




Langbericht Nr. Codice generale		Einlage Allegato		U-III.0-1.0-01-06		Ausfertigung Identificativo copia	
<b>AUSBAU EISENBAHNACHSE MÜNCHEN - VERONA</b>				<b>POTENZIAMENTO ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA</b>			
<b>BRENNER BASISTUNNEL</b>				<b>GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b>			
<b>UVE</b>				<b>DCA</b>			
<b>Technische Projektaufbereitung</b>				<b>Elaborazione tecnica del progetto</b>			
Fachbereich				Settore			
Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie				Geologia, geotecnica, idrogeologia			
Thema				Tema			
Haupttunnel				Galleria principale			
Technischer Bericht G 1.2b-01				Relazione tecnica G 1.2b-01			
Titel				Titolo			
Geotechnik				Geotecnica			
Ausgangssprache :		Italienisch		Maßstab / Scala			
Lingua di partenza :		Italiano		<div style="text-align: center;"> <p>DIESES PROJEKT WIRD VON DER EUROPÄISCHEN UNION KOFINANZIERT</p>  <p>QUESTO PROGETTO È COFINANZIATO DALL' UNIONE EUROPEA</p>  <p><b>Galleria di Base del Brennero Brenner Basistunnel BBT SE</b></p> <p>Piazza Stazione, 1      Grabenweg 3 I-39100 Bolzano      A-6020 Innsbruck</p> <p><i>Vorstand / Organo di gestione</i></p> <p>Konrad Bergmeister      Ezio Facchin</p> </div>			
Projektkilometer / Progressiva di progetto							
Von da	1+574,000	Bis a	39+000,000				
Verfasser: Progettista:		Fertigung: Firma:					
		<div style="text-align: center;">Max John</div>					
		Datum: Data: 29-02-2008					
Kostenstelle Centro di costo	Anlage Impianto	Kilometrierung Progressiva chilometrica	Gegenstand Oggetto	Vertrag Contratto	Dok Typ Tipo doc	Nummer Numero	Revision Revisione
1	01	000 - HT	000 000 - GT	D0154	TB	00021	10

<b>Bearbeitungsstand Stato di elaborazione</b>			
<b>Revision Revisione</b>	<b>Änderungen Cambiamenti</b>	<b>Verantwortlicher Dokument Responsabile documento</b>	<b>Datum Data</b>
<b>10</b>	Einreichexemplar Esemplare per la procedura autorizzativa	<b>John</b>	<b>29.02.2008</b>

- \* **DER IN DER TABELLE ANGEFÜHRTE VERANTWORTLICHE IST VERANTWORTLICH FÜR DIE BEARBEITUNG, DIE PRÜFUNG UND DIE NORMPRÜFUNG DES DOKUMENTES**
- \* **IL RESPONSABILE INDICATO NELLA TABELLA É RESPONSABILE PER L'ELABORAZIONE, LA VERIFICA E LA CONFORMITÀ ALLE NORMATIVE**

## INHALTSVERZEICHNIS INDICE

<b>1.</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>5</b>
<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>KURZFASSUNG .....</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>RELAZIONE DI SINTESI .....</b>	<b>7</b>
<b>3.</b>	<b>AUFGABENSTELLUNG .....</b>	<b>10</b>
<b>3.</b>	<b>OBIETTIVI DELLO STUDIO .....</b>	<b>10</b>
<b>4.</b>	<b>METHODOLOGIE .....</b>	<b>10</b>
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>10</b>
4.1.	Vorgehensweise .....	10
4.1.	Procedimento .....	10
4.2.	Grundlagen .....	11
4.2.	Fundamenti teorici .....	11
4.2.1.	Ermittlung der Festigkeitseigenschaften .....	11
4.2.1.	Determinazione delle proprietà di resistenza .....	11
4.2.2.	Bestimmung des E-Moduls .....	13
4.2.2.	Determinazione dell'e modul .....	13
4.3.	Ermittlung der Gebirgsarten (GA) .....	14
4.3.	Determinazione dei tipi di ammasso roccioso (GA) .....	14
4.4.	Primärspannungen .....	16
4.4.	Tensione primaria .....	16
4.5.	Einfluss des Bergwassers .....	18
4.5.	Influenza dell'acqua di versante .....	18
4.6.	Quell- und Schwellerscheinungen .....	18
4.6.	Problemi di swelling .....	18
4.7.	Gebirgsverhalten .....	18
4.7.	Comportamento dell'ammasso roccioso .....	18
4.8.	Charakterisierung der Störzonen .....	23
4.8.	Caratterizzazione delle zone di faglia .....	23
4.8.1.	Allgemeines .....	23
4.8.1.	Generale .....	23
4.8.2.	Beschreibung der Störzonen .....	23
4.8.2.	Presentazione delle zone di faglia .....	23
4.8.3.	Kennwerte der Störzonen .....	24
4.8.3.	Parametri delle zone di faglia .....	24
4.8.4.	Gebirgsverhalten der Störzonen .....	25
4.8.4.	Comportamento delle zone di faglia .....	25
4.8.5.	Legende für die Tabellen .....	26
4.8.5.	Legenda per le tabelle .....	26

<b>5.</b>	<b>HOMOGENBEREICHE .....</b>	<b>27</b>
<b>5.</b>	<b>AREE OMOGENEE .....</b>	<b>27</b>
5.1.	Allgemeines .....	27
5.1.	Generalità .....	27
5.2.	Haupttunnel .....	27
5.2.	Galleria principale .....	27
5.3.	Zugangsstollen .....	27
5.3.	Galleria di accesso .....	27
5.4.	Entwässerungsstollen .....	28
5.4.	Cunicolo di drenaggio .....	28
5.5.	Multifunktionsstellen .....	29
5.5.	Posti multifunzione .....	29
<b>6.</b>	<b>VERZEICHNISSE .....</b>	<b>31</b>
<b>6.</b>	<b>ELENCHI .....</b>	<b>31</b>
6.1.	Tabellenverzeichnis .....	31
6.1.	Elenco delle Tabelle .....	31
6.2.	Abbildungsverzeichnis .....	31
6.2.	Elenco delle illustrazioni .....	31
6.3.	Literatur und Quellen .....	31
6.3.	Bibliografia e fonti .....	31
6.3.1.	Literatur .....	31
6.3.1.	Bibliografia .....	31
6.3.2.	Quellen .....	32
6.3.2.	Fonti .....	32
6.4.	Abkürzungsverzeichnis .....	32
6.4.	Elenco delle abbreviazioni .....	32
6.5.	Pläne und sonstige Unterlagen .....	32
6.5.	Elaborati grafici ed ulteriore documentazione .....	32
6.5.1.	Zugehörige Pläne .....	32
6.5.1.	Elaborati grafici attinenti .....	32
6.5.2.	Zugehörige Unterlagen .....	32
6.5.2.	Documentazione attinente .....	32

## 1. EINLEITUNG

Der Brenner-Basistunnel sieht gemäß der Machbarkeitsstudie 1987 zwischen Innsbruck und Franzensfeste einen ca. 56 km langen Tunnel östlich der Brennerfurche vor, der über Fensterstollen mit dem Wipptal und dem Eisacktal verbunden wird.

Seit dem Jahr 2000 wurden in zwei Phasen umfassende geologische Erkundungsmaßnahmen (Oberflächengeologie, Erkundungsbohrungen, Geophysik) durchgeführt. Die Phase 1 wurde 2002 mit der Trassenwahl abgeschlossen.

Die der Phase 2 bis Mai 2005 durchgeführten Erkundungen haben zu einer Trassenoptimierung geführt, die im Bericht „Trassenoptimierung“ erläutert ist.

Die Ergebnisse der Phase 2 haben zu einer geotechnischen Neubewertung des Überganges von Innsbrucker Quarzphyllit zu Glockner Decke und der so genannten „Nordrahmenzone“ geführt.

Im vorliegenden Bericht werden die geotechnischen Verhältnisse des Basistunnels vom Nordportal bis in den Bereich des Pfitschtales beschrieben. Die Beschreibungen für den Abschnitt von der Staatsgrenze bis zum Pfitschtal stimmen mit den Unterlagen für das Progetto Definitivo überein.

Folgende Bauteile werden charakterisiert:

- Haupttunnel vom Nordportal bis km 39 (Pfitschtal)
- Zufahrtsstollen Ahrental
- Zufahrtsstollen Wolf
- Verbindungstunnel Oströhre
- Verbindungstunnel Weströhre
- Entwässerungsstollen

## 1. INTRODUZIONE

Lo studio di fattibilità del 1987 per la Galleria di Base del Brennero (BBT) prevedeva la costruzione di una galleria di circa 56 km ad est del solco del Brennero, tra Innsbruck e Fortezza, collegata con la Wipptal e la Valle Isarco tramite varie finestre intermedie.

Dall'anno 2000 sono stati condotti interventi geologici di prospezione (geologia di superficie, sondaggi geognostici, geofisica) articolati in 2 fasi. La fase 1 è stata ultimata nel 2002 con la scelta del tracciato.

Le esplorazioni eseguite nella fase 2 fino al maggio 2005 hanno portato all'ottimizzazione del tracciato, come descritto nella relazione "Ottimizzazione del tracciato".

I risultati della fase 2 hanno portato ad una nuova valutazione geotecnica del passaggio dalla fillade quarzifera di Innsbruck alla falda del Glockner e della cosiddetta "zona della finestra dei Tauri".

La presente relazione descrive le caratteristiche geotecniche della Galleria di base del Brennero dal portale nord all'area della Val di Vizze. Le descrizioni del tratto compreso tra il confine di Stato e la Val di Vizze corrispondono ai documenti per il Progetto Definitivo.

Si caratterizzano i seguenti elementi costruttivi:

- Galleria principale dal portale nord al km 39 (Val di Vizze)
- Cunicolo di accesso Ahrental
- Cunicolo di accesso Wolf
- Galleria di collegamento est
- Galleria di collegamento ovest
- Cunicolo di drenaggio



## 2. KURZFASSUNG

Für die geotechnische Bewertung wird der Basistunnel in folgende Abschnitte unterteilt:

- **Km 1,574 (bergmännisches Portal Oströhre) bis Km 2,40**

In der Oströhre wird anfänglich zu Nachbrüchen neigendes Gebirge erwartet. Beidseitig der Sillschlucht wird stark zerlegtes Gebirge erwartet, welches weitreichende Ausbrüche bedingt. Möglicherweise sind die Rutschungen langfristig aktiv. Im Bereich der Unterfahrung der Sillschlucht ist mit fließendem Gebirge zu rechnen, welches dem Vortrieb vorausseilend stabilisiert werden muss.

Die Weströhre muss in der aktiven Rutschmasse angeschlagen werden, die auf nahezu 100 m zu durchörtern ist. Es sind entsprechende Vorkehrungen zur Stabilisierung und Aufnahme von erheblichen Deformationen erforderlich.

- **Km 2,40 – 13,96 Unterostalpin / Innsbrucker Quarzphyllitzone**

Analog zum Inntaltunnel wird außerhalb von Störzonen nachbrüchiges Gebirgsverhalten erwartet, welches mit zunehmender Überlagerung zu Scherversagen neigt und bei Annäherung an das Tauernfenster in Druckerscheinungen übergeht. Entscheidend beeinflusst wird das Gebirgsverhalten von den Störzonen. Die gering mächtigen querschlägig verlaufenden Störungen wirken sich untergeordnet aus. Ab einer Verschnittlänge mit dem Tunnel von > 10 m werden diese maßgebend. Kritisch sind die mächtigen Inntal- und Ahrentalstörungen sowie die spitzwinklig verlaufenden Wipptal-Abschiebungen, die weitreichende Ausbrüche und Verformungen verursachen werden.

- **Km 13,96 – 19,04 Nordrahmenzone des Tauernfensters**

Die Verhältnisse sind stark wechselhaft, sie variieren zwischen nachbrüchig / stark nachbrüchig / Scherversagen. Die anhydritführenden Lagen sind auf cm – Bereiche begrenzt und daher nicht maßgebend. Allerdings sind größere exotische Schollen von Anhydrit, Dolomit, etc. nicht auszuschließen. Auch in diesem Abschnitt prägen die Störungen das Gebirgsverhalten. Neben der mächtigen voraussichtlich 50 m mächtigen Miskopf-

## 2. RELAZIONE DI SINTESI

Per la valutazione geotecnica la Galleria di base del Brennero viene suddivisa nei seguenti tratti:

- **Km 1,574 (portale scavato in tradizionale canna orientale) – Km 2,40**

All'inizio della canna orientale si prevede la presenza di un ammasso roccioso tendente a distacchi. Su entrambi i lati della forra del Sill si prevede la presenza di un ammasso roccioso molto frammentato che comporta ampi distacchi. Probabilmente gli scivolamenti sono attivi per lungo tempo. Nell'area dello scavo della galleria della forra del Sill si presume la presenza di roccia a comportamento plastico che prima dell'avanzamento deve essere stabilizzata.

La canna occidentale deve essere scavata nella massa di scivolamento, che deve essere penetrata per 100 m circa. È necessario adottare le misure appropriate per stabilizzare e assorbire le deformazioni evidenti.

- **Km 2,40 – 13,96 Austroalpino inferiori / Fillade quarzifera di Innsbruck**

Al di fuori delle zone di faglia si prevede che l'ammasso roccioso sia tendente a distacchi similmente a quanto è stato accertato nella galleria della Valle dell'Inn. Con l'aumentare della copertura nei cedimenti ai tagli e con l'avvicinamento al Tauernfenster questa tendenza a distacchi diventa fenomeno di tensione. Il comportamento geomeccanico delle zone di faglia viene influenzato in modo determinante: le faglie poco spesse e trasversali influiscono in modo secondario e diventano decisive da quando la lunghezza del taglio con la galleria è > 10 m.

Invece sono critiche le potenti faglie della Inntal e dell'Ahrental nonché le faglie a scorrimento ad angolo acuto che causeranno esaustivi distacchi e deformazioni.

- **Km 13,96 – 19,05 ca. Zona settentrionale della Finestra dei Tauri**

Le caratteristiche geomeccaniche sono molto mutevoli, variano tra la tendenza a distacchi / forte tendenza a distacchi / cedimento al taglio. Gli strati anidritici si limitano alla scala centimetrica e, di conseguenza, non sono determinanti. Anche in questo tratto le faglie caratterizzano il comportamento dell'ammasso. Oltre alla faglia settentrionale del Miskopf-Tauern, presumibilmente spesso 50 m, si devono osservare anche qui le faglie

Tauernnordrandstörung sind auch hier die spitzwinklig verlaufenden Störungen der N-S streichenden Abschiebungen zu beachten.

- **Km 19,04 – 28,44 Glocknerdecke**

Die Verhältnisse sind stark wechselhaft, sie variieren zwischen nachbrüchig / stark nachbrüchig / Scherversagen. Im südlichen Bereich ist bei Antreffen von vermehrten Schwarzphylliten leicht druckhaftes Gebirge zu erwarten. Bei Antreffen der Anhydrite werden keine hohen Schwelldrücke erwartet. Andererseits ist es möglich, dass die Anhydrite bereits ausgelaugt wurden und demnach mit rolligem Gebirge zu rechnen ist. Auch in diesem Abschnitt sind die spitzwinklig verlaufenden Störungen der N-S streichenden Abschiebungen zu beachten.

- **Km 28.44 – 30.33 Faltenbau: Untere Schieferhülle / Glocknerdecke**

Dieser Abschnitt ist wiederum von sehr wechselhaften Gebirgsverhältnissen geprägt; es ist überwiegend mit Scherversagen und tiefreichender Entfestigung und mit starkem Wasserzutritt zu rechnen, welcher vorsehend zu fassen ist, um das angegebene Gebirgsverhalten zu ermöglichen. Örtlich ist mit Auslaugungen und Materialaustrag zu rechnen, die rolliges Gebirge bedingen. Zudem ist mit vermehrtem Antreffen der N-S streichenden Abschiebungen zu rechnen, die erhöht druckhaftes Verhalten verursachen.

- **Km 30.33 – 35,88 Zentralgneis**

Der Zentralgneis dürfte generell standfest sein, mit Kluftkörperablösungen ist zu rechnen; bei hoher Überlagerung sind Bergschläge möglich. Im Bereich der Olperer Störungen sind Druckerscheinungen zu erwarten, ansonsten dürften die Störungen das Gebirgsverhalten nicht maßgeblich beeinflussen.

- **Km 35,88 – 37,24 Untere Schieferhülle südlich des Zentralgneis**

Die Wechselfolgen der Gebirgsarten und deren Variabilität erschweren die Charakterisierung des Gebirgsverhaltens, welches überwiegend durch Scherversagen bestimmt wird. Die querverlaufenden Störungen verstärken das Scherversagen. Einschaltungen von Evaporiten können Anhydritschwellen verursachen. Andererseits ist es möglich, dass die Anhydrite zu Kristallsand aufgelöst wurden.

che corrono ad angolo acuto delle faglie a scorrimento verticale con direzione N-S.

- **Km 19,04 – 28,44 Falda del Glockner**

Le caratteristiche geomeccaniche sono molto mutevoli, variano tra la tendenza a distacchi / forte tendenza a distacchi / cedimento al taglio. Nell'area meridionale, nel caso dell'intercettazione di maggiori quantità di filladi nere, è attesa la roccia spingente. Nel caso dell'intercettazione di anidrite non sono attese alte pressioni di rigonfiamento. D'altra parte l'anidrite potrebbe essere già lisciviata e, di conseguenza, sarebbe da attendere roccia incoerente. Anche in questo tratto si devono osservare le faglie che corrono ad angolo acuto delle faglie a scorrimento verticale con direzione N-S.

- **Km 28.44 – 30.33 Pieghe al limite della Schieferhülle inferiore / Falda del Glockner**

Anche questo tratto dispone di caratteristiche geomeccaniche molto mutevoli. Prevalentemente sono attesi cedimenti ai tagli e allentamenti profondi con forti venute d'acqua che devono essere captate preventivamente allo scavo al fine di consentire il comportamento dell'ammasso roccioso indicato. Localmente sono attesi delle lisciviazioni e dei flussi di materiale da ricondurre alla roccia incoerente. Inoltre è attesa una maggiore intercettazione delle faglie con direzione N-S che comportano un elevato comportamento spingente.

- **Km 30.33 – 35,88 Gneiss centrale**

Lo Gneiss centrale dovrebbe essere generalmente stabile, ci sono distaccamenti di corpi rocciosi tramite fratture; in presenza di una copertura alta sono possibili manifestazioni di Bergschlag. Nell'area delle faglie di Olperer sono molto probabili i fenomeni di tensione, ad ogni modo le faglie non dovrebbero influire molto sul comportamento dell'ammasso roccioso.

- **Km 35,88 – 37,24 Schieferhülle inferiore a sud dello Gneiss centrale**

L'alternanza dei tipi di roccia e la loro variabilità rendono difficile la caratterizzazione del comportamento geomeccanico che è determinato prevalentemente dal cedimento al taglio, a sua volta rafforzato dalle zone di faglia trasversali. Le intercalazioni di evaporite possono causare i rigonfiamenti di anidrite. D'altra parte è possibile che l'anidrite si sia già sciolta in sabbia cristallina.



#### □ Km 37,24 – 39,00 Glockner Decke (Obere Schieferhülle)

Auch in diesem Bereich überwiegt Scherversagen entlang der Schieferung oder an Trennflächen. Die teilweise spitzwinkelig verlaufenden Störzonen verstärken die Nachbrüche und können zu leicht druckhaftem Verhalten führen

##### • Zufahrtsstollen Ahrental L = 2.407 m

Im durchgängig aufzufahrenden Innsbrucker Quarzphyllit wird ausgenommen im Eingangsbereich nachbrüchiges Gebirge erwartet. Die Wipptaler Abschiebungen können örtlich Druckerscheinungen bewirken

##### • Zufahrtsstollen Wolf L = 3.143 m

Erwartet werden bereichsweise kalkarme, bereichsweise kalkreiche Bündner Schiefer, die auf Grund der Scherbeanspruchung hohlraumnah versagen. Die unterschiedliche Orientierung des Stollens wird den Einfluss der Lagerung aufzeigen. Die Störzonen verstärken das Scherversagen und resultieren in Druckerscheinungen.

##### • Verbindungstunnel Ost L = 4.523 m

Im Verbindungstunnel wird ebenfalls durchgängig Innsbrucker Quarzphyllit durchörtert. Beim Abzweig vom Basistunnel sind anfänglich die Verhältnisse mit jenen des Basistunnels vergleichbar, nach dem Einschwenken in die Ost-Westrichtung ähneln die Verhältnisse jenen des Inntaltunnels, in den die Verbindungstunnel einmünden. Daher ist mit überwiegend nachbrüchigem Gebirge zu rechnen. Aufgrund des geringeren Querschnittes sind keine höheren Deformationen als im Inntaltunnel, die überwiegend unter 5 cm lagen, zu erwarten.

Mit ausgeprägten Störzonen muss mit Ausnahme der Ahrentalstörung nicht gerechnet werden.

##### • Verbindungstunnel West L = 4.535 m

Die Verhältnisse der Weströhre unterscheiden sich nicht wesentlich von jenen der Oströhre, daher wird auf diese verwiesen.

##### • Entwässerungsstollen L = 3.056 m

Der Entwässerungsstollen wird im anstehenden Quarzphyllit angefahren, es ist keine Rutschmasse zu durchörteren. Es ist überwiegend nachbrüchiges Gebirge zu erwarten, in den Störzonen werden verstärkte Ausbrüche auftreten. Mit maßgebenden Druckerscheinungen ist nicht zu rechnen.

#### □ Km 37,24 – 39,00 Falda del Glockner (Schieferhülle superiore)

Anche in quest'area prevale il cedimento al taglio lungo la scistosità o tra le discontinuità. Le faglie che parzialmente scorrono ad angolo acuto, rinforzano i distacchi e possono portare ad un comportamento leggermente spingente.

##### • Cunicolo di accesso Ahrental L = 2.407 m

Fatta eccezione per l'area di accesso, si esclude la presenza di roccia con tendenza a distacchi nella fillade quarzifera di Innsbruck risalente. Le faglie a scorrimento verticale della Wipptal possono causare locali fenomeni di tensione.

##### • Cunicolo di accesso Wolf L = 3.143 m

Si prevede la presenza di scisti del Bündner poveri di calcare in alcune aree e ricchi di calcaree in altre, che a causa delle sollecitazioni al taglio cedono vicino alle cavità. Il diverso orientamento del cunicolo indica l'influsso dello strato. Le zone di faglia rafforzano il cedimento al taglio e portano a fenomeni di tensione.

##### • Galleria di collegamento est L = 4.523 m

Anche nella galleria di collegamento viene penetrata la fillade quarzifera di Innsbruck. Le condizioni incontrate nell'avanzamento a partire della Galleria di Base sono paragonabili a quelle della stessa Galleria di Base, dopo la svolta in direzione est-ovest le condizioni della galleria di collegamento sono paragonabili a quelle della galleria della Inntal in cui essa si immette. Di conseguenza si prevede che l'ammasso roccioso sia prevalentemente tendente a distacchi. La sezione trasversale è stretta, quindi non si prevede che le deformazioni siano più alte di quelle nella galleria dell'Inntal, che generalmente sono inferiori ai 5 cm.

Non riteniamo che ci siano ampie zone di faglia, ad eccezione della faglia dell'Ahrental.

##### • Galleria di collegamento ovest L = 4.535 m

Per quanto riguarda le condizioni della canna occidentale, si rimanda a quanto scritto per la canna orientale perché le differenze sono minime.

##### • Cunicolo di drenaggio L = 3.056 m

Il cunicolo di drenaggio viene attraversato nella fillade quarzifera, non è necessario attraversare delle masse franose. Sono da attendere prevalentemente distacchi in roccia; nelle zone di faglia si manifesteranno dei distacchi più grandi. Non sono d'aspettarsi fenomeni di pressione determinanti.

### 3. AUFGABENSTELLUNG

Aufgabe des vorliegenden Berichtes ist es, die vorliegenden Ergebnisse hinsichtlich ihrer geotechnischen Relevanz zu beschreiben. Das damit vorgestellte geotechnische Modell dient als Grundlage für die Wahl der Baumethode und die Festlegung der bautechnischen Maßnahmen.

Der Themenbereich Geotechnik, erstellt vom GEOTEAM, umfasst folgende Schwerpunkte:

- Beschreibung der Gebirgsarten
- Beschreibung der Gebirgsverhaltenstypen
- Charakterisierung der Störzonen

### 4. METHODOLOGIE

#### 4.1. Vorgehensweise

Die Methodologie basiert auf der ÖGG-Richtlinie für die Geomechanische Planung von Untertagebauarbeiten mit zyklischem Vortrieb, 2001.

Ausgehend von den ingenieurgeologischen und hydrogeologischen Voraussetzungen werden die geotechnischen Verhältnisse nachvollziehbar abgeleitet. Es wird dargestellt, mit welchem Gebirgsverhalten im Vollquerschnitt ohne Ausbau zu rechnen ist. Da das Gebirgsverhalten für den Vollquerschnitt ohne Ausbau ermittelt wird, ist die Ausarbeitung unabhängig von der Vortriebsmethode.

Es wird wie folgt vorgegangen:

##### 1. Schritt: Bestimmung der Gebirgsarten

Unter Gebirgsart wird ein homogener Gebirgskörper verstanden, der sich aus einer lithologisch bestimmten Gesteinsart und dem strukturellen Gefüge bestehend aus Trennflächen zusammensetzt. Eine Gebirgsart ist gleichartig in Bezug auf:

- Festigkeitskennwerte des Gesteins und somit abhängig von der Lithologie
- Gebirgsstruktur bestehend aus den Trennflächen

### 3. OBIETTIVI DELLO STUDIO

Compito del presente rapporto è descrivere tutti i risultati, dal punto di vista della loro rilevanza geotecnica. Il modello geotecnico così esposto funge da punto di partenza per la scelta del metodo di costruzione e per la definizione degli interventi tecnico-costruttivi.

Il settore „geotecnica“, redatto dal GEOTEAM, comprende i seguenti punti principali:

- Descrizione dei tipi di ammasso roccioso
- Descrizione dei tipi di comportamento dell'ammasso roccioso
- Caratterizzazione delle zone di faglia

### 4. METODOLOGIA

#### 4.1. Procedimento

La metodologia si basa sulle Direttive-ÖGG per la progettazione geomeccanica di opere in sotterraneo con avanzamento ciclico, 2001.

Partendo dai presupposti geologico-ingegneristici e idrogeologici sono dedotte le condizioni geotecniche. Verrà definito il comportamento dell'ammasso roccioso con scavo a sezione completa senza interventi di consolidamento. Poiché il comportamento dell'ammasso roccioso viene determinato per scavi a sezione completa senza interventi di consolidamento l'elaborazione è indipendente dal metodo di scavo prescelto.

Si procederà come segue:

##### 1. Passo: determinazione del tipo di ammasso roccioso

Come tipo di ammasso roccioso s'intende un corpo roccioso omogeneo costituito da un tipo di roccia ben definito sia dal punto di vista litologico sia nel suo assetto strutturale. Una tipologia di ammasso roccioso è omogenea in relazione a:

- Parametri della resistenza della roccia e quindi dipende dalla litologia
- Struttura dell'ammasso roccioso costituita dalle discontinuità e dallo stato dell'ammasso roccioso

und dem Gebirgszustand

## 2. Schritt: Bestimmung der Gebirgsverhaltenstypen

Unter Gebirgsverhalten wird das Verhalten der Gebirgsarten beim Ausbruch des Hohlraumes verstanden, welches von folgenden Randbedingungen bestimmt wird:

- Primärspannungszustand
- Form und Grösse des Hohlraumes
- Lösemethode
- Hydrogeologische Verhältnisse, wie Druckgefälle, Beeinflussung des Zustandes der Gebirgsarten, Menge des Wasserzutrittes
- Orientierung des Hohlraumes Trennflächengefüge

## 4.2. Grundlagen

### 4.2.1. Ermittlung der Festigkeitseigenschaften

Die Gebirgsfestigkeitseigenschaften wurden unter Anwendung des Hoek-Brown Versagenskriteriums bestimmt. Die Hoek-Brown Konstanten  $m_b$ ,  $s$  und  $a$  sowie die einaxiale Gesteinsfestigkeit  $\sigma_{ci}$  bestimmen dabei die Fließfläche.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Die Eingangsgrößen  $m_b$ ,  $s$  und  $a$  ergeben sich wiederum aus dem Geological Strength Index GSI, dem Disturbance Factor D und der Konstanten  $m_i$ . Der Faktor D bleibt im vorliegenden Fall mit 1,0 unberücksichtigt, da dieser bei hoher Überlagerung als nicht maßgebend angesehen wird. Der Wert  $m_i$  wurde den Ergebnissen der Dreiaxialversuche entnommen.

$$m_b = m_i \exp \left( \frac{GSI-100}{28-14D} \right)$$

$$s = \exp \left( \frac{GSI-100}{9-3D} \right)$$

## 2. Passo: determinazione dei tipi di comportamento dell'ammasso roccioso

Come comportamento dell'ammasso roccioso si intende il comportamento dei tipi di ammasso roccioso in seguito allo sfondamento del cavo; esso viene determinato dalle seguenti condizioni al contorno:

- Stato della tensione primaria
- Forma e dimensioni del cavo
- Metodo di scavo
- Condizioni idrogeologiche, quali il gradiente di pressione, stato dei tipi di ammasso roccioso, ed entità delle venute d'acqua
- Orientazione del cavo rispetto all'assetto delle discontinuità

## 4.2. Fondamenti teorici

### 4.2.1. Determinazione delle proprietà di resistenza

Le determinazione delle proprietà di resistenza delle rocce sono state determinate utilizzando il criterio di rottura di Hoek Brown. Le costanti di Hoek Brown  $m_b$ ,  $s$  e  $a$  e la resistenza delle rocce a compressione monoassiale  $\sigma_{ci}$  determinano la superficie di scorrimento

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Le grandezze  $m_b$ ,  $s$  e  $a$  risultano, a loro volta, dal Geological Strength Index GSI, dal Disturbance Factor D e dalla costante  $m_i$ . In questo caso il fattore D, 1,0, non viene considerato perché in presenza di copertura alta non è decisivo, ma è stato preso dai risultati delle prove triassiali.

$$m_b = m_i \exp \left( \frac{GSI-100}{28-14D} \right)$$

$$s = \exp \left( \frac{GSI-100}{9-3D} \right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

Nachdem jedoch die Werte von Hoek-Brown als physikalische Größen nicht zu interpretieren sind, wurde auf das bekannte Stoffgesetz von Mohr-Coulomb gewechselt. Die Ermittlung der dafür erforderlichen Parameter  $c$  und  $j$  erfolgt derart, dass im  $s_1 - s_3$  Diagramm eine Gerade über die gekrümmte Linie des Stoffgesetzes von Hoek-Brown gelegt wird. Die Gerade wird so angepasst, dass sich die Flächen zwischen der Geraden und der gekrümmten Linie aufheben. Dabei spielt die Wahl von  $s_{3,max}$  eine entscheidende Rolle.

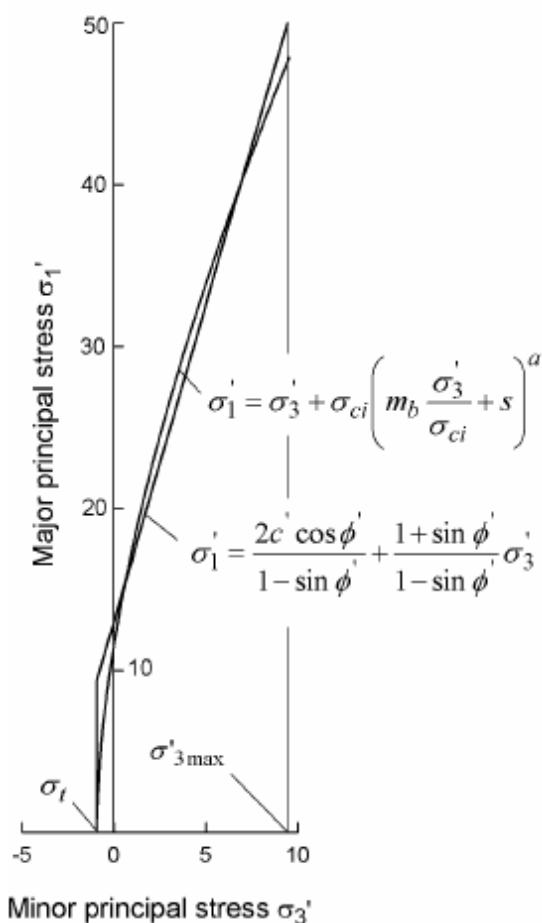


Abbildung 1: Anpassung des Mohr-Coulomb-Kriteriums an das Hoek-Brown-Kriterium

Der Formelapparat wurde der Literatur entnommen.

Mit der Anpassung der beiden Kurven wird erreicht, dass die Gebirgskennlinien für beide Kriterien weitgehend gleich sind. Von Hoek wurde eine Vielzahl von Vergleichsberechnungen mit beiden Kriterien durchgeführt und daraus jene Spannung  $s_{3,max}$  abgeleitet, mit welcher das genannte Ziel erreicht wird.

Der Wert  $s_{cm}$  stellt die einachsiale Festigkeit nach

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

In seguito si è passati alla nota legge di Mohr Coulomb, perché i valori di Hoek-Brown non sono interpretabili come grandezze fisiche. I parametri necessari  $c$  e  $j$  sono stati ricercati tracciando nel diagramma  $s_1 - s_3$  una linea retta sulla curva della legge di Hoek Brown. La retta viene adattata a tal punto da annullare le superfici tra la retta e la linea curva. La scelta di  $s_{3,max}$  è fondamentale in questo procedimento.

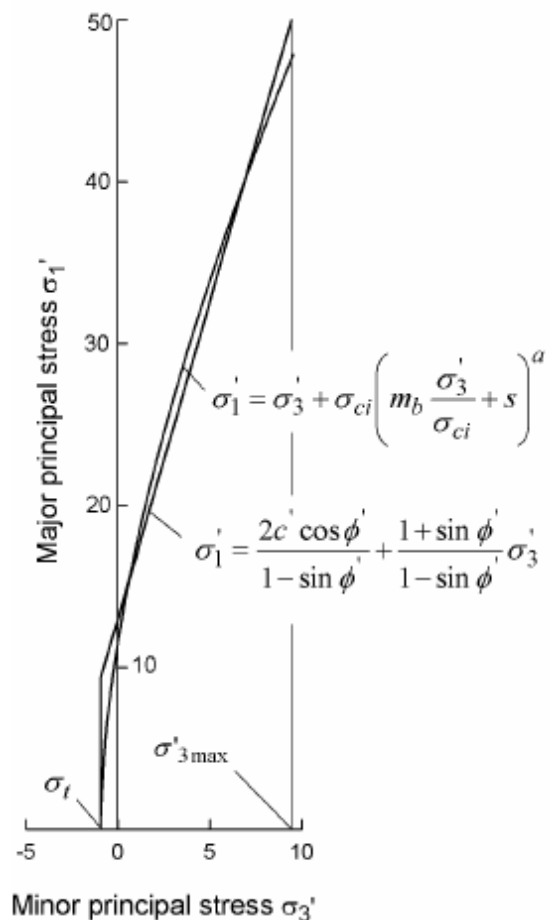


Illustrazione 1: Adeguamento del criterio Mohr-Coulomb al criterio Hoek-Brown

Le formule sono state prese dalla letteratura.

Adattando entrambe le curve, si è ottenuta l'uguaglianza permanente delle linee caratteristiche dell'ammasso roccioso per entrambi i criteri. Hoek ha eseguito molti calcoli comparativi da cui è derivata la tensione  $s_{3,max}$ , con la quale si è raggiunto lo scopo prima descritto.

Il valore  $s_{cm}$  rappresenta la resistenza monoassiale secondo il criterio di Mohr Coulomb, se partendo

dem Kriterium von Mohr-Coulomb dar, wenn ausgehend vom Stoffgesetz von Hoek-Brown die Spannung  $s_3$  im Bereich mit  $s_{ci} / 4$  begrenzt wird ( $s_{ci}$  einachsiale Gesteinsfestigkeit) und mit:

$$\sigma'_{cm} = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'}$$

die einaxiale Gebirgsfestigkeit nach Mohr-Coulomb abgeleitet wird. Dieser Wert wird in den Unterlagen von Hoek und auch im Programm RocLab als „global rock mass strength“ oder als „global strength“ bezeichnet.

Die einaxiale Gebirgsfestigkeit nach dem Kriterium von Hoek-Brown, welche in den Tabellen der GA's angegeben ist, ergibt sich hingegen aus dem „gekrümmten“ Bruchkriterium

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

indem  $s_3$  gleich Null gesetzt wird.

#### 4.2.2. Bestimmung des E-Moduls

Die Gebirgssteifigkeit wird auf mehrere Arten bestimmt:

Hoek 2005 (Programm Roc Lab)

$$E_{rm}(\text{MPa}) = 100000 \left( \frac{1 - D/2}{1 + e^{((75+25D-GSI)/11)}} \right)$$

D ..... Disturbance Factor

GSI ..... Geological Strength Index

Hoek 2002:

$$E_m(\text{GPa}) = \left( 1 - \frac{D}{2} \right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{((GSI-10)/40)} (\sigma_{ci} \leq 100)$$

$$E_m(\text{GPa}) = \left( 1 - \frac{D}{2} \right) \cdot 10^{((GSI-10)/40)} (\sigma_{ci} > 100)$$

D ..... Disturbance Factor

GSI ..... Geological Strength Index

$s_{ci}$  einachsiale Gesteinsfestigkeit

Serafim & Pereira (1983)

$$E_m(\text{GPa}) = 10^{(RMR-10)/40} \text{ für } 35 < RMR < 55$$

Boyd:

$$E_m(\text{GPa}) = 3.5 \cdot RMR^{3.75} / 10^6 \text{ für } RMR < 35$$

RMR rock mass rating nach Bienawski

Der RMR wurde mit folgenden Eingangsgrößen bestimmt:

- Einaxiale Druckfestigkeit
- RQD

dalla legge di Hoek Brown la tensione  $s_3$  nell'area viene limitata con  $s_{ci} / 4$  ( $s_{ci}$  resistenza delle rocce a compressione monoassiale) e con:

$$\sigma'_{cm} = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'}$$

si ottiene la resistenza delle rocce a compressione monoassiale secondo Mohr Coulomb. Sia nei documenti di Hoek che nel programma RocLab questo valore è chiamato „global rock mass strength“ o „global strength“.

La resistenza delle rocce a compressione monoassiale di Hoek Brown, indicata nelle tabelle del GA deriva invece dal criterio di rottura „curvo“

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

con  $s_3$  uguale a zero.

#### 4.2.2. Determinazione dell'e modul

La rigidezza dell'ammasso roccioso è determinato in molti modi:

Hoek 2005 (Programm Roc Lab)

$$E_{rm}(\text{MPa}) = 100000 \left( \frac{1 - D/2}{1 + e^{((75+25D-GSI)/11)}} \right)$$

D ..... Disturbance Factor

GSI Geological Strength Index

Hoek 2002:

$$E_m(\text{GPa}) = \left( 1 - \frac{D}{2} \right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{((GSI-10)/40)} (\sigma_{ci} \leq 100)$$

$$E_m(\text{GPa}) = \left( 1 - \frac{D}{2} \right) \cdot 10^{((GSI-10)/40)} (\sigma_{ci} > 100)$$

D Disturbance Factor

GSI Geological Strength Index

$s_{ci}$  Resistenza a compressione uniassiale

Serafim & Pereira (1983)

$$E_m(\text{GPa}) = 10^{(RMR-10)/40} \text{ für } 35 < RMR < 55$$

Boyd:

$$E_m(\text{GPa}) = 3.5 \cdot RMR^{3.75} / 10^6 \text{ für } RMR < 35$$

RMR rock mass rating di Bienawski

RMR è stato determinato con le seguenti grandezze:

- Resistenza alla compressione monoassiale
- RQD
- Discontinuità: intervallo, lunghezza, apertura,

- Diskontinuitäten: Abstand, Länge, Öffnung, Rauigkeit, Füllung, Verwitterung
- Grundwasser
- Orientierung der Diskontinuitäten zum Tunnel

Der RMR wurde als Referenz in die Auswertung aufgenommen. Da dieser jedoch wesentliche Parameter, u.a. insbesondere die Steifigkeit der Gesteine nicht berücksichtigt, wurden die Ergebnisse, die von RMR-Werten abgeleitet wurden, nicht in die Empfehlung der Gebirgskennwerte einbezogen.

Hingegen wurden die Ergebnisse der Dilatometerversuche als Richtwerte verwendet. Es wurde der Verformungsmodul des 4. Belastungszyklus in die Tabellen aufgenommen. In jedem Fall wurde die empfohlene Steifigkeit des gebirges niedriger angesetzt als die Mittelwerte der BLA-Versuche.

#### 4.3. Ermittlung der Gebirgsarten (GA)

Die Ermittlung der Gebirgsarten wird darauf abgestimmt, inwieweit die einzelnen Untergruppen der lithologischen Einheiten beim Vortrieb differenziert werden können. Sofern Untergruppen eine Mächtigkeit von mehr als einen Durchmesser des Tunnelquerschnittes aufweisen, werden diese getrennt angesprochen. In diesem Fall werden im jeweiligen geotechnischen Homogenbereich die unterschiedlichen Gebirgsarten in Prozent ausgewiesen.

Eine weitere Unterteilung der Gebirgsarten erfolgt durch Zuordnung zu den tektonischen Einheiten gemäß Strukturgeologischer Kartierung, da sich dieselbe lithologische Einheit durch unterschiedliche Trennflächensysteme unterscheiden kann.

Die Bezeichnung der Gebirgsarten erfolgt daher 3-teilig:

1. Tektonische Einheit:

IQP ..... Innsbrucker Quarzphyllit  
SH ..... Schieferhülle  
HS ..... Hochstegen Fm  
ZG ..... Zentralgneis  
US ..... Untere Schieferhülle  
OS ..... Obere Schieferhülle

2. Lithologische Einheit:

Die Abkürzungen entsprechen dem Hauptgestein:

z.B.: G ..... Granit  
QP ..... Quarzphyllit

ruvidität, riempimento, alterazione

- Acqua di faglia
- Orientamento delle discontinuità rispetto alla galleria

L'indice RMR è stato preso come riferimento per interpretare i valori, benché non tenga in considerazione alcuni parametri essenziali, in special modo la rigidità dell'ammasso roccioso. Proprio per questo i risultati di queste interpretazioni, derivati dai risultati RMR, non sono considerati nella raccomandazione sui parametri dell'ammasso roccioso.

I risultati delle prove dilatometriche invece sono stati utilizzati quali valori indicativi. Nella tabella è stato inserito il modulo di deformazione del 4° ciclo di sollecitazione. In ogni caso, la rigidità raccomandata della roccia è stata impostata al di sotto dei valori medi delle prove dilatometriche.

#### 4.3. Determinazione dei tipi di ammasso roccioso (GA)

La determinazione dei tipi di ammasso roccioso viene definita in base a quanto ciascun sottogruppo di unità litologiche possa essere differenziato in funzione del suo comportamento allo scavo. Nella misura in cui si possono definire sottogruppi con lunghezza maggiore del diametro della sezione del tunnel, essi vengono considerati separatamente. In questo caso i diversi tipi di ammasso roccioso vengono suddivisi in percentuale nei rispettivi domini geotecnici omogenei.

Un'ulteriore suddivisione dei tipi di ammasso roccioso si ottiene dalla attribuzione alle unità tettoniche in conformità alla cartografia geologico strutturale, poiché la stessa unità litologica si può differenziare attraverso diversi sistemi di discontinuità.

La denominazione dei tipi di ammasso roccioso è quindi data da tre componenti:

1. Unità tettonica:

IQP ..... Filade quarzifera di Innsbruck  
SH ..... Schieferhülle  
HS ..... Fm. Di Hochsteg  
ZG ..... Geiss centrale  
US ..... Schieferhülle inferiore  
OS ..... Schieferhülle superiore

2. Unità litologica:

Le abbreviazioni corrispondono alla roccia principale

Ad es.: G ..... Granito  
QP ..... Filade quarzifera

### 3. Strukturgeologische Einheit:

Entsprechend der strukturgeologischen Kartierung:

z.B.: Bereich 1a, 2a

Die Gebirgskennwerte wurden nach verschiedenen Methoden abgeleitet. Für die Festigkeitseigenschaften wurde das „Hoek-Brown Failure Criterion“ herangezogen und daraus die Mohr–Coulomb Konstanten Kohäsion und Reibungswinkel abgeleitet. Festgestellt wurde, dass der Parameter  $m_i$ , der aus den Ergebnissen der Triaxialversuche abgeleitet wird, teilweise großen Schwankungen unterliegt und die Versuchsergebnisse teilweise von den von Hoek angegebenen Richtwerten abweichen.

Die Unterschiede resultieren aus den unterschiedlichen Versuchsmethoden: Dreiaxiale Druckversuche mit Einzelversuch oder Vielfachversuch. Bei gravierenden Unterschieden wurde das Ergebnis, das unter Bezugnahme auf die Tabelle von Hoek plausibel ist, gewählt.

Bei der Auswertung der einaxialen Druckversuche wurde entsprechend der Richtung der Schieferung zur Bohrachse eine Abminderung nach ingenieurmäßiger Beurteilung vorgenommen, da zu wenig Ergebnisse vorliegen, diesen Einfluss aus den Versuchen selbst abzuleiten.

Bei der Bestimmung des E-Moduls des Gebirges wurde neben den gemäß Pkt. 4.2.2 ermittelten Werte die Ergebnisse der Dilatometerversuche (BLA), u. zw. der Verformungsmodul der 4. Belastungsstufe herangezogen.

Es zeigte sich, dass die Ergebnisse von Hoek 2002 am niedrigsten sind und daher wurde diesen der größte Stellenwert zugemessen.

Die empfohlenen Gebirgskennwerte berücksichtigen neben der angeführten Ableitung Plausibilitätsprüfungen auf Basis der Kennlinienberechnungen und Erfahrungen vergleichbarer Objekte.

Die Gebirgsarten sind von Norden nach Süden gereiht in Tabellen zusammengefasst. Dabei wurden die in der folgenden Tabelle angeführten Kenndaten verwendet.

### 3. Unità geologico-strutturale:

Corrispondono alla cartografia geologica:

ad es.: Area 1a, 2a

I parametri dell'ammasso roccioso sono stati desunti tramite diversi metodi. Per le caratteristiche di resistenza è stato utilizzato il “Criterio di rottura di Hoek-Brown” e da qui sono state dedotte le costanti di Mohr – Coulomb, coesione e angolo d'attrito. E' stato confermato che il parametro  $m_i$ , che viene dedotto dai risultati delle prove triassiali, a volte subisce grosse variazioni e i risultati delle prove a volte si discostano dalle linee guida indicate da Hoek.

Le differenze derivano dai diversi metodi di prova: prove di compressione triassiale con prova singola o prova multipla. Se la differenza era molto grande è stato scelto il risultato più plausibile secondo il confronto con la tabella di Hoek.

Nell'elaborazione delle prove di compressione monoassiale si è adottato – in relazione della scistosità riferita all'asse galleria – una diminuzione dei valori secondo valutazioni ingegneristiche, avendo ottenuto troppo pochi risultati per poter dedurre tale influenza dalle prove stesse.

Per determinare l'e modul della roccia sono stati presi i risultati delle prove dilatometriche (BLA) secondo i valori determinati al punto 4.2.2., cioè del modulo di deformazione del 4. grado di sollecitazione.

È stato evidenziato che i risultati secondo Hoek 2002 danno i valori più bassi e quindi a questi è stata assegnata la maggiore importanza.

I parametri dell'ammasso roccioso proposti tengono conto, oltre che delle deduzioni effettuate, del controllo della plausibilità sulla base dei calcoli delle curve caratteristiche e delle esperienze su casi assimilabili.

I tipi di ammasso roccioso sono ordinati da nord a sud e riassunti in tabelle. Per questo sono stati utilizzati i dati caratteristici riportati nelle seguenti tabelle.

## Legende / Legenda:

### *Kursiv*

...kursive Werte sind Schätzwerte oder liegen ausserhalb des Anwendungsbereiches von Formeln

... i valori in corsivo sono stime o non rientrano nell'area di applicazione di formule

Schieferung: Abstand Schieferungsflächen: 0 - 6 cm / 6 - 20 cm / 20 - 60 cm / > 60 cm  
Superficie di scistosità: Distanza delle superfici di scistosità:  
0 - 6 cm / 6 - 20 cm / 20 - 60 cm / > 60 cm

Trennflächenorientierung aus: Strukturgeologische Kartierung D0104  
Orientamento della discontinuità da: Rilevamento geologico-strutturale D0104

Trennflächenabstände: 0 - 6 cm / 6 - 20 cm / 20 - 60 cm / > 60 cm  
Distanza della discontinuità:

Trennflächenlängen: 0 - 0,5 m / 0,5 - 2 m / 2,0 - 5,0 m / > 5 m  
Lunghezza della discontinuità:

Trennflächenbeschaffenheit:	1 stufig, raue Oberfläche	1 superficie ruvida a forma di scala
gemäß ÖNORM EN ISO 14689-1	2 stufig, glatte Oberfläche	2 superficie liscia a forma di scala
Charakterizzazione della discontinuità: secondo ÖNORM EN ISO 14689-1	3 wellige, raue Oberfläche	3 superficie ondulata ruvida
	4 wellige, glatte Oberfläche	4 superficie ondulata liscia
	5 ebene, raue Oberfläche	5 superficie piana ruvida
	6 ebene, glatte Oberfläche	6 superficie piana liscia

## 4.4. Primärspannungen

Es ist seit jeher bekannt, dass der Gebirgsbau abgesehen von den tektonischen Einflüssen die Primärspannungen beeinflusst, siehe Stini, Rabcewicz, Kastner. Insbesondere beeinflussen Störzonen und unterschiedliche Verformungseigenschaften der Gebirgsarten die vertikale Spannungsverteilung. Daher wurden mittels 2D-FE-Berechnung bei gravitativer Beanspruchung im ebenen Verformungszustand die spannungswirksame Überlagerung nach John/Poscher 2004 ermittelt.

Die vertikale Spannung auf Trassenniveau wurde unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Steifigkeiten und Wichten einzelner Formationen berechnet. Die im geotechnischen Längenschnitt eingetragene „Spannungswirksame Überlagerung“ ist die Höhe über der Gradiente, die sich aus der rechnerisch ermittelten Vertikalspannung geteilt durch eine konstante Rohdichte von 26 kN/m<sup>3</sup> errechnet.

Eine analoge Untersuchung quer zur Tunnelachse zeigte, dass die Abweichungen von der Überlagerungsspannung gering sind und daher

## 4.4. Tensione primaria

E' noto, che la strutturazione dell'ammasso roccioso, a prescindere dagli influssi tettonici, condiziona la tensione primaria, si vedano Stini, Rabcewicz, Kastner. In particolare, le zone di faglia e le diverse caratteristiche della deformazione condizionano la distribuzione verticale della tensione. Perciò con il calcolo agli elementi finiti in campo bidimensionale è stata definita la copertura efficace secondo John/Poscher 2004 in seguito a sollecitazione gravitativa in stato deformativo uniforme.

La tensione verticale a livello del tracciato è stata calcolata considerando le diverse rigidità e i pesi specifici delle singole formazioni. La "copertura efficace" inserita nel profilo geomeccanico è l'altezza oltre il gradiente calcolata dividendo la tensione verticale determinata aritmeticamente per un peso specifico costante di 26 kN/m<sup>3</sup>.

Da un'analisi analoga eseguita trasversalmente all'asse della galleria è risultato che le differenze della tensione della copertura sono minime, pertanto possono essere trascurate.



vernachlässigt werden können.

Die Horizontalspannungen wurden von den Ergebnissen der Hydrofrac-Versuchen abgeleitet; der  $k_0$ -Wert normal zur Tunnelachse wurde von den Horizontalspannungen normal zur Tunnelachse im Verhältnis zu den wirksamen Vertikalspannungen abgeleitet. Die hohen  $k_0$ -Werte im Bereich Pfons/Navis wurden abgemindert, da diese von der allgemeinen Tendenz abweichen.

Le tensioni orizzontali sono state dedotte dai risultati delle prove di fratturazione idraulica; il valore  $k_0$  perpendicolare all'asse del tunnel è stato dedotto dalle tensioni orizzontali normali all'asse del tunnel in rapporto alle tensioni verticali efficaci. I valori alti di  $k_0$  nell'area Pfons-Navis sono stati abbassati, poichè si discostano dalla tendenza generale.

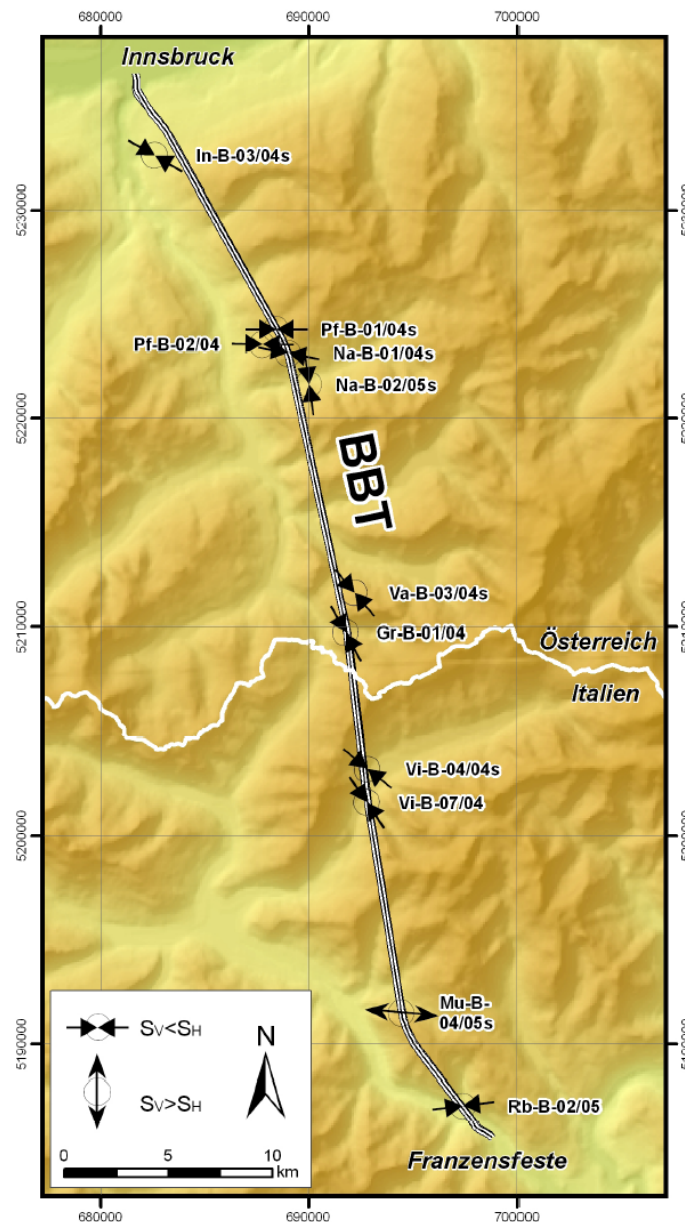


Abbildung 2: Ergebnisse der Primärspannungsmessungen mit der Hydrofracmethode

Illustrazione 2: Risultati delle misurazioni della tensione primaria con il metodo hydrofrac

Für die Horizontalspannungen wurden die gewählten unteren Grenzen der  $k_0$ -Werte mit den höchsten Vertikalspannungen errechnet und umgekehrt.

Per le tensioni orizzontali sono stati calcolati i limiti inferiori dei valori  $k_0$  con le più alte tensioni verticali e viceversa.

Die Ergebnisse der Spannungsuntersuchungen im Zuge der strukturgeologischen Untersuchungen haben den Einfluss der Topographie bestätigt, da die geologischen Verhältnisse nicht berücksichtigt wurden, wurden diese Ergebnisse bei der geotechnischen Beurteilung nicht berücksichtigt.

#### 4.5. Einfluss des Bergwassers

Bei der Beurteilung des Einflusses des Bergwassers wird davon ausgegangen, dass die Tunnelröhren drainiert werden und das Bergwasser in kritischen Bereichen durch Vorausböhrungen, die je nach Verhältnissen preventergesichert werden müssen, vorseilend abgesenkt wird.

Damit kann erreicht werden, dass der Einfluss des Bergwassers generell gering ist und sich nur in Störzonen durch Aufweichen von fault gouge Material und Ausschwemmen von Feinteilen der damage zone auswirken wird.

In den Randbereichen der Störzonen ist generell mit erhöhtem Wasserzutritt zu rechnen.

In den Bereichen, in denen Gips und Anhydrit angetroffen werden, kann es je nach Höhenlage der Lösungszone zu einem Materialaustrag kommen.

#### 4.6. Quell- und Schwellerscheinungen

Es liegen nur begrenzt Ergebnisse von Quellversuchen vor, z.B. vom Anhydrit 4 Stück: Es wurde ein maximaler Quelldruck von 0,3 MPa und eine maximale Quellhebung von 6,7% ermittelt.

Bis auf die Ausnahme von zerbrochenen Gesteinen liegen alle weiteren Ergebnisse der Quellhebung unter 3% und sind somit als schwach quellfähig einzustufen.

Erfahrungen (z.B. Tauerntunnel) haben gezeigt, dass das Schwellen durch Umwandlung von Anhydrit bei kompakter Konsistenz keine große Rolle spielt.

Quellfähige Tonminerale können in den fault gouges der Störzonen vorkommen. Diese verursachen aber erfahrungsgemäß keine maßgebenden Quelldrücke.

#### 4.7. Gebirgsverhalten

Zur Beurteilung der Druckhaftigkeit des ungestützten Gebirges wurde die globale Gebirgsfestigkeit nach Hoek 2000 durch die Maximalspannung (entweder Vertikal- oder Horizontalspannung) dividiert.

I risultati delle indagini effettuate sulle tensioni nel corso delle analisi geologico-strutturali hanno confermato l'importanza della topografia. Tali risultati non sono stati presi in considerazione nella valutazione geotecnica perché non sono stati presi in considerazione i comportamenti geologici.

#### 4.5. Influenza dell'acqua di versante

Per la valutazione dell'influenza delle acque ipogee si è partiti dal presupposto che le canne del tunnel vengano drenate che le acque ipogee e che nelle zone critiche dovranno essere abbassate preliminarmente, mediante sondaggi in avanzamento, a seconda delle condizioni anche con preventer.

In tal modo l'influenza delle acque ipogee è in genere limitata e può produrre degli effetti solo in corrispondenza di zone di faglia con le plasticizzazione del fault gouge e il dilavamento della frazione fine della damage zone.

Nelle aree perimetrali delle zone di faglia si prevedono in generale elevate venute d'acqua.

Nelle aree in cui sono stati trovati gesso e anidrite possono esserci delle erosioni, a seconda della quota della zona di distacco.

#### 4.6. Problemi di swelling

I risultati esistenti delle prove di swelling sono limitati, ad esempio 4 pezzi dell'anidrite: è stata registrata una pressione massima di 0,3 MPa e un rigonfiamento massimo del 6,7%.

Fatta eccezione per le rocce sbriciolate, tutti gli altri risultati relativi al rigonfiamento sono al di sotto del 3%, indicano quindi una capacità di swelling molto bassa.

L'esperienza (ad esempio il Tauerntunnel) ci insegna che lo swelling provocato dalla trasformazione dell'anidrite non è molto importante se avviene in una consistenza compatta.

Minerali argillosi rigonfianti possono essere presenti in corrispondenza di fault gouge delle zone di faglia. In base all'esperienza, questi non causano rigonfiamenti.

#### 4.7. Comportamento dell'ammasso roccioso

Per la valutazione della resistenza alla compressione dell'ammasso indisturbato è stata divisa la resistenza della roccia globale secondo Hoek 2000 per la

$\sigma_{cm} : \sigma_{max}$

- ☐  $> 0,45$  ..... nachbrüchig
- ☐  $0,45 - 0,28$  ..... leicht druckhaft
- ☐  $0,28 - 0,20$  ..... mittel druckhaft
- ☐  $< 0,20$  ..... stark druckhaft

Die Ergebnisse zeigen, dass diese Ermittlung teilweise eine zu ungünstige Klassifizierung ergibt.

Daher wurde das angeführte Gebirgsverhalten von Kennlinienberechnungen mit roclab abgeleitet, siehe Beispiel:

tensione massima (tensione verticale o orizzontale).

$\sigma_{cm} : \sigma_{max}$

- ☐  $> 0,45$  ..... distacchi
- ☐  $0,45 - 0,28$  ..... poco spingente
- ☐  $0,28 - 0,20$  ..... mediamente spingente
- ☐  $< 0,20$  ..... fortemente spingente

I risultati mostrano che questa determinazione parzialmente fornisce una classificazione troppo svantaggiosa.

Il comportamento dell'ammasso roccioso fornito è stato dedotto dai calcoli delle curve caratteristiche con roclab, vedi esempio:

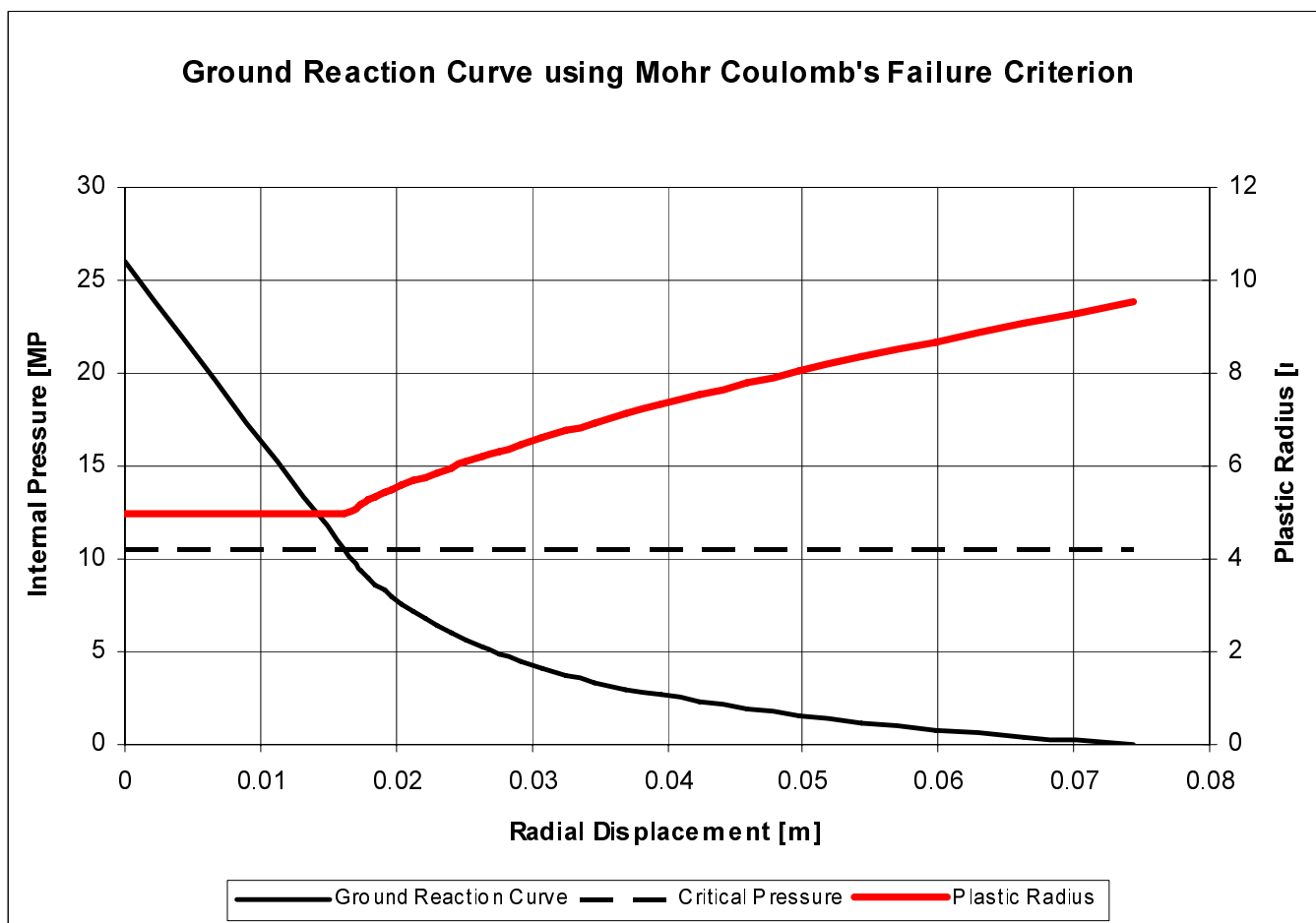


Abbildung 3: Beispiel der Ermittlung der Verformung und der Bruchzone mittels Kennlinienverfahren

Illustrazione 3: Esempio per la determinazione della deformazione e della zona di rottura mediante il metodo di calcolo delle curve caratteristiche

In den Abbildungen der Gebirgsverhaltenstypen (GVT) ist jeweils die Orientierung der Tunnelröhren angegeben; die Brustbilder sind demgemäß mit Blickrichtung Nord ausgerichtet; je nach Vortriebsrichtung sind diese anzupassen.

Für den Brenner Basistunnel wurden die Gebirgsverhaltenstypen gemäß ÖGG-Richtlinie 2001 auf die objektspezifischen Bedingungen abgestimmt.

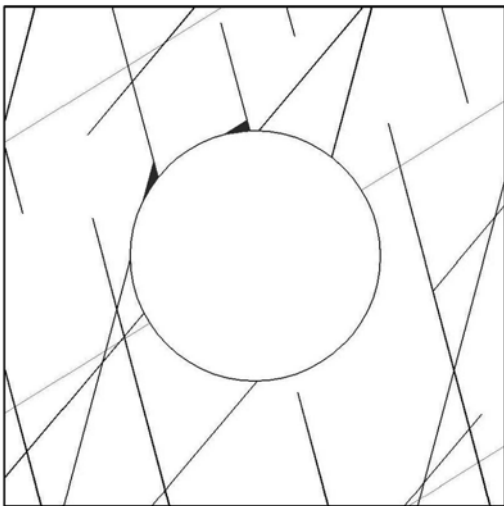
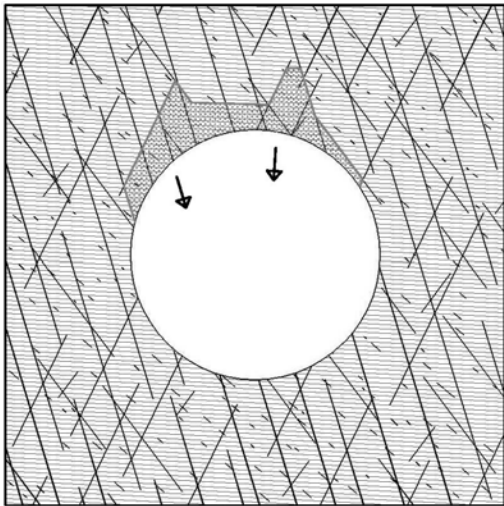
Nelle illustrazioni sui tipi di comportamento dell'ammasso roccioso (GVT) è indicato l'orientamento delle canne del tunnel; i fronti scavo sono orientati a nord; essi devono essere adattati a seconda della direzione dell'avanzamento.

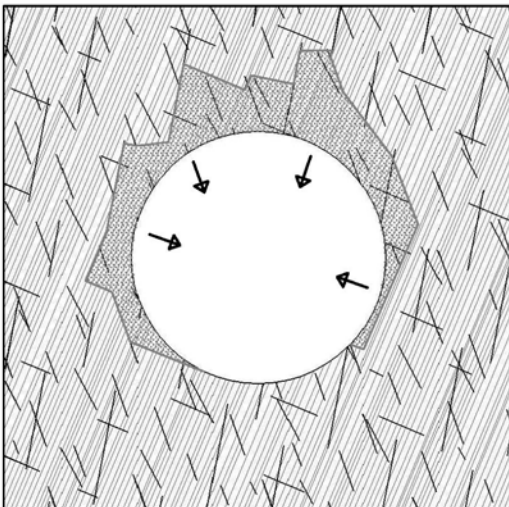
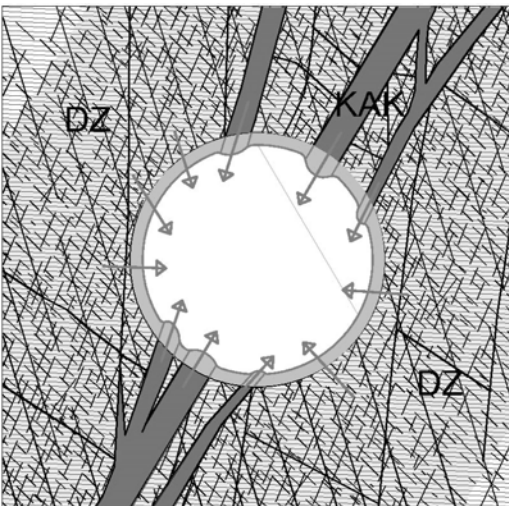
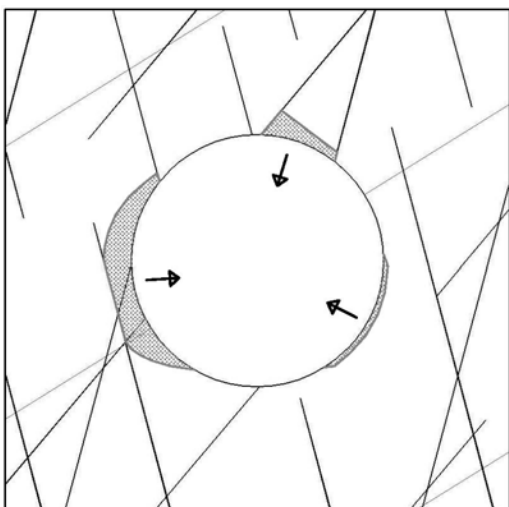
Per la Galleria di base del Brennero i tipi di comportamento dell'ammasso roccioso saranno applicati alle condizioni specifiche di oggetto

Aufgrund der unterschiedlichen und teilweise hohen Überlagerungen wird der GVT 4 für druckhaftes Gebirge in 2 Stufen unterteilt. Bei quellendem Gebirge wird zwischen Volumenzunahme aufgrund von Wasserzutritt bei quellförmigen Tonmineralien (Tonquellen) und in Folge der Umwandlung von Anhydrit in Gips bei Wasseraufnahme (Anhydritschwellen) unterschieden. Die Gebirgsverhaltenstypen GVT 6 „Schichtknicken“ und GVT 7 „Scherversagen bei niedrigem Spannungsniveau“ sind beim Brenner Basistunnel nicht zu erwarten.

secondo la direttiva ÖGG.

A causa delle differenti coperture e parzialmente anche alte, il tipo di comportamento 4 per roccia spingente è suddiviso in 2 livelli. Nel caso di rocce rigonfianti si distingue tra un aumento del volume causato da venute d'acqua nel caso di minerali argillosi rigonfianti (rigonfiamenti argillosi) e un aumento derivante dalla trasformazione dell'anidrite in gesso per idratazione (soglie di anidrite). I tipi dei comportamenti dell'ammasso roccioso TCR 6 "Cedimento lungo la stratificazione" e TCR 7 "Cedimento a taglio con basso livello di tensione" non sono d'aspettarsi nell'ambito della Galleria di Base del Brennero.

GVT TCR	Bezeichnung Denominazione	Gefährdungsbilder Scenari di pericolo	Beschreibung des Verhaltens / Descrizione del comportamento
1	Standfestes Gebirge  Roccia stabile		Hohlraum ganzheitlich standfest Ablösen kleinvolumiger Gesteinskörper, Größenordnung dm³  Cavità interamente stabile distacco di piccoli elementi lapidei, ordine di grandezza dm³
2	Gefügebedingte Ausbrüche  Distacchi di origine strutturale		Gefüge- und schwerkraftbedingte Ausbrüche an durchgehenden Trennflächen oder durch lokales Überschreiten der Scherfestigkeit von Schicht- oder Schieferungsflächen Bruchkörper Größenordnung m³ Verformungen nicht maßgebend  Sovrascavi dovuti alla struttura ed alla forza di gravità lungo le discontinuità estese o al superamento locale della resistenza al taglio di piani di scistosità e di stratificazione, ordine di grandezza blocchi m³

3	<p>Hohlraumnahe Überbeanspruchung</p> <p>Sovrasollecitazione nelle vicinanze della cavità</p>		<p>Spannungsbedingte Entfestigung durch Abscheren über Trennflächen hinweg Radialverformungen &lt; 15 cm</p> <p>Allentamento dovuto alla tensione attraverso un taglio oltre le superfici di discontinuità Deformazione radiale &lt; 15 cm</p>
4	<p>Tiefreichende Überbeanspruchung der Gebirgsfestigkeit</p> <p>4-1 <math>\sigma_{CM}/\sigma_{max} = 0,28 - 0,20</math> druckhaft Radialverformung &lt; 30 cm</p> <p>4-2 <math>\sigma_{CM}/\sigma_{max} &lt; 0,20</math> stark druckhaft Radialverformung &gt; 30 cm</p> <p>4 Sovrasollecitazione della compattezza</p> <p>4-1 <math>\sigma_{CM}/\sigma_{max} = 0,28 - 0,20</math> Spingente Deformazione rad &lt; 30 cm</p> <p>4-2 <math>\sigma_{CM}/\sigma_{max} &lt; 0,20</math> molto spingente Deformazione rad &gt; 30 cm</p>		<p>Spannungsbedingte Entfestigung oder Plastifizierung. Größenordnung der Druckerscheinungen abhängig vom Beanspruchungsgrad. <math>\sigma_{CM}</math> Gebirgsfestigkeit <math>\sigma_{max}</math> Beanspruchung</p> <p>Dissoluzione a causa della tensione o plasticizzazione. L'ordine di grandezza dei fenomeni di tensioni dipende dal grado di sollecitazione. <math>\sigma_{CM}</math> compattezza dell'ammasso roccioso <math>\sigma_{max}</math> sollecitazione</p>
5	<p>Bergschlag</p> <p>Colpo di montagna</p>		<p>Schlagartige durch Spröbruch ausgelöste Ablösungen zufolge hoher Primärspannungen begünstigt durch Schieferung oder Schichtung</p> <p>Distacchi improvvisi di porzioni di roccia causati da tensioni primarie elevate e favoriti da piani di scistosità o stratificazione.</p>
6	<p>Entfällt Omesso</p>		
7	<p>Entfällt Omesso</p>		



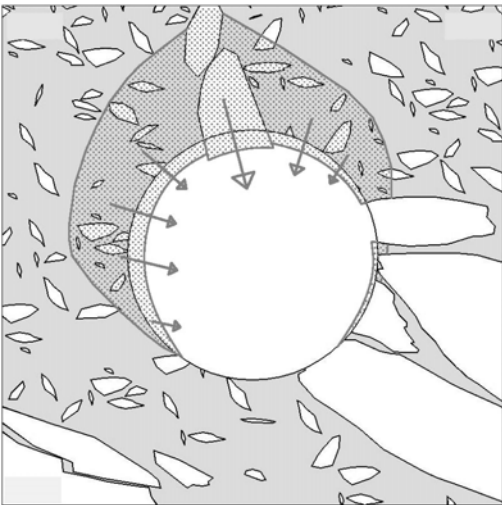
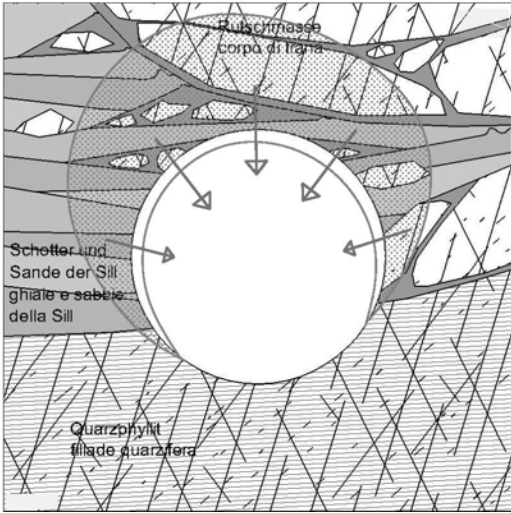
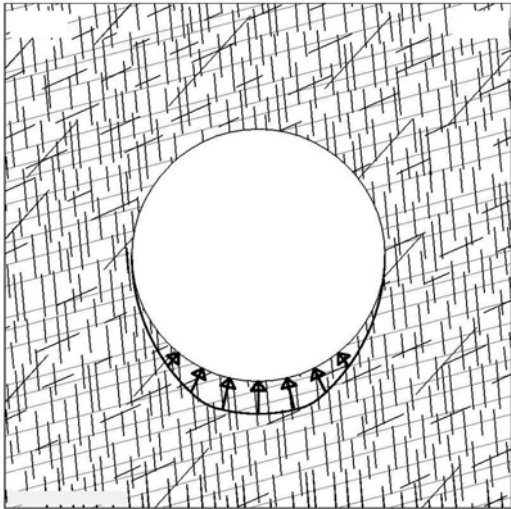
8	<p>Rolliges Gebirge</p> <p>Roccia incoerente</p>		<p>Allseitiges Nachbrechen von stark zerlegtem, schlecht verzahntem Gebirge bei geringem Wasserzutritt</p> <p>Sfaldamenti rocciosi generalizzati di roccia fortemente frammentata, poco interdigitata in presenza di scarse venute d'acqua</p>
9	<p>Fließendes Gebirge</p> <p>Roccia a comportamento plastico</p>		<p>Allseitiges Ausfließen von stark zerlegtem, schlecht verzahntem auch leicht tonig-schluffigem Gebirge bei starkem Wasserzutritt</p> <p>Comportamento plastico generale di roccia fortemente frammentata, poco interdigitata, anche leggermente argillosa limosa in presenza di forti venute d'acqua</p>
10	<p>Quellendes Gebirge Roccia rigonfiante</p> <p>10-1 Tonquellen Rigonfiamenti argillosi</p> <p>10-2 Anhydritschwellen Soglie di anidride</p>		<p>Volumszunahme im Sohlbereich als Folge von Spannungsumlagerung und Wasserzutritt bei Gesteinen mit quellfähigen Tonmineralien oder als Folge der Umwandlung von Anhydriten in Gips bei Wasseraufnahme</p> <p>Aumento del volume nella zona della soletta a causa della concentrazione della tensione e venute d'acqua nel caso di roccia con minerali argillosi rigonfianti oppure come conseguenza della trasformazione di anidrite in gesso per idratazione</p>
11	<p>Entfällt omesso</p>		

Tabelle 1: *Darstellung und Beschreibung der Gebirgsverhaltenstypen*

Tabella 1: Rappresentazione e descrizione dei tipi di comportamento degli ammassi rocciosi

## 4.8. Charakterisierung der Störzonen

### 4.8.1. Allgemeines

Gemäß ÖGG-Richtlinie werden die Störzonen dem Gebirgsverhaltenstyp 11 zugeordnet. Die Beschreibung dieses GVT's ist jedoch allgemein gehalten und für die spezifischen Verhältnisse des Brenner Basistunnels nicht geeignet. Es wurde daher eine gesonderte Charakterisierung der Störzonen vorgenommen, welche auf die geologische Unterteilung in damage zone und core zone Rücksicht nimmt. Für die unterschiedlichen Bereiche der Störzone wurde das jeweilige Störungsgestein mit dessen gebirgsmechanischem Verhalten (z.B.: Entfestigung), den Gebirgskennwerten und seinem Verhalten bei Wasserezutritt angegeben. Unter Berücksichtigung der Mächtigkeit und der Orientierung zur Tunnelröhre wurde das Gebirgsverhalten des Hohlraumes abgeschätzt.

### 4.8.2. Beschreibung der Störzonen

Um die in der Vortriebsphase zu erwartenden Geometrien in Funktion des Verschnitts zwischen Hauptstörungszonen und Tunnel darzustellen, wurden Tabellen ausgearbeitet, in denen schematisch die Ortsbrust sowie die dementsprechenden Ulmen abgebildet sind.

Zweck dieser Vorgangsweise ist zusammenfassend, die aus geotechnischer Sicht folgende maßgebenden Punkte hervorzuheben:

- i) die Lage der Störung und der dazu gehörenden Trennflächen bezogen auf Ortsbrust und Längsverlauf
- ii) die Mächtigkeit und Anzahl der Störungen im Mittel (m-dm)
- iii) die Beschaffenheit der Mächtigkeit von *core zone* und *damage zone*
- iv) den Einfluss von Bergwasser

Die Störungszonen wurden auf klassische Weise in eine CORE ZONE (CZ, Kernzone) – welche den höchsten Deformationsgrad erfahren hat und aus Störungsgesteinen besteht - sowie in eine DAMAGE ZONE (DZ) unterteilt, die durch Gebirgsbereiche dargestellt ist, die sich unmittelbar an der Hauptstörungsfläche befinden und durch einen starken Zerklüftungsgrad gekennzeichnet sind.

## 4.8. Caratterizzazione delle zone di faglia

### 4.8.1. Generale

Ai sensi della direttiva ÖGG, le zone di faglia vengono attribuite al tipo di comportamento dell'ammasso roccioso 11. La descrizione di questo tipo di comportamento è però generale e quindi non adatta alle condizioni specifiche della Galleria di base del Brennero. Pertanto è stata effettuata una caratterizzazione delle zone di faglia, la quale tiene conto della suddivisione geologica tra damage zone e core zone. Per questi differenti settori della zona di faglia è stata indicata la rispettiva roccia di faglia con il suo comportamento meccanico nell'ammasso roccioso (ad es. allentamento), i parametri dell'ammasso roccioso e il suo comportamento nel caso di venute d'acqua. In considerazione dello spessore e dell'orientamento della canna della galleria è stato stimato il comportamento dell'ammasso roccioso della cavità.

### 4.8.2. Presentazione delle zone di faglia

Al fine di rappresentare le geometrie attese in fase di scavo in funzione dell'intersezione delle principali zone di faglia con il tunnel, sono state elaborate delle schede nelle quali sono riprodotti schematicamente i fronti di scavo e le porzioni di paramento ad essi contigui.

Lo scopo principale è stato quello di evidenziare le criticità geotecniche in un formato sintetico che rappresentasse:

- i) la giacitura del piano di faglia rispetto al fronte e al paramento e quella dei giunti ad esso associati
- ii) Lo spessore e la quantità delle faglie, nella media (m-dm)
- iii) la consistenza dello spessore della *core zone* e della *damage zone*
- iv) Influenza delle acque ipogee

Le zone di faglia sono state classicamente suddivise in una CORE ZONE (CZ, zona centrale), che rappresenta la porzione che ha accomodato il maggior grado di deformazione e consiste di rocce di faglia, e la DAMAGE ZONE (DZ, zona di danneggiamento) che è rappresentata dalla porzione di ammasso roccioso limitrofa alla faglia principale e caratterizzata da un'intenso grado di fratturazione.

#### 4.8.3. Kennwerte der Störzonen

In der Tabelle wurden die Kennwerte der einaxialen Druckfestigkeit, nämlich die Kohäsion  $c$  (Mpa) und der Reibungswinkel  $\phi$  (°), sowie der E-Modul jeweils getrennt für CZ und DZ aufgelistet.

Da von den Kakiriten, Kataklasten und stark aufgelockerten Zonen keine repräsentativen Laborergebnisse zur Verfügung standen und auch die Methode nach Hoek-Brown zur Bestimmung der Gebirgskennwerte nicht herangezogen werden konnte, wurden diese von eigenen Erfahrungen bei vergleichbaren Projekten abgeschätzt, siehe Tabella 2:

#### 4.8.3. Parametri delle zone di faglia

Nella tabella sono stati elencati i parametri della compressione uniassiale, cioè la coesione  $c$  (Mpa), l'angolo di attrito  $\phi$  (°) e il modulo  $E$ , rispettivamente suddivisi per CZ e DZ.

Dato che per le cachirite, le cataclasi e le zone fortemente detensionate non vi erano a disposizione risultati di laboratorio rappresentativi e che per la determinazione dei valori relativi all'ammasso roccioso era possibile avvalersi del metodo di Hoek/Brown, si è proceduto ad effettuare una stima sulla base delle esperienze acquisite in simili progetti, vedi **Error! Reference source not found.**

Projekt Progetto	Beschreibung Descrizione	Überlagerung Copertura	E-Modul GPa Modulo E GPa	Kohäsion MPa Coesione MPa	Reibungs- grad Grado di attrito
Gotthard Basistunnel, TA Sedrun TzM-Nord	extrem kakiritisierte Zonen Intensamente tettonizzato con formazione di cachirite	1000 m	2,0	0,3	26
Gotthard Basistunnel, TA Sedrun TzM-Nord	mäßig bis stark kakiritisierte Zonen Tettonizzato da mediamente a intensamente con formazione di cachirite	1000 m	4,0	0,5	26
Gotthard Basistunnel, MFS Faido	kakiritisierte Zonen zone con cachirite	1500 m	2,0	0,3/0,2	26/24
Gotthard Basistunnel, MFS Faido	intensiv geklüftete Gneise Gneiss intensamente fratturato	1500 m	4,0	0,8/0,2	30/28
Gotthard Basistunnel, TA Bodio	Kataklasten /Kakirite 4 m mächtig subvertikal Cataclasi / cachirite Spessore 4m subverticale	800 m	1,0	0	32
Tunnel Strengen	Quarzphyllit stark geklüftet Fillade quarzifera fortemente fratturata	600 m	1,2	0,6	30
Tunnel Strengen	Störung 2 m mächtig Spessore faglia 2m	600 m	0,1	0,3	20
Brenner Basistunnel 2002	Tarntaler Mesozoikum Mesozoico del complesso Tarntaler	1100 m	3,5	0,4	27

Tabelle 2: Mechanische Parameter von Störzonen von Projekten mit

Tabella 2: Parametri meccanici delle faglie di



*vergleichbaren Verhältnissen*

*progetti con condizioni simili*

#### 4.8.4. Gebirgsverhalten der Störzonen

Zur Ermittlung des Verhaltens der Störzonen wurden Kennlinien mittels axisymmetrischer FE-Berechnungen durchgeführt, siehe Abbildung 4 und 5, um die Größenordnung der zu erwartenden Verformungen abzuschätzen.

#### 4.8.4. Comportamento delle zone di faglia

Al fine di determinare il comportamento di faglie, sono state inserite, tramite calcoli degli elementi finit simetrici all'asse, delle curve caratteristiche, vedi anche le illustrazioni 4 e 5, per poter stimare l'ordine di grandezza delle deformazioni attese.

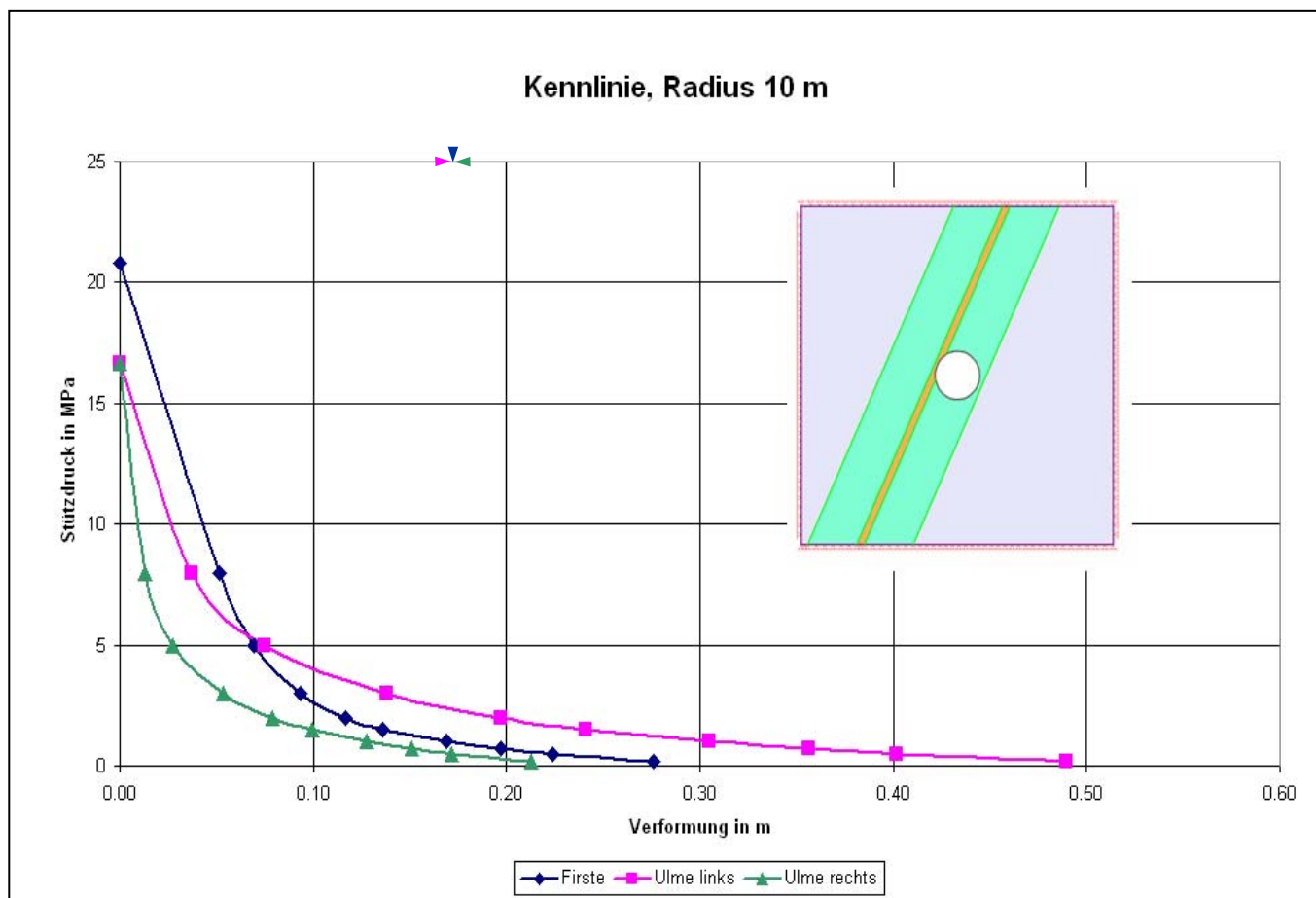


Abbildung 4: Kennlinien für asymmetrisch verlaufende Störzonen

Illustrazione 4: Curve caratteristiche delle zone di faglia con andamento assimetrico

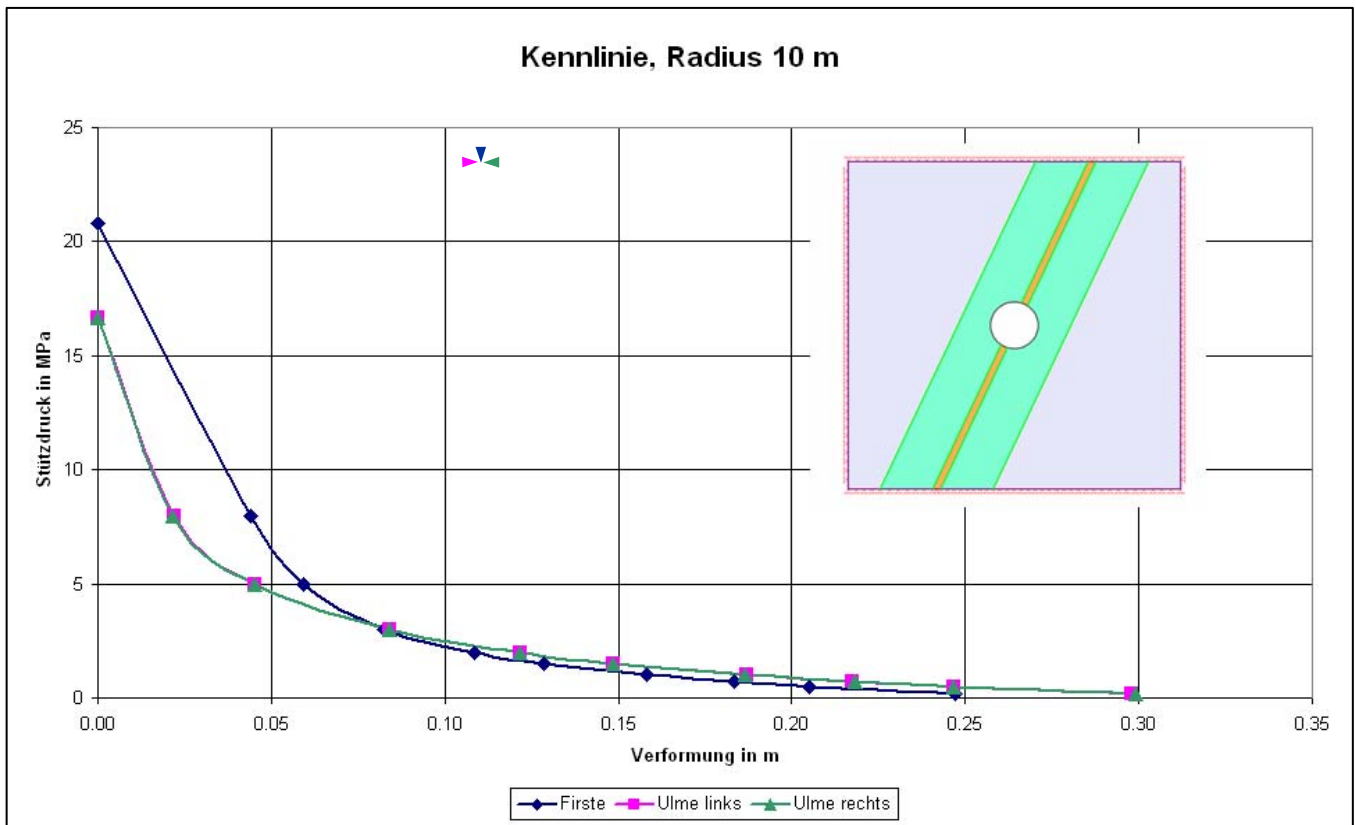


Abbildung 5: Kennlinien für symmetrisch verlaufende Störzonen

Illustrazione 5: Curve caratteristiche per zone di faglia con andamento simmetrico

Außerdem wurden die Anwesenheit und das Ausmaß der Wasseraustritte je Abschnittslänge (l/s/10m) angegeben. Die Beschreibung wird durch die Klassifizierung des Gebirgsverhaltens (GVT) nach der ÖGG – Richtlinie, die Abschätzung der zu erwartenden radialen Deformation sowie die qualitative Beschreibung der Ortsbruststabilität vervollständigt.

Für jede beschriebene Störungszone wurde auch die mögliche Anzahl des spezifischen Typs angegeben, die beim Tunnelvortrieb zu erwarten ist; bei dieser Angabe wurden die Störungen in den geologischen Längsprofilen berücksichtigt, wobei anhand der verfügbaren geologischen Daten abgeschätzt wurde, inwieweit die anhand der Luftbilddauswertung interpretierten Lineamente tatsächlichen Störungszone entsprechen.

E' stata inoltre riportata la presenza e l'entità delle venute d'acqua per lunghezza lineare della tratta (l/s/10m). La descrizione è completata dalla classificazione in termini di comportamento dell'ammasso roccioso (TCM) prescritte dalla direttiva ÖGG, dalla stima della deformazione radiale attesa e dalla descrizione qualitativa della stabilità del fronte.

Per ciascuna zona di faglia descritta è stata indicata anche la possibile quantità del rispettivo tipo di faglia atteso durante lo scavo della galleria; tale informazione è stata compilata prendendo in considerazione le faglie riportate nei profili geologici longitudinali e valutando, sulla base dei dati geologici disponibili, in che misura i lineamenti interpretati con valutazione delle riprese aeree rappresentino realmente zone di faglia.

#### 4.8.5. Legende für die Tabellen

DZ..... damage zone  
CT..... core zone  
ALZ ..... Auflockerungszone  
f.g..... fault gouge

#### 4.8.5. Legenda per le tabelle

DZ..... damage zone  
CT..... core zone  
ZdD ..... Zona di detensionamento  
f.g..... fault gouge

## 5. HOMOGENBEREICHE

### 5.1. Allgemeines

Um die Nachvollziehbarkeit der Ableitung des Gebirgsverhaltens zu gewährleisten, wurde die Unterteilung der geologischen Homogenbereiche beibehalten und mit den strukturellen Kennzeichen weiter unterteilt. Um dem unterschiedlichen Gebirgsverhalten Rechnung zu tragen, wurden die Bereiche bei stark unterschiedlicher Überlagerung nochmals unterteilt. Für viele unterschiedliche Bereiche ergibt sich allerdings dasselbe Gebirgsverhalten.

Die Störzonen wurden nicht auf die geologischen Homogenbereiche abgestimmt, sondern auf die stratigraphischen Einheiten, die den tektonischen Gegebenheiten besser entsprechen

### 5.2. Haupttunnel

Für den Haupttunnel wurde der geotechnische Längsschnitt durch die Oströhre erstellt. Ausgenommen ist der Eingangsbereich Innsbruck, da im Bereich der Sillschlucht die beiden Röhren nicht parallel verlaufen. Für diesen Bereich wurden getrennte Längsschnitte erstellt. Eine Beschreibung der Homogenbereiche erübrigt sich, da die diesbezüglichen Daten im jeweiligen geotechnischen Längsschnitt eingetragen sind. Für die Ermittlung des Gebirgsverhaltens der Haupttunnel wurde von einem Kreisquerschnitt mit 10 m Durchmesser ausgegangen.

### 5.3. Zugangsstollen

Für die Zugangsstollen Ahrental und Wolf wurden eigene geotechnische Längsschnitte erstellt, wobei bei der Ermittlung des Gebirgsverhaltens die gegenüber dem Haupttunnel größeren Hohlraumquerschnitte berücksichtigt wurden. Für die zusätzlichen Lüftungs- und Schutterstollen in diesen Bereichen wurden keine geotechnischen Längsschnitte erstellt, da aus den geologischen Profilen ersichtlich ist, dass analoge geologische Verhältnisse erwartet werden, die eine direkte Umsetzung in die bautechnischen Maßnahmen erlauben.

## 5. AREE OMOGENEE

### 5.1. Generalità

Al fine di garantire la rintracciabilità della derivazione del comportamento dell'ammasso roccioso è stata mantenuta la suddivisione delle aree omogenee geologiche, provvedendo ad un'ulteriore suddivisione con le caratteristiche strutturali. Al fine di considerare i diversi tipi di comportamento dell'ammasso roccioso, le aree la cui copertura differisce notevolmente sono state ulteriormente suddivise. Per tante aree diverse è risultato lo stesso comportamento dell'ammasso roccioso.

Le faglie non sono state concertate con le aree omogenee geologiche ma con le unità stratigrafiche che corrispondono meglio alle circostanze tettoniche.

### 5.2. Galleria principale

Per la galleria principale, il profilo geotecnico longitudinale è stato elaborato attraverso la canna est. L'area di imbocco di Innsbruck è un'eccezione perché nella zona del torrente Sill le due canne non proseguono parallelamente. Per questa zona sono state elaborate delle sezioni longitudinali separate. Non è necessario provvedere ad una descrizione delle aree omogenee perché i rispettivi dati sono stati inseriti nella relativa sezione longitudinale geotecnica. Per la determinazione del comportamento del tipo di roccia delle gallerie principali si è partito da una sezione trasversale rotonda con un diametro di 10 m.

### 5.3. Galleria di accesso

Per le gallerie di accesso di Ahrental e Wolf sono state redatte delle sezioni longitudinali geotecniche separate, considerando nell'ambito della determinazione del comportamento dell'ammasso roccioso anche le sezioni trasversali delle cavità che sono più grandi rispetto alla galleria. Per i cunicoli di ventilazione e di trasporto dello smarino in questa zona non sono state redatte delle sezioni longitudinali geotecniche perché si vede dai profili geologici che sono attese delle condizioni geologiche analoghe che permettono di applicare direttamente i provvedimenti tecnico-costruttivi.

#### 5.4. Entwässerungstollen

Für den Entwässerungstollen wurden die Homogenbereiche in einem gesonderten Längenschnitt bis zur Einmündung in den Servicestollen festgelegt. Dabei wurde die gegenüber dem Haupttunnel (Durchmesser = 10 m) reduzierte Querschnittsfläche des Entwässerungstollens (Durchmesser = 6 m) berücksichtigt. Für den Servicetunnel gelten dieselben Homogenbereiche wie für den Haupttunnel, die GVT's bleiben ident, die Gefährdungen sind geringer. Die Reduktion der Verformungen entspricht dem Verhältnis der Durchmesser wie aus dem Vergleich in Abbildung 6 ersichtlich ist.

Deshalb konnte auf eine eigene Darstellung der Homogenbereiche für den Servicestollen verzichtet werden.

#### 5.4. Cunicolo di drenaggio

Per il cunicolo di drenaggio, le aree omogenee sono state definite in una sezione trasversale separata fino all'imbocco della galleria di servizio. In tale ambito è stata considerata la superficie ridotta della sezione trasversale del cunicolo di drenaggio (diametro = 6m) rispetto a quella della galleria principale (diametro = 10m). Per la galleria di servizio valgono le stesse aree omogenee come per la galleria principale, i TCR rimangono gli stessi, i pericoli sono minori. La riduzione delle deformazioni corrisponde alla relazione dei diametri, come si vede anche dal confronto nell'illustrazione 6.

Per tale motivo si è potuto rinunciare ad una rappresentazione separata delle aree omogenee della galleria di servizio.

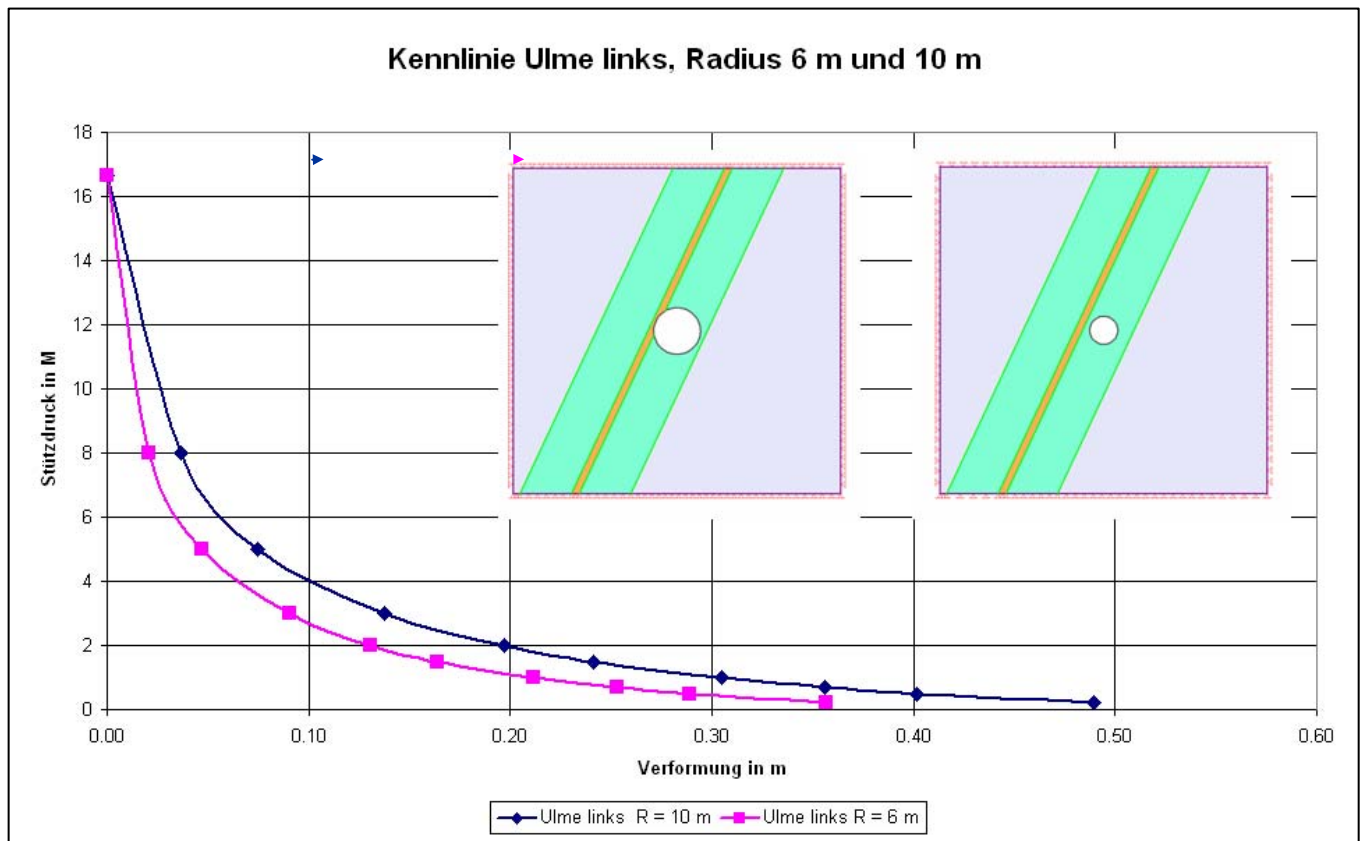


Abbildung 6: Vergleich der Verformungen für den Entwässerungstollen mit dem Haupttunnel

Für den Stollen zur Druckrohrleitung wurde keine gesonderte Bewertung vorgenommen, da diese dem nahezu parallel verlaufenden kurzen Abschnitt des Entwässerungstollens entspricht.

Illustrazione 6: Confronto tra le deformazioni del cunicolo di drenaggio con la galleria principale

Per il cunicolo alla condotta a pressione non è stata eseguita nessuna valutazione separata perché esso corrisponde alla breve tratta, quasi parallela, del cunicolo di drenaggio.

## 5.5. Multifunktionsstellen

In den Multifunktionsstellen sind verschiedene Hohlräume unterschiedlichen Querschnittes und Orientierung geplant. Für diese wurden aus folgenden Gründen im Einzelnen keine eigenen geotechnische Bewertungen vorgenommen:

- Die Gebirgsverhaltenstypen, die für den Haupttunnel definiert sind, ändern sich durch unterschiedliche Querschnittsgrößen dem Grunde nach nicht. Es ändert sich das Ausmaß der Gefährdung, z.B. die Größe der Kluftkörper und insbesondere die Größe der Verformungen. Vergleichsberechnungen zeigen, dass die Verformungen im Verhältnis der Durchmesser zu- oder abnehmen
- Im Bereich der Multifunktionsstellen befinden sich parallel geführte Hohlräume, die bei ungünstigen Verhältnissen (Störzonen) einen gegenseitigen Einfluss ausüben, welcher das Gebirgsverhalten ebenfalls nicht verändert, sondern das Ausmaß der Gefährdungen. Diese Auswirkungen sind bei der Umsetzung in die bautechnischen Massnahmen zu berücksichtigen. Die erforderlichen Kennwerte dazu sind in den Tabellen für die Gebirgsarten und Störzonen enthalten

## 5.5. Posti multifunzione

Nei posti multifunzione sono previste diverse cavità con differenti sezioni trasversali e diversi orientamenti. Per i motivi di seguito riportati non sono state eseguite delle valutazioni geotecniche separate:

- I tipi di comportamento dell'ammasso roccioso definiti per la galleria principale non cambiano quando si hanno delle sezioni trasversali di grandezza differente. Cambia l'entità del pericolo, p.e. la grandezza dei corpi dei giunti e soprattutto la grandezza delle deformazioni. Dai calcoli di confronto risulta che le deformazioni aumentano o diminuiscono a seconda del diametro.
- Nell'area dei posti multifunzione esistono delle cavità parallele che in condizioni sconvenienti (faglie) si influenzano reciprocamente. Tale influenza non cambia il comportamento dell'ammasso roccioso ma l'entità dei pericoli. Queste ripercussioni devono essere considerate nell'ambito dell'esecuzione degli interventi tecnico-costruttivi. I rispettivi parametri ivi necessari non contenuti nella tabella per i tipi di ammasso roccioso e le faglie.



## 6. VERZEICHNISSE

### 6.1. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Darstellung und Beschreibung der Gebirgsverhaltenstypen .....	22
Tabelle 2:	Mechanische Parameter von Störzonen von Projekten mit vergleichbaren Verhältnissen.....	24

### 6.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Anpassung des Mohr-Coulomb-Kriteriums an das Hoek-Brown-Kriterium.....	12
Abbildung 2:	Ergebnisse der Primärspannungsmessungen mit der Hydrofractmethode .....	17
Abbildung 3:	Beispiel der Ermittlung der Verformung und der Bruchzone mittels Kennlinienverfahren.....	19
Abbildung 4:	Kennlinien für asymmetrisch verlaufende Störzonen.....	25
Abbildung 5:	Kennlinien für symmetrisch verlaufende Störzonen.....	26
Abbildung 6:	Vergleich der Verformungen für den Entwässerungstollen mit dem Haupttunnel.....	28

### 6.3. Literatur und Quellen

#### 6.3.1. Literatur

Stini, J.: Tunnelbaugeologie, Springer – Verlag, Wien, 1950

Kastner, H.: Statik des Tunnel- und Stollenbaues, Springer - Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1962

Rabcewicz von L.: Gebirgsdruck und Tunnelbau, Springer – Verlag, Wien, 1944

John, M. & Poscher, G.: Primärspannungsmessungen: Zurecht oder zu Unrecht ein Stiefkind der Felsmechanik, Mitteilungen für Ingenieurgeologie und Geomechanik, Technische Universität Wien, Band 6, 2004

ÖGG – Richtlinie, 2001: Richtlinie für die Geomechanische Planung von Untertagebauarbeiten mit zyklischem Vortrieb, Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, Oktober 2001

Hoek, E., Carranza-Torres, C. & Corkum, B.: Hoek-Brown Failure Criterion – 2002 Edition.: NARMS-TAC, 2002

Hoek, E. & Diederichs, M.: Empirical estimation of rock mass modulus; International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences (Vol 43), 2006

## 6. ELENCHI

### 6.1. Elenco delle Tabelle

Tabella 1:	Rappresentazione e descrizione dei tipi di comportamento degli ammassi rocciosi.....	22
Tabella 2:	Parametri meccanici delle faglie di progetti con condizioni simili.....	24

### 6.2. Elenco delle illustrazioni

Illustrazione 1:	Adeguamento del criterio Mohr-Coulomb al criterio Hoek-Brown ....	12
Illustrazione 2:	Risultati delle misurazioni della tensione primaria con il metodo hydrofrac.....	17
Illustrazione 3:	Esempio per la determinazione della deformazione e della zona di rottura mediante il metodo di calcolo delle curve caratteristiche.....	19
Illustrazione 4:	Curve caratteristiche delle zone di faglia con andamento asimmetrico .	25
Illustrazione 5:	Curve caratteristiche per zone di faglia con andamento simmetrico ..	26
Illustrazione 6:	Confronto tra le deformazioni del cunicolo di drenaggio con la galleria principale.....	28

### 6.3. Bibliografia e fonti

#### 6.3.1. Bibliografia

Stini, J.: Tunnelbaugeologie, Springer – Verlag, Wien, 1950

Kastner, H.: Statik des Tunnel- und Stollenbaues, Springer - Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1962

Rabcewicz von L.: Gebirgsdruck und Tunnelbau, Springer – Verlag, Wien, 1944

John, M. & Poscher, G.: Primärspannungsmessungen: Zurecht oder zu Unrecht ein Stiefkind der Felsmechanik, Mitteilungen für Ingenieurgeologie und Geomechanik, Technische Universität Wien, Band 6, 2004

ÖGG – Richtlinie, 2001: Richtlinie für die Geomechanische Planung von Untertagebauarbeiten mit zyklischem Vortrieb, Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, Oktober 2001

Hoek, E., Carranza-Torres, C. & Corkum, B.: Hoek-Brown Failure Criterion – 2002 Edition.: NARMS-TAC, 2002

Hoek, E. & Diederichs, M.: Empirical estimation of rock mass modulus; International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences (Vol 43), 2006

Serafim, J.L. & Pereira, J.P.: Considerations on the Geomechanical Classification of Bieniawski; Proc. Int. Symp. Engineering Geology and Underground Construction, Lisbon 1 (II), 1983

Boyd, R.D.: Elastic properties of jointed rock masses with regard to their rock mass rating value; The Engineering Rock Mass Classifications, Ed WILEY, 1993.

Hoek, E. & Marinos, P.: Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses; Tunnels and Tunnelling International, November and December 2000.

### 6.3.2. Quellen

Geotechnische Laborversuche: Bericht über die Gebirgsarten, gdtest, 31/10/2005

### 6.3.2. Fonti

Prove geotechniche di laboratorio: Relazione sui tipi di ammasso roccioso N.1, gdtest, 31/10/2005

## 6.4. Abkürzungsverzeichnis

GVT.....Gebirgsverhaltenstyp

## 6.4. Elenco delle abbreviazioni

TCR.....Tipo di compartimento dell'ammasso

## 6.5. Pläne und sonstige Unterlagen

## 6.5. Elaborati grafici ed ulteriore documentazione

### 6.5.1. Zugehörige Pläne

- Geotechnischer Längenschnitt, Haupttunnel: M 1:25.000
- Geotechnischer Längenschnitt, Eingangsbereich Innsbruck, Oströhre: M 1:2.000
- Geotechnischer Längenschnitt, Eingangsbereich Innsbruck, Weströhre: M 1:2.000
- Geotechnischer Längenschnitt, Verbindungstunnel Ost: M 1:10.000
- Geotechnischer Längenschnitt, Verbindungstunnel West: M 1:10.000
- Geotechnischer Längenschnitt, Zufahrtsstollen Ahrental: M 1:10.000
- Geotechnischer Längenschnitt, Zufahrtsstollen Wolf: M 1:10.000
- Geotechnischer Längenschnitt, Entwässerungsstollen M 1:10.000

### 6.5.1. Elaborati grafici attinenti

- Profilo geomeccanico, Galleria di base: M 1: 25.000
- Profilo geomeccanico, Area ingresso nord, Galleria est: M 1: 2.000
- Profilo geomeccanico, Area ingresso Innsbruck, Galleria ovest: M 1: 2.000
- Profilo geomeccanico, Galleria di collegamento est: M 1:10.000
- Profilo geomeccanico, Galleria di collegamento ovest: M 1:10.000
- Profilo geomeccanico, Galleria d'accesso Ahrental: M 1:10.000
- Profilo geomeccanico, Galleria d'accesso Wolf, M 1:10.000
- Profilo geomeccanico, Cunicolo di drenaggio, M 1:10.000

### 6.5.2. Zugehörige Unterlagen

- Technischer Bericht: Haupttunnel: Gebirgsarten, Gebirgsverhaltenstypen, Störzonen
- Technischer Bericht: Verbindungstunnel: Gebirgsarten, Gebirgsverhaltenstypen, Störzonen

### 6.5.2. Documentazione attinente

- Relazione tecnica: Galleria principale: Tipi di ammassi rocciosi, comportamento, zone di faglia
- Relazione tecnica: Galleria di collegamento: Tipi di ammassi rocciosi, comportamento, zone di faglia



- Technischer Bericht:  
Zugangsstollen Ahrental: Gebirgsarten,  
Gebirgsverhaltenstypen, Störzonen
- Technischer Bericht:  
Zugangsstollen Wolf: Gebirgsarten,  
Gebirgsverhaltenstypen, Störzonen
- Technischer Bericht:  
Entwässerungstollen: Gebirgsarten,  
Gebirgsverhaltenstypen, Störzonen
- Relazione tecnica:  
Galeria di accesso Ahrental: Tipi di ammassi  
rocciosi, comportamento, zone di faglia
- Relazione tecnica:  
Galeria di accesso Wolf: Tipi di ammassi rocciosi,  
comportamento, zone di faglia
- Relazione tecnica:  
Cunicolo di drenaggio: Tipi di ammassi rocciosi,  
comportamento, zone di faglia