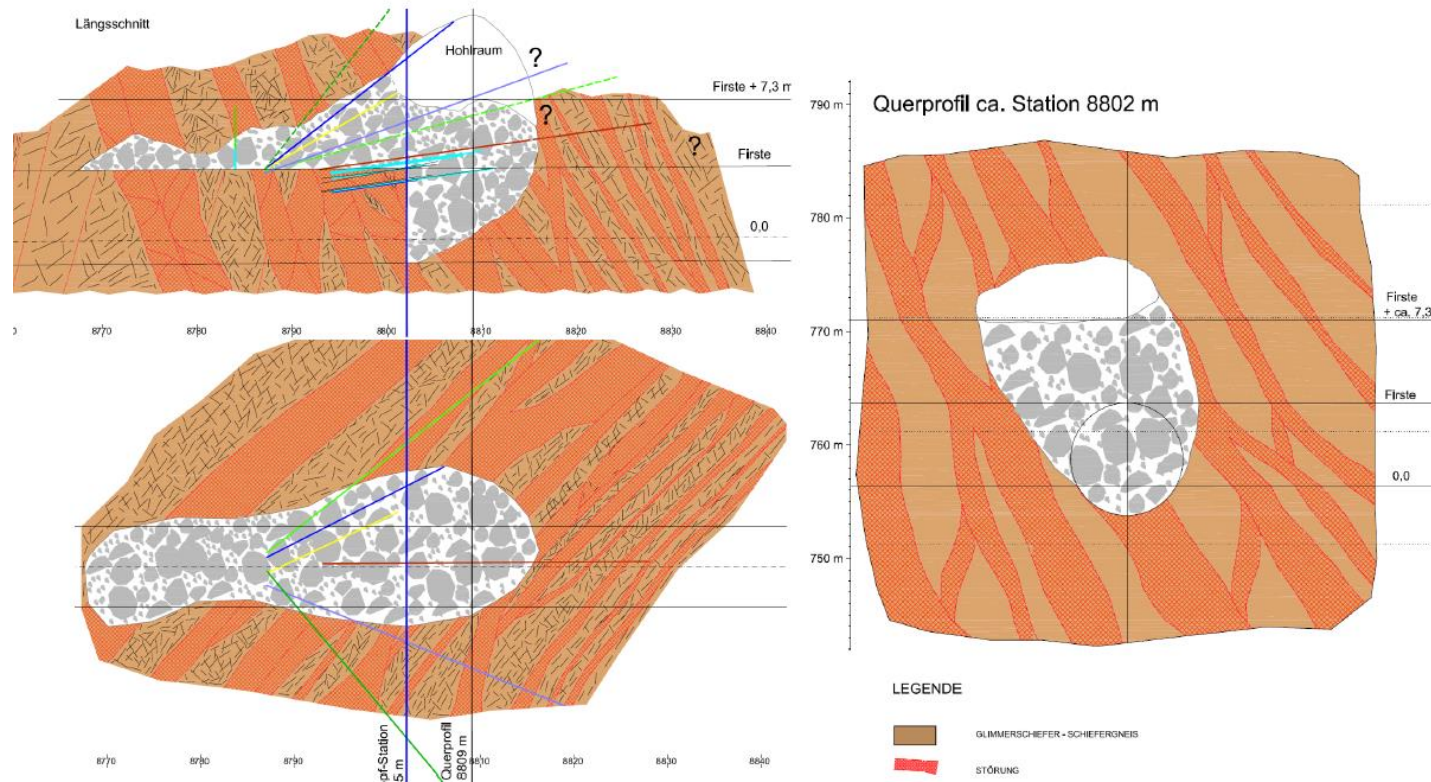
- Niederbruch auf TBM infolge vorausseilender Ortsbrust und Überbrüchen
- Verschüttung TBM
- Bergung durch Überfirstung der Schilde
- Stillstand ca. 6 Monate

## Störung Typ A, Tkm 17, Nordröhre/Südröhre (2017-2018)

- Verschüttung TBM in Nordröhre (1x)
- Einklemmen TBM in Südröhre (2x)
- Stillstand Nordröhre ca. 4 Monate
- Stillstand Südröhre ca. 9 Monate
- Möglicher Stillstand prognostiziert in Planungsphase
- Details siehe Abschnitt 4 der Präsentation

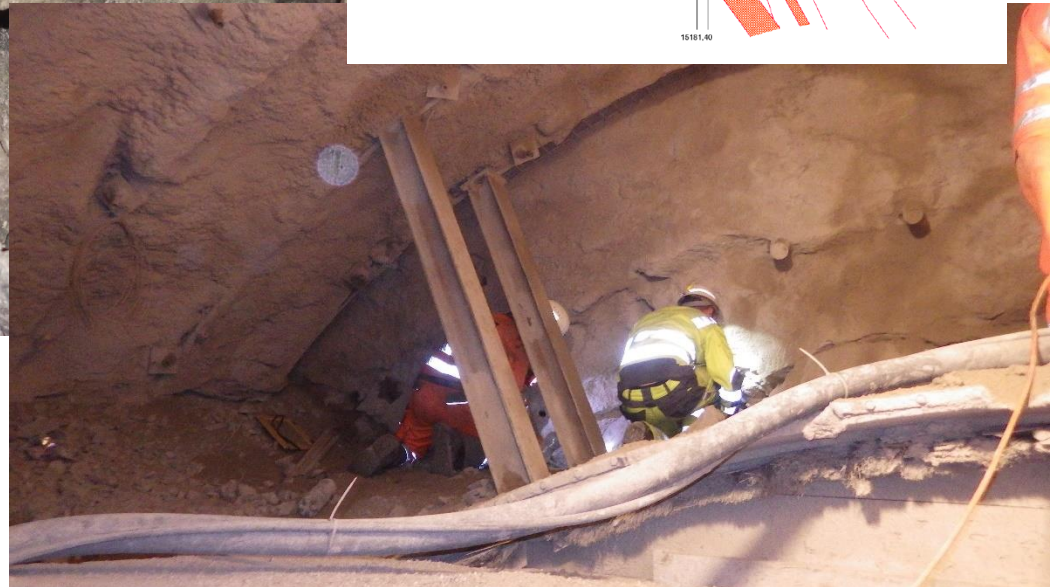
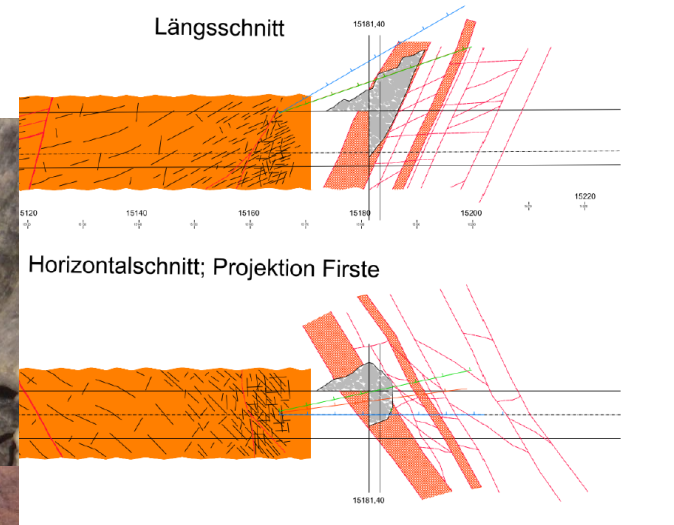
# 3. Vortrieb in Störzonen (Ausführung)

## Störung Typ A bei Tkm 8.8 (Südröhre)



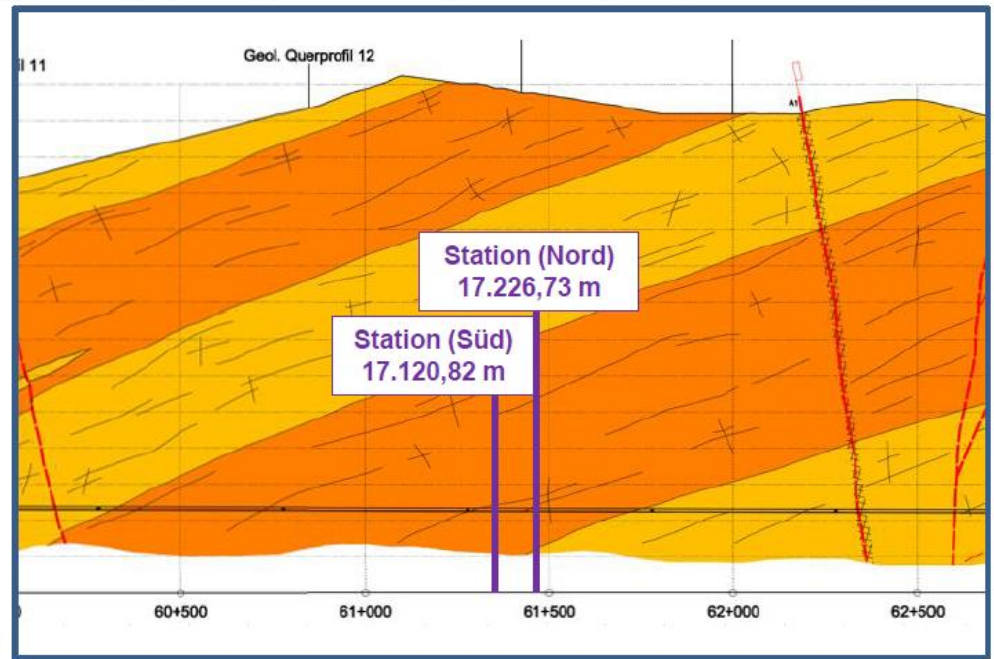
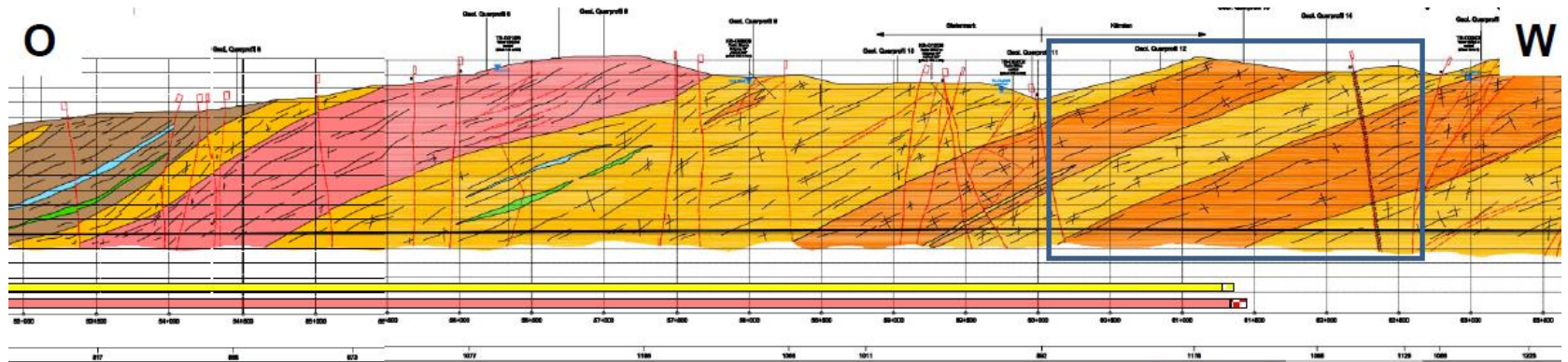
# 3. Vortrieb in Störzonen (Ausführung)

Störung bei Tkm 15.2 (Nordröhre)



→ Bergung TBM durch Überfirstung

# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

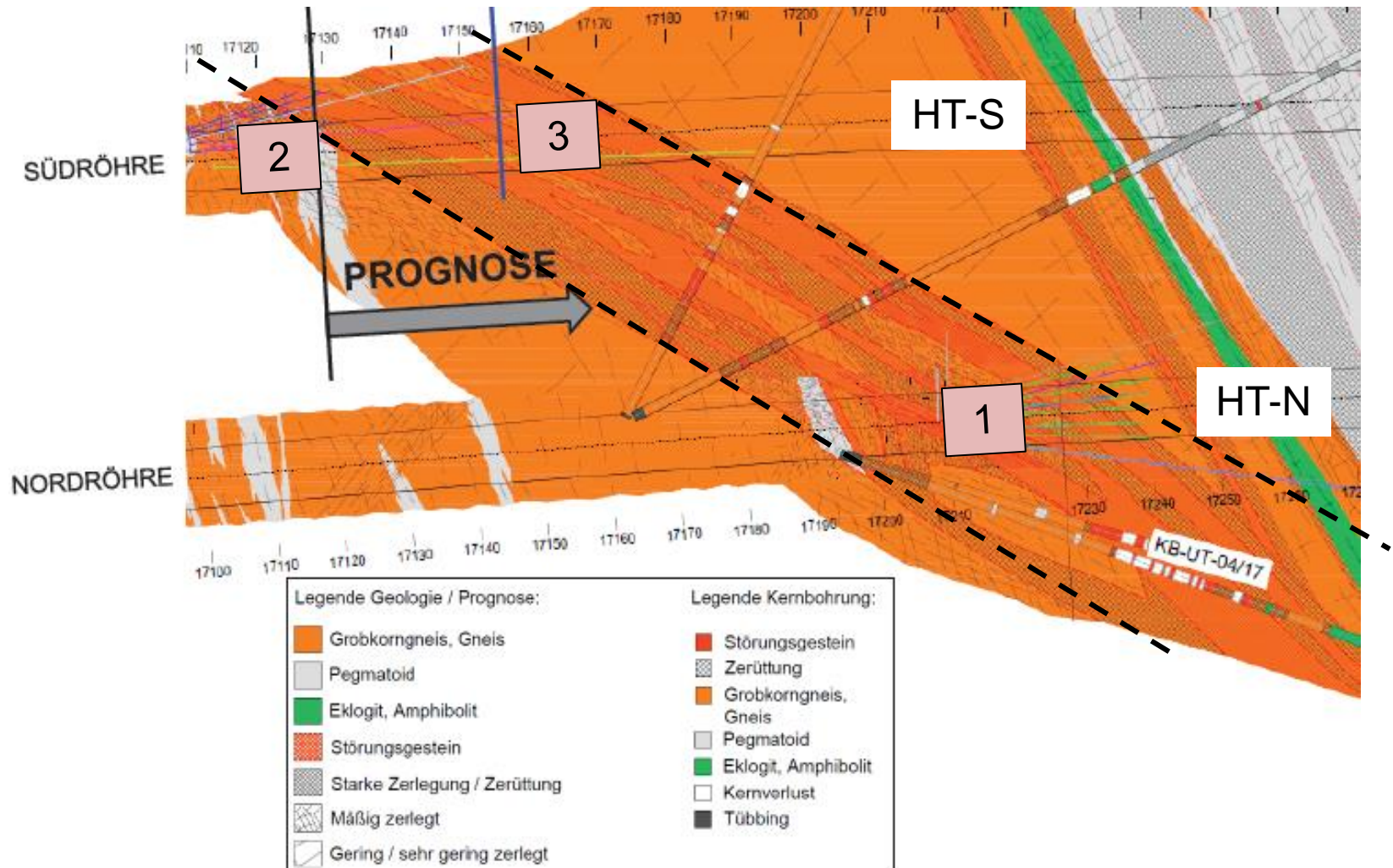


- Südröhre
  - Nordröhre
- LEGENDE**
- NEOGEN**
- SIEHE GEOLISCH-GEOTECHNISCHEM LÄNGENSCHNITT, ZUM BAULOS KAT 2, TUNNEL NEOGEN
  - SCHWANBERGER BLOCKSCHOTTER
- KRISTALLIN**
- GLIMMERSCHIEFER - SCHIEFERGNEISFOLGE
  - PLATTENGNEISFOLGE
  - FEINKORNGNEISFOLGE
  - GROBKORNGNEISFOLGE
  - MARMORFOLGE
  - AMPHIBOLITFOLGE
- PPP!**
- MÜLLERFÄHNCHEN (0-10°, 20-40°, 50-70°, 80-90°)
  - STÖRUNG VOM TYP A
  - STÖRUNG VOM TYP B
  - STÖRUNG VOM TYP C, D ODER E
  - STÖRUNGSTYPEN (DIREKT ERKUNDET)
- A1, A2, B**
- GRUND- BZW. BERGWASSERSTAND VOM 14.12.2006 BZW. MIT ANGABE DATUM

Vortriebsstände  
12.06.2017 / 06:00 Uhr

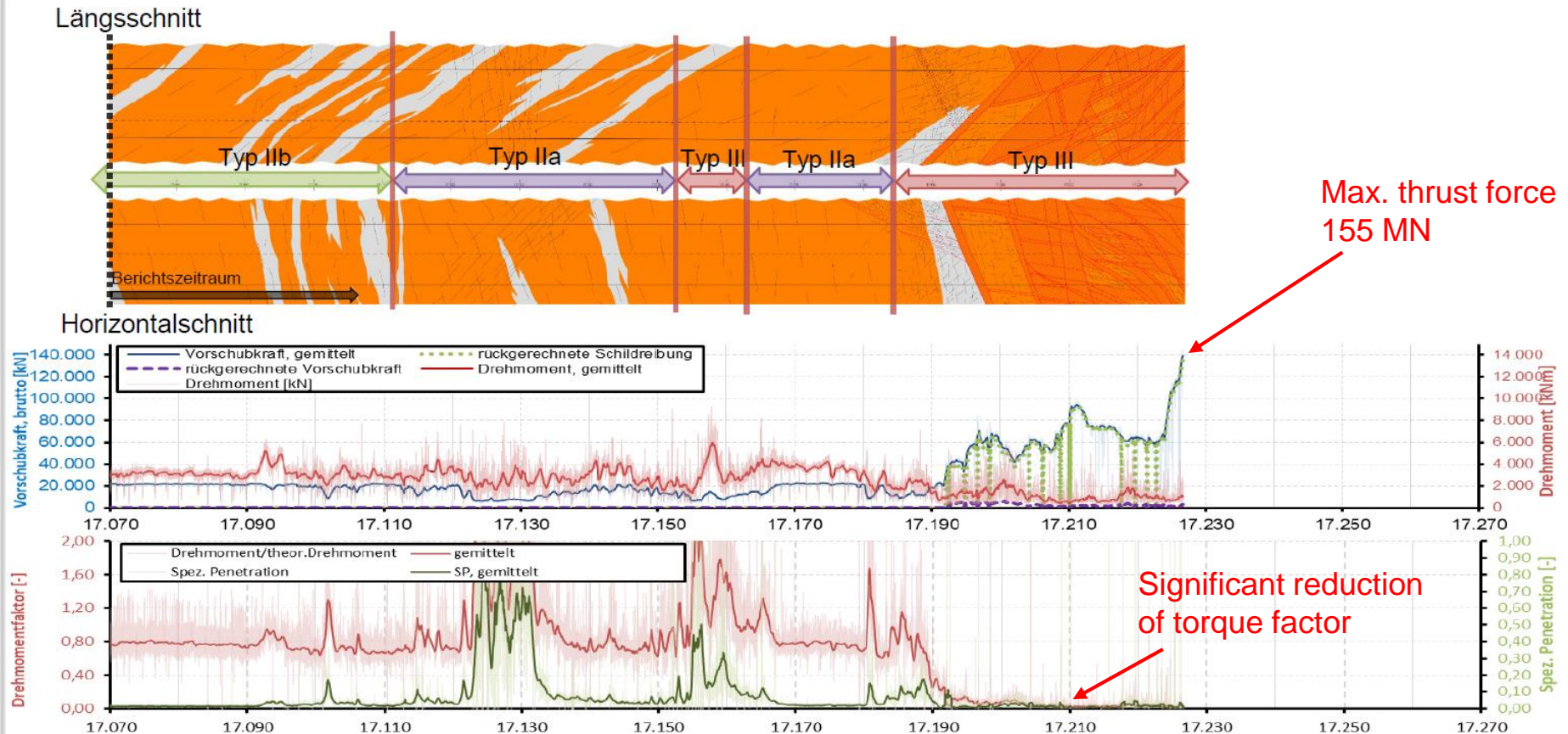


# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17



# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Event [1] May 2017, HT-N TBM (northern tunnel):



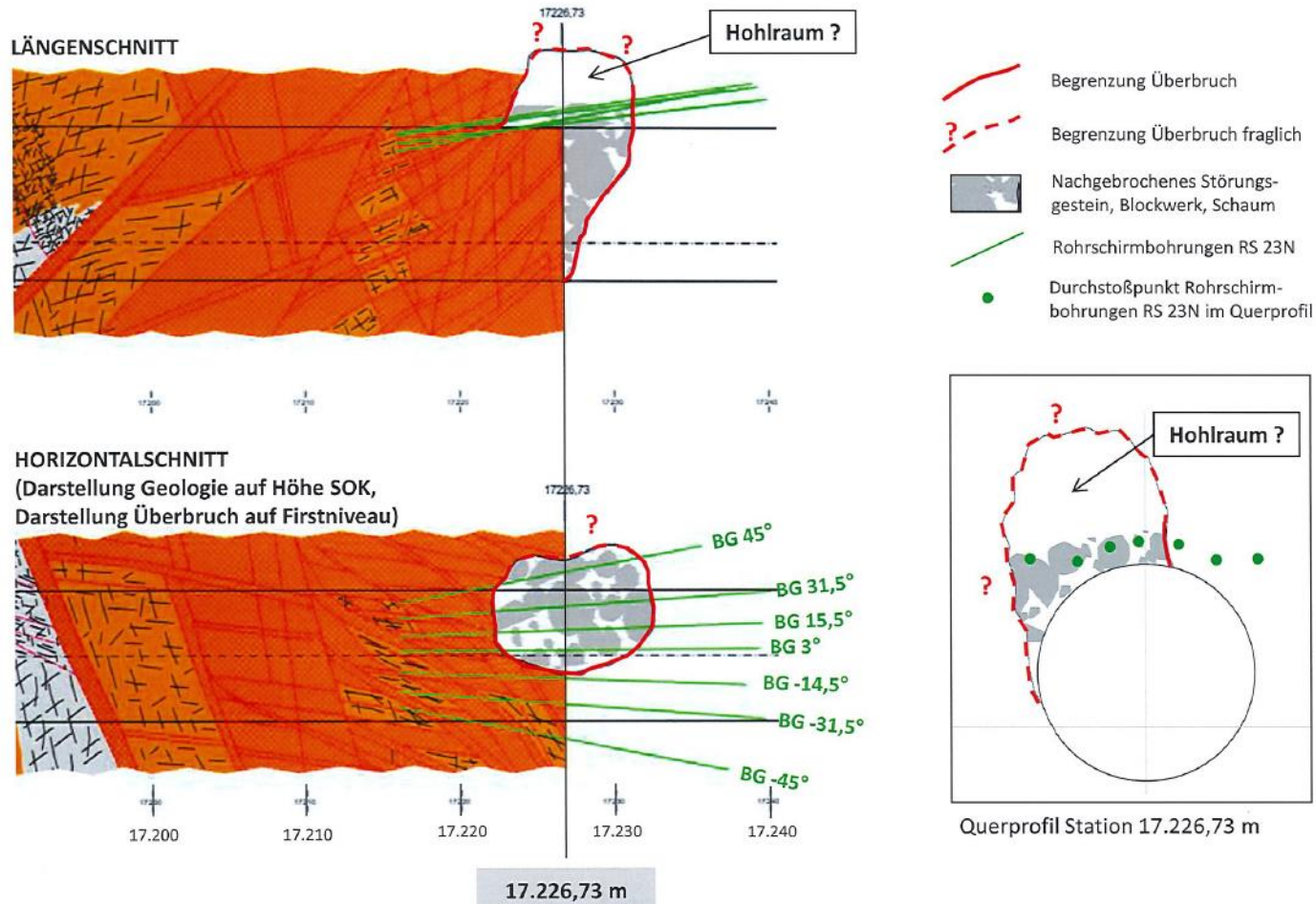
# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Event [1] May 2017, HT-N TBM (northern tunnel):



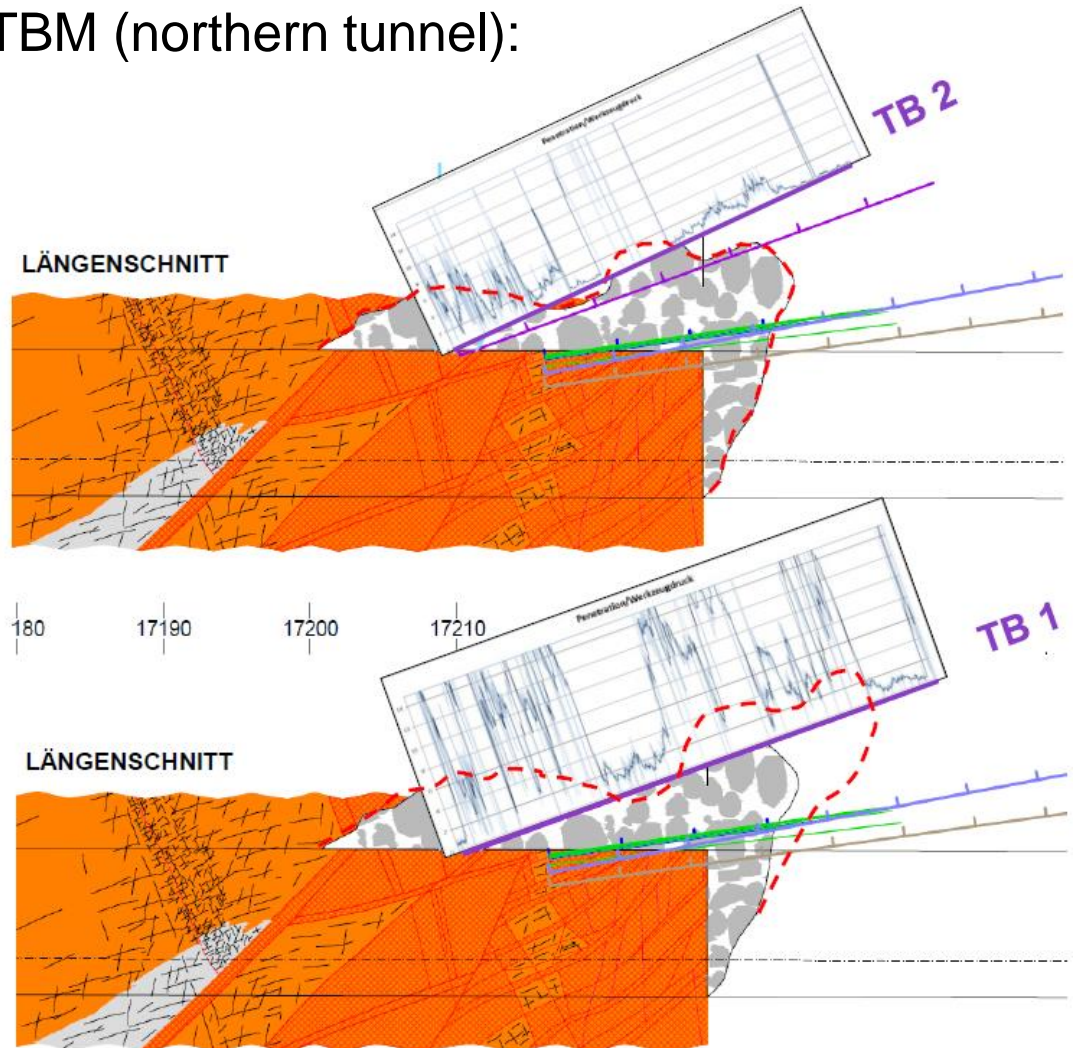
# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Event [1] May 2017, HT-N TBM (northern tunnel):



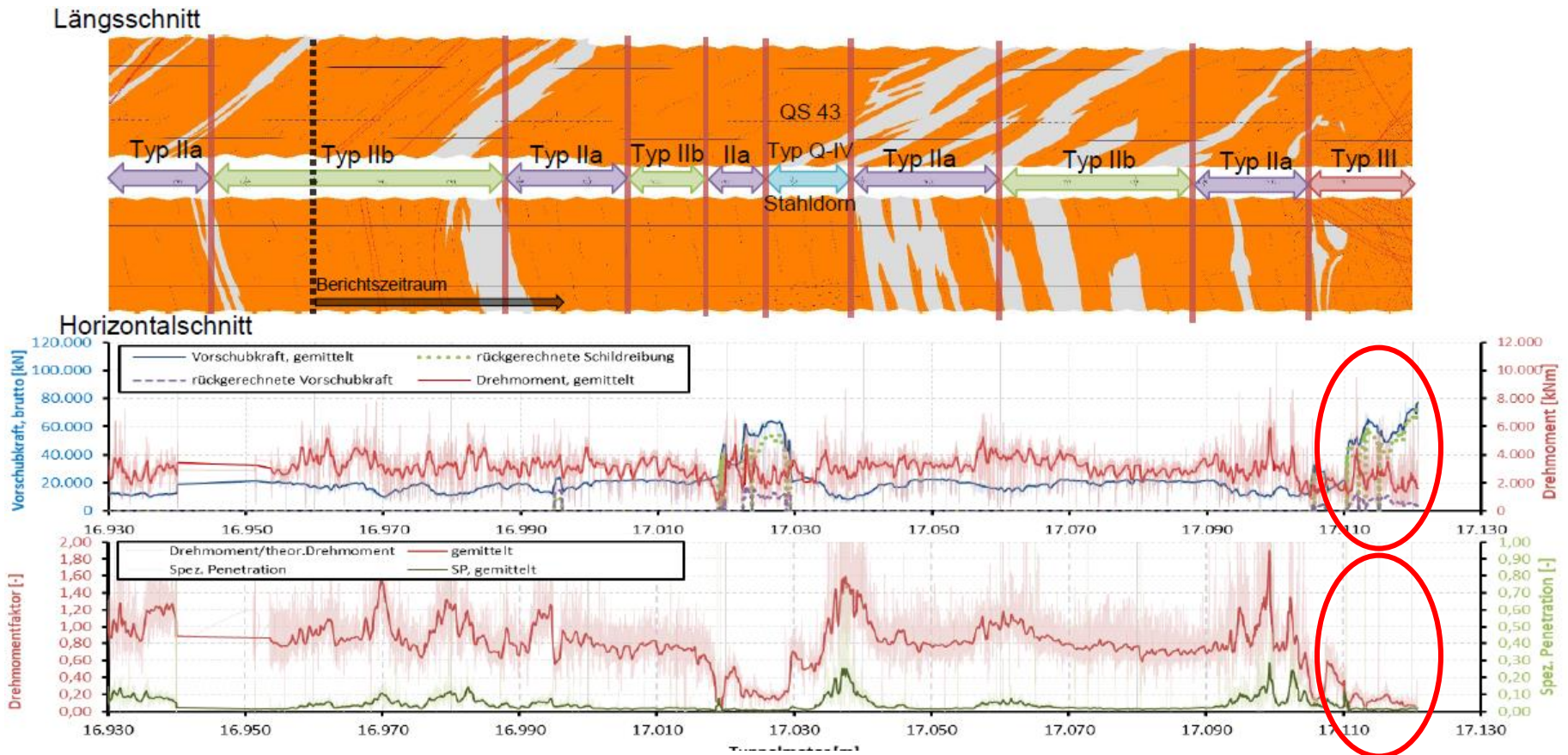
# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Event [1] May 2017, HT-N TBM (northern tunnel):



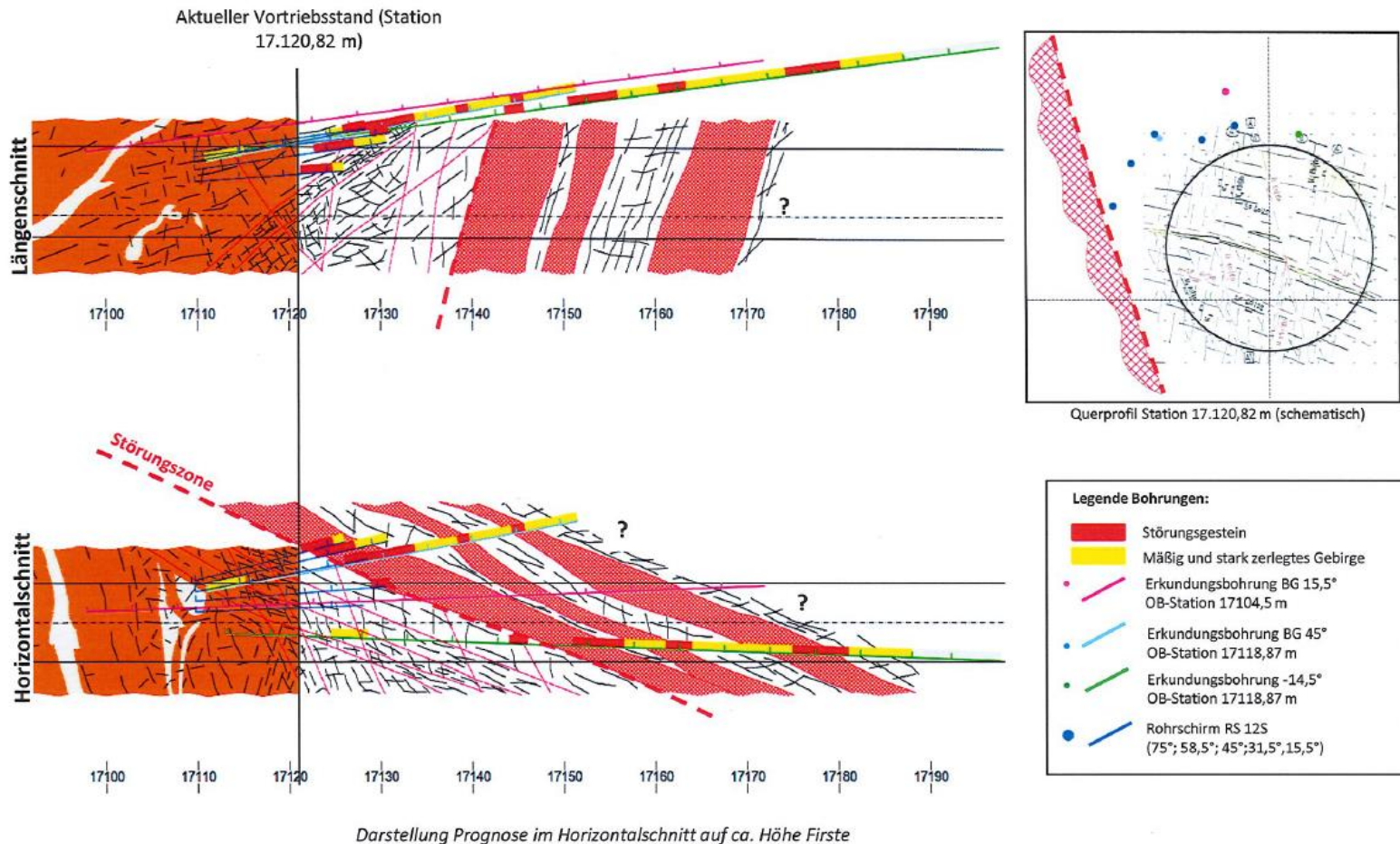
# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Event [2] May 2017, HT-S TBM (southern tunnel):



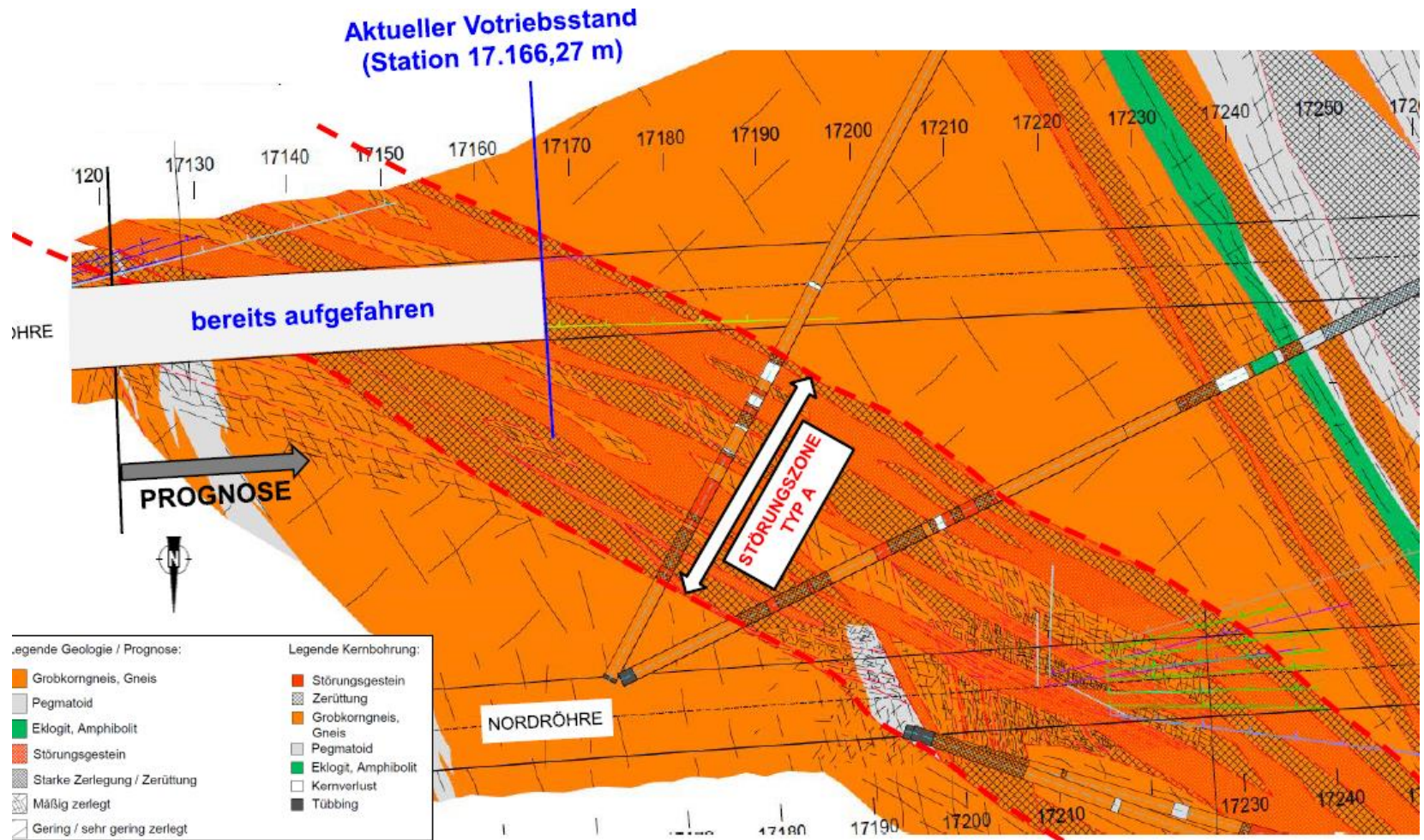
# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Event [2] May 2017, HT-S TBM (southern tunnel):



# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Event [3] November 2017, HT-S TBM (southern tunnel):

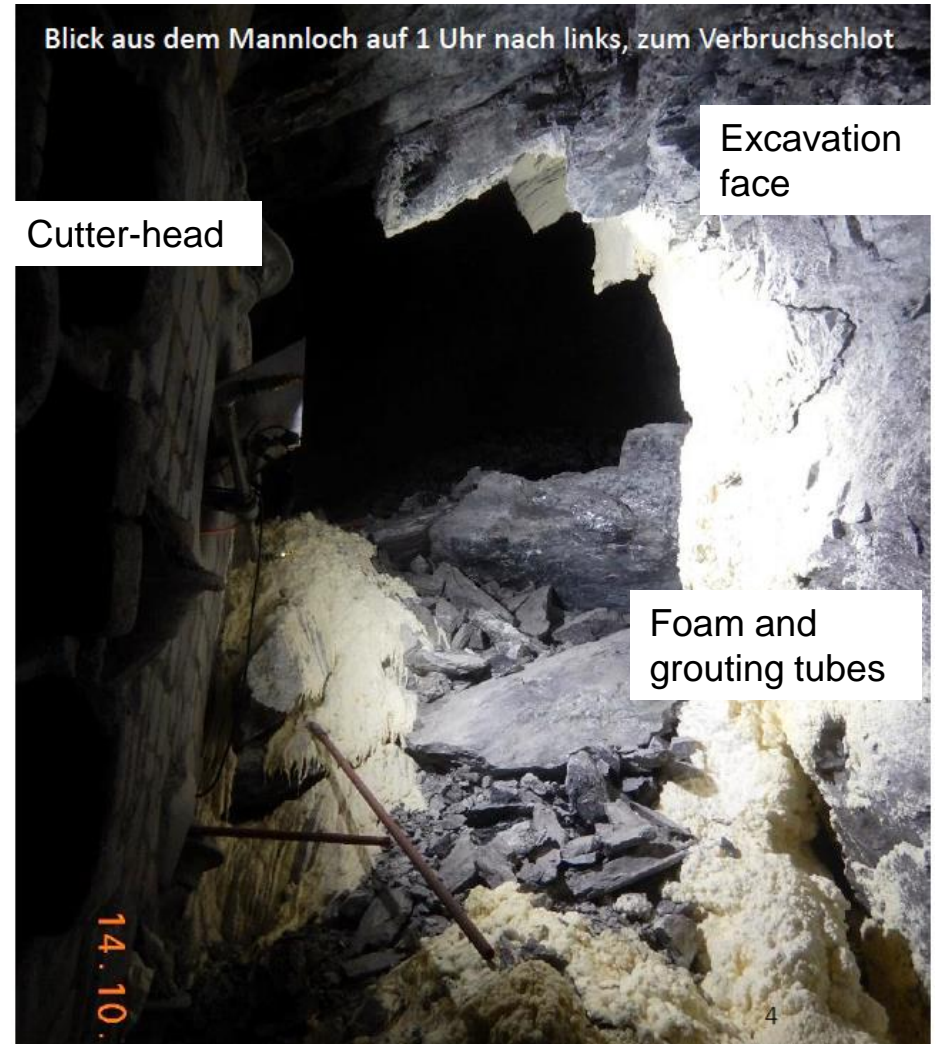
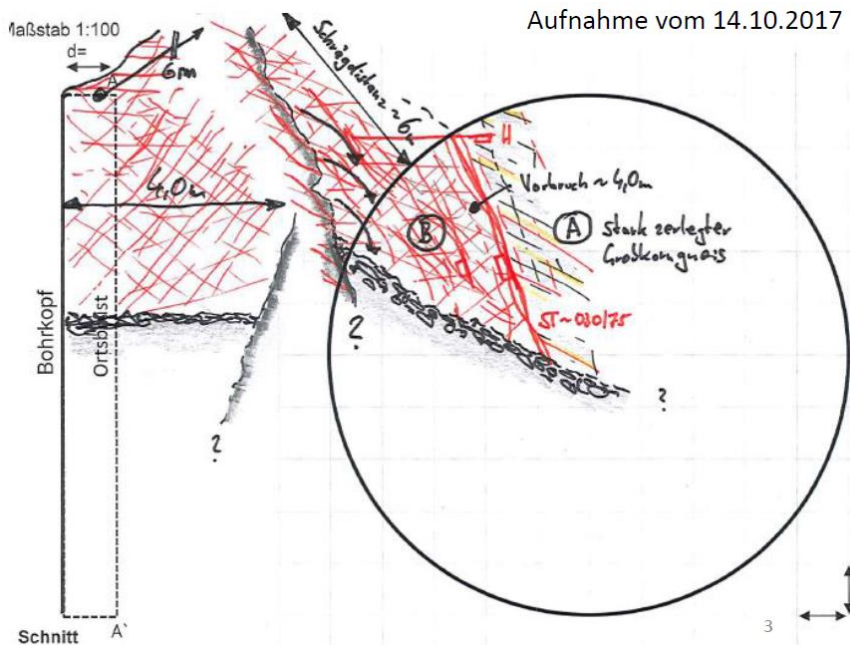




# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

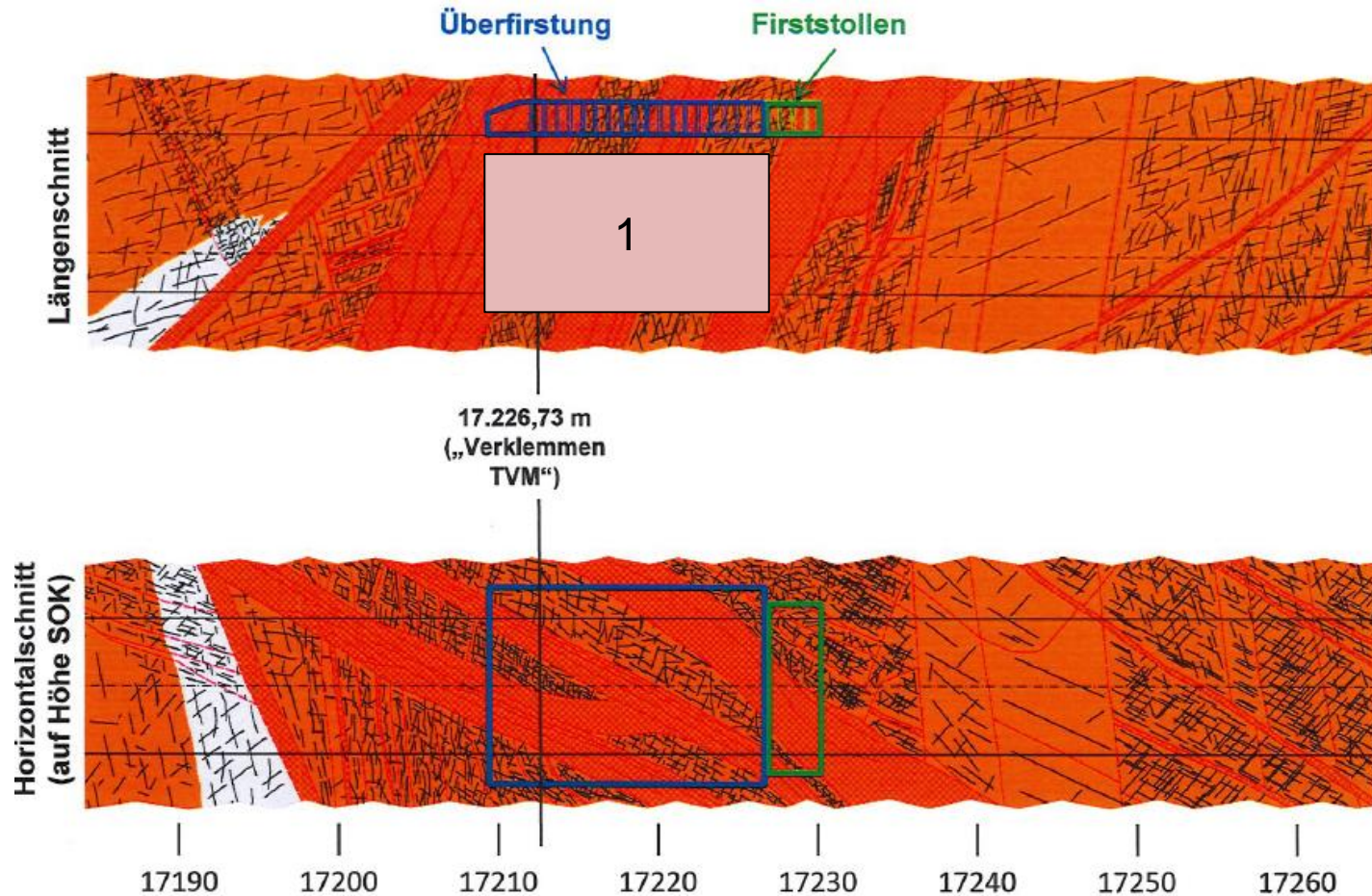
Event [3] November 2017,  
HT-S TBM (southern tunnel):

- Self-progressing face (~4 m) and collapse (~8 m) above the cutter-head.



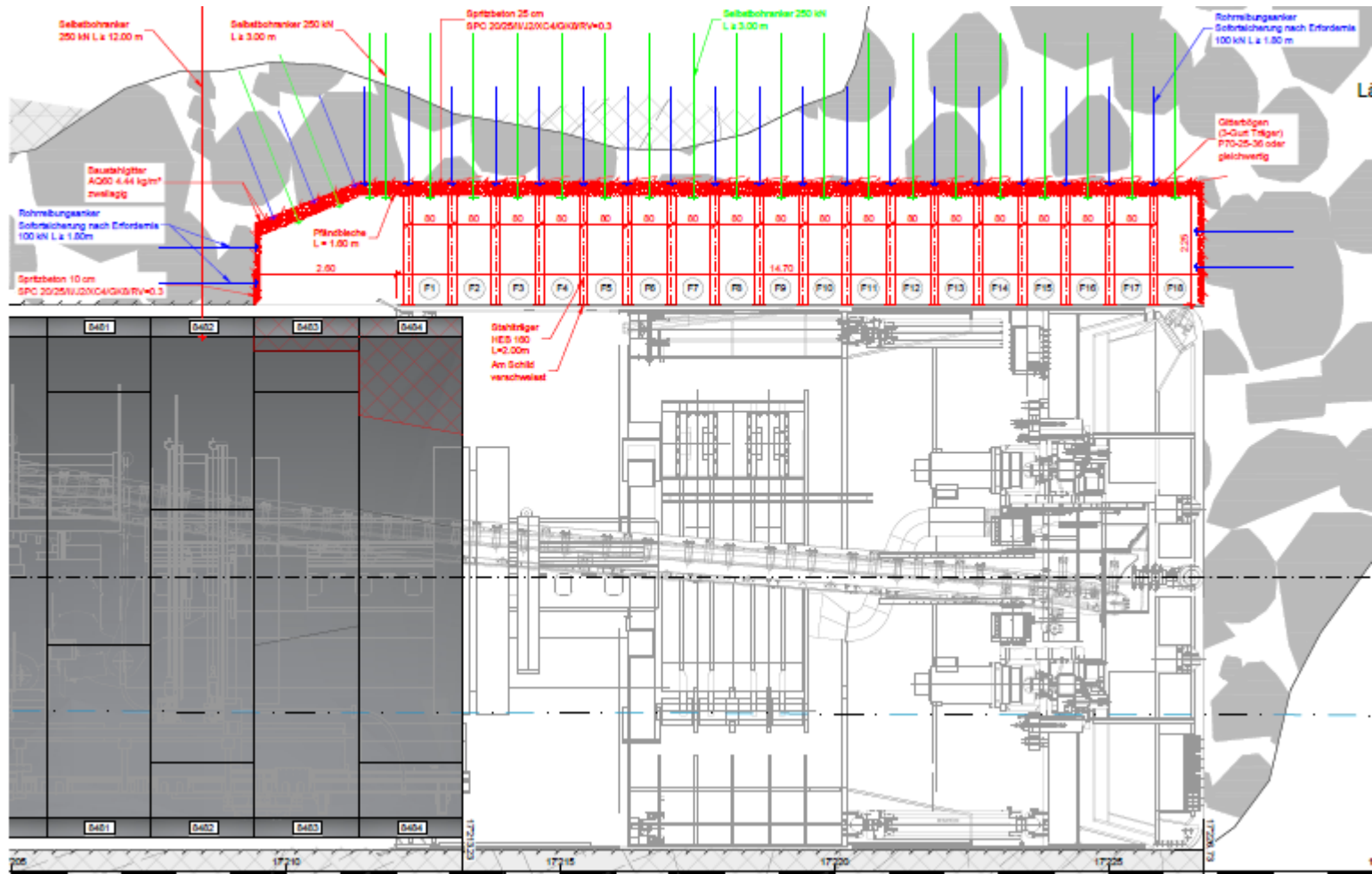
# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Freeing of HT-N TBM – Event [1]:



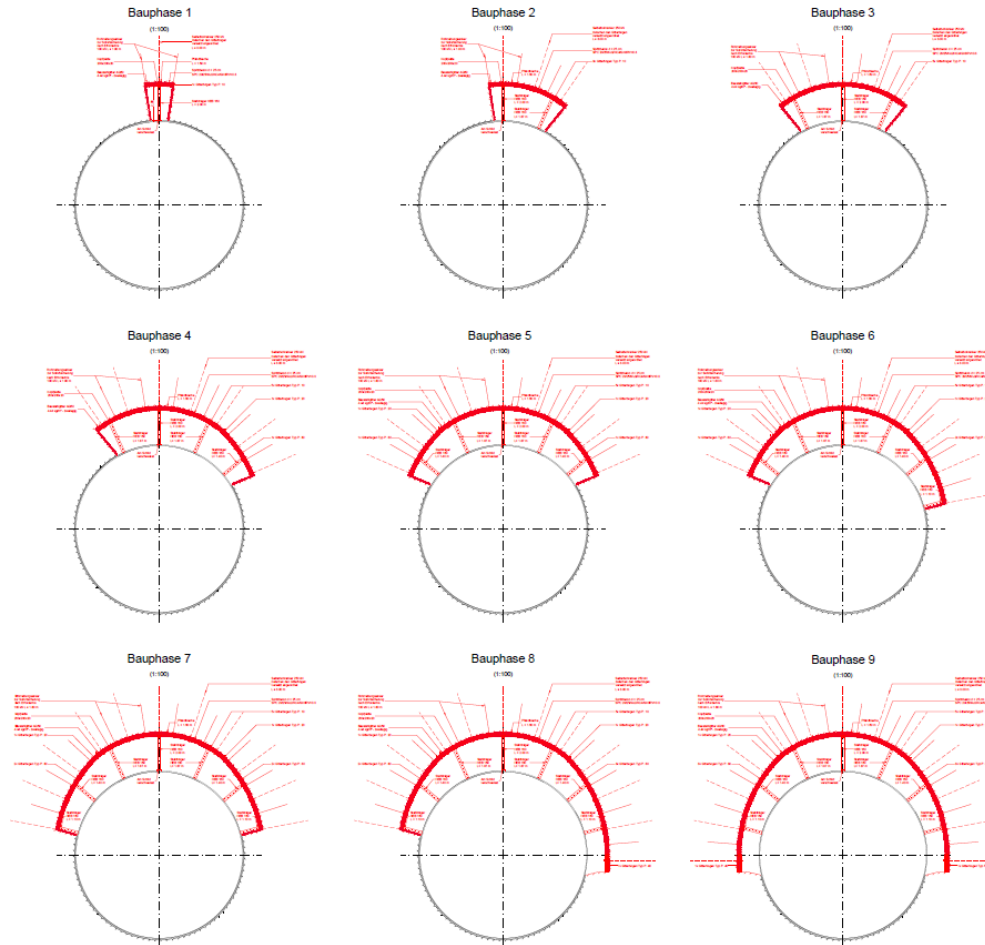
# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Freeing of HT-N TBM – Event [1] – Rescue Tunnel:



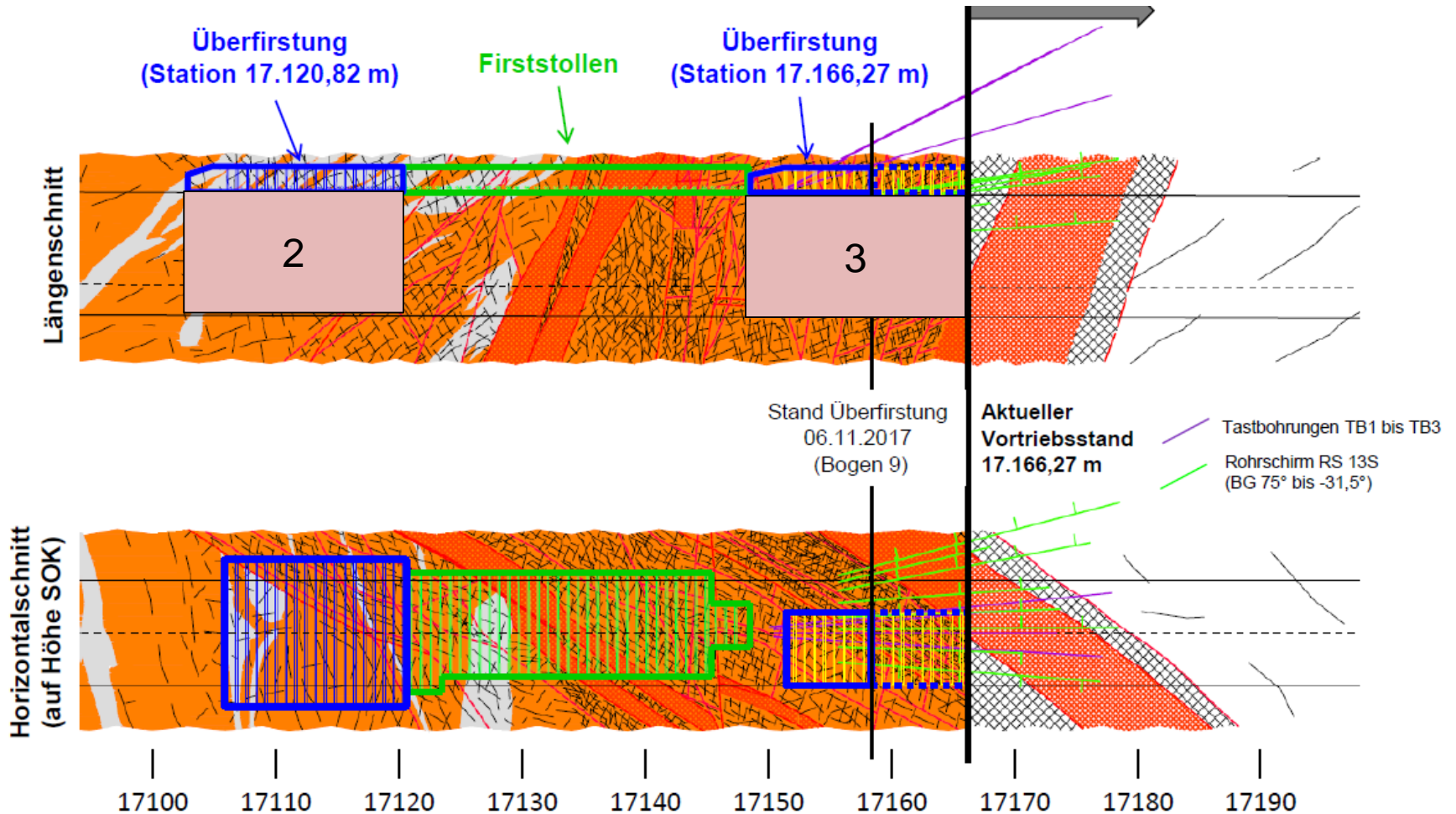
# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Freeing of HT-N TBM – Event [1] – Rescue Tunnel:



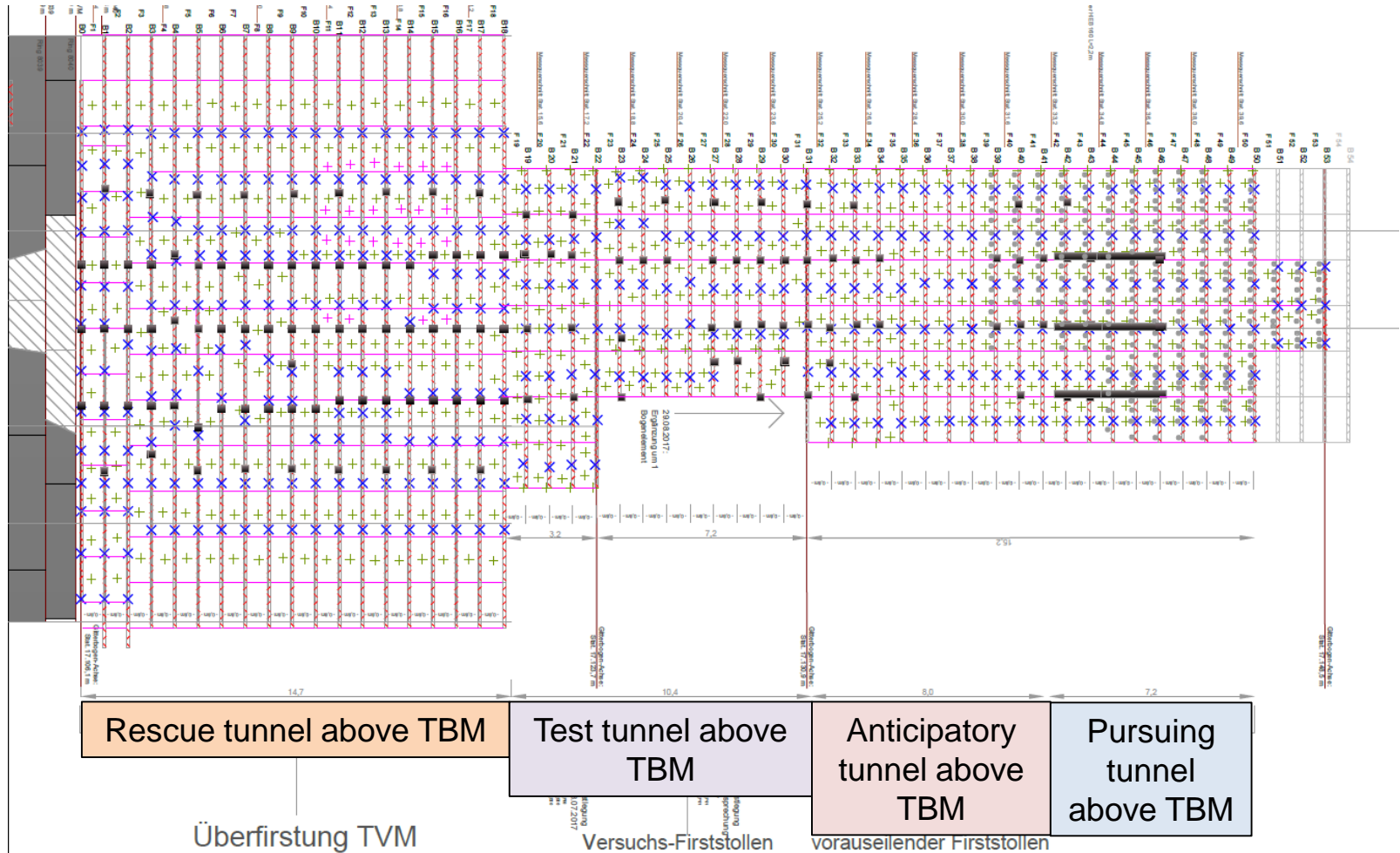
# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Freeing of HT-S TBM – Event [2] and [3]:



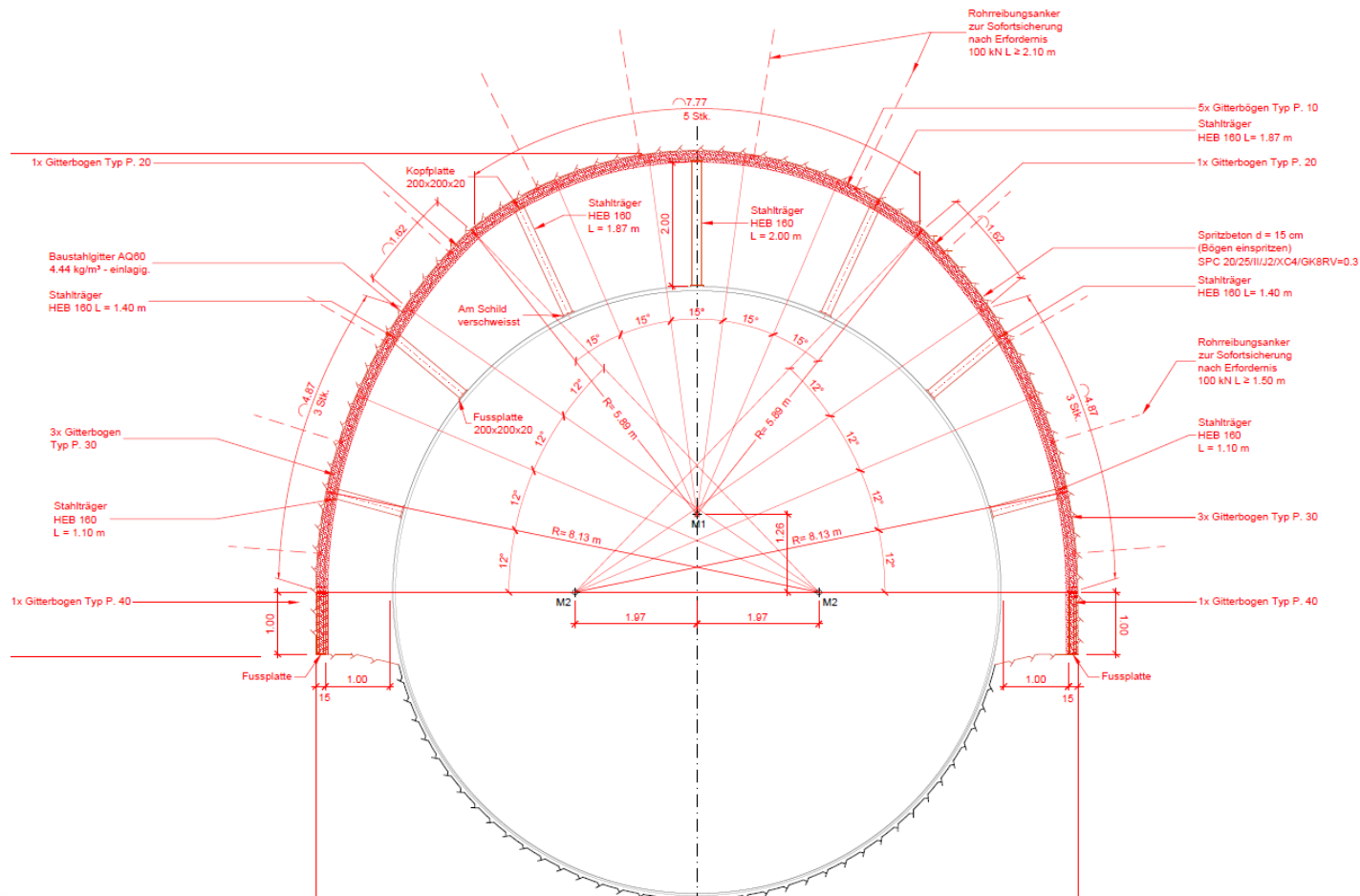
# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Freeing of HT-S TBM – Event [2]:



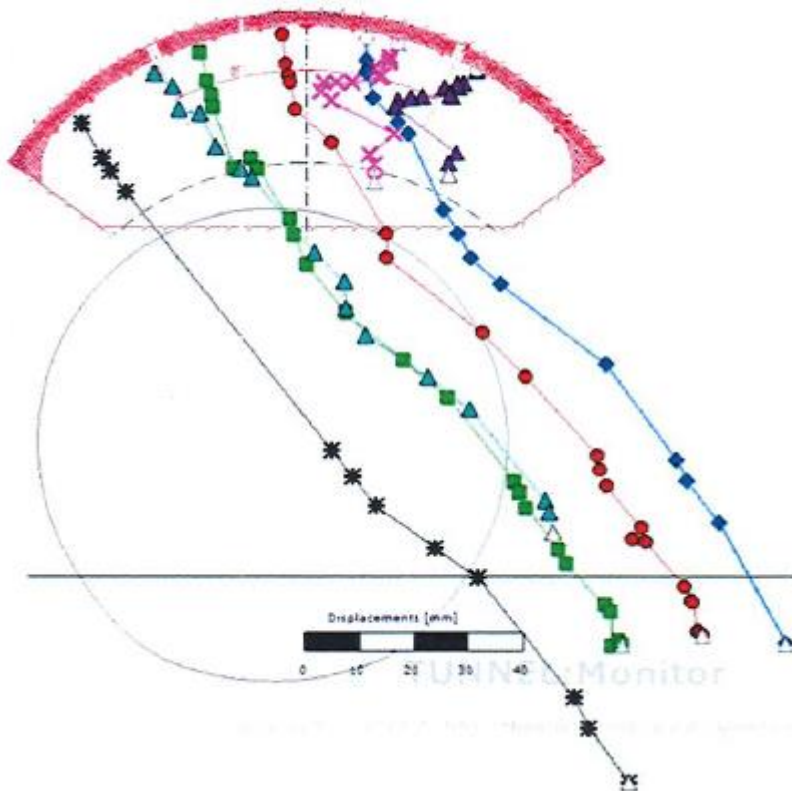
# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Freeing of HT-S TBM – Event [2] – Rescue Tunnel:



# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Freeing of HT-S TBM – Event [2] – Rescue Tunnel:

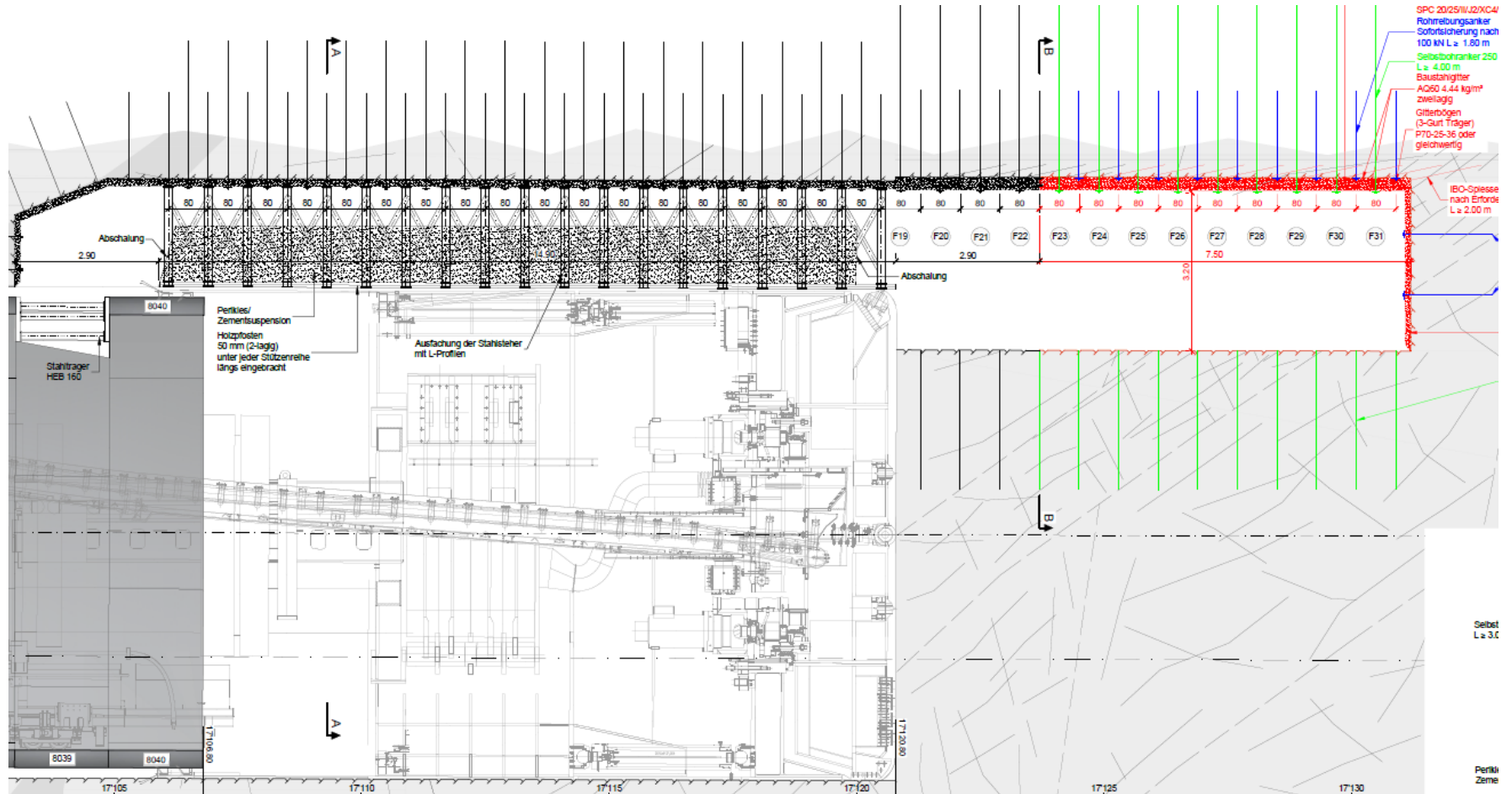


TM 4,0 / 11. Bogen: Übersicht Firststollen



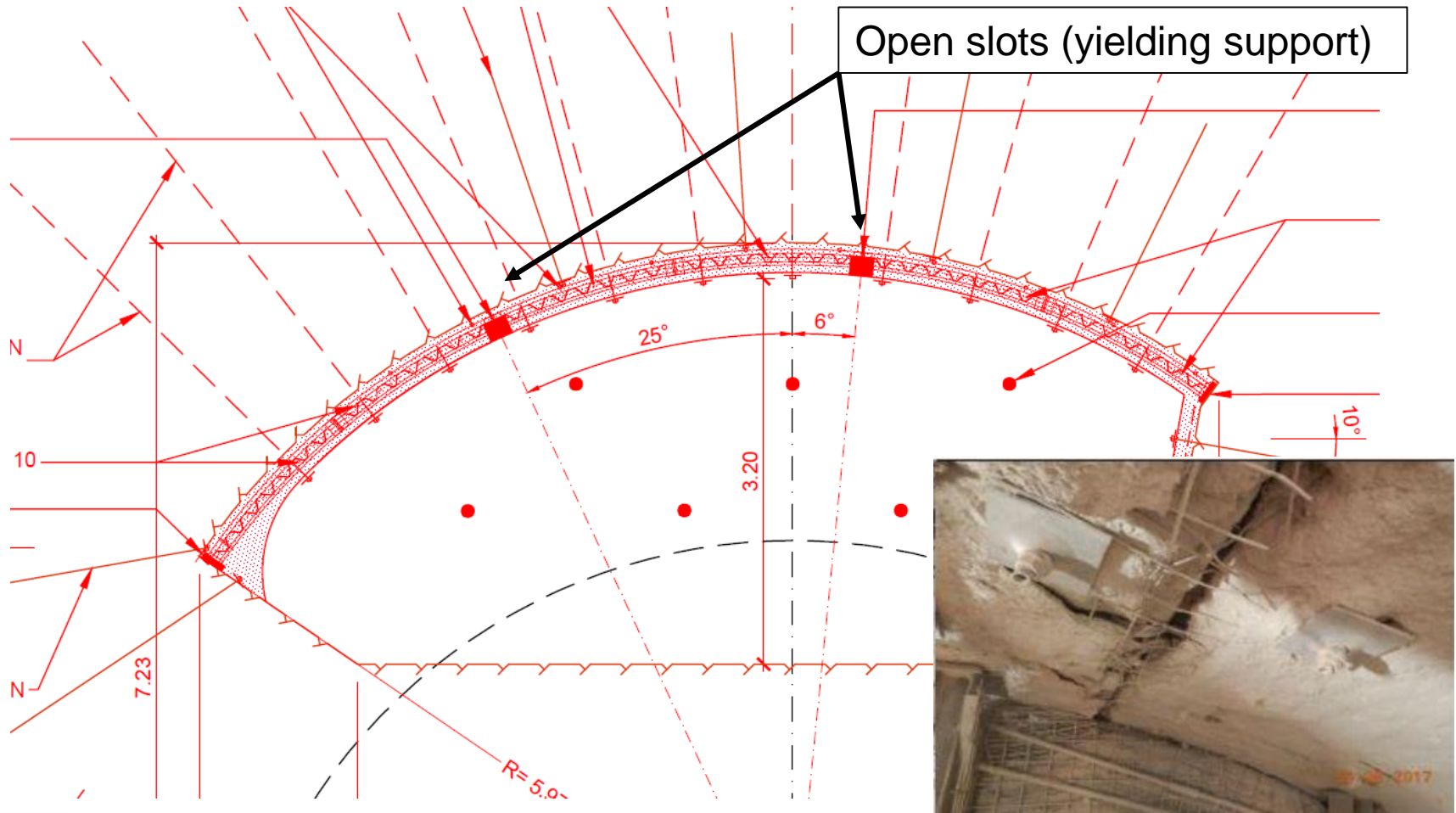
# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Freeing of HT-S TBM – Event [2] – Test tunnel & anticipatory tunnel:



# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Freeing of HT-S TBM – Event [2] – Test tunnel & anticipatory tunnel:



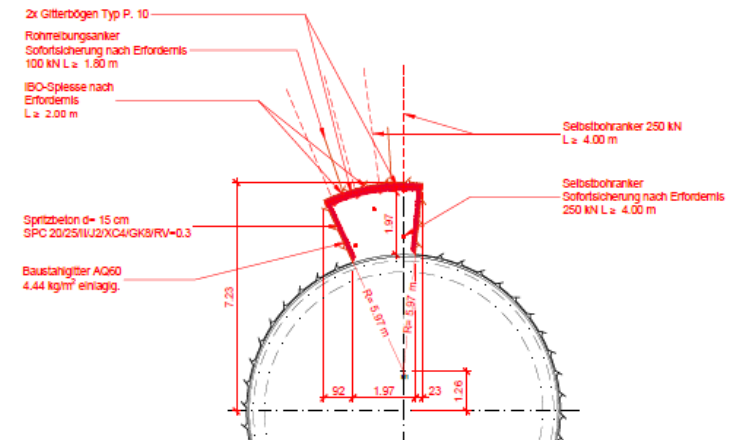
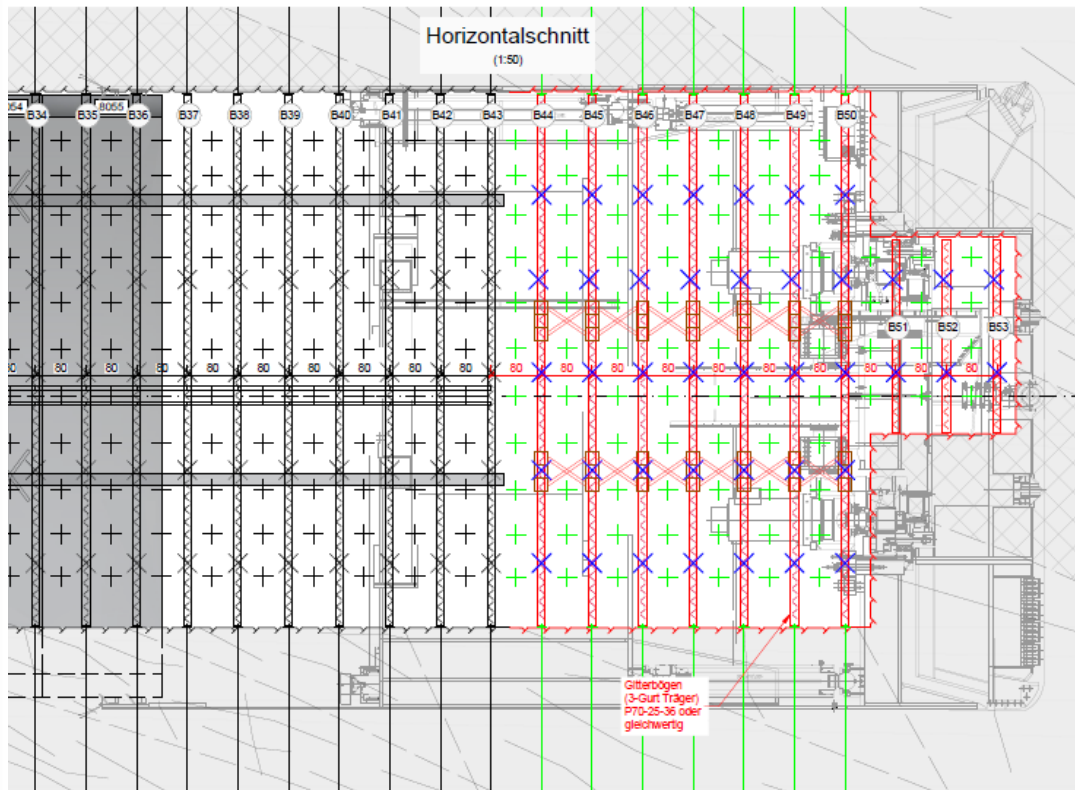
## 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Freeing of HT-S TBM – Event [2] – Anticipatory tunnel:



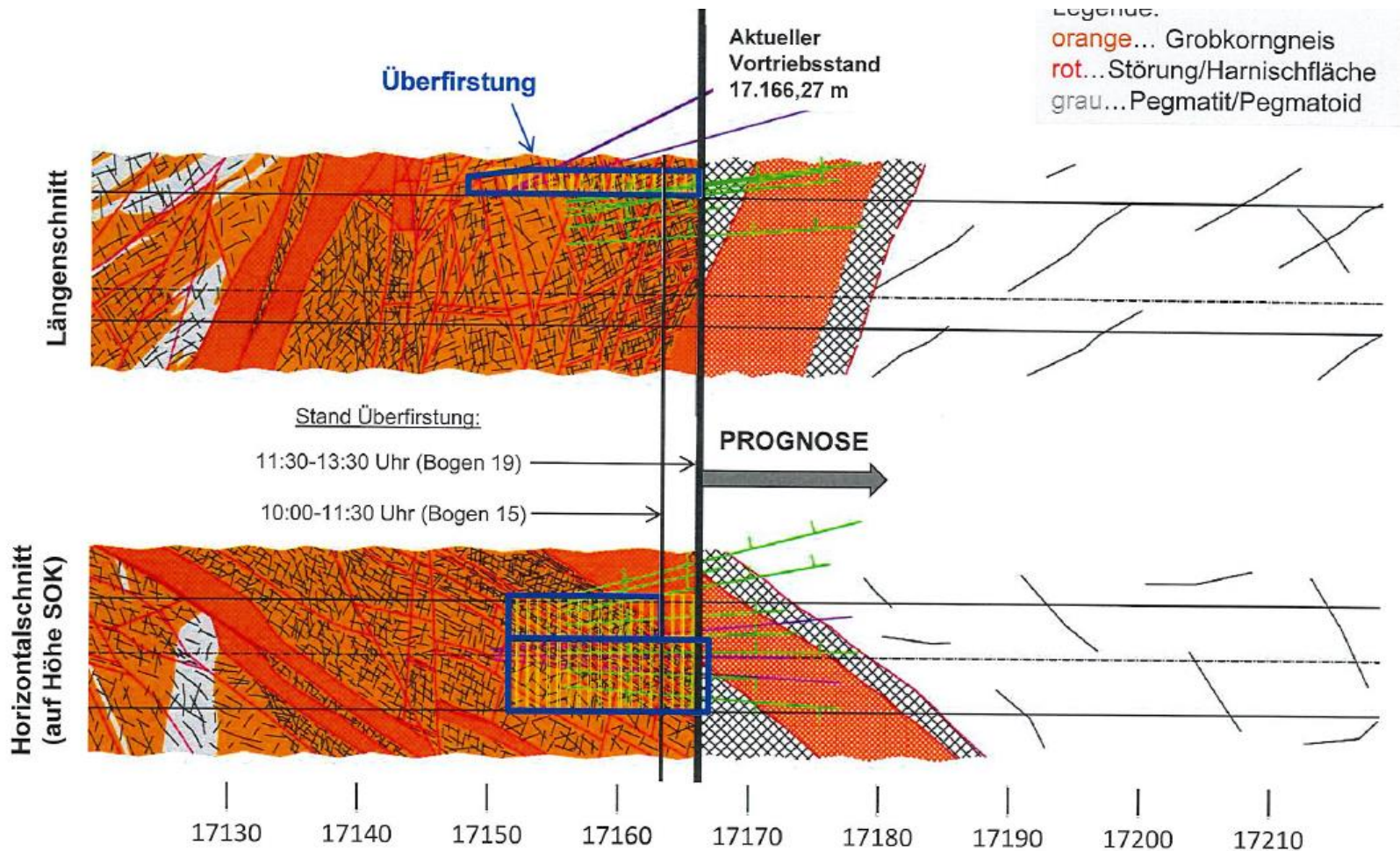
# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Freeing of HT-S TBM – Event [2] – Pursuing tunnel:



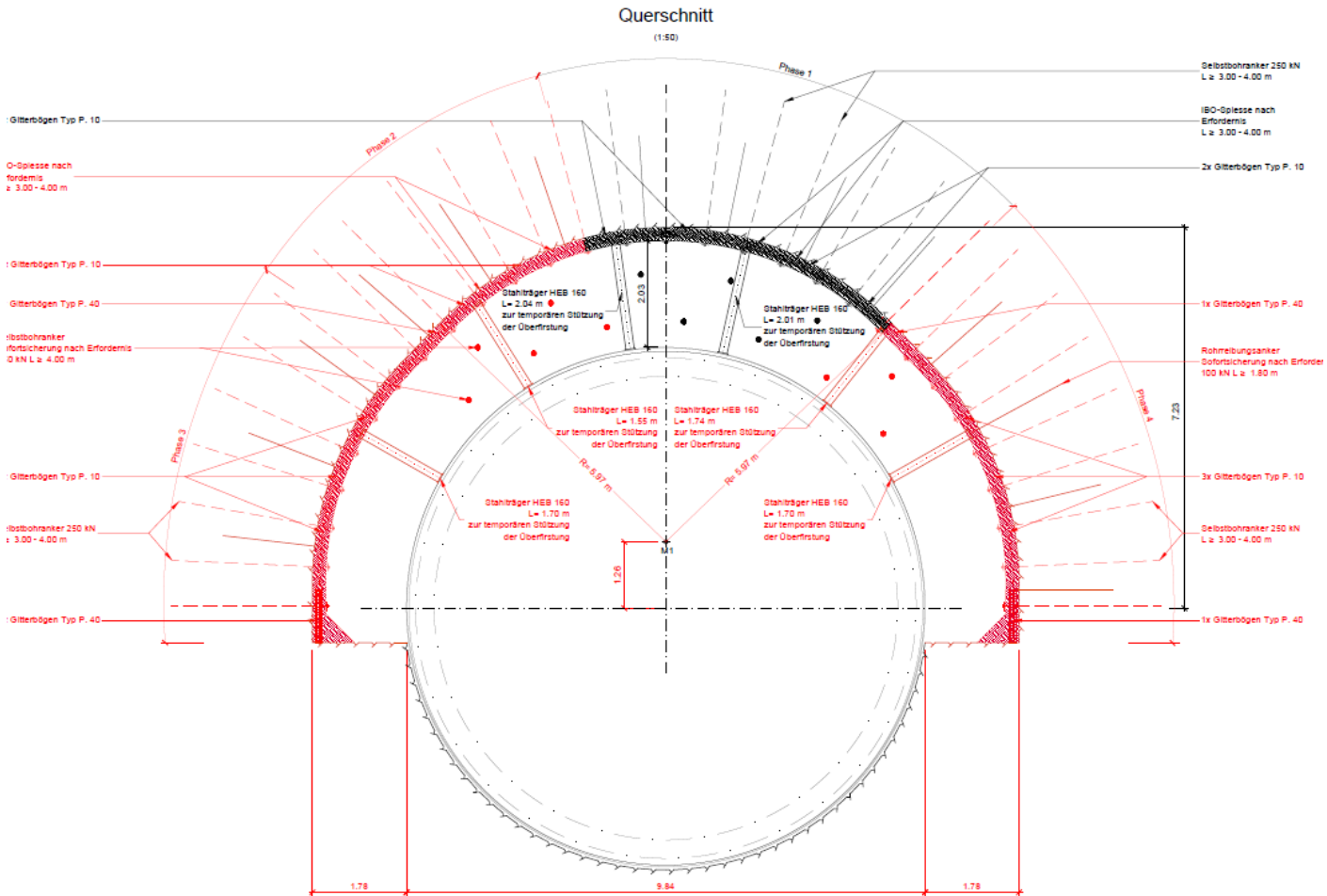
# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Freeing of HT-S TBM – Event [3]:



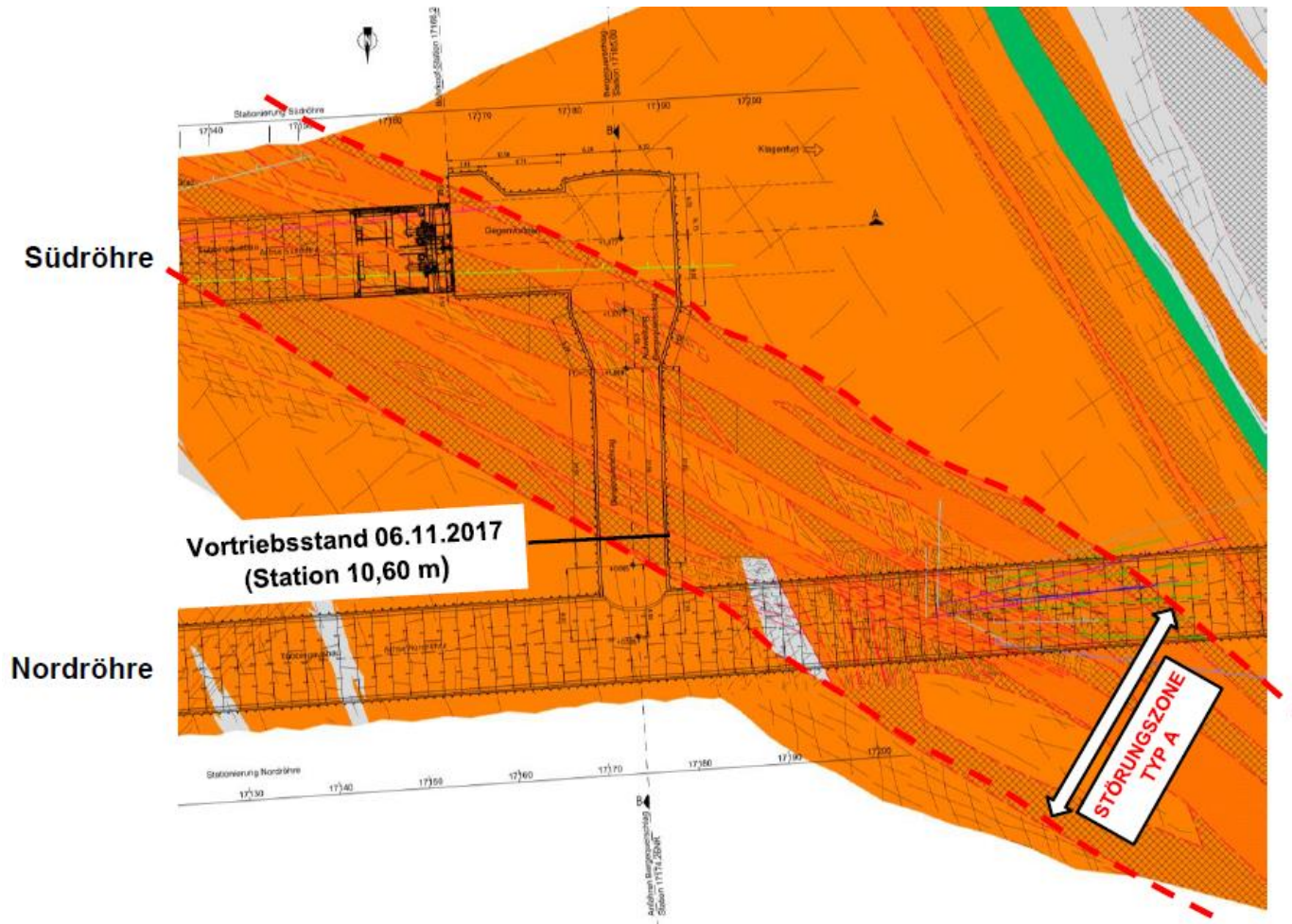
# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

## Freeing of HT-S TBM – Event [3] – Rescue Tunnel:



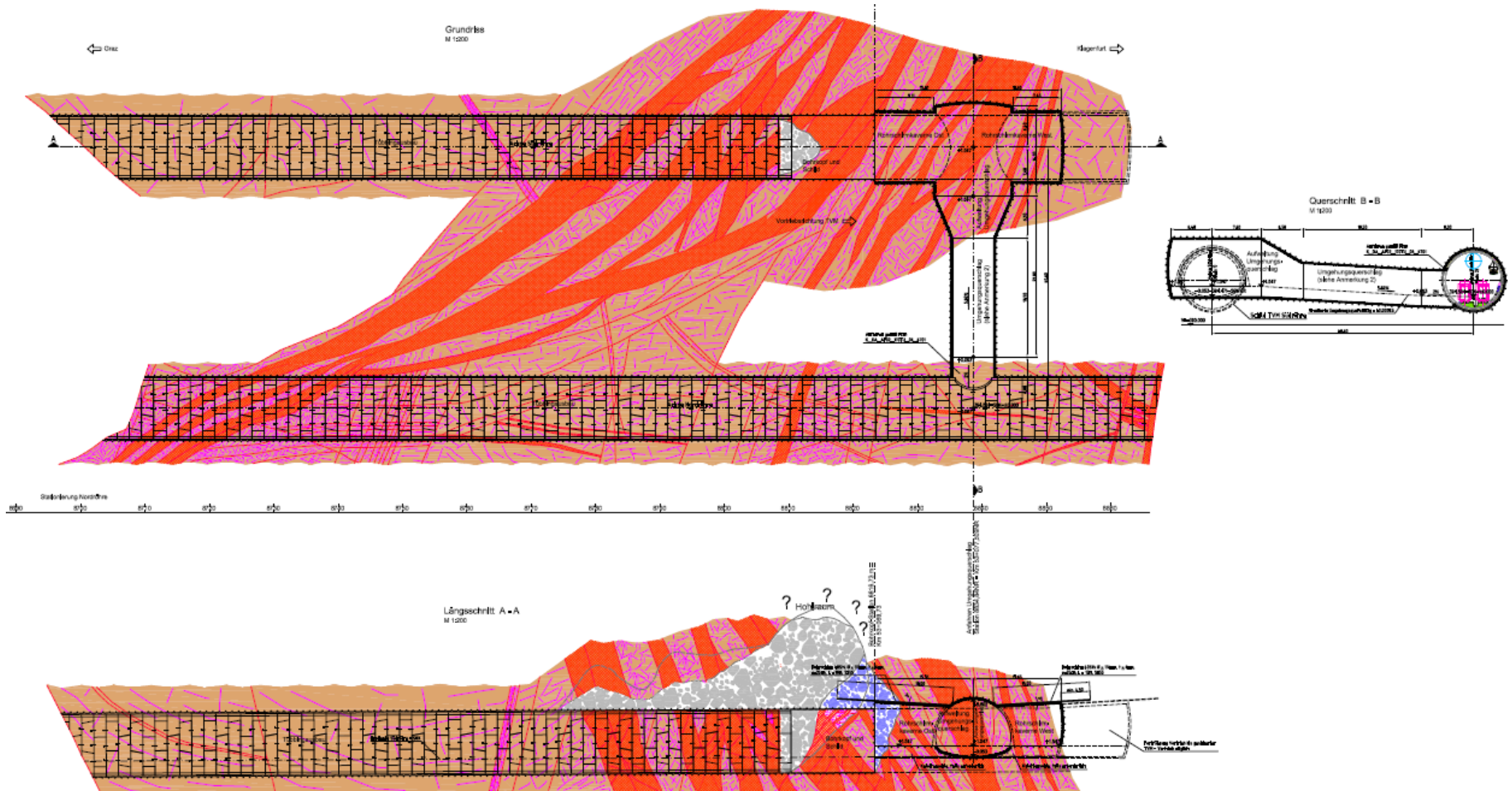
# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Freeing of HT-S TBM – Event [3] – Additional access tunnel:



# 6. Bewältigung der Störung Typ A bei Tkm 17

Freeing of HT-S TBM – Event [3] – Additional access tunnel:





# 7. Fazit

- Die numerischen Untersuchungen in der Planungsphase zeigten, dass in mehreren Störungen Bauhilfsmassnahmen erforderlich sein könnten und dass sogar ein Feststecken einer TBM nicht ausgeschlossen werden konnte.
- In der Ausschreibungsplanung und im vertraglichen Bauprogramm wurden daher mehrere Monate Vortriebsunterbruch berücksichtigt. Dies war im Nachhinein eine weise Entscheidung.
- Für tiefliegende Tunnel im alpinen Raum sollten Stillstände und Bauhilfsmassnahmen vertraglich berücksichtigt werden.
- Der erfolgreiche Abschluss der beiden TBM-Vortriebe zeigt, dass auch in tiefliegenden Tunneln mit mehreren mächtigen Störungen ein Vortrieb mit TBM-DS und Tübbingausbau möglich und sinnvoll ist.

# 7. Fazit

- Eine TBM welche über ausreichend Leistungsreserven verfügt und in der Lage ist, auch umfangreiche Bauhilfsmassnahmen auszuführen, ist die beste Voraussetzung, um auch mächtige Störungen erfolgreich zu bewältigen.
- Umfangreiche Vorauserkundungsmassnahmen helfen das Risiko eines Stillstands zu reduzieren, können diesen aber nicht verhindern
- Die Vortriebskonzepte sind während der Ausführung ständig an die aktuellen Gegebenheiten anzupassen → Eine technische Begleitung seitens Planer ist zu empfehlen

Danke für Ihre  
Aufmerksamkeit!



 **Lombardi**



PROJEKTGEMEINSCHAFT  
KORALMTUNNEL



Basler & Hofmann

