

Donnerstag 20. Oktober 2016

11:00-11:30

## Das Innere des Patscherkofels - Methoden und Ergebnisse der geologischen Untersuchungen im Erkundungsstollen des Brenner Basistunnels

Andreas Töchterle

*Brenner Basistunnel BBT SE, Amraser Str. 8, A-6020 Innsbruck*

### Abstract

The Brenner Base Tunnel (BBT) is currently under construction. If finished it consists of two main tubes and an exploratory tunnel in between. Finally the exploratory tunnel will serve as drainage tunnel. The main part of the tunnel system has to be built within foliated metamorphic rocks. Therefore an applicable project-related classification scheme for brittle fault rocks has been compiled.

Several kilometres of the exploratory tunnel are already constructed in the southern as well as in the northern part of the project area. The northern part is situated within the Innsbruck Quartzphyllite Complex, an Austroalpine unit at the northwestern margin of the Tauern Window. The exploratory tunnel has already encountered about 7,2 kilometers of this unit (status 09-2016) delivering geological data to a great extent.

### 1. Einleitung

Der derzeit im Bau befindliche Brenner Basistunnel (BBT) besteht entlang der Hauptachse zwischen Innsbruck und Franzensfeste aus drei Tunnelröhren (Abb. 1). Dabei handelt es sich um die zwei Hauptröhren mit einem Achsabstand von 70 Metern und dem dazwischen verlaufenden Erkundungsstollen, der 12 Meter tiefer liegt. Die derzeit laufenden Vortriebsarbeiten am Erkundungsstollen sollen Aufschluss über die Beschaffenheit des Gebirges geben und so Baukosten und -zeiten minimieren. Sobald der BBT in Betrieb ist, wird der Erkundungsstollen eine Rolle für die Tunnelentwässerung spielen. Der am Ende durchgängige Erkundungsstollen kann für die Bauphase in sechs Abschnitte unterteilt werden, die von insgesamt fünf verschiedenen Angriffspunkten vorgetrieben wurden bzw. werden. Es sind dies von Norden nach Süden der bereits aufgefahrne Abschnitt Innsbruck-Ahrental, der im Bau befindliche Abschnitt Ahrental-Pfons, die von Steinach ausgehenden Strecken Wolf Nord und Wolf Süd sowie die im italienischen Teil des Projektgebietes befindlichen Abschnitte Mauls-Brenner und Aicha-Mauls, wobei letzterer bereits fertiggestellt ist. Im folgenden Beitrag sollen aufbauend auf den vorhergehenden Untersuchungsergebnissen verschiedenster Autoren (e.g. in: Rockenschaub et al., 2003; BBT SE, 2008) erste Ergebnisse der geologischen Erkundung aus den nördlichen Abschnitten des Erkundungsstollens umrissen werden.

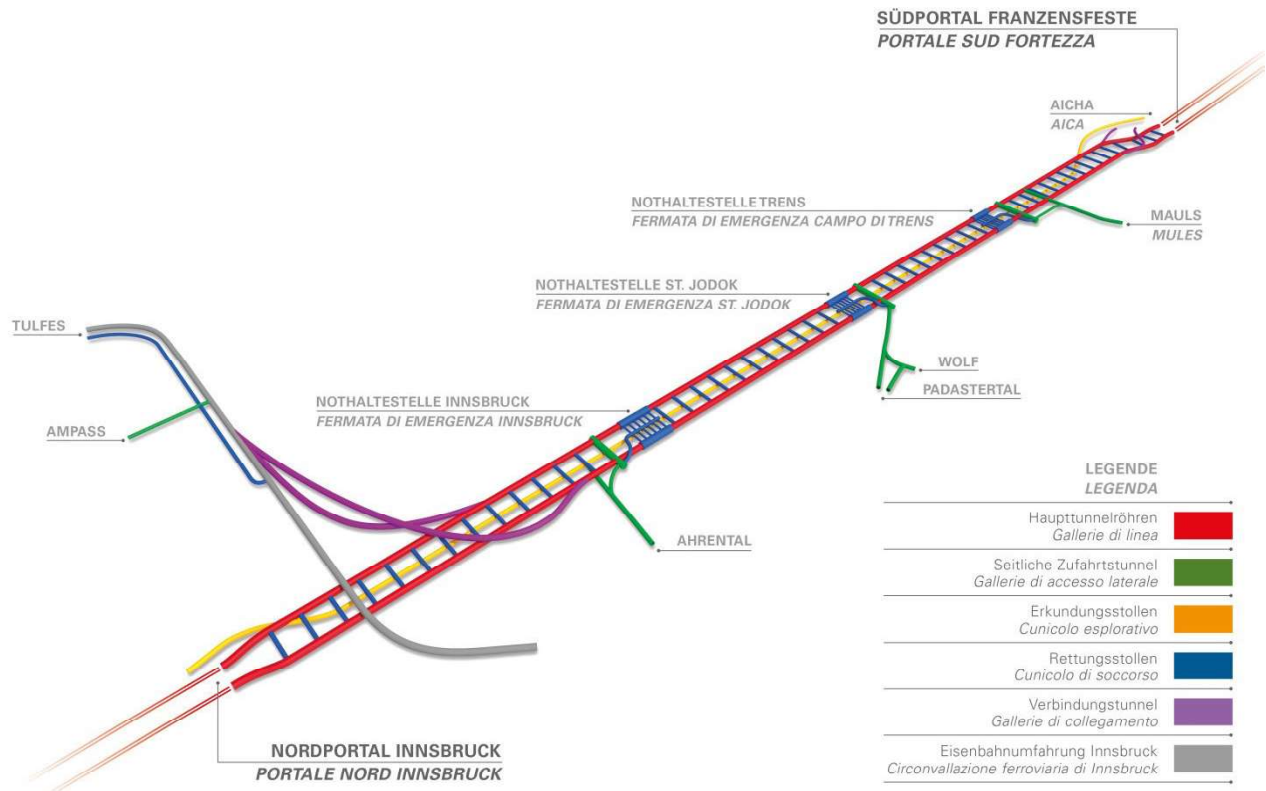


Abb. 1: Übersichtsgrafik zu den BBT-Bauwerken

## 2. Der Erkundungsstollen in den Abschnitten Innsbruck-Ahrental und Ahrental-Pfons

Zwischen Februar 2010 und August 2013 wurde der nördlichste Abschnitt des Erkundungsstollens von Innsbruck nach Süden, der Erkundungsstollen-Innsbruck-Ahrental, mit einer Länge von 4,84 km (Projektkilometer 2,1 bis 6,94) im Sprengvortrieb aufgefahren. Bei Projektkilometer 5,73 mündet der ebenso bereits fertig ausgebrochene Zugangstunnel Ahrental von Westen her kommend in den Erkundungsstollen. Der Zugangstunnel Ahrental ist der bauleitende Haupt-Zugang für sämtliche Untertage-Bauarbeiten im nördlichen Projektgebiet des BBT. Am Südenende des Erkundungsstollens Innsbruck-Ahrental wurde eine Startkaverne einschließlich Anfahrstützen zum Aufbau und Start einer TBM errichtet. Die offene Gripper-TBM wurde im Oktober 2015 in Betrieb gesetzt und fährt nun wiederum in südlicher Richtung den Erkundungsstollen Ahrental-Pfons auf. Derzeit (Stand 09-2016) befindet sich die TBM damit unter dem Viggartal südlich des Patscherkofels bei Projektkilometer 9,2 (Abb. 2 & 3).

## 3. Zielsetzung der laufenden Erkundung im Erkundungsstollen

Die geologische Erkundung im Erkundungsstollen hat zwei grundlegende Funktionen. Diese sind zum einen die bauleitende Dokumentation der Vortriebsarbeiten im Erkundungsstollen selbst und zum anderen die geologische Prognose für die parallel verlaufenden Haupttunnelröhren. Letztere kann wiederum verschiedenen Zwecken dienen:

- In Bereichen, wo der Erkundungsstollen bereits aufgefahren wurde und die Haupttunnelröhren in einem Folgelos errichtet werden, stellt die geologische Prognose eine Planungsgrundlage für die Erstellung der Ausschreibungen für die Haupttunnelröhren dar. Dies

gilt in erster Linie für die Abschnitte Innsbruck-Ahrental, Ahrental-Pfons und Aicha-Mauls, wo der Erkundungsstollen bereits teilweise besteht. In den anderen Bereichen bestehen derzeit lediglich Zugangsstollen oder kurze Abschnitte des Erkundungsstollens, die aber ebenfalls wertvolle geologische Informationen für weitere Ausschreibungen liefern.

- In allen Bereichen dient die geologische Prognose aus dem Erkundungsstollen jedoch der Minimierung des geologischen Risikos beim Bau der Hauptröhren. Diese ist insbesondere von Bedeutung, da ein großer Teil der Hauptröhren mit Tunnelvortriebsmaschinen aufgefahrene wird, wo unerwartet aufgefahrenen Störungszonen die Vortriebsarbeiten in hohem Maße negativ beeinflussen können und unter Umständen umfangreiche Zusatzmaßnahmen erfordern (e.g.: Bonzanigo & Oppizzi, 2006; Frei & Breitenmoser 2006; Bergmeister & Töchterle 2013).

#### **4. Methoden der laufenden Erkundung im Erkundungsstollen**

##### **4.1. Geologische Aufnahme der Ortsbrust und Laibung**

###### **Zyklischer (Spreng-)Vortrieb:**

Im Zuge der Vortriebsarbeiten werden die aufgefahrenen Gebirgsbereiche baugelogisch dokumentiert. Im Bereich des zyklischen Vortriebs wurde dabei mindestens jeder zweite Abschlag geologisch aufgenommen. Wasserzutritte werden dokumentiert und gegebenenfalls mehrfach beprobt. So wurde im Durchschnitt alle 2,7 Meter eine vollständige Ortsbrustkartierung durchgeführt. Darauf aufbauend wurden nach aktuellem Stand der Technik baugelogische Pläne und Berichte erstellt.

###### **Kontinuierlicher (TBM-)Vortrieb:**

Im derzeit laufenden TBM-Vortrieb wird eine durchgehende geologische Kartierung der Laibung durchgeführt und als Abwicklung auf den Aufnahmeblättern dargestellt. Die darauf aufbauenden weiteren Dokumente der baugelogischen Dokumentation sind dann mit jenen aus den zyklischen Vortrieben vergleichbar.

##### **4.2. Bohrungen**

###### **Zyklischer (Spreng-)Vortrieb:**

Gemäß Bescheid werden in definierten Abschnitten als Vollbohrungen ausgeführte Vorausbohrungen überlappend ausgeführt. Das Bohrklein wird von einem beim Bohren anwesenden Geologen beurteilt. Die bisher durchgeführten, derartigen Bohrungen dienten in erster Linie der Reduktion des hydrogeologischen Risikos im Mittelgebirgsbereich südlich von Innsbruck. In weiterer Folge wurden dann aus dem Hohlraum des Erkundungsstollens mehrfach radiale Kernbohrungen ausgeführt, um vertiefende Erkenntnisse der geologisch-hydrogeologischen Situation für die Planung nachfolgender Bauwerke zu erlangen.

### **Kontinuierlicher (TBM-)Vortrieb:**

Im TBM-Vortrieb werden überlappende Vollbohrungen zur Vorauserkundung eingesetzt. In behördlich definierten Bereichen werden diese zudem im Schutze eines Preventers ausgeführt. Direkt im Anschluss an die Bohrung erfolgt eine sehr detaillierte Auswertung der Daten aus dem Bohrdatenschreiber, um erstens Inhomogenitäten und Zonen mit geringerer Festigkeit identifizieren zu können und in weiterer Folge auch Korrelationen mit TBM-Vortriebsdaten zu ermöglichen. Zudem wird der vordere Abschnitt der Bohrlöcher mit einer Kamera befahren, um auch einen optischen Eindruck vom Gebirgsverband am Borlochrand zu erhalten. Anlassbezogen werden von der Sohle aus auch Kernbohrungen zur Vorauserkundung eingesetzt. Für die weitere Erkundung der Hauptröhren sind radiale Kernbohrungen vorgesehen.

### **4.3. Geophysik**

Beim derzeit laufenden TBM-Vortrieb kommt das von Amberg Technologies entwickelte Verfahren TSP 303 (Amberg Technologies) zur seismischen Vorauserkundung der aufzufahrenden Gebirgsbereiche zum Einsatz. Bei diesem System wird über Sprengungen in Bohrlöchern ein seismisches Signal ins Gebirge eingebracht und die dort reflektierten Wellensignale in den ebenfalls in Bohrlöchern angebrachten Geophonen gemessen. Die Bohrungen befinden sich in der Laibung auf beiden Seiten des Tunnels. Es werden bei einem Messvorgang im Normalfall zwischen 15 und 18 Sprengungen in ebenso vielen Bohrlöchern pro Seite durchgeführt. Die Seismik erfasst je nach Gestein einen Gebirgsbereich von ca. 100-150m vor dem Bohrkopf. Ein Novum dieser Technologie ist die gesondert durchgeführte spezifische Auswertung für die seitlichen Gebirgsbereiche. Diese dient zum einen der Erkundung der von den Haupttunneln aufzufahrenden Gebirgszonen und zum anderen der Erfassung stark schleifender Störungszonen, die mit einer reinen Vorauserkundung nicht detektiert werden können.

### **4.4. Labormethoden**

In den Vortrieben erfolgen Probennahmen für petrologische und geotechnische Analyseverfahren sowohl nach einem standardisierten Rhythmus als auch bei spezifischen Fragestellungen. Ebenso werden hydrologische Untersuchungen an Proben von Wasserzutritten durchgeführt.

### **4.5. Geotechnik, Vermessung, interdisziplinäre Methoden**

Der vorliegende Beitrag konzentriert sich im Wesentlichen auf die geologischen Kernaufgaben im Zuge der Planung und der Errichtung des Brenner Basistunnels. Obwohl allseits bekannt soll an dieser Stelle nochmals erwähnt sein, dass es sich bei der Baugrund-Charakterisierung im Tunnelbau um vielfach interdisziplinäre Tätigkeiten handelt. Es werden Daten unterschiedlichster Natur von Fachpersonal aus unterschiedlichen Disziplinen erhoben, verwaltet und interpretiert. Im Fall des TBM-Vortriebs sind für die geologische Modellerstellung u. a. die Maschinendaten von großer Bedeutung. Diese liegen in großer Menge vor und sind in hohem Maße projektspezifisch, was eine dementsprechend aufwendige Bearbeitung erfordert.

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Der Gebirgsbau

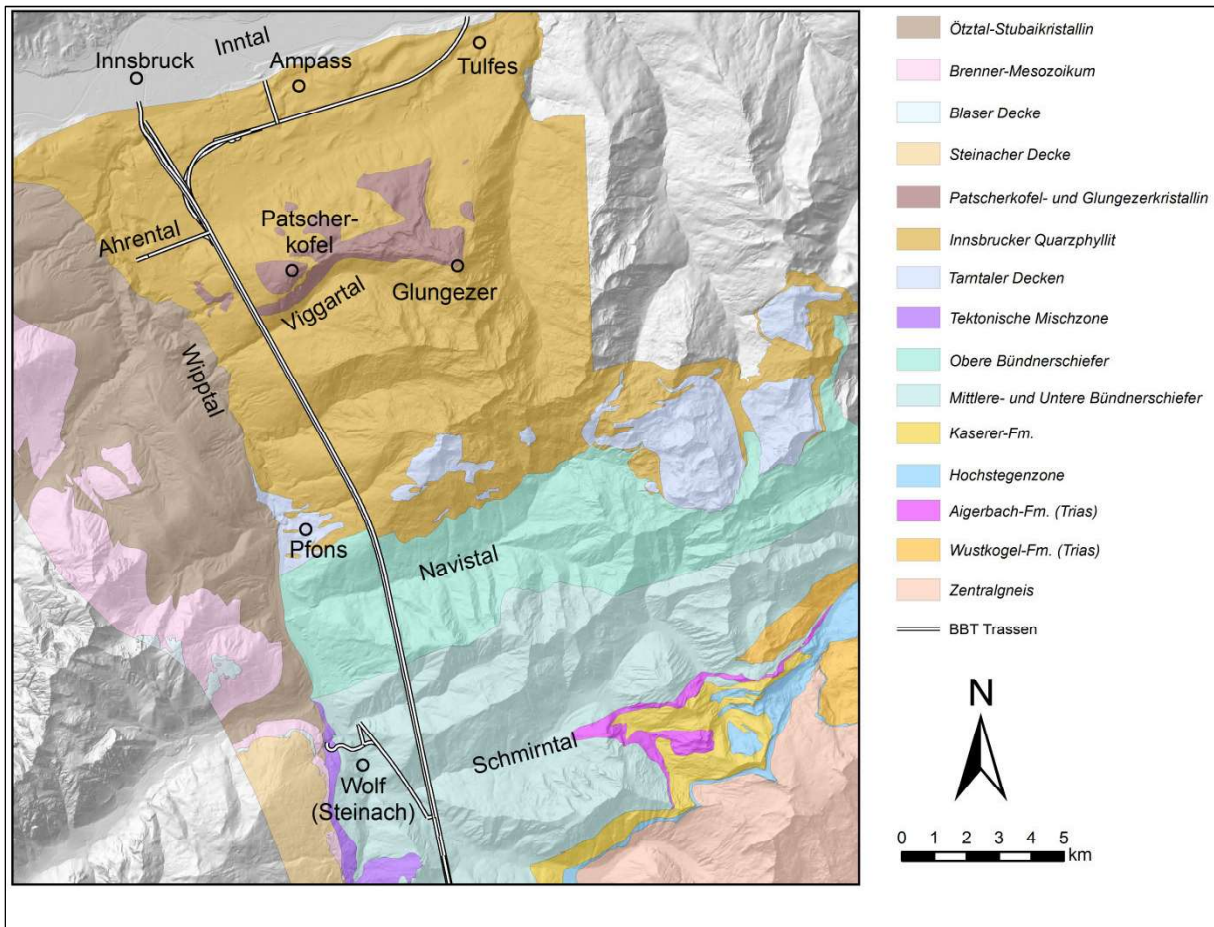
Der Erkundungsstollen Innsbruck-Ahrental und der bisher von der TBM aufgefahrene Abschnitt des Erkundungsstollens Ahrental-Pfons liegen im Bereich des Innsbrucker Quarzphyllitkomplexes (Abb. 2 & 3). Bei diesem handelt es sich um eine intern verfaltete und verschuppte ostalpine Einheit am Nordrand des westlichen Tauernfensters. Der Innsbrucker Quarzphyllitkomplex grenzt im Süden über eine duktile Scherzone an die Gesteine des Tauernfensters und im Westen über die Brenner-Abschiebung an das Ötztal-Stubai-Kristallin. Im Norden taucht der Quarzphyllit unter die quartären Sedimente des Inntals ab, in dem die Inntal-Störung verläuft.

Die Innsbrucker Quarzphyllitzone besteht in der Hauptmasse aus metamorphen Sedimenten des Paläozoikums. Haditsch & Mostler (1982, 1983) bzw. Mostler (1982) führten eine Seriengliederung in den Innsbrucker Quarzphylliten durch, die durch Rockenschaub et al (2003) ergänzt wurde. Damit ergibt sich für die Innsbrucker Quarzphyllitzone eine Untergliederung in 4 Untereinheiten, die stratigraphisch absteigend folgendermaßen bezeichnet werden: Schwarzphyllit-Karbonat-Serie, Karbonat-Serizitphyllit-Serie, Quarzphyllit-Grünschiefer-Serie und Glimmerschiefer-Gneis-Serie (=höhermetamorpher Anteil der Innsbrucker Quarzphyllitzone). Die Innsbrucker Quarzphyllitzone weist einen großräumigen liegenden Isoklinalfaltenbau auf. Die großmaßstäbliche Struktur wird nach Rockenschaub et al. (2003) von einer nach Norden schließenden, überkippt liegenden Antiklinalstruktur gebildet. Den Faltenkern bildet die Glimmerschiefer-Gneis-Serie. Aufgrund stratigraphisch charakteristischer Horizonte ergibt sich für den Schenkel nördlich der Glimmerschiefer-Gneis-Serie eine aufrechte Lagerung, für den südlich anschließenden Bereich eine inverse Lagerung.

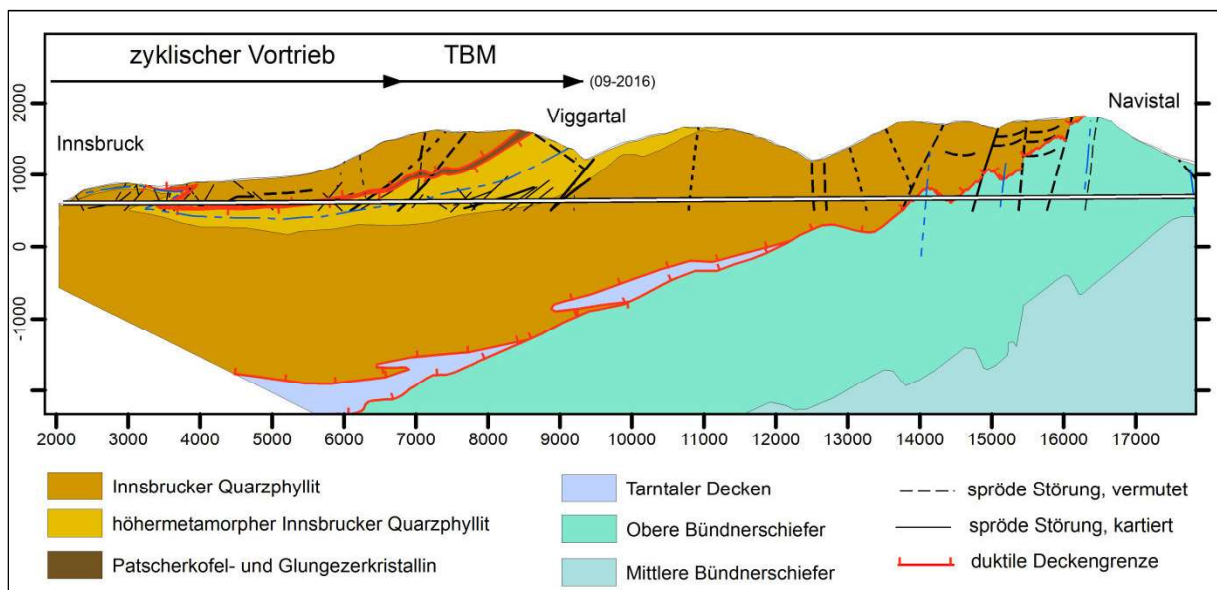
Im Bereich Patscherkofel und Glungezer tritt innerhalb des Innsbrucker Quarzphyllitkomplexes eine Kristallineinheit auf, die als Patscherkofel- und Glungezerkristallin bezeichnet wird (Abb. 2). Ein kleinerer Teil dieses Kristallins bildet am Patscherkofel eine tektonische Klippe (Patscherkofelkristallin s.s.). Die strukturelle Position der anderen Kristallinabschnitte in Bezug auf den Innsbrucker Quarzphyllit ist bis jetzt noch nicht eindeutig geklärt. Eine Einfaltung oder Einschuppung in den Innsbrucker Quarzphyllit war bereits in den Einreichunterlagen des BBT zur Umweltverträglichkeitsprüfung dargestellt (veröffentlicht auf der Homepage des bmvit). Eine bis auf Tunnelniveau sich erstreckende Einfaltung zeigt auch Brandner (2013) in seinem Querprofil durch die Alpen, wobei hier bereits erste Ergebnisse aus dem BBT-Erkundungsstollen eingeflossen sind.

Im Zuge des Vortriebs des Erkundungsstollens zeigte sich, dass Gesteine, die aufgrund lithologischer Korrelation dem Patscherkofel- und Glungezerkristallin zugeordnet werden, bis auf Tunnelniveau reichen (Abb. 3). Es handelt sich dabei um sehr biotitreiche, vielfach granatführende Glimmerschiefer und Gneise. Diese Gesteine treten zwischen Kalkmarmorlagen-führendem Quarzphyllit im Hangenden (vermutlich Karbonat-Serizitphyllit-Serie) und dem höhermetamorphen Quarzphyllit (Glimmerschiefer-Gneis-Serie) im Liegenden auf. Damit wird der Innsbrucker Quarzphyllit zumindest im Bereich der BBT-Trasse in eine liegende und eine hangende (Falten-)Decke mit einem dazwischenliegenden Kristallinspan als Deckenscheider getrennt. Es ist zu beachten, dass aufgrund der inversen Lagerung der liegenden Quarzphyllit-Decke das beschriebene Faltenmodell sowie die erwähnte Seriengliederung des Innsbrucker Quarzphyllits aufrecht bleiben, wobei insbesondere die Abfolge des hangenden Schenkels / der

hangenden Decke durch duktile Abschiebungen tektonisch reduziert vorliegt. Zudem wird der gesamte Komplex noch von spröden Störungen intern zergliedert.



**Abb. 2:** Geologische Übersichtskarte über den nördlichen Projektraum



**Abb. 3:** Geologischer Übersichtslängenschnitt entlang der nördlichen Erkundungsstollenabschnitte

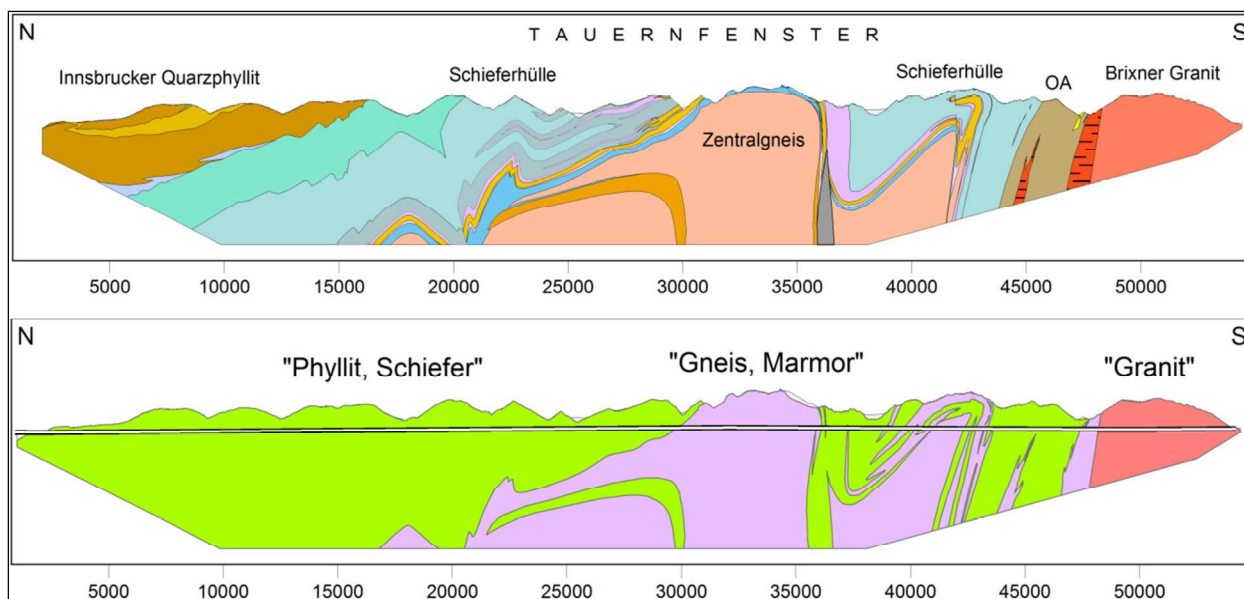
## **5.2. Spröde Störungen**

Für die Baugrundcharakterisierung sind bei der Beschreibung von Störungen in erster Linie sämtliche geometrische Eigenschaften sowie ihre Zusammensetzung von Bedeutung. In Verbindung mit dem Primärspannungszustand und den hydrogeologischen Parametern wird davon das Gebirgsverhalten und in weitere Folge das Systemverhalten beim Hohlraumbau abgeleitet.

Die Zusammensetzung der Störung wird über die Anteile und Anordnung der verschiedenen Störungsgesteine angegeben. Zu den wesentlichen geometrischen Eigenschaften gehören Position, Orientierung, Mächtigkeit und laterale Ausdehnung. Im aufgefahrenen Tunnelabschnitt konnten sowohl hinsichtlich der Zusammensetzung als auch der Geometrie sehr spezifische Eigenschaften der Störungen festgestellt werden, die im Folgenden kurz beschrieben sind. Eine gesamthafte Beschreibung der sprödetektonischen Störungssysteme und ihrer Kinematik erfolgt an dieser Stelle nicht.


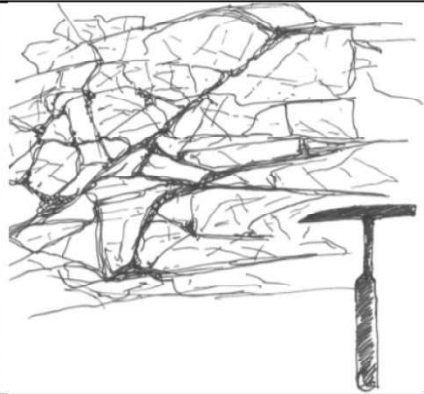



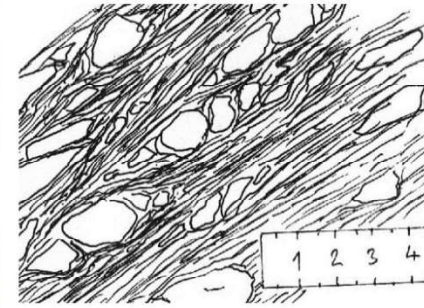


### **5.2.1. Störungsgesteine**





Entlang der gesamten Strecke des BBT treten spröde Störungen in den verschiedenen zu durchörternden Gebirgsabschnitten auf (Abb. 4). Damit einhergehend treten diese Störungen in sehr unterschiedlichen Gesteinen auf. Das Spektrum reicht von den Sedimenten der Maulser Trias über die Magmatite des Südalpins und der Periadriatischen Störungszone bis hin zu verschiedensten metamorphen Para- und Orthogesteinen. Reduziert man jedoch die Gesteine auf lithologische „Grundtypen“ und legt man diese auf den geologischen Längenschnitt um, so erhält man eine stark vereinfachte Darstellung, aus der klar hervorgeht, dass es sich bei einem Großteil der aufzufahrenden Gesteine um geschieferte Metamorphite handelt. Damit einher gehen typische Störungsgesteine, die sich bei bruchhafter Verformung der geschieferten Protolithen bilden. Im Zuge der Vortriebstätigkeiten zeigte sich, dass sich die bestehenden Klassifikationsschemata (e.g.: Heitzmann 1985, Riedmüller et al. 2001, Brodie et al. 2007, Fasching & Vanek 2011) zur Beschreibung dieser Störungsgesteine nicht optimal eignen. Aus diesem Grund wurde aufbauend auf einer bereits bestehenden Klassifikation aus der Vorerkundung (BBT EWIV 2001, BBT SE 2005) ein projektspezifisches Schema für spröde Störungsgesteine sowie das beeinflusste Nebengestein zusammengestellt (Tafeln 1-3; aus Töchterle et al. 2013)

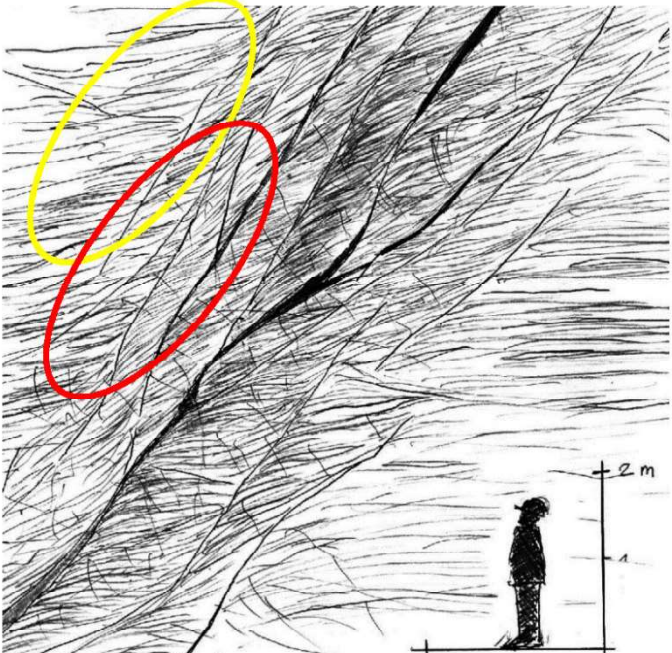


**Abb. 4:** Geologischer Übersichtslängenschnitt entlang des gesamten BBT (oben) und daraus abgeleitete lithologische „Grundtypen“ (unten)



<b>Festgesteinsartige Störungsgesteine - Kataklastite</b>		
<p>Unterschiedliche spröde-tektonische Störungsgesteine mit Festgesteinscharakter und geringen bis hohen Festigkeiten. Die jeweilige Festigkeit ist zurückzuführen auf Restfestigkeit, auf Mineral-Einregelung anstelle völligen Zerbrechens oder auf Zementation.</p> <p>Das Maß der Entfestigung ist durch zusätzliche Begriffe wie <i>stark</i>, <i>mäßig</i> oder <i>gering entfestigt</i> näher zu beschreiben, also z.B.: <i>Protokataklasit, mäßig entfestigt</i></p> <p>Das Maß der Zementierung ist durch zusätzliche Begriffe wie <i>stark</i>, <i>mäßig</i> oder <i>gering</i> näher zu beschreiben, also z.B.: <i>Kataklasit, stark zementiert</i></p>		
Gestein	Beschreibung	Fotos / Skizzen
<b>Protokataklasit</b>	<p>Spröde-tektonisch mäßig durchbewegtes Gestein; geprägt durch eine gegenüber dem Umgebungsgestein wesentlich erhöhte Dichte an Kluft- und Scherflächen mit meist mehreren Vorzugsorientierungen; bei den Scherflächen handelt es sich meist um diskrete Harnischflächen bzw. geringmächtige Scherbahnen; Primärgefüge noch reliktsch vorhanden; Matrixanteil &lt; 10% (ca.); Festigkeit in Form von Restfestigkeit</p>	 
<b>Geschieferter Protokataklasit</b>	<p>Spröde-tektonisch mäßig bis stark durchbewegtes Gestein; geprägt durch engständige Schieferungs- und Scherflächen mit einer dominanten Vorzugsorientierung bei stark streuenden Orientierungswerten der einzelnen Flächen; typisches Sigmoidalgefüge; deutliche Entfestigung entlang dieser Trennflächen; oft intensiv und unregelmäßig verfaltet; Primärgefüge evtl. noch reliktsch vorhanden; Matrixanteil &lt; 10% (ca.); Festigkeit in Form von Restfestigkeit und untergeordnet durch Kornverband infolge von Mineral-Einregelung anstelle völligen Zerbrechens</p>	 
<b>Geschieferter Kataklasit</b>	<p>Spröde-tektonisch stark bis sehr stark durchbewegtes Gestein; geprägt durch eine intensive Schieferung; die tektonische Verformung passierte v.a. entlang neugebildeter bzw. völlig überformter Schieferungsflächen; Festigkeit durch Kornverband infolge von Mineral-Einregelung anstelle völligen Zerbrechens</p>	 
<b>Kataklasit, zementiert</b>	<p>Verschiedene Typen von spröden Störungsgesteinen; durch Zementation verfestigt; sehr vielfältig hinsichtlich Ausbildung und Festigkeit</p>	 

Lockergesteinsartige Störungsgesteine		
Gestein	Beschreibung	Fotos
Kalkirrit	rollig-kohäsionsloses Gesteinszerreibsel im Sand- und Kieskornbereich	 
fault gouge	bindig-kohäsives Gesteinszerreibsel im Feinkornbereich; Kohäsion primär durch intergranulare Haftung im Feinkornbereich; im Projektraum häufig geschiefert	 

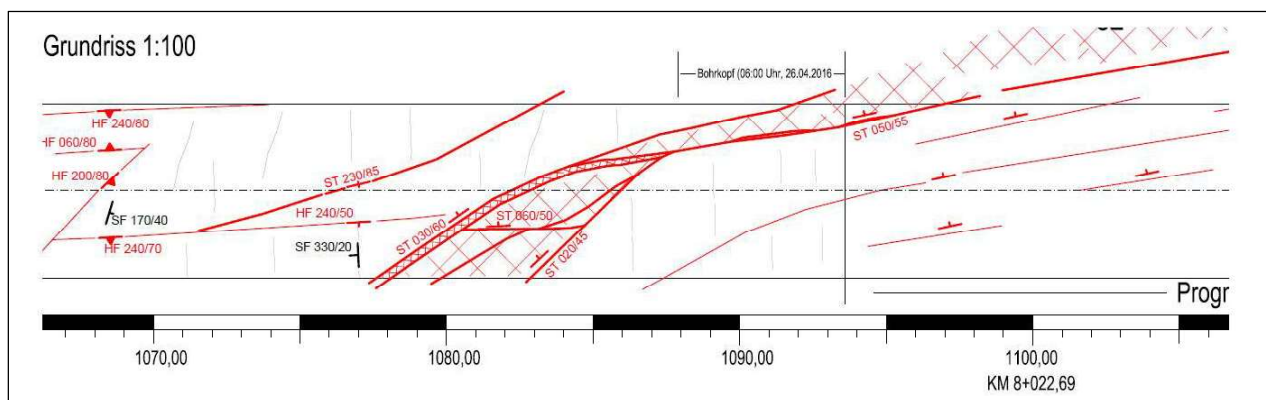
Nebengebirge unter Störungseinfluss		
Bezeichnung	Beschreibung	Skizze
Erhöhte Trennflächendichte	Gebirge mit erhöhter Trennflächendichte, sowie vermehrtem Auftreten von Harnischflächen. Ein direkter Störungseinfluss ist nicht sofort zu erkennen. Die erhöhte Dichte an Trennflächen zeigt sich oft erst im Zuge der graphischen Darstellung oder nachfolgenden Auswertung des betreffenden Abschnittes (Tunnelband, GSI,...). (gelb markierter Bereich in der Skizze)	
Zerrüttungszone	Gebirge mit deutlich erhöhter Trennflächendichte und schieferungsparalleler Entfestigung, sowie deutlich vermehrtes Auftreten von Harnischflächen. Das Gebirge ist zerrüttet und bereits an der Ortsbrust als deutlich gestört erkennbar. (rot markierter Bereich in der Skizze)	

**Tafeln 1-3:** BBT-Klassifikationsschema für Störungsgesteine und beeinflusstes Nebengestein (aus Töchterle et al. 2013)

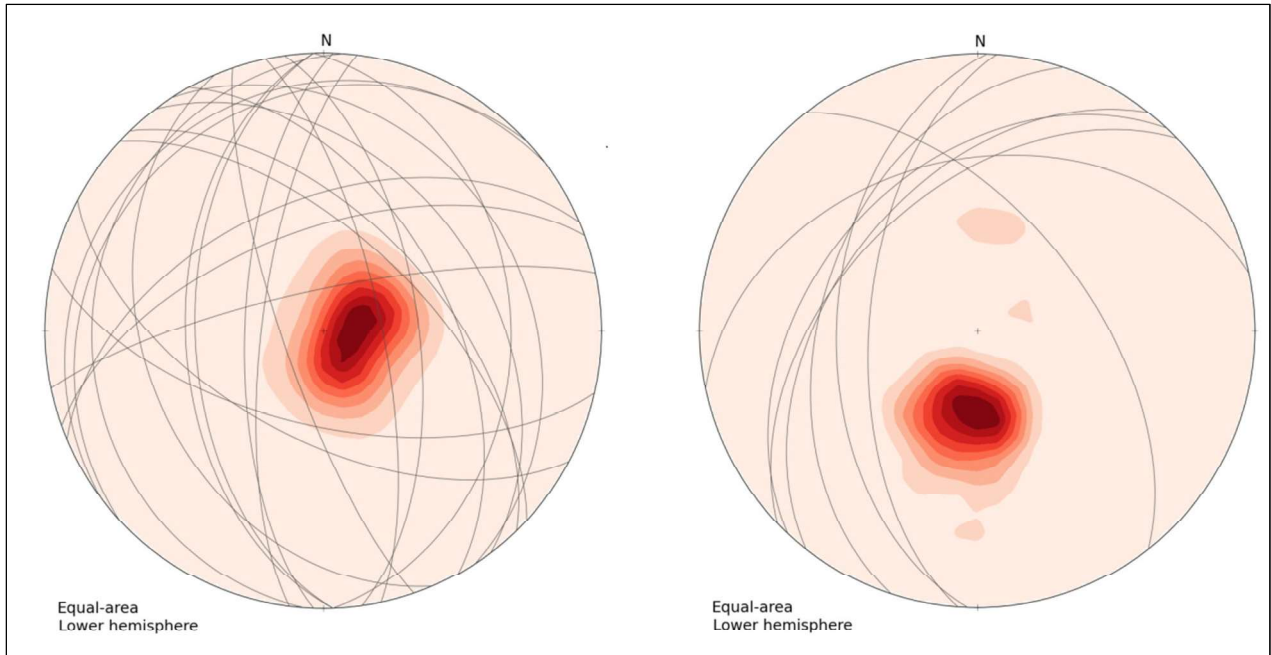
### 5.2.2. Orientierung der Störungen

Die einzelnen Störungen sind häufig stark gebogen und die Orientierungswerte variieren stark entlang einer Struktur (Abb. 5). Die Strukturen sind jedoch keineswegs regellos im Raum verteilt, sondern es pendeln sowohl die Orientierungswerte entlang einer einzelnen Störung als auch die Orientierungen der Störungen insgesamt um bestimmte Maxima (=Orientierungen der jeweiligen Störungssysteme).

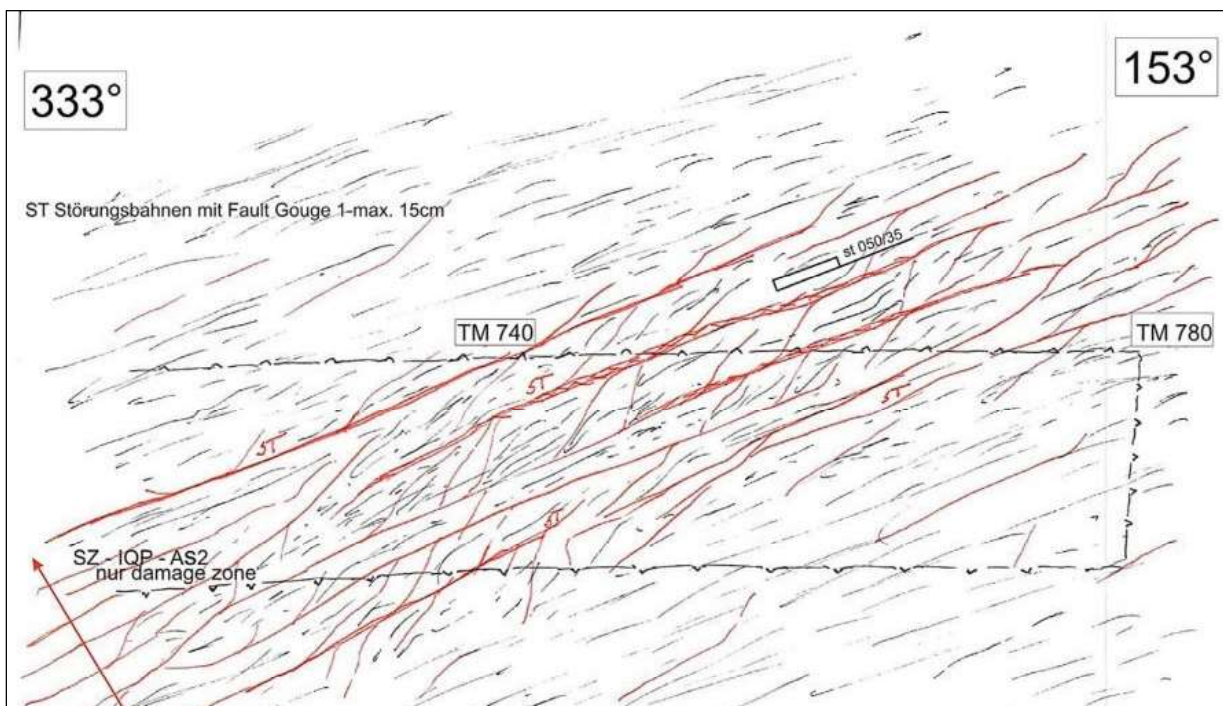
Zudem kann eine starke Beeinflussung der Ausrichtung der Störung durch die penetrative Haupt-Schieferungsrichtung festgestellt werden. In Abb. 6 wird die Orientierung der Schieferung mit den Orientierungen der aufgefahrenen Störungszonen verglichen. Dabei zeigt sich, dass bei überwiegend flach lagernder Schieferung Störungen mit verschiedensten Einfallrichtungen auftreten, während bei geneigter Schieferung ähnlich dazu orientierte Störungen klar dominieren. Untergeordnet treten auch hier davon abweichend orientierte Störungen in den verschiedenen Maßstäben auf. Die Orientierung der Schieferung wird vor dem Hintergrund des Spannungsregimes, das für die Bildung der Störung verantwortlich war, als wesentlicher Einflussfaktor für die Ausrichtung der Störung angesehen. Die Störungen verlaufen abschnittsweise häufig entlang der Schieferung und um dann wieder aus dieser herauszutreten und sie zu versetzen (Abb. 7). Auch ein Aufspießen und Verlaufen in der Schieferung ist häufig zu beobachten. Es bilden sich breite Zerrüttungszonen, mit dicht gestaffelten, schieferungsparallelen Bewegungsflächen.



**Abb. 5:** Plandarstellung einer steilstehenden schleifenden Störung im TBM-Vortrieb (Angaben sind Tunnelmeter) zeigt deutliche Schwankungen in Bezug auf ihre Orientierung (Geologischer Wochenbericht BBT, Heimo Schierl, 2016)



**Abb. 6:** Dargestellt sind Contourplots der Polpunkte der Schieferung überlagert von Großkreis-Darstellungen der im Vortrieb dokumentierten Störungszonen aus den jeweiligen Abschnitten im Quarzphyllit (links: Nordabschnitt, Projektkilometer 2,1 - 6,55; rechts: Südabschnitt Projektkilometer 6,55 - 9,1)



**Abb. 7:** Skizze einer schieferungsparallelen Störung im TBM-Vortrieb (Angaben sind Tunnelmeter)

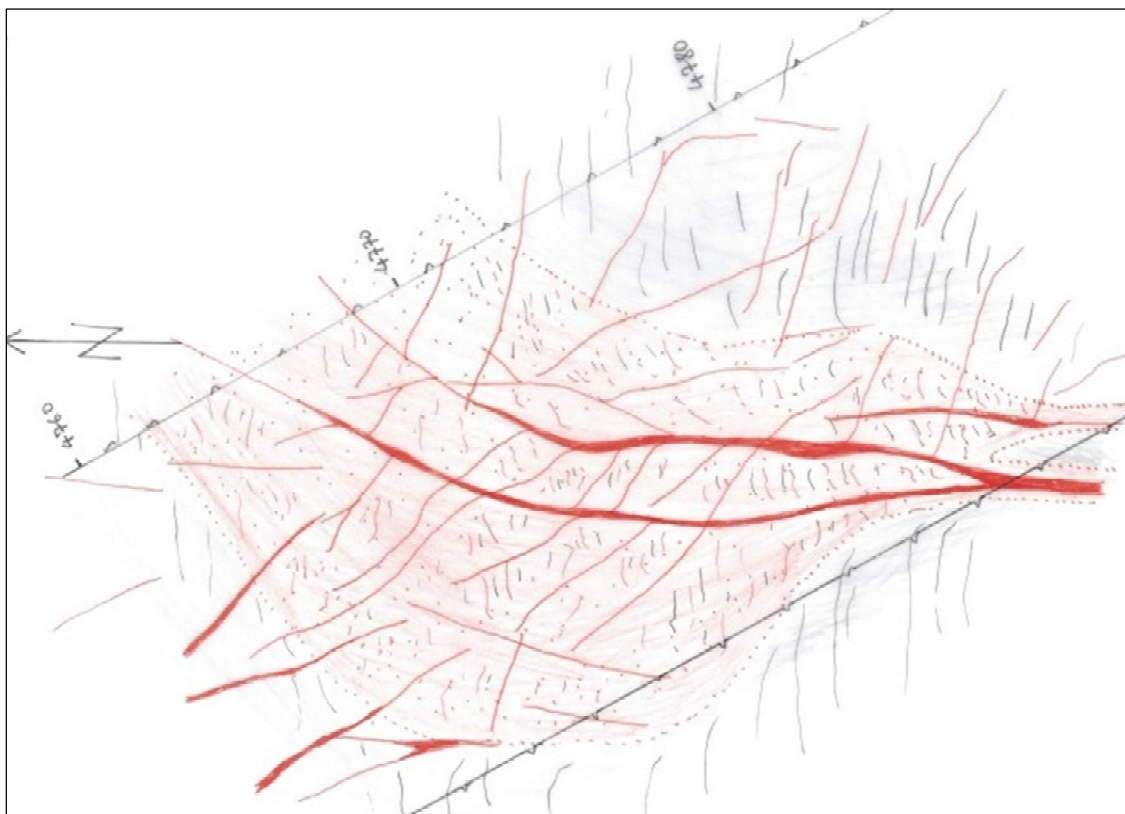
### 5.2.3. Mächtigkeit und Zusammensetzung der Störungen

Den typischen Aufbau von Störungen mit einer Kernzone, die sich auch durchaus verzweigen kann und randlich begleitenden Zerrüttungs- und Auflockerungszonen findet man auch im Innsbrucker Quarzphyllit. In der Kernzone treten meist Protokataklasit und *fault gouge* auf, während in den Randzonen ein geringerer Zerlegungsgrad anzutreffen ist. Es kann dabei eine große Schwankungsbreite hinsichtlich der

Mächtigkeit und der Anteile der verschiedenen Störungsgesteine festgestellt werden (Abb. 8 & 9). Entlang einzelner Strukturen konzentriert sich dabei die Verformung abschnittsweise an engen Stellen, um sich dann wieder über eine breitere Zone zu erstrecken. Naturgemäß sind in den Engstellen Bereiche mit stark zerriebenem Material (e.g.: *fault gouge*) mächtiger ausgebildet als in den breiten Störungszonenabschnitten. Der volumetrische Anteil von *fault gouge* an der Kernzone kann in kurzen Abschnitten damit bis zu Werten im Bereich von 50% ansteigen, während er zum überwiegenden Teil bei ca. 3-15% liegt.



**Abb. 8:** Foto einer schleifenden, mittelsteil nach W einfallenden Störungs-Kernzone mit variierender Mächtigkeit und Zusammensetzung im Bereich der rechten unteren Tunnellaibung im TBM-Vortrieb bei Projektkilometer 8,38



**Abb. 9:** Skizzierte Plandarstellung einer schleifenden, nach Westen einfallenden Störung im Bereich des konventionellen Vortriebs (Angaben sind Tunnelmeter) mit extremer lateraler Schwankung in Bezug auf Mächtigkeit (3-12m) und prozentuellen Zusammensetzung (hellrot: Protokataklasit, dunkelrot: fault gouge)

## 6. Schlussbemerkungen

Der Bau des Erkundungsstollens liefert geologische Information, die bei der Planung der Haupttröhren in den verschiedenen Projektphasen wertvolle Datengrundlagen darstellen. Insbesondere spröde Störungen stellen beim unterirdischen Hohlrumbau eine Herausforderung dar. Die Kenntnis über die Lage und die Ausprägung dieser Strukturen kann von entscheidender Bedeutung für die erfolgreiche Verwirklichung von Tunnelbauten sein, wobei dies für maschinelle Vortriebe zu wesentlichen Teilen sogar verstärkt gilt. Die BBT SE legt daher größten Wert auf eine möglichst detaillierte sowie sachgerechte Dokumentation und Interpretation aller verfügbaren Erkundungsergebnisse.

## 7. Literatur

- AMBERG TECHNOLOGIES: [WWW.AMBERGTECHNOLOGIES.CH](http://WWW.AMBERGTECHNOLOGIES.CH)
- BBT EWIV (2001): Geologie, Erkundung, Strukturtektonik, Schlußbericht. – Unveröffentl. Bericht von Brandner, R., Decker, K., Ortner, H., Reiter, F., Bistacchi, A., Massironi, M., 82 S.
- BBT SE (2005): Charakterisierung von Störungszonen, Österreichischer Abschnitt. – Unveröffentl. Bericht von Decker, K., Reiter, F., Brandner, R., 293 S.

- BBT SE (2008): Haupttunnel, Geologie, Geologisches Modell. – UVE, Geologie, Geotechnik und Hydrogeologie, Technischer Bericht, G 1.2a-02 von Brandner, R., 105 S., [www.bmvit.gv.at](http://www.bmvit.gv.at).
- Bergmeister, K, Töchterle, A. (2013): Brenner Basistunnel: Wichtigkeit der Vorauserkundung / Brenner Base Tunnel: Importance of Preliminary Prospection. – Tunnel, 1/13: S. 12-23.
- Bonzanigo, L., Oppizzi, P. (2006): Low angle fault zones and TBM excavation in Bodio section of Gotthard Base Tunnel. – In: Löw, S. (ed.): Geologie und Geotechnik der Basistunnel am Gotthard und am Löttschberg, S. 155-165, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Zürich.
- Brandner, R., (2013): Alpen-Profil - Geologischer Schnitt von Bad Tölz bis zum Schlern. Innsbruck.
- Brodie, K, Fettes, D., Harte, B., Schmid, R. (2007): 3. Structural terms including fault rock terms. Recommendations by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks. Web version of 01.02.07.
- Fasching, F., Vanek, R. (2011): Engineering geological characterisation of fault rocks and fault zones / Ingenieurgeologische Charakterisierung von Störungsgesteinen und Störungszonen. – Geomechanics and Tunneling, 4 (3): S. 181-19.
- Frei, B., Breitenmoser, T. (2006): Geologisch-geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse im Vortrieb Amsteg: Vergleich zwischen Prognose und Befund – In: Löw, S. (ed.): Geologie und Geotechnik der Basistunnel am Gotthard und am Löttschberg, S. 101-117, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Zürich.
- Haditsch, G & Mostler, H., (1982): Zeitliche und stoffliche Gliederung der Erzvorkommen im Innsbrucker Quarzphyllit. – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 12: S. 1-40.
- Haditsch, G & Mostler, H., 1983. The Succession of Ore Mineralization of the Lower Austroalpine Innsbruck Quartzphyllite. In: Schneider, H.J. (ed.): Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe, S. 51-59, Proceedings of the IV ISMIDA, Berchtesgaden.
- Heitzmann, P. (1985): Kakirite, Kataklasite, Mylonite - Zur Nomenklatur der Metamorphite mit Verformungsgefügen. – Eclogae geol. Helv., 78 (2): S. 273-286.
- Mostler, H., Heissel, G. & Gasser, G., (1982): Untersuchung von Erzlagerstätten im Innsbrucker Quarzphyllit und auf der Alpeiner Scharte. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 1: S. 77-83.
- Riedmüller, G, Brosch, F.J., Klima, K. & Medley E.W. (2001): Engineering Geological Characterization of Brittle Faults and Classification of Fault Rocks. – Felsbau, 19 (4): S. 13-18.

- Rockenschaub, M., Kolenprat, B, Nowotny, A., (2003): Innsbrucker Quarzphyllitkomplex, Tarentaler Mesozoikum, Patscherkofelkristallin. – Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt. Geologische Bundesanstalt, Trins, S. 41-58.
- Töchterle, A., Schierl, H., Reinhold, C. (2013): Ingenieurgeologische Charakterisierung von Störungszonen im Innsbrucker Quarzphyllit. In: Workshop „Characterization of Fault Zones“. – Extended abstracts, ÖGG Congress, 2013: S. 6-12.