



Mit Beteiligung der Europäischen Union aus dem Haushalt
der Transeuropäischen Verkehrsnetzefinanziertes Vorhaben
*Opera finanziata con la partecipazione dell'Unione Europea
attraverso il bilancio delle reti di trasporto transeuropee*



AUSBAU EISENBAHNACHSE MÜNCHEN-VERONA BRENNER BASISTUNNEL

Ausschreibungsphase

POTENZIAMENTO ASSE FERROVIARIO MONACO-VERONA

GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO

Progettazione esecutiva

Fachbereich GEO-HYDRO
Settore GEO-HYDRO

Projekteinheit

Geologisch-hydrogeologische Planung

Dokumentenart

Technischer Bericht

Titel

Geologisch - hydrogeologische Prognose
Erkundungsstollen Ahrental

Unità di progetto

Progettazione geologica-idrogeologica

Tipo Documento

Relazione tecnica

Titolo

Previsione geologica - idrogeologica
Cunicolo esplorativo Ahrental



GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO - BRENNER BASISTUNNEL BBT SE

Piazza Stazione 1 • I-39100 Bolzano
Tel.: +39 0471 0622-10 • Fax: +39 0471 0622-11
Amraser Str. 8 • A-6020 Innsbruck
Tel.: +43 512 4030 • Fax: +43 512 4030-110
Email: bbt@bbt-se.com • www.bbt-se.com

	Datum / data	Name / nome
Bearbeitet / Elaborato	27.08.2013	BAAs
Geprüft / Verificato	28.08.2013	GHo
Freigegeben / Autorizzato		
Freigegeben BBT / Approvato BBT		
Masstab / Scala	-	

Projekt- kilometer / Progressiva di progetto	von / da	6,9	Bau- kilometer / Chilometro opera	von / da	Status Dokument / Stato documento		
	bis / a	22,0		bis / a			
	bei / al			bei / al			
Staat Stato	Los Lotto	Einheit Unità	Nummer Numero	Dokumentenart Tipo Documento	Vertrag Contratto	Nummer Codice	Revision Revisione
01	GH33	GP	005	GTB	D0642	00001	00

Bearbeitungsstand Stato di elaborazione			
Revision Revisione	Änderungen / Cambiamenti	Verantwortlicher Änderung Responsabile modifica	Datum Data
00	Erste Ausgabe / Prima edizione		

1	AUFGABENSTELLUNG	
1	IMPOSTAZIONE DEL LAVORO	5
2	GELTUNGSBEREICH	
2	CAMPO DI APPLICAZIONE	5
3	GEOLOGISCHES MODELL	
3	MODELLO GEOLOGICO	6
3.1	GENERELLES	
3.1	CONDIZIONI GENERALI	6
3.2	GEOGRAPHISCHE ÜBERSICHT	
3.2	SINTESI GEOGRAFICA.....	6
3.3	REGIONALGEOLOGISCHER RAHMEN	
3.3	CONTESTO GEOLOGICO REGIONALE.....	8
3.4	LOKALER GEOLOGISCHER ÜBERBLICK - INNSBRUCKER QUARZPHYLLITES	
3.4	CONTESTO GEOLOGICO A SCALA LOCALE - FILLADE QUARZIFERA DU INNSBRUCK.....	13
3.4.1	Quarzphyllit (306)	
3.4.1	Fillade quarzifera (306).....	14
3.4.2	Quarzit- Quarzitschiefer, Gneis (307)	
3.4.2	Quarziti- Scisti quarzitici, Gneiss (307).....	16
3.4.3	Grünschiefer, Chloritschiefer (Metabasit) (310)	
3.4.3	Scisti verdi, scisti cloritici (metabasite) (310).....	17
3.4.4	Porphyroid (301)	
3.4.4	Porfiroide (301).....	19
3.4.5	Kalk-und Dolomitmarmor (302 und 304)	
3.4.5	Marmi calcarei e dolomitici (302 e 304).....	19
3.4.6	Graphitphyllit (303)	
3.4.6	Fillade grafitica (303).....	20
3.4.7	Glimmerschiefer, Granatglimmerschiefer (309)	
3.4.7	Micascisti, micascisti granatiferi (309)	22
3.4.8	Amphibolith (311)	
3.4.8	Anfibolite (311)	23
3.4.9	Biotitschiefer-gneis (312)	
3.4.9	Scisti in biotite - gneiss (312).....	23
3.5	LOKALER GEOLOGISCHER ÜBERBLICK - GLOCKNER DECKENKOMPLEX	
3.5	SINTESI GEOLOGICA A LIVELLO LOCALE - COMPLESSO DELLA FALDA DEL GLOCKNER	25
3.5.1	Kalkschiefer	
3.5.1	Calcescisti calcarei	26
3.5.2	Kalkphyllit	
3.5.2	Fillade calcarea	27
3.5.3	Schwarzphyllit	
3.5.3	Fillade nera.....	28
3.5.4	Chloritschiefer	
3.5.4	Scisti cloritici.....	28
3.5.5	Lantschfeldquarzit	
3.5.5	Quarzite di Lantschfeld.....	29
3.6	STRUKTURGEOLOGISCHER AUFBAU	
3.6	ASSETO GEOLOGICO-STRUTTURALE.....	30
3.6.1	Übersicht	
3.6.1	Introduzione.....	30
3.6.2	Metamorphe Deformationsabfolge	
3.7	SUCCESSIONE DEFORMATIVA METAMORFICA	31

3.6.3	Postmetamorphe Deformationsabfolge	
3.7.1	Successione deformativa postmetamorfica	32
3.6.4	Wichtige Störungen entlang der Trasse des Erkundungsstollens Ahrental	
3.7.2	Faglie importanti nello corridoio del cunicolo esplorativo Ahrental	35
3.7	NEOTEKTONIK	
3.8	NEOTETTONICA	39
4	GEOLOGISCHE UND HYDROGEOLOGISCHE PROGNOSE ENTLANG DER TUNNELACHSE	
4	DESCRIZIONE PREVISIONALE IN ASSE ALLA GALLERIA	42
4.1	GEOLOGISCHE PROGNOSE FÜR DEN ERKUNDUNGSSTOLLEN AHRENTAL	
4.1	PROGNOSI GEOLOGICA PER IL CUNICOLO ESPLORATIVO AHRENTAL	42
4.1.1	Abschnitt von km 6+922,688 bis 7+185 ca.: Innsbrucker Quarzphyllit („Hangende Serie“)	
4.1.1	Tratto da km 6+922,688 a 7+185 ca.: Fillade quarzifera di Innsbruck (“serie di tetto”)	42
4.1.2	Abschnitt von km 7+185 bis 8+850 ca.: Innsbrucker Quarzphyllit (höhermetamorpher Abschnitt)	
4.1.2	Tratto da km 7+185 a 8+850 ca.: Fillade quarzifera di Innsbruck (settore di grado metamorfico più elevato)	43
4.1.3	Abschnitt von km 8+850 bis 11+310 ca.: Innsbrucker Quarzphyllit („Liegende Serie“)	
4.1.3	Tratto da km 8+850 a 11+310 ca.: Fillade quarzifera di Innsbruck (“serie di letto”)	44
4.1.4	Abschnitt von km 11+310 bis 13+960 ca.: Innsbrucker Quarzphyllit (Schwarzphyllit-Karbonat-Serie)	
4.1.4	Tratto da km 11+310 a 13+960 ca.: Fillade quarzifera di Innsbruck (serie della fillade nera-carbonatica)	45
4.1.5	Abschnitt von km 13+960 bis 15+400 ca.: Obere Bündner Schiefer (Zone mit gehäuft exotischen Schollen) und Innsbrucker Quarzphyllit	
4.1.5	Tratto da km 13+960 a 15+400 ca.: Calcescisti superiori (zona ricca di scaglie esotiche) e fillade quarzifera di Innsbruck	45
4.1.6	Abschnitt von km 15+400 bis 17+100 ca.: Obere Bündner Schiefer	
4.1.6	Tratto da km 15+400 a 17+100 ca.: Calcescisti superiori	47
4.1.7	Abschnitt von km 17+100 bis 18+360 ca.: Obere Bündner Schiefer (Zone mit gehäuft exotischen Schollen)	
4.1.7	Tratto da km 17+100 a 18+360 ca.: Calcescisti superiori (zona ricca di scaglie esotiche)	48
4.1.8	Abschnitt von km 18+360 bis 19+050 ca.: Obere Bündner Schiefer	
4.1.8	Tratto da km 18+360 a 19+050 ca.: Calcescisti superiori	49
4.1.9	Abschnitt von km 19+050 bis 19+550 ca.: Kalkphyllit-Chloritphyllit-Schwarzphyllit-Wechselfolge	
4.1.9	Tratto da km 19+050 a 19+550 ca.: Alternanza di filladi calcarei-filladi cloritici-filladi neri	49
4.1.10	Abschnitt von km 19+550 bis 22+000 ca.: Mittlerer Abschnitt des Bündnerschiefer-Komplexes	
4.1.10	Tratto da km 19+550 a 22+000 ca.: Settore intermedio del complesso dei calcescisti	50
4.2	HYDROGEOLOGISCHE PROGNOSE FÜR DEN ERKUNDUNGSSTOLLEN AHRENTAL	
4.2	PROGNOSI IDROGEOLOGICA PER IL CUNICOLO ESPLORATIVO AHRENTAL	51
4.2.1	Homogenbereich 1	
4.2.1	Settore omogeneo 1	51
4.2.2	Homogenbereich 2	
4.2.2	Settore omogeneo 2	53
4.2.3	Homogenbereich 3	
4.2.4	Settore omogeneo 3	
5	EIGENSCHAFTEN DER WASSERZUTRITTE UND DES GESAMTABFLUSSES	
5	CARATTERISTICHE DELLE VENUTE D'ACQUA E DEL DEFLUSSO COMPLESSIVO	57
6	POTENTIELLER HYDROGEOLOGISCHER EINFLUSSBEREICH UND BEWEISSICHERUNGSRaum	
6	POTENZIALE ZONA DI INFLUENZA IDROGEOLOGICA E AREA DI MONITORAGGIO	58
7	LITERATURVERZEICHNIS	
7	BIBLIOGRAFIA	60

7.1	ZUSÄTZLICH VERWENDETE UNTERLAGEN	
7.1	DOCUMENTI ADDIZIONALI	60
7.2	LITERATUR UND QUELLEN	
7.2	BIBLOGRAFIA E FONTI	60

1 AUFGABENSTELLUNG

Die Aufgabenstellung ist die geologisch-hydrogeologische Planung des Erkundungsstollens Ahrental von km 6+922,688 bis km 22+000,000.

Im vorliegenden Bericht wird die geologisch-hydrogeologische Situation im Projektraum beschrieben sowie die geologische und hydrogeologische Prognose für den Erkundungsstollen Ahrental gemacht.

Grundlage für die Prognose sind dabei sowohl die Ergebnisse der Erkundungen aus der Einreichphase des Brenner-Basistunnels und insbesondere die im Zuge der Vortriebe des Erkundungsstollens Innsbruck-Ahrental, Zugangstunnel Ahrental und Fensterstollen Ampass gewonnenen Erkenntnisse.

2 GELTUNGSBEREICH

Der Geltungsbereich dieses Berichtes beschränkt sich ausschließlich auf den Erkundungsstollen Ahrental von km 6+922,688 bis km 22+000,000.

Nördlich des betrachteten Abschnittes schließt der Erkundungsstollen an den bereits aufgefahrenen Erkundungsstollen an.

Geographisch gesehen erstreckt sich der Erkundungsstollen Ahrental vom Nordwesthang des Patscherkofels in Richtung Süden bis zum östlich des Wipptal gelegenen Padastertal (Nordhang).

1 IMPOSTAZIONE DEL LAVORO

L'obiettivo è la progettazione geologico-idrogeologica del cunicolo esplorativo Ahrental da km 6+922,688 a km 22+000,000.

La presente relazione comprende la descrizione della situazione geologico-idrogeologica nell'area di progetto e la previsione geologica ed idrogeologica per il cunicolo esplorativo Ahrental.

La previsione si basa sui risultati delle prospezioni effettuate in fase di progettazione definitiva della Galleria di Base del Brennero e, in particolare, sulle conoscenze acquisite nel corso dello scavo del cunicolo esplorativo Innsbruck – Ahrental, della galleria di accesso Ahrental e della finestra di Ampass.

2 CAMPO DI APPLICAZIONE

Il campo di applicazione della presente relazione è limitato solo al cunicolo esplorativo Ahrental da km 6+922,688 a km 22+000,000.

A nord del tratto in esame il cunicolo esplorativo si collega al tratto del cunicolo esplorativo già scavato.

In termini geografici il cunicolo esplorativo di Ahrental si estende dal versante nord-ovest del monte Patscherkofel in direzione sud fino alla Val Padaster posizionata ad est della Valle Wipptal (versante nord).

3 GEOLOGISCHES MODELL

3.1 GENERELLES

Aufbauend auf dem geologischen Modell des Einreichoperates 2008 und den Erkenntnissen aus den zusätzlichen Erkundungen (Erkundungsstollen und Bohrungen) wird das geologisch-hydrogeologische Modell beschrieben.

3.2 GEOGRAPHISCHE ÜBERSICHT

Der Erkundungsstollen Ahrental schließt im Norden, im Bereich des Nordwesthanges des Patscherkofles, bei km 6+922,688 an den bereits aufgefahrenen Erkundungsstollen an. Die Trasse unterquert an der östlichen Seite des Wipptales von Norden nach Süden das Viggartal, Arzthal, Navistal und endet bei km 22+000,000 im Bereich des Norhanges des Padastertales (Abb. 1).

Die minimalen Überlagerungshöhen werden mit ca. 420 m im Bereich Navistal; die maximalen Überlagerungshöhe mit ca. 1300 m im Bereich Schröflkogel angetroffen.

3 MODELLO GEOLOGICO

3.1 CONDIZIONI GENERALI

Il modello geologico-idrogeologico viene descritto in base al modello geologico di cui al progetto definitivo 2008 e alle conoscenze acquisite in seno alle prospezioni aggiuntive (cunicolo esplorativo e sondaggi).

3.2 SINTESI GEOGRAFICA

Il cunicolo esplorativo di Ahrental si collega a nord, in corrispondenza del versante nord-ovest del monte Patscherkofel, al km 6+922,688 al cunicolo esplorativo già scavato. Il tracciato sottoattraversa, sul lato orientale della Valle Wipptal, da nord a sud le valli Viggartal, Arzthal e Navistal e termina al km 22+000,000 in corrispondenza del versante nord della Val Padastertal (ill. 1).

Si riscontrano delle coperture minime pari a circa 420 m nell'area della Valle Navistal e delle coperture massime pari a circa 1300 m in corrispondenza del monte Schröflkogel.

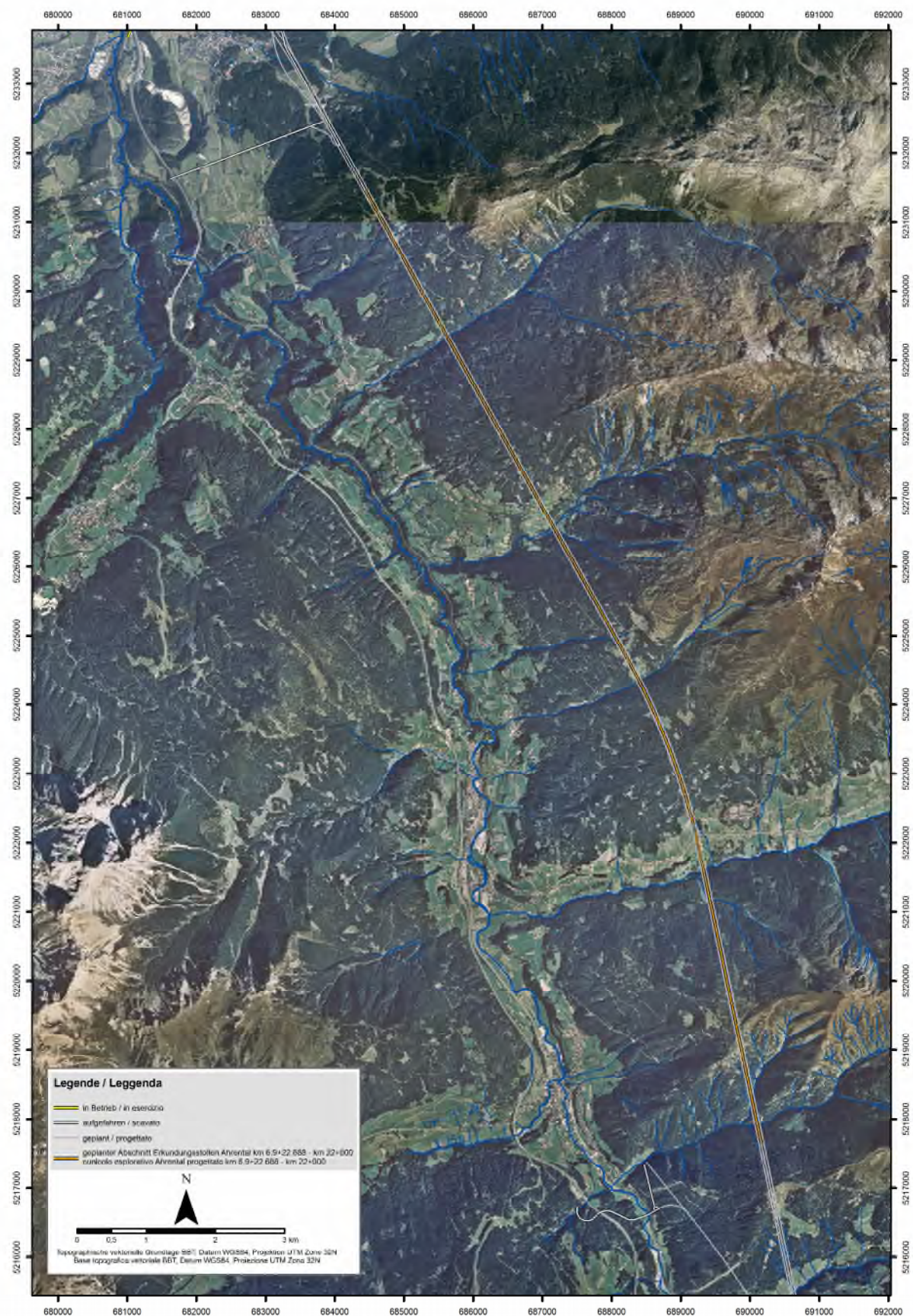


Abb. 1 Übersicht über Projektgebiet mit bestehenden und geplanten Tunnelbauwerken, in braun der geplante Erkundungsstollen Ahrental

Fig. 1 Corografia dell'area di progetto con le opere di galleria esistenti e previste, in bruno il cunicolo esplorativo Ahrental previsto

3.3 REGIONALGEOLOGISCHER RAHMEN

Der geplante Brenner-Basistunnel führt geographisch durch den zentralen Bereich der Ostalpen, geologisch hingegen durch das empor gewölbte Zentrum der Kollisionszone der europäischen und adriatischen (afrikanischen) Platten. Das Tauernfenster gewährt Einblick in einen tieferen Krustenabschnitt mit übereinander gestapelten, tektonischen Stockwerken der Ostalpen (Abb. 2).

- Das Innerste des Tauernfensters wird aus dem hochgepressten Südrand des europäischen Kontinents (=Venediger Deckensystem, Sub-Penninikum) gebildet.
- Nach außen folgen metamorphe Gesteine ozeanischen Ursprungs (=Glockner Deckenkomplex, Penninikum).
- Der „Fensterrahmen“ wird von Gesteinen des adriatischen Kontinentalrands (=Ostalpin) gebildet. In der Mélangezone der Matreier- und Tauernnordrandzone befindet sich die tektonische Mischzone der Gesteinsformationen der Kontinent-Ozean-Übergangszone.

Metamorphose und die Art der Deformationen deuten auf Subduktion mit entsprechender Versenkung (ca. 35 km) und folgender Kollision mit nordgerichteter Vergenz in einem Akkretionskeil hin. Die heutigen tektonischen Einheiten sind Krustenfragmente, die von der subduzierenden Lithosphäre abgelöst wurden und nun in Form eines akkredierten Deckenstapels vorliegen. Am Top des Akkretionskeils finden sich am Tauernnordrand Anklänge an eine Flyschentwicklung mit Turbiditen und Olistolithen (Frisch, 1984). Zahlreiche Autoren haben sich mit der Tektonik und Paläogeographie dieser zentralen Ostalpenzone beschäftigt. Aus der jüngeren Zeit seien die Arbeiten von Frisch, 1976, 1979, Ratschbacher et al., 1991, Fügenschuh et al., 1997 und Lammerer & Weger, 1998 hervorgehoben.

3.3 CONTESTO GEOLOGICO REGIONALE

La Galleria di Base del Brennero porta geograficamente nella parte centrale delle Alpi Orientali, dal punto di vista geologico invece nel centro a volta della zona di collisione tra la placca europea e quella adriatica (africana). La Finestra dei Tauri ci consente di prendere visione di un settore di crosta più profondo con delle falde tettoniche sovrapposte delle Alpi Orientali (fig. 2).

- Il nucleo della Finestra dei Tauri è composto dal limite meridionale pressato del continente europeo (=sistema tettonico Gran Veneziano, Sub-Pennidi).
- Verso l'esterno seguono rocce metamorfiche di origine oceanica (complesso della Falda del Glockner, Pennidi).
- La „cornice di finestra“ risulta costituita da litotipi del margine del continente adriatico (=Austroalpino). Nel settore a „mélange“ della zona di Matrei, nonché della zona del limite settentrionale dei Tauri si trova il settore tettonico misto delle formazioni rocciose della zona di transito continente-oceano.

La metamorfosi ed il tipo di deformazione indicano subduzione con relativa immersione (35 km circa) e seguente collisione in un prisma di accrezione, immergente verso nord. Le unità tettoniche recenti sono dei frammenti di crosta, staccati dalla litosfera ed ora presenti sotto forma di una sistema di falde di accrezione. In sommità del prisma di accrezione si rinvengono - in corrispondenza della zona settentrionale dei Tauri – echi di „flysch“ con torbiditi ed olistoliti (Frisch, 1984). Numerosi autori si sono confrontati con la tettonica e la paleogeografia di tale zona centrale delle Alpi Orientali. Di recente sono da segnalare le opere di Frisch 1976, 1979, Ratschbacher et al., 1991, Fügenschuh et al., 1997 nonché Lammerer & Weger, 1998.

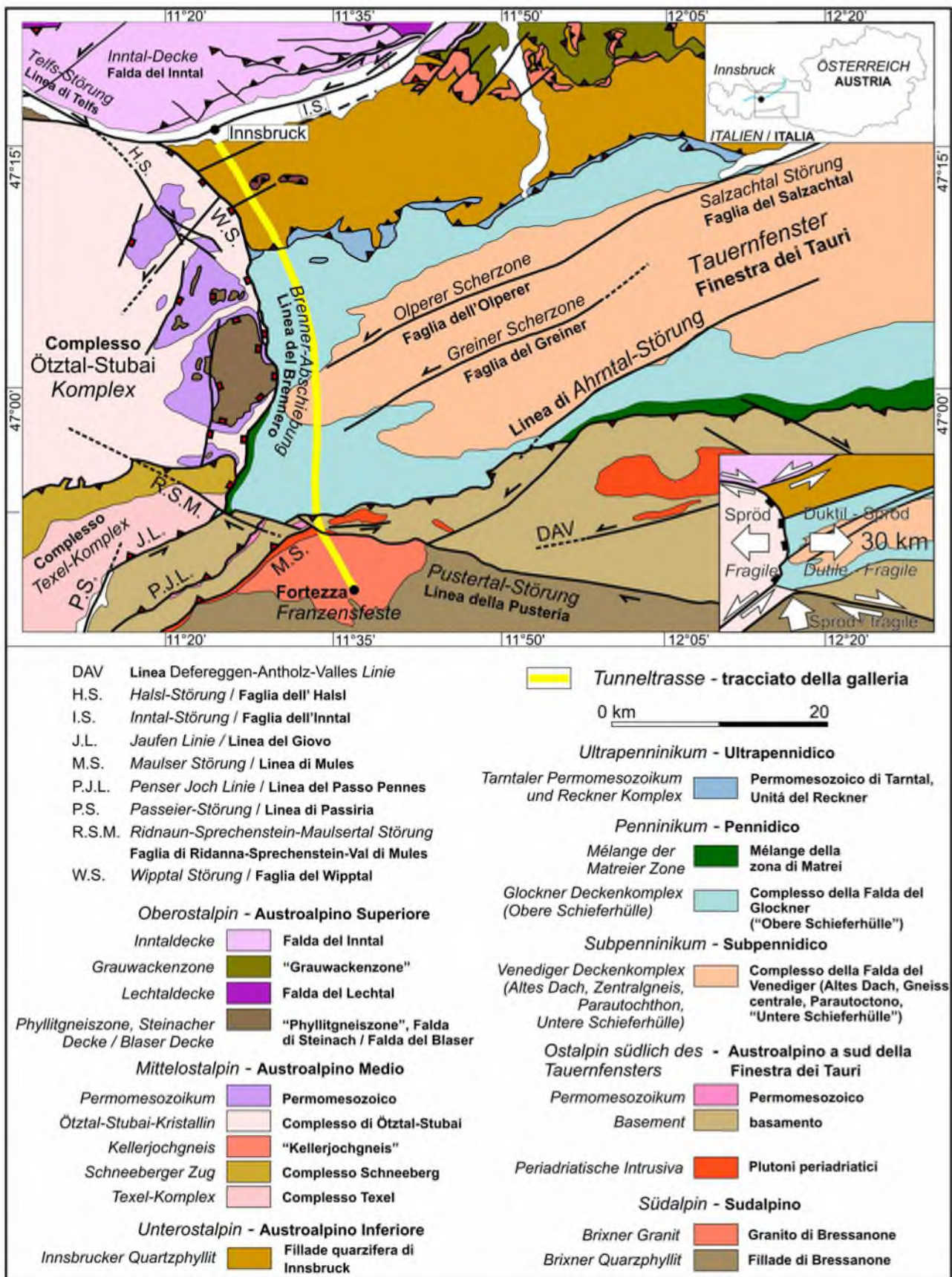


Abb. 2 Tektonische Übersichtskarte des westlichen Tauernfensters. Verändert nach Brandner, 1980, ergänzt nach Mancktelow et al., 2001.

Fig. 2 Carta tettonica generale della Finestra dei Tauri occidentale. Modificato Brandner, 1980, integrato secondo Mancktelow et al., 2001.

Im postkollisionalen Stadium dringt im Jungtertiär der vermutlich rigide Südalpen-Indenter ("adriatic indenter") in die plastisch deformierbaren Nordalpen ein und verursacht die Emporwölbung des Tauernfensters samt tektonischer Exhumation und Denudation (Selverstone, 1988). Dabei entstehen die wichtigen, großen Störungszonen wie das Periadriatische Lineament an der Nordalpen-Südalpengrenze, die Brennerabschiebung sowie das Inntalstörungssystem (Ratschbacher et al., 1991). Die genannten Störungszonen stehen kinematisch im Zusammenhang und ermöglichen sowohl die heute noch andauernde Hebung des Tauernfensters als auch das Auswandern dieses Krustensegmentes ("continental escape") nach Osten. Teile der Störungen können in geringem Ausmaß auch heute noch aktiv sein.

An das Periadriatische Lineament grenzen im S die Südalpen an, die im Gegensatz zu den Nordalpen nicht in den Subduktionsprozess involviert waren. Ihnen fehlt daher die alpine metamorphe Überprägung. Jegliche Deformation seit dem Abkühlen der Kruste nach der variszischen Orogenese erfolgte daher im spröden Regime. Insgesamt ist vor allem gegen S hin eine südvergente Falten- und Überschiebungstektonik dominant, welche die bekannte bivergente Geometrie der Ostalpen im N-S-Schnitt hervorruft.

Im Bereich des Projektraumes des BBT sind die folgenden tektonischen Großeinheiten anzutreffen. Von N nach S aufgezählt sind dies:

- Innsbrucker Quarzphyllitdecke: unterostalpine Teildecke der ostalpinen Grundgebirgsdecken
- Tarntaler Zone (evtl. Permomesozoikum /laut Karte): Mischzone kontinentaler und ozeanischer Gesteinsformationen des Ultrapenninikums
- Penninikum (=Glockner Deckenkomplex): wird rein deskriptiv auch als "Obere Schieferhülle" bezeichnet
- Subpenninikum (=Venediger Deckenkomplex): Dazu werden die

Nel periodo postcollisionale, nell'età Terziaria sup., l'Indenter delle Alpi Meridionali presumibilmente rigido ("adriatic indenter"), penetra nelle Alpi Settentrionali plastici, provocando la bombatura della Finestra dei Tauri, incluso esumazione tettonica e denudazione (Selverstone, 1988). Contemporaneamente si formano le zone di faglie importanti come il Lineamento Periadriatico al contatto Alpi Settentrionali-Alpi Meridionali, la Faglia del Brennero, nonché il sistema di faglie dell'Inntal (Ratschbacher et al., 1991). Le zone di faglie nominate stanno in relazione dal punto di vista cinematico rendono sia possibile l'esumazione della Finestra dei Tauri, ancora in atto, nonché l'estrusione di tale segmento di crosta ("continental escape") verso est. Parti delle faglie possono essere attivi, in maniera trascurabile, ancora oggi.

A sud del Lineamento Periadriatico si rinvengono le Alpi Meridionali, che non sono stati coinvolti, al contrario delle Alpi Settentrionali, nel processo di subduzione. Per questo motivo risultano privi dell'impronta metamorfica. Ogni deformazione a partire dal raffreddamento della crosta dopo l'orogenesi varisica si sviluppò perciò in regime rigido. Complessivamente domina soprattutto verso valle una tettonica di pieghe e di faglie inverse, immergenti in direzione sud, che provoca la nota geometria a doppia immersione delle Alpi Orientali nella sezione N-S.

Nell'area progettuale del BBT si riscontrano le seguenti unità tettoniche a grande scala. Da N a S si distinguono:

- Falda della Fillade di Innsbruck: falda parziale austroalpina inferiore del substrato austroalpino
- Zona di Tarntal (eventualmente Permomesozoico/secondo carte): zona mista di formazioni di rocce continentali ed oceaniche degli Ultrapennidi
- Pennidi (=Falda del Glockner): descritta come Schieferhülle superiore
- Subpennidi (sistema tettonico Gran Veneziano): comprendono i litotipi del

Gesteinseinheiten des “Alten Dachs”, des “Zentralgneises” und der “Unteren Schieferhülle” gerechnet.

- Penninikum: wie oben
- Oberostalpin mit polymetamorphem kristallinem Grundgebirge und darauf lagerndem Permomesozoikum (“Maulser Trias”) und oligozäne Intrusionsgesteine des Rensen-Granodiorits/Tonalits. Die Maulser Tonalitlamelle verläuft entlang dem Periadriatischen Lineament.
- Südalpin mit dem Grundgebirge des Brixner Quarzphyllits und dem Intrusionskomplex des permischen Brixner Granits.

basamento pregranitico, del Gneiss Centrale e della Schieferhülle inferiore

- Pennidi: come sopra
- Austroalpino superiore con substrato cristallino a polimetamorfosi e sovrapposto Permomesozoico (Triassico di Mules), nonché rocce intrusive dell'Oligocene della granodiorite/tonalite di Rensen. La lente della tonalite di Mules si sviluppa lungo il Lineamento Periadriatico.
- Alpi Meridionali con il substrato della Fillade di Bressanone ed il complesso intrusivo del Granito di Bressanone (Permiano).

Einheiten im N und im S des zentralen Subpenninikums ist mit der antiformalen Aufwölbung des Tauern Fensters zu erklären.

La doppia nominazione di unità austroalpine e pennidiche a N ed a S dei Subpennidi centrali si spiega con la bombatura ad antiforme della Finestra dei Tauri.

Die Abgrenzung dieser Großeinheiten erscheint hier klar und einfach, ist aber im Detail mitunter schwierig und nicht ganz eindeutig. Der Grund dafür liegt einerseits in engen und oftmaligen Verfaltung der Deckengrenzen selbst, andererseits aber auch in der althergebrachten Vermischung der paläogeographischen und der tektonischen Bedeutung der Begriffe. Für die strukturellen Einheiten, die tektonisch unter dem Penninikum liegen wird der wertfreien Begriff “Subpenninikum” verwendet (Schmid et al., 2004). Damit wäre der hochgeschuppte Südrand des europäischen Kontinents (Basement und Permomesozoische Sedimenthülle = Untere Schieferhülle) gemeint. Am Nordrand der Alpen wird dafür der Begriff “Helvetikum” verwendet. In Äquivalenz dazu bezeichneten einige Autoren dieses Krustensegment im Tauernfenster deshalb auch als “Tauernhelvetikum”. Auch das Gotthard-Massiv wird dem Subpenninikum zugerechnet – die sinngemäße Verwendung des Begriffs im Tauernfenster erleichtert somit den direkten Vergleich der beiden Basistunnel.

La delimitazione di tali unità a grande scala pare piuttosto chiara e semplice, risulta però nel dettaglio talvolta difficile e non del tutto netta. La causa è da ricercare da una parte nei piegamenti fitti e molteplici dei limiti delle falde, dall'altra nel vecchio miscuglio del significato paleogeografico e tettonico dei termini. Per quelle unità strutturali, che affiorano tettonicamente al di sotto dei Pennidi, viene usato il termine “Subpennidi” (Schmid et al., 2004). Con ciò intendiamo il margine meridionale del continente europeo (basamento e sedimenti permomesozoici = Schieferhülle inferiore). In corrispondenza del limite settentrionale delle Alpi si usa per tale ambiente il termine “Helvetikum”. In maniera equivalente alcuni autori definivano tale segmento di crosta nella Finestra dei Tauri “Tauernhelvetikum”. Anche il massiccio del Gottardo appartiene ai Subpennidi; l'applicazione a senso del termine nella Finestra dei Tauri facilita il confronto diretto delle due gallerie di base.

Auch die Abgrenzung des Penninikums zum Ostalpin ist nicht eindeutig und stand lange zur Diskussion. Sie wird jedoch verständlicher, wenn

Anche la delimitazione dei Pennidi in relazione all'Austroalpino non risulta netta e venne discussa per lungo tempo. Essa diventa però comprensibile,

man mit dem Konzept einer Ozean-Kontinent-Übergangszone arbeitet (siehe Froitzheim & Manatschal, 1996). Demgemäß wird entsprechend der ähnlichen Situation am Ostalpenwestrand, der Begriff "Ultrapenninikum" verwendet.

Der erweiterte Projektraum westlich des Wipptals erfasst im Wesentlichen Gesteine in der Hangendscholle der Brennerabschiebung. Diese gehören dem Ostalpin an und lassen sich vom Liegenden zum Hangenden in folgende Decken/Einheiten gliedern (nach Rockenschaub et al., 2003):

- Ötztal-Stubaikristallin: polymetamorphes Kristallin mit großteils präalpidischer amphibolitfazieller Prägung
- Brennermesozoikum: dem Ötztal-Stubaikristallin transgressiv auflagernde Abfolge aus permomesozoischen Metasedimenten der Grünschiefer- (N) bis Amphibolitfazies (S), der Transgressionskontakt ist meist tektonisch überprägt.
- Blaser Decke: bestehend aus einer unmetamorphen sedimentären Abfolge von der Obertrias bis in die Unterkreide
- Steinacher Decke: Die Steinacher Decke besteht aus Altkristallin, metamorphem Paläozoikum und dem Nöblacher Karbon. Sie lässt sich untergliedern in Steinacher Decke I (liegend, höhermetamorph) und Steinacher Decke II (hangend, niedriger metamorph).

se si opera col concetto di una zona di transito oceano-continente (vedi Froitzheim & Manatschal, 1996), utilizzando, conforme alla simile situazione in corrispondenza del limite occidentale delle Alpi Orientali, il termine "Ultrapennidi".

L'area di progetto estesa ad ovest del Wipptal comprende essenzialmente le rocce nella zolla di tetto della faglia diretta del Brennero. Queste rocce appartengono all'Austroalpino e si possono suddividere dal letto al tetto nelle seguenti falde/unità (secondo Rockenschaub et al., 2003):

- Basamento cristallino Ötztal-Stubai: cristallino polimetamorfico con caratteristica prealpina e facies anfibolitica
- Mesozoico del Brennero: sequenza di metasedimenti permomesozoici in facies da scisti verdi (N) a anfiboliti (S) che sovrappongono in modo trasgressivo il basamento cristallino di Ötztal-Stubai, il contatto trasgressivo viene sovrimpresso in gran parte dalla tettonica.
- Falda di Blaser: costituita da una sequenza sedimentaria dal Triassico superiore al Cretaceo inferiore, non metamorfica.
- Falda di Steinach: La Falda di Steinach è costituita dal basamento cristallino, dal Paleozoico metamorfico e dal Carbonifero di Nöblach. Si può suddividere in Falda di Steinach I (a letto, grado metamorfico più elevato) e Falda di Steinach II (a tetto, grado metamorfico più basso).

3.4 LOKALER GEOLGISCHER ÜBERBLICK - INNSBRUCKER QUARZPHYLLITES

Der Innsbrucker Quarzphyllit repräsentiert eine intern verfaltete ostalpine Einheit am Nordrand des westlichen Tauernfensters.

Im Norden taucht diese Einheit unter die quartären Sedimente des Inntals ab, in welchem die Inntalstörung verläuft. Im Westen wird der Quarzphyllit durch die Brennerabschiebung und im Süden durch die Tauernnordrandstörung von den angrenzenden tektonischen Einheiten begrenzt.

Der Innsbrucker Quarzphyllit wird vorwiegend aus altpaläozoischen quarzreichen Metapeliten aufgebaut. Übergeordnet treten Phyllit, Quarzphyllit mit quarzitisch-gneisigen Bereichen (Quarzitschiefer) und Glimmerschiefer auf. Daneben sind Einschaltungen von Kalk- und Dolomitmarmor, Graphitphyllit, Porphyroid und Metabasit (Grünschiefer, Chloritschiefer) möglich. Hauptgemengteile sind Quarz, Glimmer und Chlorit in wechselnden Verhältnissen und Beimengungen von Feldspat, Graphit, Karbonatmineralen und Amphibolen.

Die großräumige Struktur des Innsbrucker Quarzphyllitkomplexes besteht aus einer flach liegenden und nach Norden schließenden isoklinalen Großfalte. Im Kern dieser Großfalte liegt der höhermetamorphe Quarzphyllit vor. Dieser wird von niedriger metamorphen Anteil in den Schenkeln der Großfalte über- und unterlagert (Hangende und Liegende Serie des Innsbrucker Quarzphyllites).

Der höhermetamorphe Anteil wird durch die Gesteinstypen Biotitschiefer und Glimmerschiefer, Gneise sowie Amphibolithe aufgeföhren.

Aufgrund der Erfahrungen aus den aufgeföhrenen Tunnelbauwerken im Innsbrucker Quarzphyllit können innerhalb dieser Zone folgende Gesteinseinheiten unterschieden werden. Die Zahlen in den Klammern entsprechen den Legendenummern im Längenschnitt:

3.4 CONTESTO GEOLOGICO A SCALA LOCALE - FILLADE QUARZIFERA DU INNSBRUCK

La fillade quarzifera di Innsbruck rappresenta un'unità austroalpina piegata internamente e situata nell'orlo settentrionale della Finestra dei Tauri occidentale.

A nord quest'unità si immerge sotto i sedimenti quaternari della valle dell'Inn dove si sviluppa la faglia della valle dell'Inn. La fillade quarzifera viene delimitata dalle unità tettoniche confinanti, quindi ad ovest dalla faglia diretta del Brennero e a sud dalla zona di faglia settentrionale dei Tauri.

La fillade quarzifera di Innsbruck è formata prevalentemente da metapeliti ricche di quarzo del Paleozoico antico. Prevalgono la fillade, la fillade quarzifera con settori quarzitico-gneissici (quarziti scistose) e micascisti. Inoltre è possibile la presenza di intercalazioni secondarie di marmo calcareo e dolomitico, fillade grafica, porfiroide e metabasiti (scisti verdi, scisti cloritici). Gli elementi principali sono quarzo, mica e clorite con quote variabili e gli elementi secondari sono feldspati, grafite, minerali carbonatici e anfiboli.

La struttura molto estesa del complesso della fillade quarzifera di Innsbruck consiste di una piega isoclinale grande immergente ad angolo ridotto che si chiude verso nord. Nel nucleo di questa piega grande è presente la fillade quarzifera di grado metamorfico più elevato. Nei fianchi della piega grande, la zona di grado metamorfico ridotto giace al di sopra e al di sotto della zona di grado metamorfico più elevato (serie a tetto e a letto della fillade quarzifera di Innsbruck).

La zona di grado metamorfico più elevato è composta dalle litologie degli scisti biotitici e micascisti, gneiss e anfibolite.

Sulla base delle esperienze acquisite nel corso dello scavo delle opere di galleria nella fillade quarzifera di Innsbruck è possibile distinguere le seguenti unità litologiche all'interno di questa zona. I numeri tra parentesi corrispondono ai numeri della legenda nel profilo longitudinale:

Der Erkundungsstollen Ahrental liegt in der Unterostalpinen Innsbrucker Quarzphyllitzone. Die Innsbrucker Quarzphyllitzone wird in ihrer Hauptmasse aus paläozoischen Metapeliten bis Metapsammiten (Quarzphyllite, Serizitphyllite, Albitphyllite, Chloritphyllite, Glimmerquarzite, Glimmerschiefer, Quarzite) aufgebaut. Die einzelnen Typen zeigen kontinuierliche Übergänge ineinander. In dieser Abfolge sind Lagen von Metakarbonaten sowie saure und basische Orthogesteine eingeschaltet (Dolomit, Kalkmarmor, Prasinite, Porphyroide). Aufgrund dieser Einschaltungen führten HADITSCH & MOSTLER (1982, 1983) bzw. MOSTLER et. al (1982) eine Seriengliederung der Innsbrucker Quarzphyllitzone durch (ROCKENSCHAUB et al 2003).

Il cunicolo esplorativo Ahrental é situato nella zona della fillade quarzifera austroalpina inferiore di Innsbruck. La Zona delle Filladi Quarzifere di Innsbruck è composta essenzialmente da metapeliti e metapsammiti derivati da materiali porfirici paleozoici (filladi quarzifere, filladi sericitiche, filladi cloritiche, quarziti micacee, micascisti, quarziti). Le singole tipologie mostrano passaggi continui tra di loro. In questa successione sono intercalati strati di metacarbonati e ortorocce acide e basiche (marmi dolomitici e calcarei, prasiniti, porfiroidi). In base a queste intercalazioni HADITSCH & MOSTLER (1982, 1983) e MOSTLER et. al (1982) hanno elaborato una suddivisione seriale della Zona delle Filladi quarzifere di Innsbruck (ROCKENSCHAUB et al 2003).

3.4.1 Quarzphyllit (306)

• Lithologische Beschreibung

Die Bezeichnung Quarzphyllit ist eine Sammelbezeichnung für phyllitische Gesteine mit wechselnden Anteilen an Quarz, Hellglimmer (Serizit), Chlorit, Karbonat und untergeordnet Feldspat. Diese Mineralphasen sind im Gestein lagenförmig angeordnet. Je nach Mineralgehalt besitzen diese Gesteine eher ein quarzitisches oder phyllitisches auftreten. Die Masse des Quarzphyllites ist geprägt durch eine Wechsellagerung ohne scharfe Grenzen aus unterschiedlichen Phylliten (Quarz-, Serizit-, Albit-, Chloritphyllit) und Quarzitschiefern. Makroskopisch unterscheiden sich die phyllitischen Gesteine durch Farbe (unterschiedliche Grautöne) und Struktur.

Charakteristisch für den Quarzphyllit sind mm bis dm dicke Quarzlinsen (Quarzknauern).

Der Bereich des bereits aufgefahrenen Erkundungsstollens zeigte über große Bereiche monotone Abfolgen von Quarzphyllit mit quarzitisches-gneissigen Lagen. In der Ortsbrustdokumentation wurden diese als Quarzphyllit und Quarzitschiefer beschrieben. Beide Gesteine kennzeichnen sich durch einen fließenden Übergang ineinander. Die

3.4.1 Fillade quarzifera (306)

Descrizione litologia

Il termine "fillade quarzifera" è un nome collettivo per rocce quarzifere con varie percentuali di quarzo, mica chiara (sericite), clorite, carbonato e, in via subordinata, feldspati. Queste fasi mineralogiche sono disposte a strati nell'ammasso roccioso. Queste rocce si presentano un aspetto quarzítico o filladico in base al tipo di minerali contenuti. La massa della fillade quarzifera è caratterizzata dall'alternarsi, senza un chiaro delinearsi dei passaggi, di strati alternati di diverse filladi (di quarzo, sericite, albite, clorite) e scisti quarzíticos. Dal punto di vista macroscopico, le rocce filladiche sono caratterizzate per colore (in diversi toni di grigio) e struttura.

È tipica della fillade quarzifera la presenza di lenti di quarzo dallo spessore misurabile in mm o dm (noduli di quarzo).

La zona dell' cunicolo esplorativo già esplorato presenta, in molte zone, delle sequenze monotone di fillade quarzifera con strati quarzítico-gneissici. Nella documentazione relativa al fronte di scavo queste sono state descritte come fillade quarzifera e scisti quarzíticos. Entrambi i litotipi sono caratterizzati da un passaggio fluido tra di loro. La differenza tra i due litotipi è data dalla ripartizione

Unterscheidung beider Gesteine liegt dabei in der mengenmäßigen Verteilung an Quarz und Glimmer. Ein höherer Anteil an Quarz und Feldspat gegenüber dem Quarzphyllit bewirkt, dass der Quarzitschiefer eher plattig bricht und eine höhere Gesteinsdruckfestigkeit zeigt (Abb. 3, 4, 5, 8, 9).

- **Auftreten und Mächtigkeit**

Diese phyllitischen Gesteine nehmen Volums mäßig den größten Anteil im Innsbrucker Quarzphyllit ein. Die charakteristischen Quarzknauer und -bänder zeigen Mächtigkeiten von wenigen mm bis hin zu mehreren dm.

- **Ausbildung**

Der Quarzphyllit tritt als engständig geschiefertes Gestein auf. Die Schieferungsflächen sind oft verfaltet. Zur Unterscheidung zwischen Quarzphyllit und Quarzitschiefer wird das Bruchverhalten entlang der Hauptschieferung herangezogen. Der Quarzitschiefer bricht gegenüber dem schieferig-blättrigen bis dünnplattigen Quarzphyllit eher dünnplattig bis plattig. Je höher der Quarz- und Feldspatgehalt desto dickplattiger bricht das Gestein.

Tektonisch überprägte bzw. zerscherte Quarzphyllite zeigen im Allgemeinen eine ausgesprochene dünnstief-ig-blättrige Ausbildung, oft mit schmierigen und graphitischen Trennflächenbestegen.

Typischer GSI-Range: 40-50, GSI=50 für geschieferten Quarzphyllit einschließlich Klüftung, GSI=40 für geschieferten Quarzphyllit einschließlich Klüftung sowie ein oder mehreren großflächigen Harnischflächen bzw. geringmächtigen Scherbahnen (fault gouge Füllung)

quantitativa di quarzo e mica. Una percentuale maggiore di quarzo e feldspati rispetto alla fillade quarzifera comporta una frantumazione degli scisti quarzifici di tipo piuttosto piastriforme con maggiore resistenza alla compressione dell'ammasso roccioso (fig. 3, 4, 5, 8, 9).

- **Presenza e spessori**

Queste rocce quarzifere costituiscono la maggiore parte della fillade quarzifera di Innsbruck. I tipici noduli e strati di quarzo presentano spessori che variano da pochi mm fino a diversi dm.

- **Conformazione**

La fillade quarzifera si presenta come una roccia dalla scistosità estremamente accentuata. I piani di scistosità sono spesso ripiegati. Per poter operare una distinzione tra fillade quarzifera e scisti quarzifici, si utilizza il comportamento di frantumazione lungo la scistosità principale. Rispetto alla fillade quarzifera, che si frantuma presentando una conformazione da scistosolaminata friabile a piastriforme, i scisti quarzifici si frantumano con una conformazione da lamellare a piastriforme. Tanto maggiore è la percentuale di quarzo e feldspati, tanto maggiore sarà lo spessore delle lamelle di frantumazione.

Le filladi quarzifere con sovrainpronta tettonica e fratturate presentano in genere una friabilità marcata, spesso con presenza di mica e grafite nelle discontinuità.

Tipico range GSI: 40-50, GSI=50 per filladi quarzifere scistose compresa la fratturazione, GSI=40 per filladi quarzifere scistose compresa la fratturazione nonché uno o più ampi specchi di faglia o piani di taglio di dimensioni minori (riempimento di fault gouge).



Abb. 3 Quarzphyllit-Quarzitschiefer mit engstündiger und gut verzahnter Schieferung (Erkundungsstollen Innsbruck-Ahrental TM 3042,9)

Fig. 3 Fillade quarzifera-Scisti quarzitici con scistosità accentuata e ben addentellata (cunicolo esplorativo di Innsbruck-Ahrental prog. 3042,9)



Abb. 4 Dünnplattig-plattig lösender und sprödfester Quarzitschiefer im Liegenden, schiefriger Quarzphyllit im Hangenden. Einzelne, dünnbankige Quarzitlagen (hellgrau), die z.T. an steil WNW fallender Scherbahn versetzt sind (Zugangstunnel Ahrental TM 2099,7)

Fig. 4 Scisti quarzitici fragili da sottilmente piastriforme a piastriforme a letto, filladi quarzifere scistose a tetto. Singoli banchi di quarzite di spessore inferiore (grigio chiaro), in parte spostati lungo il ripido piano di taglio immergente verso WNW (galleria di accesso di Ahrental prog. 2099,7)

3.4.2 Quarzit- Quarzitschiefer, Gneis (307)

• Lithologische Beschreibung

Der Quarzit - Quarzitschiefer bzw. Gneis ist als plattiges bis dünnbankig brechendes hellgraues Gestein zu beschreiben. Die Gesteine kennzeichnen sich durch einen fließenden

3.4.2 Quarziti- Scisti quarzitici, Gneiss (307)

• Descrizione litologia

Lo gneiss o scisti quarzitici si può descrivere come una roccia di colore grigio chiaro che si frattura con una conformazione da piastriforme a sottilmente stratiforme. Le tipologie di roccia si caratterizzano

Übergang ineinander und sind wie oben beschrieben über das Bruchverhalten vom Quarzphyllit zu unterscheiden.

- **Auftreten und Mächtigkeit**

Im Allgemeinen treten sie in wenigen dm bis m mächtigen Lagen und Linsen innerhalb der Quarzphyllitabfolgen auf (Abb. 3, 4, 5).

Mächtigere Einschaltungen (>10 m) treten im höhermetamorphen Anteil des Innsbrucker Quarzphyllits auf.

- **Ausbildung**

Typischer GSI-Range: 40-50, GSI=50 für geschieferten Quarzphyllit einschließlich Klüftung, GSI=40 für geschieferten Quarzphyllit einschließlich Klüftung sowie ein oder mehreren großflächigen Harnischflächen bzw. geringmächtigen Scherbahnen (fault gouge Füllung)

per il fatto di confluire l'una nell'altra e si distinguono dalla fillade quarzifera, come descritto sopra, in base al comportamento di frantumazione.

- **Presenza e spessori**

In generale si presentano in strati e lenti con spessori misurabili in pochi dm o m all'interno delle sequenza di fillade quarzifera (fig. 3, 4,5).

Inclusioni più importanti (>10 m) compaiono nella parte della fillade quarzifera di Innsbruck caratterizzata da elevato metamorfismo

- **Conformazione**

Tipico range GSI: 40-50, GSI=50 per filladi quarzifere scistose compresa la fratturazione, GSI=40 per filladi quarzifere scistose compresa la fratturazione nonché uno o più ampi specchi di faglia o piani di taglio di dimensioni minori (riempimento di fault gouge)



Abb. 5 Quarzitschiefer (Erkundungsstollen Innsbruck-Ahrental TM 3143,55)

Fig. 5 Scisti quarzitici (Cunicolo esplorativo Innsbruck-Ahrental progr. 3143,55)

3.4.3 Grünschiefer, Chloritschiefer (Metabasit) (310)

- **Lithologische Beschreibung**

Hauptgemengteile der Metabasite sind Quarz,

3.4.3 Scisti verdi, scisti cloritici (metabasite) (310)

- **Descrizione litologia**

Dal punto di vista mineralogico, i metabasiti sono

Feldspat, Chlorit, Epidot und Hornblende. Charakteristisch für diese Gesteine ist ein höherer Karbonatanteil, was dem Grünschiefer im Gegensatz zu den phyllitischen Gesteinen insgesamt ein kompakteres Aussehen und höhere Gesteinsdruckfestigkeit verleiht (Abb. 6).

- **Auftreten und Mächtigkeit**

Die Grünschiefer treten als Einschaltungen im Quarzphyllit auf. Vor allem im höher metamorphen Anteil werden sie vermehrt angetroffen. Der Kontakt Quarzphyllit-Grünschiefer ist oft in Form von dünnen Scherbahnen ausgebildet. Die einzelnen Lagen weisen Mächtigkeiten zwischen dm bis mehreren m auf.

Mächtigere Einschaltungen (>10 m) treten im höhermetamorphen Anteil des Innsbrucker Quarzphyllits auf.

Zusammen mit Grünschiefern sind oft Marmoreinschaltungen zu beobachten (Abb. 6).

- **Ausbildung**

Die Grünschiefer treten als engständig geschieferte, grünlichgraue und plattig-dünnbankig brechende Gesteine auf. Sie zeigen nicht die für den Quarzphyllit kleinwellige Ausbildung der Schieferungsflächen und sind insgesamt kompakter wie jene. Im Vergleich zum Quarzphyllit zeigen die Grünschiefer, trotz der durchwegs guten Schieferung ein massigeres Erscheinungsbild.

Typischer GSI-Range: 50-60, im Vergleich zum Quarzphyllit (306) und quarzitischen Gesteinen (307) wesentlich blockigeres Ausbruchverhalten, geringere Trennflächendichte, Schieferung weitständiger, graphitische Beläge auf Trennflächen fehlen

composti prevalentemente da quarzo, feldspato, clorite, epidoto e orneblenda. Tipicamente, queste rocce presentano una percentuale elevata di carbonati, da cui conseguono, per gli scisti verdi, un aspetto più compatto e una maggiore resistenza alla compressione dell'ammasso roccioso rispetto alle rocce filladiche (fig. 6).

- **Presenza e spessori**

Gli scisti verdi si presentano come inclusioni nella fillade quarzifera. Si trovano soprattutto nelle zone caratterizzate da elevato metamorfismo. Il punto di contatto tra la fillade quarzifera e gli scisti verdi si presenta spesso come un sottile piano di taglio. I singoli strati presentano spessori che vanno dal dm a diversi m.

Inclusioni di spessori elevati (>10 m) compaiono nella parte della fillade quarzifera di Innsbruck caratterizzata da elevato metamorfismo.

Oltre agli scisti verdi si riscontra spesso la presenza di inclusioni marmoree (fig. 6).

- **Conformazione**

Gli scisti verdi si presentano come rocce di color grigioverde, dalla scistosità estremamente accentuata e dalla frantumazione con una conformazione da piastriforme a sottilmente stratiforme. Non presentano la configurazione a piccole onde delle superfici di scistosità tipica della fillade quarzifera e presentano nel complesso una maggiore compattezza. Rispetto alla fillade quarzifera, gli scisti verdi hanno un aspetto più massiccio, nonostante la scistosità marcata.

Tipico range GSI: 50-60, rispetto alla fillade quarzifera (306) e alle rocce quarzitiche (307) presenta allo scavo una possibilità molto maggiore di distacco di blocchi, intervalli maggiori tra discontinuità, ampia scistosità, senza strati di granito sulle discontinuità



Abb. 6 Plattig-dünnbankiger Grünschiefer (Erkundungsstollen Innsbruck-Ahrental TM 3220,30)

Fig. 6 Scisti verdi da piastriformi a sottilmente stratiformi (Cunicolo esplorativo Innsbruck-Ahrental progr. 3220,30)

3.4.4 Porphyroid (301)

- **Lithologische Beschreibung**

Die porphyrischen Orthogneise (zumeist permische Intrusionen) stellen hellen Feldspat, Quarz und Hellglimmer führende Gesteine dar. Die Gesteine sind massig bis gut geschiefert

- **Auftreten und Mächtigkeit**

Porphyrische Orthogneise treten als lokale kleinräumige, geringmächtige (dm-wenige m) und zumeist unregelmäßige Einschaltungen im Quarzphyllit auf.

- **Ausbildung**

Typischer GSI-Range: 55-65

3.4.4 Porfiroide (301)

- **Descrizione litologia**

Gli ortogneiss porfirici (solitamente intrusioni di origine permiana) sono rocce chiare composte da feldspato, quarzo e mica chiara. Le rocce presentano una struttura massiccia, mostrano però una scistosità ben sviluppata.

- **Presenza e spessori**

Gli ortogneiss porfirici si presentano nella fillade quarzifera in forma di inclusioni locali, di piccole dimensioni e spessori (dm o pochi m) e solitamente irregolari.

- **Conformazione**

Tipico range GSI: 55-65

3.4.5 Kalk-und Dolomitmarmor (302 und 304)

- **Lithologische Beschreibung**

Es sind hellgrau-grau gebänderte Kalkmarmore und feinkörnige, weiße bis graue Dolomitmarmore. Je nach Reinheitsgrad können diese Gesteine sehr untergeordnet Beimengungen von Quarz sowie

3.4.5 Marmi calcarei e dolomitici (302 e 304)

- **Descrizione litologia**

Si tratta di marmi calcarei con strati di colore da grigio chiaro a grigio e marmi dolomitici di grana fine di colore che varia dal bianco al grigio. In base al grado di purezza, queste rocce possono

Hell- und Dunkelglimmer enthalten.

- **Auftreten und Mächtigkeit**

Bei den Karbonatgesteinen handelt es sich um räumlich begrenzte Körper innerhalb der phyllitischen Gesteine. Sie treten als einzelne Linsen und Lagen auf und variieren hinsichtlich ihrer Mächtigkeit von wenigen dm bis zu mehreren m, vereinzelt 10er Metern.

Zusammen mit den Marmoren sind oft Grünschieferereinschaltungen zu beobachten (Abb. 7).

- **Ausbildung**

Die Kalk- und Dolomitmarmore zeigen keine gefügebedingte Anisotropie und sind massig bis bankig ausgebildet. Sie sind sehr oft tektonisch beansprucht (stark klüftig, zerbrochen) und gegenüber den phyllitischen Gesteinen tektonisch abgegrenzt.

Typischer GSI-Range: 60-70

contenere quantità minime di quarzo e miche chiare e scure.

- **Presenza e spessori**

Le rocce carbonatiche si presentano come corpi tettonici in una zona limitata all'interno delle rocce filladiche, dalla forma lenticolare o come strati, con uno spessore che varia da pochi dm a diversi m o, singolarmente, anche decametri.

Oltre ai marmi si riscontra spesso la presenza di inclusioni di scisti verdi (fig. 7).

- **Conformazione**

I marmi calcarei e dolomitici non mostrano anisotropia strutturale, presentando una conformazione che va da massiccia a stratificata. Sono spesso fortemente tettonizzati (intensamente fratturati) e delimitati dal punto di vista tettonico rispetto alle rocce filladiche.

Tipico range GSI: 60-70



Abb. 7 Grünschiefer verschuppt/verfaltet mit Kalk-/Dolomitmarmor (FS Ampass TM 717,8)

Fig. 7 scisti verdi embricati/ripiegati con marmo calcareo/dolomitico (galleria finestra di Ampass progr. 717,8)

3.4.6 Graphitphyllit (303)

3.4.6 Fillade grafitica (303)

- **Lithologische Beschreibung**

Sie sind als schwarzgraues glänzendes, schiefrig-blättriges und mürbfestes Gestein zu beschreiben. Sie werden meist von zahlreichen kleinflächigen Harnischflächen (Spiegelharnische) durchsetzt.

- **Auftreten und Mächtigkeit**

Die Graphitphyllite (Schwarzphyllite) treten in Wechsellagerung mit graphitführenden Phylliten (Abb. 8, 9) auf.

Sie treten als einzelne Linsen und Lagen auf und variieren hinsichtlich ihrer Mächtigkeit von wenigen dm bis zu mehreren m.

- **Ausbildung**

Typischer GSI-Range: GSI=35-45 für Graphitphyllit mit herabgesetzter Trennflächenqualität aufgrund der graphitischen Beläge.

- **Descrizione litologia**

Si possono descrivere come rocce lucenti di colore nero-grigio, dalla conformazione scistoso-laminata e non friabile e spesso intercalate da numerosi specchi di faglia di piccole dimensioni.

- **Presenza e spessori**

Le filladi grafite (filladi nere) si presentano in alternanza con filladi con percentuali minori di grafite (fig. 8, 9)

Si presentano in forma lenticolare o come strati, con uno spessore che varia da pochi dm a diversi m.

- **Conformazione**

Tipico range GSI: GSI=35-45 per fillade grafite con ridotta qualità delle discontinuità a causa degli strati di grafite.



Abb. 8 Graphitphyllit unterlagert von Quarzphyllit (Erkundungsstollen Innsbruck-Ahrental TM 3627,68)

Fig. 8 Fillade grafite giacente sopra la fillade quarzifera (cunicolo esplorativo di Innsbruck-Ahrental progr. 3627,68)



Abb. 9 Im Quarzphyllit eingelagerter Graphitphyllit (FS Ampass TM 847,0)

Fig. 9 Fillade grafite intercalata nella fillade quarzifera (galleria finestra di Ampass progr. 847,0)

3.4.7 Glimmerschiefer, Granatglimmerschiefer (309)

- **Lithologische Beschreibung**

Die Hauptgemengteile der Glimmerschiefer sind Hellglimmer, Biotit, Quarz und untergeordnet Feldspat. Die seltener auftretenden Granatglimmerschiefer führen meist stark chloritisierten Granat von wenigen mm Durchmesser. Der sich retrograd bildende Chlorit ist praktisch in allen Gesteinen des höher metamorphen Anteils zu finden.

Die Unterscheidung zu den Phylliten ist durch das Auftreten der Minerale Biotit und Granat und durch mm-große gut kristallisierte Hellglimmer gegeben.

- **Auftreten und Mächtigkeit**

Mächtiger Einschaltungen (m bis 10er m Bereich) treten im höhermetamorphen Anteil des Innsbrucker Quarzphyllites auf. Neben den Volums mäßig am häufigsten auftretenden Glimmerschiefern sind lagenweise Paragneise und Quarzite vertreten.

- **Ausbildung**

Wie die Phyllite zeigen die Glimmerschiefer einen

3.4.7 Micascisti, micascisti granatiferi (309)

- **Descrizione litologia**

Dal punto di vista mineralogico, i micascisti sono composti prevalentemente da mica chiara, biotite, quarzo e in via subordinata da feldspato. I micascisti granatiferi, meno frequenti, sono composti da granato, spesso fortemente alterato in clorite, con diametri di pochi mm. La clorite retrograda si trova praticamente in tutte le rocce del settore di grado metamorfico più elevato.

Si distinguono dalle rocce filladiche per la presenza di biotite e granato e di mica chiara ben cristallizzata di dimensioni millimetriche.

- **Presenza e spessori**

Inclusioni di spessori elevati (da metri a decametri) compaiono nella parte della fillade quarzifera di Innsbruck caratterizzata da elevato metamorfismo. Oltre ai micascisti, che sono i litotipi più abbondanti, compaiono a strati anche paragneiss e quarziti.

- **Conformazione**

Come anche le filladi, i micascisti presentano una

metamorphen Lagebau im mm bis cm Bereich Paragneise und Quarzite sind durch den einen höheren Feldspat und Quarzgehalt massiger und weniger gut geschiefert ausgebildet.

Typischer GSI-Range: 45-55, im Vergleich zum Quarzphyllit (306) und quarzitischen Gesteinen (307) Schieferung weitständiger, Ausbruchverhalten blockiger

3.4.8 Amphibolith (311)

- **Lithologische Beschreibung**

Der Amphibolith ist als feinkörniges, dunkelgraugrünes, dünnbankig-blockig brechendes zu beschreiben. Die Hauptgemengteile sind Hornblende (Aktinolith), Feldspat (Plagioklas) und Quarz.

- **Auftreten und Mächtigkeit**

Er tritt vermehrt in der höher metamorphen Serie der Innsbrucker Quarzphyllitzone auf (Mächtigkeiten bis zu mehreren Metern).

- **Ausbildung**

Typischer GSI-Range: 60-70

3.4.9 Biotitschiefer-gneis (312)

- **Lithologische Beschreibung**

Die Hauptgemengteile dieser Gesteine sind Biotit, Quarz und untergeordnet Feldspat. Die Grenze zwischen typischen Quarzphylliten und Biotitschiefern/Glimmerschiefern ist fließend (Abb. 10).

- **Auftreten und Mächtigkeit**

Die Gesteine gehören zur höher metamorphen Serie der Innsbrucker Quarzphyllitzone (Mächtigkeiten bis zu mehreren 10er-Metern).

- **Ausbildung**

Die Gesteine sind als graubraunes, geschiefert und dünnplattig bis dünnbankig brechendes

stratifikation metamorfica con spessori misurabili in mm o cm; i paragneiss e le quarziti, dato il maggiore contenuto di feldspato e quarzo, hanno una conformazione più massiccia e dalla scistosità inferiore.

Tipico range GSI: 45-55, rispetto alla fillade quarzifera (306) e alle rocce quarzitiche (307) presenta allo scavo una possibilità molto maggiore di distacco di blocchi, ampia scistosità.

3.4.8 Anfibolite (311)

- **Descrizione litologia**

L'anfibolite è una roccia a grana fine, di color grigio scuro-verde, che si frattura con una conformazione che va da strati sottili a blocchi. Dal punto di vista mineralogico, l'anfibolite è composta prevalentemente da orneblenda (actinolite), feldspato (plagioclasti) e quarzo.

- **Presenza e spessori**

Si presenta soprattutto nella parte della fillade quarzifera di Innsbruck caratterizzata da elevato metamorfismo (spessori fino a diversi metri).

- **Conformazione**

Tipico range GSI: 60-70

3.4.9 Scisti in biotite - gneiss (312)

- **Descrizione litologia**

Dal punto di vista mineralogico, tali rocce sono composte prevalentemente da biotite, quarzo e da quantità minime di feldspato. Il confine tra le filladi quarzifere tipiche e i scisti di biotite o i micascisti non è nettamente delineato (fig. 10).

- **Presenza e spessori**

Tali rocce si presentano soprattutto nella parte della fillade quarzifera di Innsbruck caratterizzata da elevato metamorfismo (spessori fino a diversi decimetri).

- **Conformazione**

Le rocce presentano colore grigio-bruno con scistosità e reagisce alla fratturazione con

Gestein mit lageweise Biotitanhäufungen distacchi piastriformi o stratiformi sottili. ausgebildet.

Typischer GSI-Range: 45-55, im Vergleich zum Quarzphyllit (306) und quarzitischen Gesteinen (307) Schieferung weitständiger, Ausbruchverhalten blockiger

Tipico range GSI: 45-55, rispetto alla fillade quarzifera (306) e alle rocce quarzitiche (307) presenta allo scavo una possibilità molto maggiore di distacco di blocchi, ampia scistosità

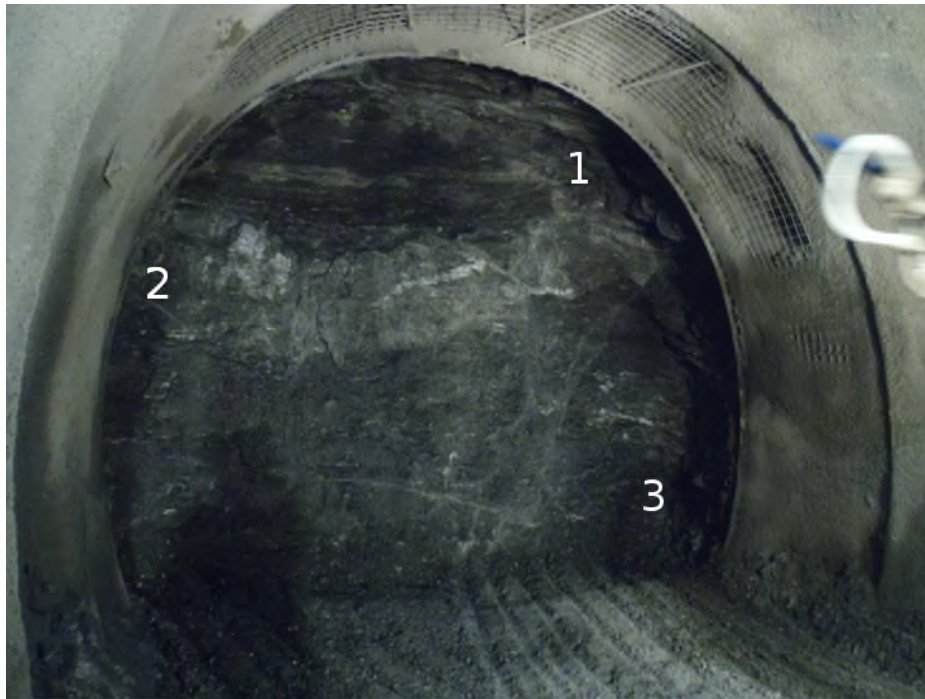


Abb. 10 Flach liegende Abfolge aus Biotitschiefer [1], Quarzitschiefer [2] und Quarzphyllit [3] (höher metamorphe Abfolge, Erkundungsstollen Innsbruck-Ahrental TM 3347,2)

Fig. 10 Successione immergente ad angolo ridotto di scisti biotitiche [1], quarziti scistose [2] e fillade quarzifera [3] (successione di grado metamorfico più elevato, cunicolo esplorativo di Innsbruck-Ahrental progr. 3347,2)

3.5 LOKALER GEOLOGISCHER ÜBERBLICK - GLOCKNER DECKENKOMPLEX

An die Innsbrucker Quarzphyllitzone schließt im Süden der Glockner Deckenkomplex mit den Bündnerschiefern an.

Der Kontakt zwischen beiden Decken, bzw. die eigentliche Deckenüberschiebung, liegt als gefaltete duktile Abscherungsfläche vor.

In dieser Tauernnordrandzone befindet sich zwischen dem Penninikum im Liegenden und dem Ostalpin im Hangenden eine tektonische Mischzone mit Gesteinsformationen der Kontinent-Ozean-Übergangszone. In dieser Zone ist mit gehäuften exotischen Schollen zu rechnen (genaue lithologische Zuordnung zur Gesteinscharakterisierung ist aus der Legende zu entnehmen). Daneben können entlang dieser Scherzone im Quarzphyllit eingefaltete isolierte Vorkommen des Tarntaler Permomesozoikums auftreten (bisher noch in keiner Bohrung auf Tunnelniveau angetroffen).

Bei den Bündnerschiefern handelt es sich um eine Wechsellagerung von überwiegend Kalkschiefer und Kalkphyllit mit untergeordneten Anteilen an Schwarzschiefer, Karbonatquarzit bis Quarzmarmor, Kalkmarmor, Kalkglimmerschiefer. Zwischen diesen Typen treten alle Übergänge auf. Eine genaue lithologische Zuordnung zur Gesteinscharakterisierung der Lithologien ist aus der Legende zu entnehmen.

In der geologischen Legende werden die beiden Einheiten „Kalkreiche Bündnerschiefer“ und „Kalkarme Bündnerschiefer“ verwendet. Eine exakte Abgrenzung dieser beiden Typen ist oft nicht möglich, da sie durch Übergänge gekennzeichnet sind.

Die „Kalkreichen Bündnerschiefer“ bestehen überwiegend aus Kalkmarmoren, Glimtermarmoren (Kalkglimmerschiefer), tlw. wechsellagernd mit Phylliten und Kalkphylliten. Die Marmore sind oft gebankt. Lokal wurden Zwischenlagen aus kalkfreien dunklen Granat- und

3.5 SINTESI GEOLOGICA A LIVELLO LOCALE - COMPLESSO DELLA FALDA DEL GLOCKNER

Alla zona della fillade quarzifera di Innsbruck si collega a sud il complesso della falda del Glockner caratterizzato dai calcescisti.

Il contatto tra le due falde ovvero il sovrascorrimento effettivo delle falde è caratterizzato da una superficie piegata duttile di taglio.

Nella zona di margine settentrionale dei Tauri, tra l'appenninico di letto e l'Austroalpino di tetto, si trova una zona tettonica mista delle formazioni di roccia della zona di passaggio continentale-oceanica. In questa zona si prevede la presenza frequente di corpi esotici (si evince dalla leggenda l'assegnazione litologica precisa alla caratterizzazione della roccia). Lungo questa zona di shear nella fillade quarzifera è anche possibile la presenza del Permomesozoico del Tarntal sotto forma di pieghe isolate (finora non intercettato da nessun sondaggio a livello galleria).

I calcescisti sono caratterizzati da un'alternanza, in via prevalente, di calcescisti calcarei e filladi calcaree con quote subordinate di scisti neri, quarzite carbonatica - marmo quarzítico, marmo calcareo, micascisto calcareo. Queste tipologie mostrano passaggi continui tra di loro. Si evince dalla leggenda l'assegnazione precisa delle litologie alla caratterizzazione della roccia.

Nella leggenda geologica vengono utilizzate le due unità dei calcescisti carbonatici e dei calcescisti poveri in carbonato. Un'esatta separazione di queste due tipologie spesso non è fattibile perché sono caratterizzate da passaggi graduali.

I “calcescisti carbonatici” sono composti principalmente da marmi calcarei, marmi micacei (micascisti calcarei), talora in alternanza con filladi e filladi calcaree. I marmi sono spesso stratificati. Nel settore meridionale dell'area di studio (tra le Valli di Vals e Vizzate) si osservano locali interstrati

Granat-Biotit-Schiefern beobachtet.

Als „Kalkarme Bündnerschiefer“ wurde eine Abfolge zusammengefasst, die hauptsächlich aus Kalkphylliten besteht. Allgemein ist in diesen Gesteinen der Anteil an Quarz und Glimmern höher als in den „Kalkreichen Bündnerschiefern“. Kalkfreie und wenig Karbonat führende Schwarzphyllite, Karbonatquarzite, granatführende quarzitisches Schiefer und Phyllite (untergeordnet Granat-Biotit-Glimmerschiefer) nehmen einen deutlich höheren Anteil ein als in den „Kalkreichen Bündnerschiefern“.

Bündnerschiefer, die durch Kalkphyllite und Kalke dominiert werden, sind durch eine ausgeprägte Bankung charakterisiert. Herrschen Kalkphyllite und Schwarzschiefer vor, so ist häufig ein Kleinfaltenbau zu beobachten.

Die Hauptlithologien im Glockner Deckenkomplex können anhand von Oberflächenkartierungen, Bohrungen und der Dokumentation aus seichten Tunnelbauwerken im Bereich Wolf wie folgt beschrieben werden (eine genaue lithologische Zuordnung zur Gesteinscharakterisierung ist aus der geologischen Legende zu entnehmen):

3.5.1 Kalkschiefer

- **Lithologische Beschreibung**

Meist dunkelgrau-hellgrau laminierte Schiefer mit variierenden Karbonatgehalten (Abb. 11).

- **Auftreten und Mächtigkeit**

Typisch sind Wechselfolgen von karbonatreichen und phyllosilikat-(serizit-)reichen Lagen, tw. mit Graphitführung. Häufig treten weiße Calcitklüfte - adern und -knauern mit lokalen Quarzgehalten auf. Es existieren fließende Übergänge zu Kalkphyllit und Übergänge zu grauen, quarzitisches Kalkschiefern.

- **Ausbildung**

Die Kalkschiefer sind meist (dünn)plattig bis gebankt, lokal auch massig ausgebildet und hart

di scisti a granato e a granato-biotite, non calcarei.

Per “Calcescisti poco calcarei” si intende una successione composta principalmente da filladi calcaree. Generalmente queste rocce sono caratterizzate da contenuti più elevati in quarzo e mica rispetto ai “calcescisti carbonatici”. Filladi nere non calcaree e con poco carbonato, quarziti carbonatiche, scisti quarzitici ricchi in granato e filladi (subordinatamente micascisti a granatobiotite) sono presenti in quantità maggiore nei “calcescisti poco calcarei” rispetto ai “calcescisti carbonatici”.

I calcescisti che vengono dominati da filladi calcaree e calcari vengono caratterizzati da una stratificazione marcata. Dove predominano filladi calcaree e scisti neri si registrano spesso delle pieghe di dimensioni ridotte.

Sulla base dei rilievi di superficie, dei sondaggi e della documentazione delle opere di galleria a profondità ridotta eseguite nella zona di Wolf è possibile fornire la seguente descrizione delle litologie principali presenti nel complesso della falda del Glockner (si evince dalla leggenda l'assegnazione litologica precisa alla caratterizzazione della roccia):

3.5.1 Calcescisti calcarei

- **Descrizione litologia**

Prevalentemente scisti di colore grigio scuro - grigio chiaro, laminati con contenuti carbonatici variabili (ill. 11).

- **Presenza e spessori**

È caratteristica un'alternanza di strati ricchi di carbonato e di fillosilicati (di sericite) con parziale contenuto in grafite. Presenza frequente di fratture, vene e noduli di calcite con contenuti locali di quarzo. Si registrano dei passaggi continui alla fillade calcarea e dei passaggi ai calcescisti quarzitici di color grigio.

- **Conformazione**

I calcescisti calcarei risultano essere da (sottilmente) piastriformi a stratificati e, a livello locale, anche massicci, nonché da duri a

bis örtlich sehr hart.

localmente molto duri.

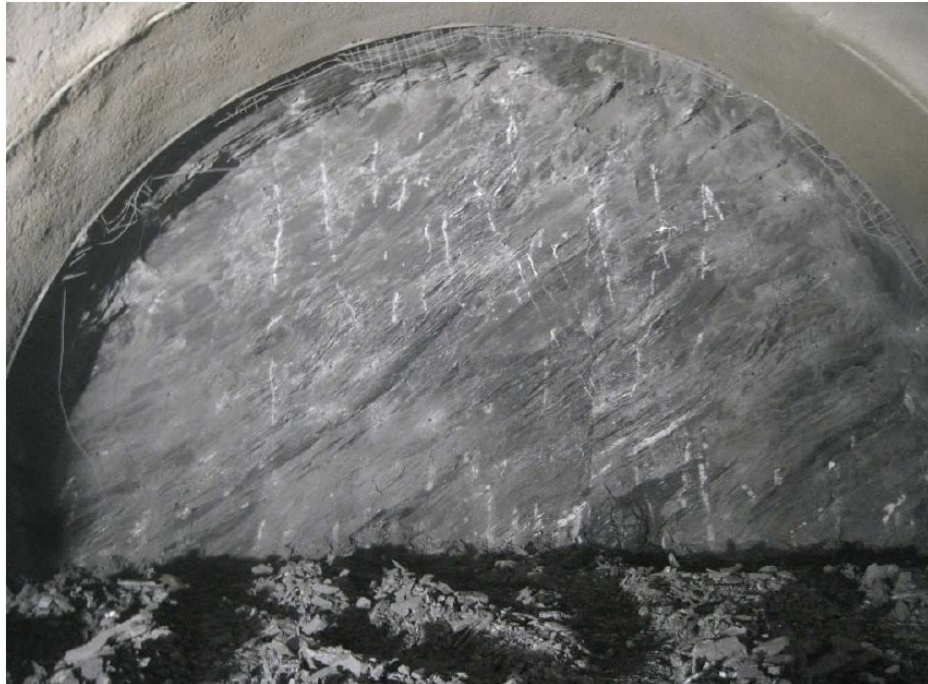


Abb. 11 Kalkschiefer, plattig bis bankig; bankrechte Calcitklüfte (Tunnel Padastertal, TM 295,8 m)

Fig. 11 Calcescisti calcarei, da piastriformi a stratificati; fratture di calcite verticali alla stratificazione (galleria Val Padastertal, prog. 295,8 m)

3.5.2 Kalkphyllit

- **Lithologische Beschreibung**

Meist dunkelgraue, teilweise graphit- und pyritführende, feinlaminierte (karbonatreiche und phyllosilikatreiche Lagen) Phyllite (Abb. 12).

- **Auftreten und Mächtigkeit**

Häufig treten weiße Calcitklüfte -adern und -knauern mit lokalen Quarzgehalten auf. Es existieren fließende Übergänge zu Kalkschiefer und Übergänge zu bzw. enge Wechsellagerungen mit Schwarzphyllit.

- **Ausbildung**

Die Kalkphyllite sind meist dünnplattig bis schieferig, lokal auch plattig ausgebildet und meist mäßig hart bis hart.

3.5.2 Fillade calcarea

- **Descrizione litologia**

Prevalentemente filladi di colore grigio scuro con parziali contenuti di grafite e pirite, sottilmente laminate (strati carbonatici e ricchi di fillosilicati) (ill. 12).

- **Presenza e spessori**

Presenza frequente di fratture, vene e noduli di calcite con contenuti locali di quarzo. Si registrano dei passaggi continui ai calcescisti calcarei e dei passaggi alle filladi nere ovvero delle alternanze fitte con le filladi nere.

- **Conformazione**

Le filladi calcaree risultano essere maggiormente da sottilmente piastriformi a scistose, localmente anche piastriformi e da mediamente dure a dure.



Abb. 12 Kalkphyllit, (dünn)plattig, mittel- bis weitständig geklüftet (Tunnel Padastertal TM 68,1m)

Fig. 12 Fillade calcarea, (sottilmente) piastriforme, fratture con spaziatura da media a elevata (galleria Val Padastertal, progr. 68,1m)

3.5.3 Schwarzphyllit

- **Lithologische Beschreibung**

Überwiegend dunkelgraue, graphit- und teilweise auch pyritreiche Phyllite.

- **Auftreten und Mächtigkeit**

Schwarzphyllite weisen einen sehr geringen bis keinen Kalkgehalt auf und sind von kalkarmen Phylliten nur schwer abgrenzbar. Es existieren fließende Übergänge zu bzw. enge Wechsellagerungen mit Kalkphyllit. Bereichsweise können Lagen und Knauern mit unterschiedlichen Quarz- und Calcitgehalten (Mobilisat-Lagen) auftreten.

- **Ausbildung**

Die Schwarzphyllite sind meist schieferig bis dünnplattig ausgebildet und mäßig hart bis mürbe.

3.5.4 Chloritschiefer

- **Lithologische Beschreibung**

Meist grüngraue Chlorit und Serizit-führende (im Nahbereich von Störungszonen auch Talk-

3.5.3 Fillade nera

- **Descrizione litologia**

Prevalentemente filladi di colore grigio scuro, ricche di grafite e parzialmente anche di pirite.

- **Presenza e spessori**

Le filladi nere presentano un contenuto calcareo da molto ridotto a inesistente e sono solo difficilmente distinguibili dalle filladi povere in calcari. Si registrano dei passaggi continui alle filladi calcaree ovvero delle alternanze fitte con le medesime. In alcuni settori è possibile la presenza di strati e noduli con contenuti variabili di quarzo e calcite (strati di mobilisato).

- **Conformazione**

Le filladi nere risultano essere maggiormente da scistose a sottilmente piastriformi e da mediamente dure a sgretolate.

3.5.4 Scisti cloritici

- **Descrizione litologia**

Prevalentemente scisti di colore grigio-verde con contenuti di clorite e sericite (nelle vicinanze delle

führende) Schiefer mit wechselnden Quarz- und/oder Karbonatgehalten.

- **Auftreten und Mächtigkeit**

Im Verband mit Chloritschiefern treten vereinzelt auch reine Karbonat-(Marmor-) Linsen und Lagen auf.

- **Ausbildung**

Die Chloritschiefer sind meist dünnplattig bis schieferig ausgebildet und mäßig hart bis lokal mürbe.

zone di faglia anche contenuti di talco) con contenuti variabili di quarzo e/o carbonati.

- **Presenza e spessori**

In combinazione con gli scisti cloritici si registra singolarmente anche la presenza di lenti e strati di carbonato puro (di marmo).

- **Conformazione**

Gli scisti cloritici risultano essere maggiormente da sottilmente piastriformi a scistosi e da mediamente duri a localmente sgretolati.

3.5.5 Lantschfeldquarzit

- **Lithologische Beschreibung**

Im frischen Zustand meist grünlich-weiße, feinkörnige Quarzite mit lokalen Chlorit(schiefer)-Lagen

- **Auftreten und Mächtigkeit**

Der Lantschfeldquarzit tritt im Tarntaler Permomesozoikum auf.

- **Ausbildung**

Im unverwitterten Zustand meist hart.

3.5.5 Quarzite di Lantschfeld

- **Descrizione litologia**

Nello stato inalterato prevalentemente quarziti di colore bianco-verdastro a grana fine con strati locali di clorite (scisti cloritici).

- **Presenza e spessori**

La quarzite di Lantschfeld è presente nel Permomesozoico del Tarntal.

- **Conformazione**

In stato inalterato prevalentemente duro.

3.6 STRUKTURGEOLOGISCHER AUFBAU

3.6.1 Übersicht

Der Trassenkorridor des Brennerbasistunnels quert alle tektonischen Großeinheiten der zentralen Ostalpen (ostalpinen Kristallin nördlich des Tauernfensters, Einheiten des Tauernfensters) sowie die Grenze zwischen Ostalpin und Südalpin (Abb. 2). Die tektonischen Kontakte dieser Einheiten entsprechen zum Teil krustenmaßstäblichen spröden Störungen, die lateral und vertikal über große Distanzen verfolgbar sind und die zu den größten bekannten Störungssystemen in den Alpen zählen. Die bedeutendsten Störungen, die durchörtert werden, sind das Inntal-Störungssystem, das über mindestens 130 km durch die westlichen Ostalpen kartiert ist und an dem 40 km Linksseitenbewegung stattgefunden haben (davon 15 km im Miozän; Ortner et al. 1999) sowie die Olperer und Greiner Scherzone, die sich in die Salzach-Ennstal Störung fortsetzen (Gesamtlänge des Störungssystems ca. 350 km mit 60 km sinistralen Versatz).

Die duktile Brenner-Abschiebung bzw. spröde Wipptal-Störung werden vom Tunnel nicht direkt durchörtert. Er befindet sich jedoch über weite Strecken im Einflussbereich dieser flach bis mittelsteil W-gerichteten Abschiebung (sekundäre duktile und spröde Extensionsstrukturen), die wesentlich mit der Deformations- und Metamorphosegeschichte im westlichen Tauernfensterabschnitt verknüpft ist (siehe unten).

Die meisten Großstörungen im Planungsraum des BBT sind Produkte der tertiären (oligozänen und miozänen) tektonischen Entwicklung, die durch das ostgerichtete Ausweichen („laterale Extrusion“) der Einheiten des Tauernfensters und die nordgerichtete Bewegung der südalpinen Einheiten relativ zu den Nordalpen gekennzeichnet ist (Selverstone, 1988; Behrmann, 1988; Linzer et al. 2002; Ratschbacher et al., 1989, 1991). Der Prozess beschreibt die Aufdomung und Abkühlung des Tauernfensters, das unter der Brennerabschiebung tektonisch exhumiert wird, und das sich zwischen der Inntalstörung und der Pustertalstörung um ca. 20-30 km nach E bewegt. Die penninischen Einheiten des Tauernfensters

3.6 ASSETO GEOLOGICO-STRUTTURALE

3.6.1 Introduzione

Il corridoio del tracciato della Galleria di Base del Brennero attraversa tutte le maggiori unità tettoniche centrali delle Alpi orientali (cristallino dell'Austroalpino a N della Finestra dei Tauri, unità della Finestra dei Tauri) così come il limite di placca tra l'Austroalpino ed il Sudalpino (fig. 2). I contatti tettonici di queste unità corrispondono in parte a faglie fragili alla scala delle croste, che si estendono lateralmente e verticalmente per lunghe distanze ed appartenenti ai più grandi noti sistemi di faglie delle Alpi. Le faglie trascorrenti più note sono il sistema della Valle dell'Inn, cartografato per un minimo di 130 km per le alpi orientali a W e lungo il quale si sono verificati movimenti trascorrenti sinistri per 55 km (di cui 15 km nel Miocene, Ortner et al., 1999) e le zone di taglio dell'Olperer e del Greiner, che continuano nella faglia del Salzach-Ennstal (lunghezza totale del sistema di faglia di ca. 350 km con un rigetto sinistro di 60 km).

La galleria non percorrerà direttamente la faglia diretta del Brennero duttile risp. la faglia fragile del Wipptal. Percorrerà comunque su lunghe distanze la zona d'influenza di questa faglia diretta, con un'immersione da basso a medio angolo verso W (strutture di estensione secondarie, duttili e fragili) che è legata essenzialmente alla storia deformativa e metamorfica della Finestra dei Tauri occidentale (vedi sotto).

La maggior parte della faglie principali nell'area di progetto del BBT, prodotti dell'evoluzione tettonica terziaria (Oligocene e Miocene), sono caratterizzate da estrusione verso E („lateral extrusion“) delle unità della Finestra dei Tauri ed il movimento verso N delle unità sudalpine in relazione alle Alpi orientali (Selverstone, 1988; Behrmann, 1988; Linzer et al., 2002, Ratschbacher et al., 1989, 1991). Il processo descrive la formazione del duomo ed il raffreddamento della Finestra dei Tauri, che viene esumato tettonicamente sotto la faglia diretta del Brennero, e che si muove tra la faglia dell'Inntal e la faglia della Val Pusteria per ca. 20-30 km verso E. Le unità penniniche della Finestra dei Tauri vengono

werden dabei um 10-15 km vertikal gehoben. Die ostalpinen Einheiten der Hangendscholle der Brennerabschiebung (Ötztal-Stubai-Komplex) bewegen sich relativ zum Tauernfenster auf der Brennerabschiebung, zwischen der Telfs-Störung (Oberinntal) und (?) der Jaufenline, nach W. Die fortschreitende tektonische Exhumierung und Abkühlung des Tauernfensters resultiert in Strukturen und Störungszonen, die zuerst duktil und später spröde Deformation abbilden.

Der Beginn der Exhumation des Tauernfensters wird mit oberem Oligozän angenommen (ca. 30 Ma; Selverstone, 1988; Axen et al., 1995; Selverstone et al., 1995; Decker & Peresson, 1996; Linzer et al., 2002). Fügenschuh et al. (1997) rekonstruieren durch Datierungen der Abkühlungsereignisse des Penninikums unter der Brennerabschiebung eine ältere Deformationsphase der Brennerabschiebung und des Tauernfensters (bis ca. 13 Ma) mit duktiler bis duktil-spröder Deformation, und eine jüngere Phase (nach ca. 13 Ma) mit duktil-spröder und spröder Deformation. Die jüngere Phase bezieht die Wipptal (Silltal-) -Störung (nördliche Fortsetzung der Brenner Linie, Behrmann, 1988) in die Bewegung der Brennerabschiebung ein.

3.6.2 Metamorphe Deformationsabfolge

Die tektonischen Großeinheiten entlang der geplanten Tunneltrasse des BBT unterscheiden sich voneinander in ihrer geodynamisch-tektonischen Entwicklungsgeschichte und daraus resultierend durch unterschiedliche tektonisch bedingte Strukturmerkmale. Neben der tektonischen Entwicklungsgeschichte spielt bei der Differenzierung der Deformationsgeschichte verschiedener Gesteine deren Bildungsalter eine entscheidende Rolle, da ein Gestein natürlich keine Deformation aufzeichnen kann, die älter ist als es selbst. Dadurch können sich auch innerhalb einer tektonischen Einheit Unterschiede im Strukturstil ergeben.

Folgende Einheiten werden hinsichtlich ihrer metamorphen Deformation differenziert betrachtet:

alzati in verticale per 10-15 km. Le unità austroalpine della zolla di tetto della faglia diretta del Brennero (complesso dell'Ötztal-Stubai) si muovono relativamente alla Finestra dei Tauri sulla faglia diretta del Brennero, tra la faglia di Telfs (Oberinntal) e (?) la linea del Giovo, verso W. La successiva esumazione tettonica e il raffreddamento della Finestra dei Tauri risulta in strutture e zone di faglia che prima evidenziano una deformazione duttile e di seguito una di tipo fragile.

L'inizio dell'esumazione della Finestra dei Tauri viene presunta nel Oligocene superiore (ca. 30 Ma; Selverstone, 1988; Axen et al., 1995; Selverstone et al., 1995; Decker & Peresson, 1996; Linzer et al., 2002). Fügenschuh et al. (1997). Gli autori ricostruiscono, tramite datazioni degli eventi di raffreddamento del Penninico sotto la faglia diretta del Brennero, una fase di deformazione più antica della faglia diretta del Brennero e della Finestra dei Tauri (fino ca. 13 Ma) con deformazione duttile a duttile-fragile, e una fase più giovane (dopo ca. 13 Ma) con deformazione duttile-fragile e fragile. La fase più giovane introduce la faglia del Wipptal (Silltal) (proseguimento verso N della faglia del Brennero, Behrmann, 1988) nel movimento della faglia diretta del Brennero.

3.7 SUCCESSIONE DEFORMATIVA METAMORFICA

Le grandi unità tettoniche lungo il tracciato della galleria del BBT si distinguono tra di loro nella loro storia geodinamica-tettonica e quindi anche dalle caratteristiche strutturali condizionate dalla tettonica diversa. Oltre alla storia dell'evoluzione tettonica è importante per la differenziazione delle storie deformative di diverse rocce la loro età di formazione, dato che una roccia può contenere chiaramente nessuna deformazione che è più vecchia di essa stessa. Per questo si possono presentare anche all'interno di una unità tettonica differenze nello stile strutturale.

Le seguenti unità vengono considerate in modo differenziato riguardo la loro deformazione

metamorfica

Innsbrucker Quarzphyllit

Fillade quarzifera di Innsbruck

Tarntaler Permomesozoikum

Permomesozoico del Tarntal

Einheiten des Tauernfensters (Penninikum und Subpenninikum).

Unità della Finestra dei Tauri (Pennidico e Subpennidico).

Abb 13 zeigt für den Erlundungsstollen Ahrental eine Übersicht über die in diesen Einheiten auftretenden Deformationserscheinungen.

Fig. 13 presenta per il cunicolo esplorativo Ahrental un quadro generale dei fenomeni deformazionali che si presentano in queste unità.

3.6.3 Postmetamorphe Deformationsabfolge

Es wurde ein vereinfachtes Deformationsmodell ausgearbeitet, mit dem 80-90% der im Gelände gemessenen Kleinstrukturen und die in der tektonischen Karte ausgewiesenen Strukturen erklärt werden können. Das Modell bildet eine Basis für die Zuordnung von geotechnisch und hydrogeologisch relevanten Strukturelementen und für Prognosen der Orientierungen und Eigenschaften tektonischer Trennflächen. Das Modell ist daher eine, aufgrund des derzeitigen Kenntnisstandes als zulässige erachtete, Vereinfachung der tektonischen Entwicklung im Planungsraum. In Abb. 14 wird die Deformationsabfolge für die ostalpinen Einheiten N des Tauernfensters und penninischen Serien des Tauernfensters zusammengefasst. Die Piktogramme zeigen die Zuordnung der klassifizierten Trennflächen zu regionalen Trennflächensystemen (RTF), die als Basis für die Definition von struktureologischen Homogenbereichen dienen.

Folgende Abbildungen geben eine Übersicht der duktilen Deformation im Projektgebiet:

3.7.1 Successione deformativa postmetamorfica

Si è elaborato un modello deformativo semplificato, con il quale si possono spiegare l'80-90% delle microstrutture rilevate in campagna e delle strutture segnate sulla carta tettonica. Il modello costituisce la base per l'attribuzione di elementi strutturali significativi dal punto di vista geotecnico ed idrogeologico e per le previsioni relative agli orientamenti e alle caratteristiche delle discontinuità tettoniche. Il modello perciò, a causa dello stato attuale di conoscenza, presenta una semplificazione dell'evoluzione tettonica nell'area di studio. Nella fig. 14 è riportata la successione deformativa delle unità austroalpine, a N della Finestra dei Tauri, e delle unità pennidiche nella Finestra dei Tauri. I pittogrammi mostrano l'associazione delle discontinuità classificate ai sistemi regionali di discontinuità (RTF) che servono come base per definire i domini omogenei geologico-strutturali.

Le illustrazioni seguenti forniscono una panoramica delle deformazioni duttili nell'area di progetto:

			Duktile alpidische Deformation			
Tektonische Einheit	Strukturen	Duktile präalpidische Deformation	Kreide		Tertiär	
			Faltung und Überschiebung im Ostalpin, penninische Subduktion		Penninische Subduktion und Kontinent-Kontinent-Kollision (Paläozän – Oligozän)	Faltung und Exhumation des Tauernfensters (Oligozän – Miozän)
Innsbrucker Quarzphyllit (IQP)	Schieferung (Charakterisierung/Orientierung)	S1-IQP (überprägt) S2-IQP (überprägt)	S3-IQP (meist penetrativ / NW- bis WNW-fallend, im S verfalltet und überprägt)	SB-Top-NW (Scherband-gefüge / NW-fallend)	Mylonitische Schieferung am Kontakt zu den Bündner Schiefer (verfalltet) SB-dex-IQP (spröde-duktil, NW-streichend) = RTF 6	S4-IQP = RTF 7 (im S teilweise penetrativ / steil N-fallend) Scherbandgefüge (spröde-duktil): SB-Top-NW-IQP (NW-fallend) und SB-sin-IQP (N-fallend)
	Faltenachse (Orientierung)	IsoF2-IQP (überprägt)	IsoF3-IQP (E-W-streichend)	F4a-IQP (NE-SW-streichend)		F4b-IQP (E-W-streichend)
	Lineation (Orientierung)		StrLin3-IQP (WSW-ENE-streichend)			StrLin4-IQP (E-W-streichend)
	Schieferung (Charakterisierung/Orientierung)		S1-TMU (penetrativ/verfalltet)		mylonitische Schieferung am Kontakt zu den Bündner Schiefer (verfalltet)	S2-TMU = RTF 7 (tw. penetrativ / NNW-fallend) Scherbandgefüge (spröde-duktil): SB-Top-NW-TMU (NW-fallend) und SB-Top-E-TMU (E-fallend)
Tartaler Permo-mesozoikum (TMU)	Faltenachse (Orientierung)		IsoF1-TMU (E-W-streichend)			F2-TMU (WSW-ENE-streichend)
	Lineation (Orientierung)		StrLin1-TMU (E-W-streichend)			StrLin2-TMU (E-W-streichend)

3.6.4 Wichtige Störungen entlang der Trasse des Erkundungsstollens Ahrental

Entlang der Trasse des Erkundungsstollens treten verschiedene Störungszonen auf (Abb. 15). Die Störungszonen werden von N nach S in Abb. 16 strukturgeologisch charakterisiert.

Für den Bereich des Innsbrucker Quarzphyllites von km 6+760 bis zum Ende des Quarzphyllitbereiches bei km 14+545 sei auf den Bericht "Gebirgsarten, Gebirgsverhaltenstypen – Erkundungsstollen Ahrental - Wolf" (01 GH4 GP 001 GTB - 00001 06) verwiesen, in welchem die neuen Erkenntnisse der bereits aufgefahrenden Störungen (EKS Innsbruck) im Innsbruck Quarzphyllit eingearbeitet wurden.

Die Störungszonen in der Glocknerdecke behalten den Kenntnisstand der Einreichplanung.

Folgend wird auf die dominanten Störungssysteme im Bereich des Erkundungsstollens eingegangen:

WNW- bis NW-streichende, subvertikale Störungen des Halsl-Matreiwald-Störungssystems treten gehäuft südlich des Arztales auf. Darüber hinaus stellen im gesamten Abschnitt des Innsbrucker Quarzphyllits NE-streichende, subvertikale Störungen (Inntal-, Viggartal-, Arztales- und Tauernnordrand-Störungssystem) die bedeutendsten Strukturelemente dar.

Aufgrund der Auswertung von Störungsdaten aus der Umfahrung Innsbruck für den Abschnitt bis ca. km 8.5 wurde noch das „Wipptal-Inntal“ bzw. „Paschberg-Störungssystem“ definiert. Dabei handelt es sich um etwa NW-streichende Abschiebungen, die nach NE bzw. SW fallen und genetisch der Wipptal-Störung zuzurechnen sind, die hier nach NW in das Inntal einbiegt.

In der südlichen Quarzphyllitzone finden sich zahlreiche spröde westgerichtete Abschiebungen, die kinematisch der Brenner-Abschiebung zugeordnet werden können. Diese Störungen sind

3.7.2 Faglie importanti nello corridoio del cunicolo esplorativo Ahrental

Lungo il tracciato del cunicolo esplorativo di Ahrental si trovano diverse zone di faglia (fig. 15). Le zone di faglia del settore settentrionale sono caratterizzate strutturalmente da N a S nella fig. 16.

Relativamente alla zona della fillade quarzifera di Innsbruck dalla progressiva chilometrica 6+760 fino alla fine dell'area appartenente alla fillade quarzifera presso la progressiva chilometrica 14+545 si rimanda alla relazione "Tipi di ammassi rocciosi, tipi di comportamento di ammassi rocciosi – Cunicolo esplorativo Ahrental-Wolf" (01 GH4 GP 001 GTB - 00001 06) nella quale sono già state inserite le nuove conoscenze relative alle faglie già intercettate nella fillade quarzifera di Innsbruck (cunicolo esplorativo di Innsbruck).

Per le zone di faglia presenti nella falda del Glockner sono indicate le conoscenze disponibili al momento della progettazione definitiva.

In seguito si approfondiscono i sistemi di faglia dominanti nell'area del cunicolo esplorativo:

Faglie subverticali con direzione da WNW a NW del sistema di faglia Halsl-Matreiwald sono frequenti al sud del Arztales. Inoltre, nell'intero tratto della Fillade quarzifera di Innsbruck, le faglie subverticali con direzione NE (sistema di faglia dell'Inntal, Viggartal, Arztales e Tauernnordrand) e faglie subverticali con direzione NW (sistema di faglia Halsl-Matreiwald) presentano i più importanti elementi strutturali.

A base dell'interpretazione di dati di faglia tratti dalla circonvallazione di Innsbruck sono stati definiti i sistemi di faglia "Wipptal-Inntal" risp. "Paschberg" per il settore fino circa a km 8.5. Si tratta di faglie dirette orientate circa NW e immergenti verso NE risp. SW. Sono da attribuire alla faglia del Wipptal che in questo punto si volta a NW nel Inntal.

Nella zona settentrionale della fillade quarzifera si trovano numerose faglie normali fragili con orientamento verso ovest che possono essere associate cinematicamente alla faglia diretta del

aufgrund ihrer geringen Erstreckung durchwegs nicht bis auf Trassenniveau prognostizierbar, mit ihrem Auftreten ist jedoch zu rechnen. Die Häufigkeit dieser Störungen nimmt nach W – zur Brenner-Abschiebung - hin zu.

Brennero. A causa della loro modesta estensione, queste faglie non possono essere pronosticate fino al livello del tracciato, ma si può comunque prevedere una loro presenza. La frequenza di queste faglie aumenta verso W – in direzione della faglia diretta del Brennero.

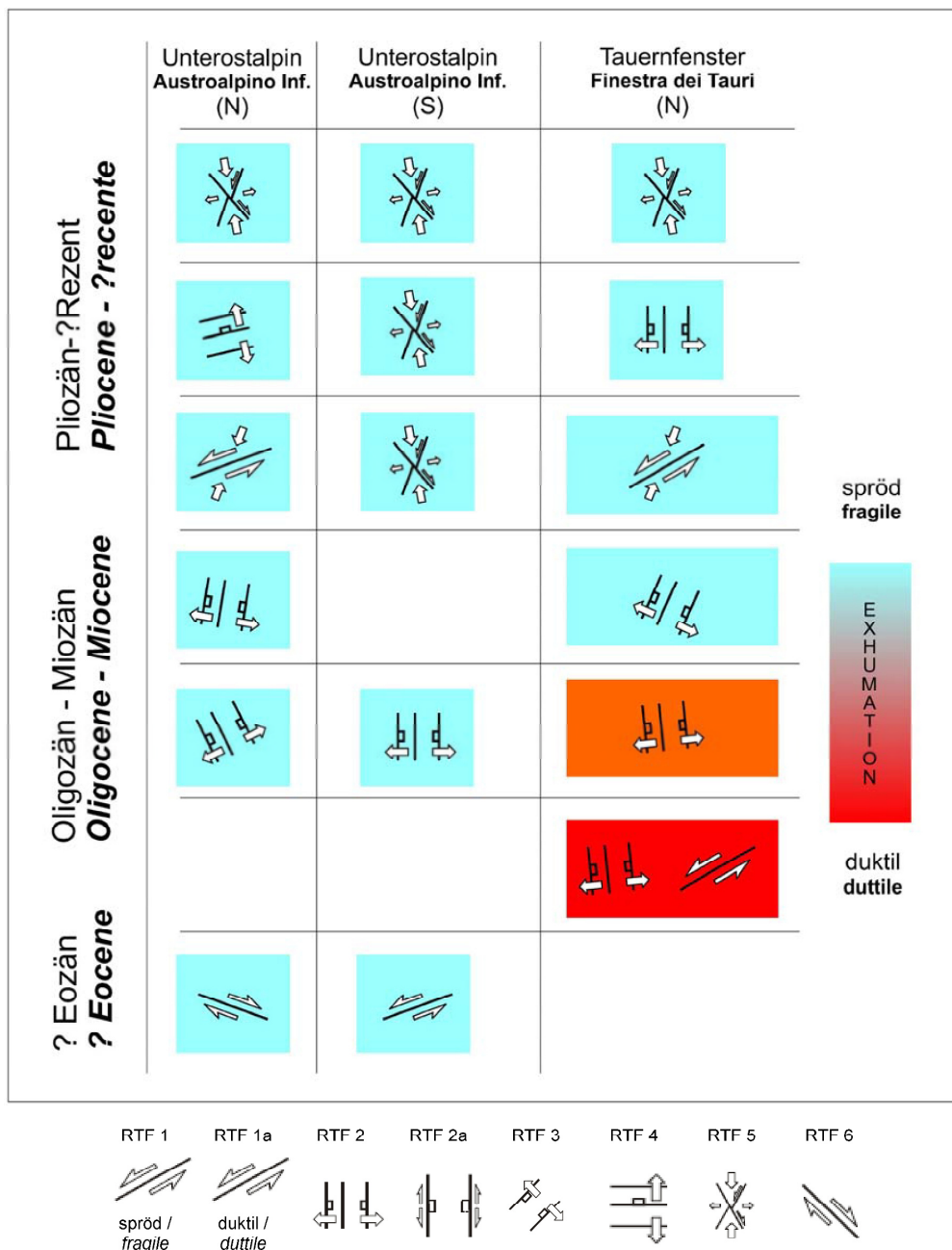


Abb. 14 Vereinfachte Deformationsabfolge für die ostalpinen Einheiten N des Tauernfensters und das Tauernfenster. Die technisch bedeutendsten Strukturen im Tauernfenster, Strukturen zu E-W-gerichteter Extension und NE-streichende Blattverschiebungen, sind duktil-spröde Strukturen. RTF... Regionales Trennflächensystem.

Fig. 14 Successione deformativa semplificata nelle unità a N della Finestra dei Tauri e nella finestra stessa. Le strutture tecnicamente più importanti nella Finestra dei Tauri sono strutture duttili e fragili di estensione E-W e faglie trascorrenti con direzione NE. RTF...sistemi regionali di discontinuità.

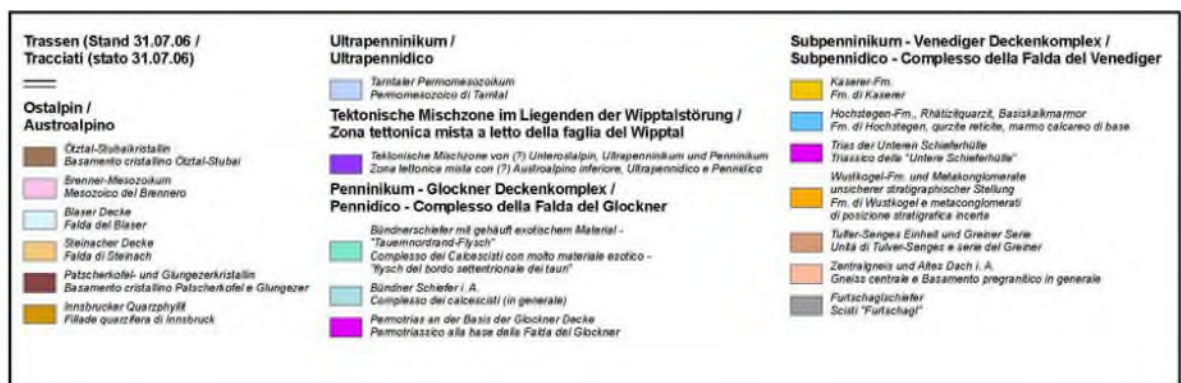
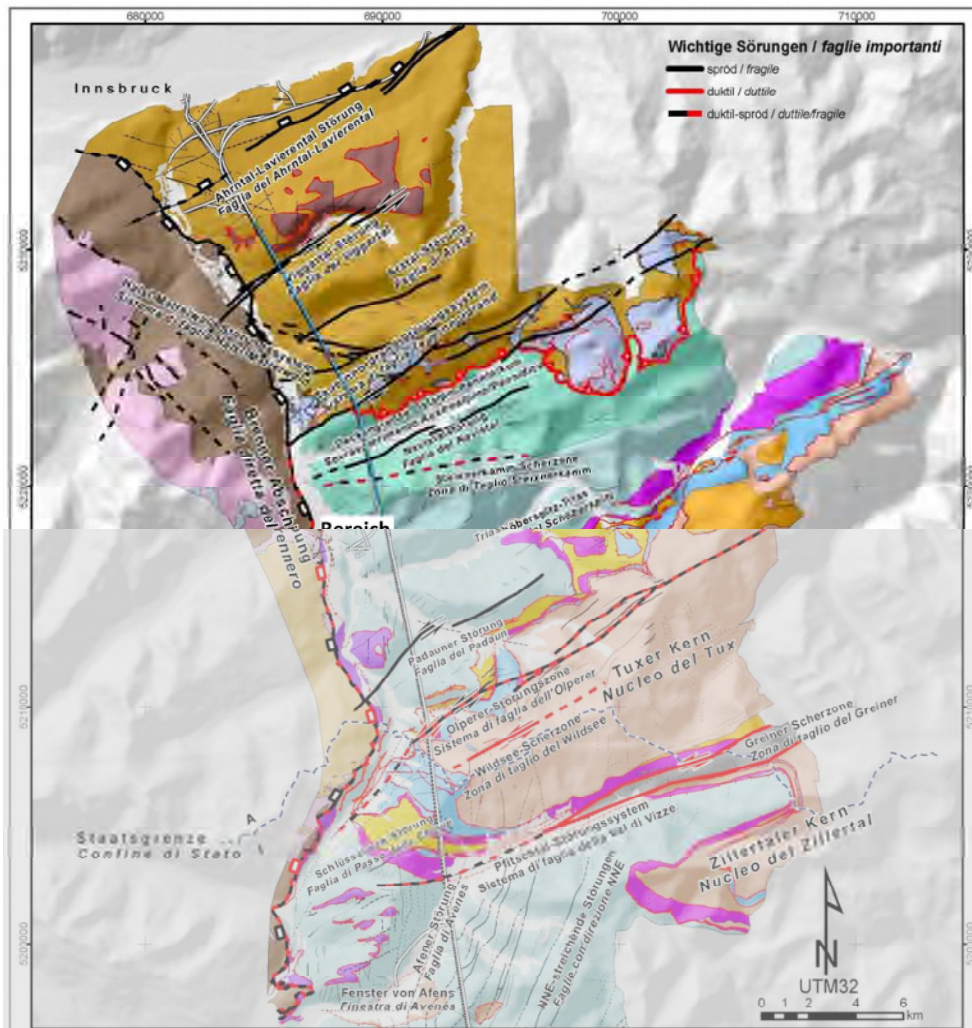


Abb. 15 Tektonische Übersichtskarte für den nördlichen Projektbereich des Brenner-Basistunnels., in blau der Erkundungsstollen Ahrental (schematisch)

Fig. 15 Carta tettonica generale per il settore settentrionale dell'area di progetto della galleria di base del Brennero, in blu il cunicolo esplorativo Ahrental (schematico)

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht der wichtigsten Störungen im nördlichen Projektbereich. Einzelne unten aufgelistete Störungszonen fallen außerhalb des betrachteten Projektbereiches (Erkundungsstollen Ahrental), werden aber zur Vollständigkeit genannt:

La tabella seguente fornisce una panoramica sulle faglie principali nell'area di progetto settentrionale. Alcune zone di faglia elencate di seguito sono presenti al di fuori dell'area di progetto in esame (cunicolo esplorativo di Ahrental), vengono però indicate per ragioni di completezza.

Name nome	Karte carta	N-S Profil profilo N-S	Streichrichtung andamento	Fallwert inclinazione	Relativsinn senso rel.	Typ tipo	Nr. auf Trasse n. sul tracc.	km	Bohrungsdaten dati di sondaggio	Anmerkung annotazione
Innsbrucker Quarzphyllit / Fillade quarzifera di Innsbruck										
W-fallende Störungen liegend der Brenner- Abschiebung			S(SE)-N(NW)	40-90° W	absch.	spröð	IT-13235 n-f082-095 etc. ...	2530 9300 ...	Umfl./circ. Innsbr. - In-B-03/04s	synthetisch zur Brennerabschiebung, zahlreich in km-breitem Streifen E der Brennerabschiebung, größtenteils nicht auf Trasseniveau prognostizierbar
Faglie innm. verso W a letto della faglia del Brennero					norm.	fragile				sinistriche alla faglia diretta del Brennero, frequenti in una zona chilometrica E della faglia del Brennero, in gran parte non pronost. a quota galleria
NNW-(SSE-) gerichtete Abschiebungen (Lanser Kopf-St., Ahrental- Laviental Störungssystem)			WSW-ENE	25-60° NNW (25-60° SSE)	absch.	spröð	KartL SST4 IN3706-73 INB2906-27 INB35B06-85	1600 2060 2210 2245	(Umfahrung Innsbruck) In-B-29/06 In-B-35B/06 In-B-37/06	
Faglie normali innm. verso NNW(SSE) (faglia del Lanser Kopf, sistema di faglia del Ahrental- Laviental)					norm.	fragile	n-f024a n-f024 n-f045	2485 2760 4595	(circonvallazione Innsbruck) In-B-29/06 In-B-35B/06 In-B-37/06	
(N)NE-(S)SW- gerichtete Abschiebungen (Wipptal- Inntal bzw. Paschberg Störungssystem)			(W)NW-(E)SE	30-70° (N)NE (30-70° (S)SW)	absch.	spröð	KartL SST2 IT-13455 n-f029	1660 3265 3420	(Umfahrung Innsbruck)	bis ca. km 8.5
Faglie normali innm. verso (N)NE-(S)SW (sistema di faglia Wipptal-Inntal resp. Paschberg)					norm.	fragile			(circonvallazione Innsbruck)	fino a km 8.5 ca.
NE-streichende Störungen (Inntal-System: Mühlbach, Goldbichl-, Patscher-, Ruggschreiner-St.; Viggartal-, Walzen-, Arzial- St.)			WSW-ENE	subvertikal	sin.	spröð	IN3706-83 n-f042 n-f063 n-f049 n-f073 n-f079 n-f066 n-f104 n-f140 n-f105 n-f105a n-f105a	2050 3550 5430 6620 7030 7585 9330 9450 10805 12520 12695	In-B-37-06 - Pa-B-01/04s - - - - - - - -	
Faglie orientate NE (sistema di faglie dell' Inntal: f. d. Mühlbach, Goldbichl-, Patsch, Ruggschreiner; f. d. Viggartal, Walzen, Arzial)					sin.	fragile				
NW-streichende Störungen (inkl. Halsl- Matreiwald- Störungszone)			NW-SE	subvertikal	dex.	spröð	Zone n-f041b n-f043	gehäuft 4800- 6800 4835 6260	In-B-03/04s	z. T. nicht exakt prognostizierbar
Faglie dirette NW (incl. zona di faglie Halsl- Matreiwald)					des.	fragile	n-f156-159, n-f159a etc. ...	gehäuft 12500- 14000		in parte non esattamente pronosticabili

Name nome	Karte carta	N-S Profil profilo N-S	Streichrichtung andamento	Fallwert inclinazione	Relativsinn senso rel.	Typ tipo	Nr. auf Trasse n. sul tracc.	km	Bohrungsdaten dati di sondaggio	Anmerkung annotazione
Tauernnordrand- Störungssystem (Riggelesbach-, Miskopf- Tauernnordrand-St., Navistal-St.)			WSW-ESE	subvertikal	sin.	spröd	n-f220a n-f193 n-f240 n-f258 n-f253 na2-438 na2-447	13835 14790 15390 15790 13640 18000 18240	- - - - Na-B-01/04s Na-B-02/05s Na-B-02/05s	
Sistema di faglia del limite settentrionale dei Tauri (f. del Riggelesbach, f. del Miskopf, f. del limite settentrionale dei Tauri, f. del Navistal)						fragile				
Duktile Scherzone Basis Unterostalpin			W-E	generell mittelsteil N (vertikal)	Übersch.	duktil		(13960 14320 14845)	PL-B-01/04s PL-B-02/04 PL-B-04/05	keine Sprödörung geringe geotecn. Bedeutung tritt vermutlich mehrfach auf (vertikal) non si tratta di una faglia fragile scarsa importanza geotecnica appare probabilmente più volte (ripiegata)
Zona di taglio base Austroalpino inf.					sovrasc.	dutile	n-sz14			
Tauernfenster / Finestra dei Tauri										
Brenner-Abschiebung + Wipptal-Störung			N-S	duktil: 20° W spröd: 20-40° W	absch.	duktil- spröd	(n-f661)	-	(Kraftwerksstollen Untere Sil, Tunnel Brennerbad)	ca. 1 km mächtiger mylonitischer Horizont mit gehäuftem Auftreten von SC-Strukturen und Sprödörung am Top, nicht auf Tunnelniveau
Faglia diretta del Brennero + Faglia del Wipptal				dukt.: 20° W fragile: 20- 40° W	norm.	dutile- fragile			(gall. di centrale elettrica "Untere Sil", gall. Brennerbad)	Orizzonte milonitico spesso circa 1 km con abbondante presenza di strutture SC e una faglia fragile al top, non a quota della galleria
W-fallende Störungen liegend der Brenner- Abschiebung			S(SW)-N(NE)	40-90° W	absch.	spröd	n-f380 504 ...	23500 31744 ...		synthetisch zur Brenner-Abschiebung, zahlreich in 4 km breitem Streifen östlich der Brenner- Abschiebung, großteils nicht auf Trassenniveau prognostizierbar
Faglie imm. verso W a leito della faglia del Brennero					norm.	fragile				
E bis NE-streichende Störungen (Steixnerkamm- Schurz., Padaunerst.)			WSW-ESE	80-90° NNW	sin.	duktil- spröd / spröd	n-sz25b n-f395 ...	18360 27070 ...	-	sinistrale alla faglia diretta del Brennero, frequenti in una zona larga 4 km a est della faglia del Brennero, in gran parte non pronosticabile a quota galleria
Faglie dirette da E a NE (zona di taglio del Steixnerkamm, faglia di Padaun)					sin.	dutile- fragile / fragile				
NW-streichende Störungen (Padastertal- , Valstal-St.)			NW-SE	subvertikal	dex.	spröd				nicht im Längenschnitt eingezeichnet. Prognose unsicher
Faglie dirette NW (faglia del Padastertal, faglia del Valstal)				subverticale	des.	fragile	n-f307-310 n-f663	221600 225900	-	non raffigurata nella sezione longitudinale, prognosi incerta

Abb. 16 Tektonische Übersichtskarte für den nördlichen Projektraum des Brenner-Basistunnels.

Fig. 16 Carta tettonica generale per il settore settentrionale dell'area di progetto della galleria di base del Brennero.

3.7 NEOTEKTONIK

Für die Neotektonik liegt ein Bericht des GEOTEAM zum gesamten Planungsraum vor. Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich wie folgt

3.8 NEOTETTONICA

Riguardo alla neotettonica è presente und rapporto del GEOTEAM per l'intera area di progetto. I risultati più importanti si possono riassumere nel

zusammenfassen:

- Im Projektraum ist mit potenziell aktiven Störungen zu rechnen, deren Versatz mit großer Wahrscheinlichkeit jedoch unter 1 mm pro Jahr liegt
- Als potenziell aktiv werden die Inntalstörung und assoziierte Störungen südlich des Inntals, die Wipptal-Störung (inkl. der Störungen des Wipptal-Inntal-Systems), die Halsstörung und damit assoziierte östlich des Wipptals.
- Entsprechende Störungen im GEOTEAM-Störungsverzeichnis werden in Abb. 19 aufgelistet und aufgrund der neotektonischen Datengrundlagen und zu erwartenden Bewegungsraten grobklassifiziert.

modo seguente:

- Nell' area di progetto è prevista la presenza di faglie potenzialmente attive il cui spostamento, tuttavia, rimane molto probabilmente al di sotto di 1 mm all'anno.
- Sono classificate come potenzialmente attive le faglie della Valle dell'Inn e le faglie associate a sud della valle, le faglie dell'Wipptal (incl. le faglie, del sistema Wipptal-Inntal) della Halsl e le faglie associate a est dell'Wipptal.
- Le relative faglie sono riportate nell'elenco delle faglie del GEOTEAM nella fig. 19 e classificate a grandi linee sulla base dei dati neotettonici disponibili e dei previsti tassi di movimento.

(VG) Störungen mit deutlicher Evidenz für wiederholte Bewegungsepisoden während des späten Quartärs und quantitativer Information über die Bewegungsrate durch paläoseismologische oder morphotektonische Analysen.	(VG) faglie molto evidenti per ripetuti episodi di movimento nel corso del tardo Quaternario e per le informazioni quantitative sui tassi di movimenti derivate dalla analisi paleosismologiche o morfotettoniche.
(G) Wie (VG), jedoch keine quantitative Bewegungsinformation, sondern teilweise qualitative Bewegungsinformation.	(G) come (VG), tuttavia non esistono informazioni quantitative sui movimenti bensì, talvolta, informazioni qualitative.
(F) Störungen, die von verschiedenen Autoren unterschiedlich als aktiv oder inaktiv bezeichnet werden, tw. mit der Angabe von Versatzraten.	(F) faglie che diversi autori definiscono attive o inattive, talvolta con l'indicazione delle percentuali di movimento.
(P) Störungen mit schlecht definierter Geometrie und Längsfortsetzung und unsicherer seismotektonischer Bedeutung.	(P) faglie con geometria ed estensione longitudinale mal definite e con importanza sismotettonica incerta.

Abb. 17 Klassifizierung von aktiven / potenziell aktiven Störungen hinsichtlich der Datengrundlage (Boncio et al., 2004, modifiziert nach Galadini et al., 2000)

Fig. 17 Classificazione delle faglie attive/potenzialmente attive sulla base dei dati (Boncio et al., 2004, modificato secondo Galadini et al., 2000).

Klasse / classe	v_{ta} [mm/a]	R.I. ($\bar{u}=1m$) [a]	R.I. ($\bar{u}=10m$) [a]
AA	>10	<100	<1000
A	1-10	100-1000	1000-10000
B	0.1-1.0	1000-10000	10000-100000
C	0.01-0.1	10000-100000	100000-1000000

Abb. 18 Klassifizierung aktiver Störungen nach der mittleren Versatzrate v_{ta} (Matsuda, 1976). Angegeben ist auch das charakteristische Wiederholintervall von Beben (R.I.), abhängig vom charakteristischen Versatzwert \bar{u} , nach der Beziehung von Wallace, 1970.

Fig. 18 Classificazione delle faglie attive secondo la percentuale media di movimento v_{ta} (Matsuda, 1976). È indicato anche il tempo di ritorno dei terremoti (R.I.), a seconda del valore caratteristico di movimento \bar{u} , secondo la relazione di Wallace, 1970.

Störungsname <i>nome della faglia</i>	Nr. D0104	Bezeichng. Geotechnik <i>denom.</i> <i>geotechnico</i>	Daten- grundlage <i>dati base</i>	Bewegungsra- te <i>tasso di</i> <i>movimento</i>	Regionales Störungssyste- m <i>sistema di faglia</i> <i>regionale</i>
Lanser Kopf-St. <i>Faglia Lanser Kopf</i>	n-f024, n-f024a	SZ-IQP-A-2	P	B-C	Ahrental (Inntal)
Mühlbach-St. <i>Faglia Mühlbach</i>	n-f042	SZ-IQP-A-2	P	B-C	Ahrental (Inntal)
Ahrental-St. (Lavierental-St.) <i>Faglia Ahrental (Lavierental)</i>	n-f045	SZ-IQP-A-1	P	B-C	Ahrental (Inntal)
Goldbichl-Störung <i>Faglia Goldbichl</i>	n-f063	SZ-IQP-A-2	P	B-C	Ahrental (Inntal)
Patscher Störung 1, 2 <i>Faglia Patsch 1, 2</i>	n-f049, n-f073	SZ-IQP-IT-2	P	B-C	Inntal
Ruggschreiner St. <i>Faglia Ruggschrein</i>	n-f079	SZ-IQP-IT-2	P	B-C	Inntal
Viggartal-Störung 1, 2 <i>Faglia Viggartal 1, 2</i>	n-f066, n-f104	SZ-IQP-IT-1	F	B-C	Inntal
Halsl-Matreiwald Störungssystem <i>Sistema di faglia Halsl-</i> <i>Matreiwald</i>	-	SZ-IQP-HS	P	B-C	Halsl

Abb. 19 Klassifizierung der Störungen entlang des geplanten Brenner-Basistunnels (nördlicher Abschnitt) bezüglich der tektonischen Aktivität. Zur Datengrundlage und Versatzrate siehe obige Abbildungen.

Fig. 19 Classificazione delle faglie lungo la Galleria di Base del Brennero (sette settentrionale) rispetto all'attività tettonica. Per i dati e i tassi di spostamento si vedano figure sopra

4 GEOLOGISCHE UND HYDROGEOLOGISCHE PROGNOSE ENTLANG DER TUNNELACHSE

4.1 GEOLOGISCHE PROGNOSE FÜR DEN ERKUNDUNGSSTOLLEN AHRENTAL

Die unten beschriebenen geologischen Homogenbereiche sind im Längenschnitt 01 E42 TU 00X KLS D0642 19701 00 ersichtlich.

4.1.1 Abschnitt von km 6+922,688 bis 7+185 ca.: Innsbrucker Quarzphyllit („Hangende Serie“)

- **Grundlagen der geologischen Prognose**

Die Prognose beruht vorwiegend auf der geologisch-tektonischen Geländeaufnahme. Die Übergänge zum Hangenden und Liegenden Abschnitt sind fließend und die Grenzen zu diesen deshalb nur sehr unpräzise anzugeben. Weiters wurde das Laserscan-Bodenmodell sturkturgeologisch ausgewertet.

- **Lithologische Beschreibung**

Die Quarzphyllit-Grünschiefer-Karbonat-Serie („Hangende Serie“) der Innsbrucker Quarzphyllitzone mit Einlagerungen von Kalk- und Dolomitmarmoren, Grünschiefern und eventuell Porphyroiden ist in diesem Abschnitt zu erwarten.

- **Strukturen und Störungen**

Die dominante Schieferung ist die S3-IQP. Scherbänder mit Top W bis NW Bewegung sind häufig, aber auch liegende M-Typ-Falten sind zu erwarten. In diesen Faltenscheiteln liegen vermutlich die großen Karbonatkörper.

Es ist mit nicht prognostizierbaren Störungen des Wipptal-Systems (flach bis steil W- bis SSW und E- bis NNE fallende Abschiebungen) und Halsl-Systems (subvertikal, NW-streichend) zu rechnen.

Eher unwahrscheinlich, aber nicht restlos auszuschließen ist das Auftreten von Paragneisen des Patscherkofelkristallins auf Niveau des

4 DESCRIZIONE PREVISIONALE IN ASSE ALLA GALLERIA

4.1 PROGNOSI GEOLOGICA PER IL CUNICOLO ESPLORATIVO AHRENTAL

I settori omogenei geologici descritti di seguito sono indicati nel profilo longitudinale 01 E42 TU 00X KLS D0642 19701 00.

4.1.1 Tratto da km 6+922,688 a 7+185 ca.: Fillade quarzifera di Innsbruck (“serie di tetto”)

- **Basi della previsione geologica**

La previsione si basa prevalentemente sul rilevamento geologico-tettonico in campagna. I passaggi alle filladi quarzitiche di tetto e di letto sono continui e quindi i limiti sono individuabili soltanto in maniera molto imprecisa. Inoltre è stato valutato il modello laserscan del suolo dal punto di vista strutturale.

- **Descrizione litologia**

In questo tratto ci si deve aspettare la serie di fillade quarzifera – schisti verdi - carbonati (“serie di tetto“) della zona della filladi quarzifere di Innsbruck con intercalazioni di marmi calcarei e dolomitici, scisti verdi ed eventualmente porfiroidi.

- **Strutture e faglie**

La scistosità dominante è rappresentata dalla S3-IQP. Prevalgono bande di shear con movimenti top verso W fino a NW, però si attendono anche pieghe coricate del tipo M. Entro questi nuclei di piega sono probabilmente ubicati i grandi corpi carbonatici.

É possibile trovare faglie non pronosticabili del sistema del Wipptal (faglie dirette con angoli da bassi ad alti con direzione da W a SSW e da E a NNE) e del sistema di Halsl (subverticale, orientamento verso NW).

La presenza dei paragneiss del cristallino del Patscherkofel a quota della galleria di base è piuttosto improbabile ma non può essere esclusa

Basistunnels. Aus dem Kartenbild ist ersichtlich, dass der dem Innsbrucker Quarzphyllit zwischengeschaltete Anteil des Patscherkofel- und Glungezerkristallins nach N bzw. NW hin abtaucht und gleichzeitig auslinst. Dieses Auslinsen wird entweder durch Abscheren an einer duktilen Scherzone oder durch eine nach N schließende enge Falte - wie im Längenschitt dargestellt - verursacht. Keine der beiden Möglichkeiten lässt allerdings eine geotechnisch wirksame Störung erwarten.

completamente. Sulla carta si vede che la parte del cristallino del Patscherkofel e del Glungezer intercalata nella fillade quarzifera di Innsbruck immerge verso nord ossia nord-ovest e che anche i corpi lenticolari immergono in contemporanea. Tale immersione dei corpi a lente viene causata o dalla rottura presso una zona di taglio duttile o da una piega stretta che si chiude verso nord, vedi anche la sezione longitudinale. Comunque, nessuna delle due possibilità fa presupporre che ci sia una faglia con effetti geotecnici.

4.1.2 Abschnitt von km 7+185 bis 8+850 ca.: Innsbrucker Quarzphyllit (höhermetamorpher Abschnitt)

- **Grundlagen der geologischen Prognose**

Die Prognose beruht auf der Geländekartierung, sowie bis ca. km 8 auf der strukturgeologischen Auswertung des Laserscan-Bodenmodells. Die Übergänge zum Hangenden und Liegenden Abschnitt sind fließend und die Grenzen zu diesen deshalb nur sehr unpräzise anzugeben.

- **Lithologische Beschreibung**

Dieser Teil besteht aus diaphthoritischen Glimmerschiefern und Granatglimmerschiefern des höher metamorphen Anteiles der Innsbrucker Quarzphyllitzone. Diese Gesteine sind im Allgemeinen sehr monoton. Es können geringmächtige Amphibolitlagen, quarzitisches Lagen und möglicherweise auch granitische Intrusiva vorkommen.

- **Strukturen und Störungen**

Die penetrative Schieferung (S3-IQP) zeigt einen offenen, wellenförmigen Faltenbau und streut weit um ein flaches NNW-Einfallen. Abschnittsweise wird die penetrative Schieferung von steileren, nach NW bis W einfallenden Scherbandgefügen überprägt.

Es sind mehrere spröde Störungen des Inntal-Systems prognostiziert (n-f049, n-f073, n-f079; ENE- bis NE-streichend, steilstehend). Zu erwarten

4.1.2 Tratto da km 7+185 a 8+850 ca.: Fillade quarzifera di Innsbruck (settore di grado metamorfico più elevato)

- **Basi della previsione geologica**

La previsione si basa sul rilevamento geologico-tettonico in campagna, fino al km 8 anche sulla valutazione strutturale del modello laserscan. I passaggi alle filladi quarzitiche di tetto e di letto sono continui e quindi i limiti sono individuabili soltanto in maniera molto imprecisa.

- **Descrizione litologia**

Questo tratto è composto da micascisti diafforitici e micascisti granatiferi appartenenti al settore a grado metamorfico superiore, delle filladi quarzifere di Innsbruck. Queste rocce in generale sono molto monotone. Possono essere presenti livelli anfibolitici poco potenti, livelli quarzitici e probabilmente anche intrusioni granitiche.

- **Strutture e faglie**

La scistosità penetrativa (S3-IQP) presenta una struttura di piegamento aperta, ondulata e si disperde ampiamente attorno ad un'immersione con angolo basso verso NNW. A tratti la scistosità penetrativa viene sovrainpressa da strutture di shearband con immersioni verso NW e W con pendenze più alte.

Si prevedono diverse faglie fragili del sistema dell'Inntal (n-f049, n-f073, n-f079; orientamento da ENE a NE, ad alto angolo). Si prevedono inoltre

sind zudem weitere ENE- bis NE-streichende Störungen, mittelsteil bis steil W- bis SW bzw. E bis NE-fallende Abschiebungen unter der Wipptal-Störung (stark schleifend zur Tunnelachse) und NW-streichende, steilstehende Störungen des Halsl-Systems.

ulteriori faglie con immersioni verso ENE – NE, faglie dirette con angoli da medi ad alti con immersioni verso W a SW risp. da E a NE sotto la faglia del Wipptal (con angolo basso all'asse di galleria) e faglie del sistema di Halsl con orientamento NW ed immersioni ad alto angolo.

4.1.3 Abschnitt von km 8+850 bis 11+310 ca.: Innsbrucker Quarzphyllit („Liegende Serie“)

• Grundlagen der geologischen Prognose

Die Prognose beruht vorwiegend auf der geologisch-tektonischen Geländeaufnahme. Die Übergänge zum Hangenden und Liegenden Abschnitt sind fließend und die Grenzen zu diesen deshalb nur sehr unpräzise anzugeben.

• Lithologische Beschreibung

Die „Liegende Serie“ des Innsbrucker Quarzphyllits in diesem Abschnitt entspricht in ihrem Gesteinsbestand der „Hangenden Serie“ des Innsbrucker Quarzphyllits (Quarzphyllit-Grünschiefer-Karbonat-Serie). Der vorliegende Abschnitt besteht zum Großteil aus Quarzphyllit mit Einschaltungen von möglicherweise recht mächtigen Dolomitenkörpern (km 9.5-11.3) und daneben Grünschiefern, Kalkmarmoren und Porphyroiden.

• Strukturen und Störungen

Die dominante Schieferung ist auch hier die S3-IQP. Im südlichsten Teil kann eventuell die meist steil N-fallende S4-IQP teilweise die S3-IQP überprägen. Das wechselnde \pm N- und \pm S-Fallen wird auf einen offenen Faltenbau zurückgeführt, dessen Intensität gegen S hin zunimmt.

Die prognostizierten Störungen in diesem Abschnitt sind zwei Äste der Viggartal-Störung (n-f066, n-f104) und die Walzn-Störung (n-f140; alle ENE bis NE-streichend, steilstehend). Zu erwarten sind zudem weitere zur ENE- bis NE-streichende Störungen, W-fallende Abschiebungen unter der Wipptal-Störung (stark schleifend zur

4.1.3 Tratto da km 8+850 a 11+310 ca.: Fillade quarzifera di Innsbruck (“serie di letto”)

• Basi della previsione geologica

La previsione si basa prevalentemente sul rilevamento geologico-tettonico in campagna. I passaggi alle filladi quarzifiche di tetto e di letto sono continui e quindi i limiti sono individuabili soltanto in maniera molto imprecisa.

• Descrizione litologia

La “serie di letto” delle filladi quarzifere di Innsbruck, che affiora in questo tratto corrisponde dal punto di vista litologico alla “serie di tetto” (serie di fillade quarzifera – schisti verdi - carbonati). Il presente settore è costituito per la maggiorparte di fillade quarzifera con intercalazioni di corpi dolomitici probabilmente piuttosto potenti (km 9.5-11.3), accanto a scisti verdi, marmi calcarei e porfiroidi.

• Strutture e faglie

Anche in questo settore la scistosità dominante è rappresentata dalla S3-IQP. Nel settore più meridionale è possibile che la scistosità S4-IQP, immergente verso N con inclinazione subverticale, sovrainprima la S3-IQP. Il cambiamento dell'immersione \pm N e \pm S è da ricondurre a una struttura di piegamento aperta, la quale intensità aumenta verso S.

Le faglie pronosticate in questo settore sono due rami della faglia di Viggartal (n-f066, n-f104) e la faglia di Walzn (n-f140; tutte con orientamento da ENE a NE, subverticali). Si pensano di trovare inoltre altre faglie con orientamento da ENE a NE, faglie normali dirette verso W (con angolo basso all'asse di galleria) e faglie subverticali con

Tunnelachse) und NW-streichende, steilstehende Störungen des Halsl-Systems.

orientamento NW del sistema di Halsl.

**4.1.4 Abschnitt von km 11+310 bis 13+960 ca.:
Innsbrucker Quarzphyllit
(Schwarzphyllit-Karbonat-Serie)**

- **Grundlagen der geologischen Prognose**

Der Abschnitt wird im S vom oberen Teil der Bohrung Pf-B-01/04s durchörtert. Auf Trassenniveau verläuft die Bohrung allerdings bereits in den liegenden Bündnerschiefern des Tauernfensters.

- **Lithologische Beschreibung**

Es handelt sich um den stratigraphisch jüngsten Abschnitt des Innsbrucker Quarzphyllits („Schwarzschiefer-Karbonat-Serie“), bestehend aus vorwiegend Quarzphyllit (tw. quarzitisch) mit Einschaltungen von Schwarzschiefern, Eisendolomiten und Kalkmarmoren.

- **Strukturen und Störungen**

Die penetrative Schieferung S3-IQP ist in unterschiedlichen Größenordnungen verfault (F4b-IQP) und liegt flach bis steil nach NW bis NNW einfallend oder steil nach S bis SSE bzw. überkippt nach NNW einfallend vor. Bereichsweise ist eine überprägende Achsenebenschieferung ausgebildet (S4-IQP = regionales Trennflächensystem RTF7; nach S hin zunehmend).

An größeren Sprödstörungen werden zwei Äste der Arzthal-Störung (n-f105, 105a; ENE-streichend, steilstehend), die Riggelesbach-Störung (ähnlich wie Arzthal-Störung) und nicht genauer lokalisierbare Störungen des Halsl-Matreiwald-Störungssystems prognostiziert (WNW- bis NW-streichend, steilstehend).

**4.1.5 Abschnitt von km 13+960 bis 15+400 ca.:
Obere Bündner Schiefer (Zone mit gehäuft exotischen Schollen) und
Innsbrucker Quarzphyllit**

- **Grundlagen der geologischen Prognose**

**4.1.5 Tratto da km 11+310 a 13+960 ca.:
Fillade quarzifera di Innsbruck (serie
della fillade nera-carbonatica)**

- **Basi della previsione geologica**

Il tratto è stato perforato a S dalla parte superiore del sondaggio Pf-B-01/04s. Il sondaggio percorre a livello di galleria però già nei Calcescisti della Finestra dei Tauri che si trovano a letto.

- **Descrizione litologia**

Si tratta del tratto stratigraficamente più giovane della Fillade quarzifera di Innsbruck (“serie della fillade nera-carbonatica”), costituito prevalentemente da fillade quarzifera (i.p. quarzitica) con intercalazioni di scisti neri, dolomia ad ankerite e marmi calcarei.

- **Strutture e faglie**

La scistosità penetrativa S3-IQP è ripiegata in diversi ordini di grandezza (F4b-IQP) e si presenta con inclinazioni da basse ad alte verso S e SSE risp. si presenta sovrainclinata verso NNW. In parte si è formata una scistosità di piano assiale sovrainpressa (S4-IQP = sistema regionale di discontinuità RTF7; con aumento verso S).

Si pronosticano lungo le faglie fragili maggiori due rami della faglia di Arzthal (n-f105, 105a; orientamento ENE, subverticali), la faglia di Riggelesbach (simile alla faglia di Arzthal) e faglie del sistema di faglia Hals-Matreierwald non precisamente localizzabili (orientamento da WNW a NW, subverticali).

**4.1.5 Tratto da km 13+960 a 15+400 ca.:
Calcescisti superiori (zona ricca di
scaglie esotiche) e fillade quarzifera
di Innsbruck**

- **Basi della previsione geologica**

In diesen Bereich fällt die Bohrung Pf-B-01/04s. Duktile Strukturen und Einheiten wurden entlang einer F3-TW-Faltenachse (260/25 bzw. 080/-25) in die Profilebene projiziert.

Für diesen Abschnitt werden Obere Bündnerschiefer mit gehäuft exotischen Schollen prognostiziert und mit diesen verfalteter Innsbrucker Quarzphyllit. Die beiden Einheiten grenzen über eine verfaltete, duktile Scherzone aneinander (n-sz14). Entlang dieser Scherzone können in den Quarzphyllit eingefaltete isolierte Vorkommen des Tarntaler Permomesozoikums auftreten. In den Bohrungen, die den duktilen Kontakt durchörtern (Pf-B-01/04s, Pf-B-04/05), wurden allerdings keine solchen angetroffen, weshalb sie nicht auf Tunnelniveau prognostiziert werden. Diese Prognose ist allerdings für den Abschnitt nördlich der Bohrung Pf-B-01/04s mit sehr starken Unsicherheiten behaftet (km 13.7 bis 14.6). Beim Tunnelvortrieb wird daher eine entsprechende Vorauserkundung empfohlen.

- **Lithologische Beschreibung**

Beim Innsbrucker Quarzphyllit handelt es sich um dessen stratigraphisch jüngsten Anteil (siehe Beschreibung Km 11.31 bis 13.96).

Die exotikareichen Oberen Bündnerschiefer bestehen in diesem Sektor aus einer millimeter- bis dezimeterweiten Wechsellagerung von schwarzen Phylliten mit Dolomitdetritus-führenden Kalzitquarziten, in die vermehrt exotische Schollen eingeschaltet sind. Bei Letzteren handelt es sich um Dolomitmarmore, Kalkmarmore, Evaporite, Chloritschiefer, Quarzite und sehr selten Quarzphyllit. Die Schollen, die z.T. eindeutig dem Ostalpin zugeordnet werden können, sind durchwegs in E-W-Richtung gelängt und erreichen Dimensionen vom Meter- bis in den Kilometerbereich. Eine exakte Prognose für Art, Position und Dimension dieser Schollen entlang der geplanten Tunnelröhren ist nicht möglich.

- **Strukturen und Störungen**

Dieser Abschnitt ist charakterisiert durch eine offene bis enge Verfaltung (F3-TW/F4b-IQP) des metamorphen Lagenbaus (S2-TW/ S3-IQP) in Verbindung mit einer penetrativen

In questo settore è ubicato il sondaggio Pf-B-01/04s. Le strutture duttili e unità litologiche sono state proiettate sul piano del profilo mediante un asse di piega F3-TW (260/25 risp. 080/-25).

Per questo settore vengono pronosticati Calcescisti sup. con frequenti corpi esotici e Fillade quarzifera di Innsbruck piegata con questi. Le due unità sono confinanti lungo una zona di shear duttile piegata (n-sz14). Lungo questa zona di shear possono essere presenti affioramenti isolati del permomesozoico di Tarntal ripiegati nella fillade quarzifera. Nei sondaggi che perforano questo contatto duttile però (Pf-B-01/04s, Pf-B-04/05), non sono stati trovati affioramenti simili, per questo non vengono pronosticati al piano della galleria. Per il tratto al nord del sondaggio Pf-B-01/04s però, questa prognosi è soggetta ad incertezze molto elevate (da km 13.7 a 14.6). Si consigliano degli indagini in avanzamento dal fronte degli scavi.

- **Descrizione litologia**

Si tratta della parte più recente dal punto di vista stratigrafico della Fillade quarzifera di Innsbruck, (vedi descrizione da km 11,31 a 13,96).

In questo settore i calcescisti sup. sono ricchi di corpi esotici e consistono in alternanze millimetriche fino a decimetriche di filladi nere e quarziti calcitiche ricche di detrito dolomitico, nelle quali sono intercalati numerosi corpi esotici. Quest'ultimi sono marmi dolomitici, marmi calcarei, evaporiti, cloritoscisti, quarziti e di rado fillade quarzifera. I corpi, che possono in parte essere associati in modo evidente all' Austroalpino, vengono allungati in direzione E-W e raggiungono dimensioni metriche fino a chilometriche. Una previsione esatta su tipo, posizione e dimensione di questi corpi lungo la canna della galleria non è possibile.

- **Strutture e faglie**

Questo settore è caratterizzato da un piegamento da aperto a serrato (F3-TW/F4b-IQP) della struttura a strati metamorfica (S2-TW/ S3-IQP) in collegamento con una scistosità penetrativa di

Achsenebenenschieferung (S3-TW/S4-IQP = regionales Trennflächensystem RTF7: E- bis ENE-streichend, steilstehend). Aufgrund der großen Überlagerung im Vergleich zur Wellenlänge der Falten ist die Prognose von Strukturen und Einheiten in diesem Abschnitt mit großen Unsicherheiten behaftet, mit Ausnahme des Abschnitts im Bereich der Bohrung Pf-B-01/04s.

Der Kontakt zwischen den großtektonischen Einheiten (Innsbrucker Quarzphyllit/Penninikum und Bündnerschiefer/Penninikum) präsentiert sich in der Bohrung Pf-B-01/04s als duktile, nicht bruchhafte Scherzone mit einer straffen Schieferung (n-sz14). Der Übergang von Quarzphyllit zu Bündnerschiefern vollzieht sich dabei innerhalb weniger Meter.

Die vorherrschenden Sprödstrukturen sind steilstehende, ENE-streichende, sinistrale Störungen (Mislkopf-Tauernnordrand-Störungssystem) und evtl. grob nach W einfallende Abschiebungen (Wipptal-Störungssystem, vorwiegend im Quarzphyllit).

4.1.6 Abschnitt von km 15+400 bis 17+100 ca.: Obere Bündner Schiefer

- **Grundlagen der geologischen Prognose**

Entlang dieses Abschnittes liegt die Bohrung Na-B-01/04s (ca. 100m E' Trasse). Duktile Strukturen und Einheiten wurden entlang einer mittleren F3-TW-Faltenachse (280/07) aus der Bohrung in die Profilebene projiziert.

- **Lithologische Beschreibung**

Lithostratigraphisch werden für diesen Bereich die Oberen Bündnerschiefer (i.w.S.) prognostiziert. Diese bestehen aus einer millimeter- bis dezimeterweiten Wechsellagerung von Schwarzphylliten mit Dolomitdetritus-führenden Kalzitquarziten (Meta-Litharenite bis Meta-Feinbreccien). Vereinzelt können exotische Schollen eingeschaltet sein (Dolomitmarmore, Kalkmarmore, Evaporite, Chloritschiefer, Quarzite, Quarzphyllit).

piano assiale (S3-TW/S4-IQP = sistema regionale di discontinuità RTF7: orientata da E- a ENE, subverticale). A causa della potente copertura, a confronto con la lunghezza d'onda delle pieghe la previsione delle strutture e delle unità litologiche in questo settore implica una grande incertezza, eccetto il tratto nei pressi del sondaggio Pf-B-01/04s.

Il contatto tra unità tettoniche a grande scala (fillade quarzifera di Innsbruck/Austroalpino e calcescisti/Pennidico) si presenta nel sondaggio Pf-B-01/04s come duttile, una zona di taglio non fragile con una scistosità regolare (n-sz14). Il passaggio della fillade quarzifera al complesso dei calcescisti si effettua entro pochi metri.

Le strutture fragili predominanti sono faglie sinistre subverticali, orientate ENE (sistema di faglie Mislkopf - Zona settentrionale della Finestra dei Tauri) e eventualmente faglie dirette che immergono approssimativamente verso W (Sistema di faglia del Wipptal, prevalentemente nella fillade quarzifera).

4.1.6 Tratto da km 15+400 a 17+100 ca.: Calcescisti superiori

- **Basi della previsione geologica**

Lungo questo settore è ubicato il sondaggio Na-B-01/04s (ca. 100m E' tracciato). Strutture duttili e unità litologiche sono state proiettate dal sondaggio sul piano del profilo lungo un asse di piega medio F3-TW (280/07).

- **Descrizione litologia**

Dal punto di vista litostratigrafico per questa zona vengono pronosticati Calcescisti sup. (in senso lato). Questi consistono in alternanze millimetriche fino a decimetriche di filladi nere contenenti prevalentemente quarziti calcitiche con detrito dolomitico. (meta-litharenite fino a meta-breccie fini). A tratti si notano intercalazioni di corpi esotici (marmi dolomitici, marmi calcarei, evaporiti, scisti cloritici, quarziti, filladi quarzifere).

- **Strukturen und Störungen**

Dieser Abschnitt ist charakterisiert durch eine offene bis enge Verfallung (F3-TW) des metamorphen Lagenbaus (S2-TW) in Verbindung mit einer penetrativen Achsenebenenschieferung (S3-TW: E- bis ENE-streichend, steilstehend) vorwiegend nördlich des Navistals.

An spröden Strukturen dominieren steilstehende, ENE-streichende, sinistrale Störungen des Mislkopf-Tauernnordrand-Störungssystems. An der Tauernnordrandstörung (n-f258) sind geotechnisch schwierige Bedingungen zu erwarten. Da diese Störung von der Bohrung Na-B-01/04s sehr oberflächlich, im Bereich tiefgründiger Massenbewegungen durchörtert wurde, besteht für diese Zone eine erhöhte Prognoseunsicherheit. Beim Tunnelvortrieb wird daher eine entsprechende Vorauserkundung empfohlen.

**4.1.7 Abschnitt von km 17+100 bis 18+360 ca.:
Obere Bündner Schiefer (Zone mit gehäuft exotischen Schollen)**

- **Grundlagen der geologischen Prognose**

In diesen Bereich fällt die Bohrung Na-B-02/05s (ca. 600 m E' Trasse). Duktile Strukturen und Einheiten wurden entlang einer mittleren F3-TW-Faltenachse (262/13) aus der Bohrung in die Profilebene projiziert. Die Projektion der Schieferungsflächen aus dem Gelände in die Profilebene erfolgte entlang eines Mittelwertes von in den Bündnerschiefern gemessenen F3-TW Faltenachsen.

- **Lithologische Beschreibung**

Für diesen Abschnitt werden erneut Obere Bündnerschiefer mit gehäuft exotischen Schollen prognostiziert, die hier als Westfortsetzung des Gallenschrofens die Tunneltrasse im Untergrund queren. Die für diesen Teil der Oberen Bündnerschiefer typischen Lithologien und die Schwierigkeiten hinsichtlich der Vorhersage von auftretenden Schollen entsprechen dem Abschnitt Km 13,960 – 15,400 und sind den entsprechenden

- **Strutture e faglie**

Questo settore è caratterizzato da un piegamento da aperto a serrato (F3-TW) della struttura a strati metamorfica (S2-TW) in collegamento con una scistosità penetrativa di piano assiale (S3-TW: orientata da E- a ENE, subverticale) soprattutto a nord del Navistal.

Come strutture fragili dominano faglie sinistre, subverticali, orientate ENE del sistema di faglie Mislkopf - Zona settentrionale della Finestra dei Tauri. Presso la faglia della faglia settentrionale della Finestra dei Tauri (n-f258) si prevedono delle condizioni difficili sotto il punto di vista geotecnico. Dato che questa faglia è stata perforata nel sondaggio Na-B-01/04s in modo molto superficiale in una zona con movimenti profondi, per questa zona esiste un'insicurezza di prognosi elevata. Si consigliano degli indagini in avanzamento dal fronte degli scavi.

**4.1.7 Tratto da km 17+100 a 18+360 ca.:
Calcescisti superiori (zona ricca di scaglie esotiche)**

- **Basi della previsione geologica**

In questa area è ubicato il sondaggio Na-B-02/05s (ca. 600 m E' del tracciato). Le strutture duttili e unità sono state proiettate lungo il valore medio di un asse di piega F3-TW (262/13) dal sondaggio nel piano del profilo. La proiezione dei piani di scistosità rilevati in campagna sul piano del profilo è stata effettuata lungo un valore medio di assi di piega F3-TW misurati nei Calcescisti.

- **Descrizione litologia**

Per questo settore vengono pronosticati nuovamente Calcescisti sup. con la frequente presenza di corpi esotici, che qui incrociano come proseguimento occidentale del Gallenschrofen il tracciato della galleria nel sottosuolo. Le qui presenti e per questa parte del complesso dei calcescisti sup. tipiche litologie e le difficoltà per quanto riguarda la previsione di corpi esotici presenti, corrispondono al tratto tra km 13,960 – 15,400 e si possono prelevare dalle rispettive

Erläuterungen zu entnehmen.

- **Strukturen und Störungen**

In struktureller Hinsicht liegt eine großmaßstäbliche F3-TW-Antiform vor, mit steilstehender E-W (bis ENE-WSW) streichender Achsenebenenschieferung (S3-TW) und sehr flach nach W (bis WSW) abtauchender F3-TW-Faltenachse.

Die Informationen über die Sprödstörungen na2-438 und na2-447 stammen vollständig aus der Bohrung Na-B-02/05s. (Bohrkernaufnahme und Strukturlog).

4.1.8 Abschnitt von km 18+360 bis 19+050 ca.: Obere Bündner Schiefer

- **Grundlagen der geologischen Prognose**

Die Prognose beruht ausschließlich auf der geologisch-tektonischen Geländeaufnahme.

- **Lithologische Beschreibung**

Dieser Bereich liegt in den Oberen Bündnerschiefern, deren lithologische Beschreibung dem Abschnitt Km 15,4 – 17,1 zu entnehmen ist.

- **Strukturen und Störungen**

Strukturell befindet sich der Abschnitt im Südschenkel der im vorhergehenden Punkt beschriebenen Antiform. Die wesentlichen Strukturmerkmale sind ein mit 40° bis 60° nach S fallender metamorpher Lagenbau und eine steilstehende überprägende Schieferung (etwa E-W-streichend).

4.1.9 Abschnitt von km 19+050 bis 19+550 ca.: Kalkphyllit-Chloritphyllit-Schwarzphyllit-Wechselfolge

- **Grundlagen der geologischen Prognose**

Die Prognose beruht ausschließlich auf der geologisch-tektonischen Geländeaufnahme.

- **Lithologische Beschreibung**

spiegazioni.

- **Strutture e faglie**

Da un punto di vista strutturale qui si presenta un antiforme F3-TW con scistosità di piano assiale (S3-TW) subverticale orientato E-W (fino a ENE-WSW) e un asse di piega F3-TW con immersione molto bassa verso W (fino a WSW).

Le informazioni che riguardano le faglie fragili na2-438 e na2-447 provengono completamente dal sondaggio Na-B-02/05s (rilievo delle carote e log strutturale).

4.1.8 Tratto da km 18+360 a 19+050 ca.: Calcescisti superiori

- **Basi della previsione geologica**

La previsione si basa solamente sul rilevamento geologico-tettonico in campagna.

- **Descrizione litologia**

Questa zona si trova nei Calcescisti sup., la cui descrizione litologica è da trarre dal Km 15,4 – 17,1.

- **Strutture e faglie**

Strutturalmente questa zona si trova nel fianco meridionale dell'antiforme spiegata al punto precedente. Gli elementi strutturali essenziali consistono in una stratificazione metamorfica con pendenza tra i 40° e i 60° che immerge verso S e in una scistosità sovrainpressa subverticale (orientata ad incirca E-W).

4.1.9 Tratto da km 19+050 a 19+550 ca.: Alternanza di filladi calcarei-filladi cloritici-filladi neri

- **Basi della previsione geologica**

La previsione si basa solamente sul rilevamento geologico-tettonico in campagna.

- **Descrizione litologia**

Im Bereich um km 19,05 sind chloritführende Kalkphyllite und Kalkphyllite wechsellagernd mit Schwarzphylliten zu erwarten. In diese eingebettet sind exotische Schollen (Dolomite, Kalkmarmore, Quarzite, Rauhwacken, Breccien, usw.), die Größenordnungen vom Meter- bis zum Kilometerbereich erreichen können. Daran schließt im Süden vermutlich eine Strecke aus Kalkphylliten wechsellagernd mit Schwarzphylliten an. Zwischen km 19,29 und 19,36 werden vor allem Kalkschiefer, Kalkglimmerschiefer bzw. Glimmermarmore erwartet. Im Anschluss daran sind bis km 19,55 extrem wechselhafte Verhältnisse zu erwarten. Schwarzphyllite, turbiditische Serien, bestehend aus Wechsellagerungen von Kalkmetaareniten und kalkfreien Schwarzphylliten, Kalk-Chloritphyllite, Chloritschiefer und Grünschiefer können vorkommen.

- **Strukturen und Störungen**

Diese Zone weist einen komplexen strukturellen und lithologischen Bau auf und ist daher schwer zu prognostizieren. Es liegt eine Muldenstruktur, die von duktilen und spröden \pm W-E-streichenden Störungen überprägt wurde. Vermutlich wurden im großen Maßstab vorliegende liegende IsoF2-TW – Isoklinalfalten von F3-TW-Falten überprägt.

Diese F3-TW -Falten entstanden gleichzeitig mit einer N-S-Verkürzung und der Exhumierung des Tauernfensters, die wiederum zur Anlage von schräg abschiebenden sinistralen Störungen führte, wie sie im Umfeld von km 19,36 zu erwarten sind (Steixnerkamm-Scherzone).

4.1.10 Abschnitt von km 19+550 bis 22+000 ca.: Mittlerer Abschnitt des Bündnerschiefer-Komplexes

- **Grundlagen der geologischen Prognose**

Die Prognose beruht ausschließlich auf der geologisch-tektonischen Geländeaufnahme.

- **Lithologische Beschreibung**

Nella zona attorno al km 19,05 si aspettano filladi calcaree contenti clorite e filladi calcaree, che si alternano a filladi nere. Al loro interno si trovano delle zolle esotiche (dolomie, marmi calcarei, quarziti, carnirole, breccie, ecc.) con dimensioni da metriche fino a chilometriche. Verso S si raccorda un tratto caratterizzato da filladi calcaree, alternato con filladi nere. Tra km 19,29 e 19,36 si aspettano soprattutto calcescisti, micascisti calcarei cioè marmi micacei. Seguono condizioni molto variabili fino al km 19,55. Potrebbero affiorare filladi nere, serie torbiditiche, costituite da alternanze di metaareniti calcaree e filladi nere non calcaree, filladi cloritiche-calcaree, scisti cloritici e scisti verdi.

- **Strutture e faglie**

Questa zona è caratterizzata da una struttura litologica e strutturale complessa ed è quindi di difficile prognosi. Si tratta di una struttura sinclinale, che è stata sovrainpressa da deformazioni sia duttili che fragili, con direzione \pm W-E. Probabilmente pieghe isoclinali coricate IsoF2-TW e pieghe F3-TW, preesistenti su grande scala, sono state sovrainpresse.

Le pieghe F3-TW si sono formate contemporaneamente con un accorciamento in direzione N-S e con la riesumazione della Finestra dei Tauri, che a sua volta ha formato faglie dirette, con movimento obliquo sinistrorso. Queste faglie sono da aspettarsi nei dintorni del km 19,36 (Zona di taglio Steixnerkamm).

4.1.10 Tratto da km 19+550 a 22+000 ca.: Settore intermedio del complesso dei calcescisti

- **Basi della previsione geologica**

La previsione si basa solamente sul rilevamento geologico-tettonico in campagna.

- **Descrizione litologia**

Dieses Teilstück des Tunnels wird vorwiegend aus „Kalkreichen Bündnerschiefern“ aufgebaut: Serien aus Kalkmarmoren und Kalkglimmerschiefern, untergeordnet mit Kalkphylliten, Schwarzphylliten und Quarzmarmoren.

Bei den eingeschalteten Abschnitten von „Kalkarmen Bündnerschiefern“ haben Kalkphyllite, kalkführende bis kalkfreie Schwarzphyllite und Karbonatquarzite die Vormacht.

- **Strukturen und Störungen**

Die Schieferungsflächen fallen überwiegend mittelsteil nach N-NW ein. Teilweise werden diese von den duktilen W-fallenden Flächen der Brennerabschiebung überprägt.

Die Bündnerschiefer sind in diesem Bereich vermutlich im km-Maßstab isoklinal verfaltet (IsoF2-TW). Der F3-TW-Faltung ist die offene bis sehr enge aufrechte Verfaltung mit meist steil N-fallenden Achsenebenen zuzuschreiben.

Bedeutende spröde Störungen sind in diesem Abschnitt nicht dokumentiert. Es sind über den gesamten Abschnitt jedoch gehäuft Abschiebungen des Wipptal-Systems zu erwarten, sowie im Bereich des Padastertals (ca. km 21-22) subvertikale NW-streichende Seitenverschiebungen des Halsl-Systems.

4.2 HYDROGEOLOGISCHE PROGNOSE FÜR DEN ERKUNDUNGSSTOLLEN AHRENTAL

4.2.1 Homogenbereich 1

Länge: ca. 7.040m (km 6+922,688 bis ca.13+960)

Hydrogeologischer Homogenbereich Innsbrucker Quarzphyllit Decke:

Der Tunnel quert östlich des Wipptales die Innsbrucker Quarzphyllit Decke und dabei die ca. Ost - West streichenden Bergrücken bzw. unterquert mehrere orografisch rechts gelegene Seitentäler des Wipptales. Die Überlagerungen

Questo settore di galleria è formato prevalentemente da “calcescisti carbonatici”: serie di marmi calcarei e micascisti calcarei, subordinatamente filladi calcaree, filladi nere e marmi quarzitici.

Nei intervalli intercalati di “calcescisti poco calcarei” dominano soprattutto filladi calcaree, filladi nere calcaree fino a non calcaree e quarziti carbonatiche.

- **Strutture e faglie**

I piani di scistosità immergono prevalentemente, con inclinazioni medie, verso N-NW. In parte vengono sovrainpressi dalle superfici duttili, immergenti ad W, riconducibili alla faglia diretta del Brennero.

In questo settore i calcescisti sono probabilmente ripiegati, su scala chilometrica, in maniera isoclinale (IsoF2-TW). Il piegamento F3-TW si presenta con pieghe erette, aperte fino a serrate, con piani assiali che immergono verso N, con inclinazioni elevate.

In questo settore non sono documentate importanti faglie fragili. Lungo l'intero settore si prevedono però numerose faglie dirette del sistema del Wipptal, nonché nella zona del Padastertal (ca. km 21-22) faglie trascorrenti subverticali con orientamento NW del sistema di Halsl.

4.2 PROGNOSE IDROGEOLOGICA PER IL CUNICOLO ESPLORATIVO AHRENTAL

4.2.1 Settore omogeneo 1

Lunghezza: ca. 7.040m (km 6+922,688 bis ca.13+960)

Settore omogeneo idrogeologico falda della fillade quarzifera di Innsbruck:

La galleria attraversa a est della Valle Wipptal la falda della fillade quarzifera di Innsbruck e quindi le dorsali in direzione approssimativa est - ovest e sottoattraversa diverse valli laterali della Valle Wipptal posizionate in orografica destra. Le

variieren bedingt durch die ausgeprägte Topografie und schwanken zwischen ca. 600m (Seitentäler) und max. 1.100m (Bergrücken).

Lithologie: vorrangig sind Quarzphyllite, es treten auch verschiedene Formen von Schiefern auf, dabei überwiegen die Quarzschiefer und Chloritschiefer; aus hydrogeologischer Sicht sind die sehr untergeordnet und als isoliert auftretende Karbonatkörper (Kalk- und Dolomitmarmore) zu erwähnen.

Störungen: Aus hydrogeologischer Sicht sind neben Kleinstörungen bzw. nicht lokalisierbare spröde Störungen des Nord-Süd streichenden Wipptal Störungssystems die spitzwinkelig zum Tunnel streichenden Störungen und die ca. ENE - WSW streichenden Großstörungen zu erwähnen.

Generell sind die Störungen aufgrund ihres häufig abschiebenden Charakters, der schiefer- und phyllitreichen Lithologien als hydraulisch nicht relevant einzustufen.

Hydraulische Durchlässigkeiten: generell liegen gering durchlässige Gesteine ($K < 10^{-8} \text{ m/s}$) vor, auch Störzonen sind bei Überlagerungshöhen größer 700m und der vorkommenden Lithologien in dieser Größenordnung einzustufen. Bis 700m Tiefe können die hydraulischen Durchlässigkeiten gestörter Zonen auch zwischen $10^{-8} \text{ m/s} < K < 10^{-6} \text{ m/s}$ liegen.

Dokumentierte Wasserzutritte bereits aufgefahrener Tunnel im Innsbrucker Quarzphyllit: die Ortsbrust war zumeist bergfeucht bzw. trocken. In Störzonen sowie in der damage Zone einer Störzone wurden 0 bis $< 10 \text{ l/min}$ pro 10m ab der Ortsbrust angetroffen. Innerhalb der Störzonen wurden punktuell Tropfwasserzutritte und schwaches Rinnwasser mit max. $0,2 \text{ l/s}$ dokumentiert. Größere Wasserzutritte (im 1 l/s bis 10 l/s Bereich), welche aber rasch abnahmen bzw. teilweise sogar vollkommen trockenfielen traten in Zusammenhang mit isolierten Karbonatkörpern aber auch geringeren als im Abschnitt vorliegenden Überlagerungen auf.

coperture variano a causa della topografia marcata e oscillano tra un minimo di circa 600m (valli laterali) e un massimo di 1.100m (dorsali).

Litologie: predominano le filladi di quarzo, ma sono presenti anche diverse forme scistose, soprattutto scisti quarzitici e cloritici; dal punto di vista idrogeologico vanno citati i corpi carbonatici (marmi calcarei e dolomitici) di poco rilievo e presenti in modo isolato.

Faglie: Dal punto di vista idrogeologico, a parte della presenza di faglie piccole e di faglie fragili non localizzabili appartenenti al sistema di faglie del Wipptal che si estende da nord a sud, sono da nominare le faglie con andamento ad angolo acuto in direzione della galleria nonché le faglie principali in direzione ENE - WSW.

In genere, le faglie sono da classificare non rilevanti in termini idraulici, sia perché si presentano frequentemente come faglie dirette o normali che per la litologia ricca di scisti e filladi.

Permeabilità idrauliche: troviamo in genere ammassi rocciosi di permeabilità ridotta ($K < 10^{-8} \text{ m/s}$) e anche le zone di faglia vanno classificate in quest'ordine di grandezza in presenza di coperture superiori a 700m e a causa delle litologie presenti. Fino ad una profondità di 700m le permeabilità idrauliche di zone disturbate possono variare anche tra $10^{-8} \text{ m/s} < K < 10^{-6} \text{ m/s}$.

Venute d'acqua documentate nel corso dello scavo di gallerie nella fillade quarzifera di Innsbruck: il fronte di scavo si presentava prevalentemente con umidità limitata oppure asciutto. Nelle zone di faglia e nelle zone di danneggiamento sono state riscontrate venute di 0 fino a $< 10 \text{ l/min}$ a partire dal fronte di scavo. All'interno delle zone di faglia sono stati documentati degli stillicidi e venute d'acqua scorrenti di portata ridotta con un massimo di $0,2 \text{ l/s}$. Le venute d'acqua maggiori (da pochi l/s a 10 l/s), che si sono però ridotte velocemente e parzialmente addirittura prosciugate completamente, sono state registrate in relazione a corpi carbonatici isolati, ma anche in presenza di coperture inferiori a quelle presenti nella sezione in esame.

Hydraulische Druckhöhen: Die hydraulischen Druckhöhen auf Tunnelniveau erreichen in diesem Homogenbereich abhängig von den topografischen Gegebenheiten zwischen 600m und 1.000m.

Hydraulische Verbindungen: Der Homogenbereich weist aufgrund des Vorkommens von gering durchlässigen Gesteinen insbesondere der phyllitreichen Lithologien, der flachen Lagerung des Gebirgsbaus (Schieferung) sowie der großen Überlagerungen, keine bis sehr geringe hydraulische Verbindungen mit seicht liegenden Grundwasserkörpern bzw. hydraulischen Elementen auf.

Instationäre Wasserzutritte: Es wird großteils von trockenen Gebirgsverhältnissen bis Tropfwasser ausgegangen, (Klasse: 0 bis 0,16l/s/10m). Einzelne, leicht rinnende kleine diskrete Wasserzutritte sind im Bereich der prognostizierten Störzonen möglich (Klassen: >0,16 bis 2l/s/10m). Die Zutritte nehmen rasch ab. Mit dem Auftreten von isolierten Karbonatkörpern können auch instationäre Wasserzutritte der Klasse 2 bis 10l/s/10m auftreten. Aufgrund der geringen Erstreckung und der hydraulischen Isolation ist aber mit einem raschen Abnehmen der Schüttungsmengen zu rechnen.

Stationäre Abflüsse

Wie die bereits aufgefahrenen Tunnel zeigen, nehmen die instationären Wasserzutritten stark ab, die stationären Wasserzutritte sind gering.

Die stationären Wasserzutritte für das Bauwerk werden für den gesamten Homogenbereich mit ca. $Q_{stat} = 3,5$ l/s prognostiziert. Unter der Annahme von Auffahren von exotischen Schollen wird der stationäre Abfluss für diesen Homogenbereich mit ca. 15l/s geschätzt.

4.2.2 Homogenbereich 2

Länge: 5.600m (ca. km 13+960 bis ca. km 18+360)

Hydrogeologischer Homogenbereich
Glocknerdecke mit möglichen Exotika.

Livelli piezometrici: In dipendenza delle circostanze topografiche, i livelli piezometrici a quota galleria variano, in questo settore omogeneo, da 600 a 1.000m.

Connessioni idrauliche: Data la presenza di ammassi poco permeabili soprattutto con litologie filladiche, l'orientamento piano dell'ammasso (scistosità) nonché le coperture elevate, il settore omogeneo non presenta connessioni idrauliche (o ne presenta molto poche) con i corpi d'acqua a poca profondità o con altri elementi idraulici.

Venute d'acqua non stazionarie: In genere, è prevista la presenza di ammassi rocciosi asciutti o con stillicidi (Classe: 0 fino a 0,16l/s/10m). Sono possibili alcune singole venute d'acqua di dimensioni ridotte e portata limitata nelle zone di faglie pronosticate (Classe: >0,16 a 2l/s/10m). Le venute d'acqua diminuiscono rapidamente. Con la presenza di corpi carbonatici isolati è possibile che si verifichino delle venute d'acqua non stazionarie della classe 2 fino a 10l/s/10m. A causa dell'estensione ridotta e l'isolamento idraulico si prevede che le portate diminuiscano velocemente.

Deflussi in regime stazionario

Come è dimostrato dalle gallerie già scavate, le portate delle venute d'acqua a regime transitorio diminuiscono fortemente, le venute d'acqua in regime stazionario sono modeste.

Per l'intero settore omogeneo, si prevedono delle venute d'acqua in regime stazionario per l'opera pari a circa $Q_{stat} = 3,5$ l/s. Nell'ipotesi dell'intercettazione di corpi esotici si prevedono dei deflussi in regime stazionario per questo settore omogeneo pari a circa 15l/s.

4.2.2 Settore omogeneo 2

Lunghezza: 5.600 (da progr. 13+960 fino a progr. 18+360)

Settore omogeneo idrogeologico Falda del Glockner con possibili corpi esotici.

Für diesen Abschnitt werden Obere Bündnerschiefer mit gehäuft exotischen Schollen prognostiziert und mit diesen verfalteter Innsbrucker Quarzphyllit (im N). Die beiden Einheiten grenzen über eine verfaltete, duktile Scherzone aneinander (n-sz14). Entlang dieser Scherzone können in den Quarzphyllit eingefaltete isolierte Vorkommen des Tarntaler Permomesozoikums auftreten.

Lithologie:

Die exotikareichen Oberen Bündnerschiefer bestehen in diesem Sektor aus einer millimeter- bis dezimeterweiten Wechsellagerung von schwarzen Phylliten mit Dolomitdetritus-führenden Kalzitquarziten, in die vermehrt exotische Schollen eingeschaltet sind. Bei Letzteren handelt es sich um Dolomitmarmore, Kalkmarmore, Evaporite, Chloritschiefer, Quarzite und sehr selten Quarzphyllit. Die Schollen, die z.T. eindeutig dem Ostalpin zugeordnet werden können, sind durchwegs in E-W-Richtung gelängt und erreichen Dimensionen vom Meter- bis in den Kilometerbereich. Eine exakte Prognose für Art, Position und Dimension dieser Schollen entlang der geplanten Tunnelröhren ist nicht möglich.

Störungen: Aus hydrogeologischer Sicht wird von Störungen ausgegangen, die aufgrund der großen Überlagerungen und aufgrund der phyllitreichen Lithologien und der fehlenden hydraulischen Verbindungen als nicht relevant eingestuft werden.

Hydraulische Durchlässigkeiten: generell liegen gering durchlässige Gesteine ($K < 10^{-8} \text{ m/s}$) vor, ausgenommen können einzelne exotische Schollen sein, insbesondere Marmore oder Evaporite, die zwar hydraulisch isoliert auftreten, aber die hydraulischen Durchlässigkeiten insbesondere in den aufgelockerten Bereichen (Damage zones) leicht ansteigen und Werte von ($10^{-6} \text{ m/s} > K > 10^{-8} \text{ m/s}$) erreichen können. Dabei verhindern aber die umgebenden phyllitischen Gesteine größere hydraulische Erstreckungen.

Hydraulische Druckhöhen: Die hydraulischen Druckhöhen erreichen in diesem Homogenbereich maximal 1.000m, sinken im Bereich des Navistales auf ca. 350m ab.

Per questo settore vengono pronosticati Calcescisti sup. con frequenti corpi esotici e Fillade quarzifera di Innsbruck piegata con questi (a Nord). Le due unità sono confinanti lungo una zona di shear duttile piegata (n-sz14). Lungo questa zona di shear possono essere presenti affioramenti isolati del permomesozoico di Tarntal ripiegati nella fillade quarzifera.

Litologia:

In questo settore i calcescisti sup. sono ricchi di corpi esotici e consistono in alternanze millimetriche fino a decimetriche di filladi nere e quarziti calcitiche ricche di detrito dolomitico, nelle quali sono intercalati numerosi corpi esotici. Quest'ultimi sono marmi dolomitici, marmi calcarei, evaporiti, cloritoscisti, quarziti e di rado fillade quarzifera. I corpi, che possono in parte essere associati in modo evidente all' Austroalpino, vengono allungati in direzione E-W e raggiungono dimensioni metriche fino a chilometriche. Una previsione esatta su tipo, posizione e dimensione di questi corpi lungo la canna della galleria non è possibile.

Faglie: dal punto di vista idrogeologico si ritiene che siano presenti delle faglie che, visto le coperture elevate, le litologie ricche di filladi e la mancanza di connessioni idrauliche, non vengono considerate rilevanti.

Permeabilità idrauliche: in generale si riscontrano rocce poco permeabili ($K < 10^{-8} \text{ m/s}$), ad eccezione di singoli corpi esotici, in particolare marmi o evaporiti che si presentano in modo idraulicamente isolati, in cui le permeabilità idrauliche possono aumentare leggermente soprattutto nelle aree allentate (damage zone) fino a raggiungere valori pari a ($10^{-6} \text{ m/s} > K > 10^{-8} \text{ m/s}$). Tuttavia, le rocce filladiche impediscono permeabilità idrauliche maggiori.

Livelli piezometrici: I livelli piezometrici di questo settore omogeneo raggiungono al massimo 1.000 m e si riducono a circa 350m in corrispondenza della Valle Navistal.

Hydraulische Verbindungen: Der Homogenbereich weist aufgrund des Vorkommens von gering durchlässigen Gesteinen insbesondere der phyllitreichen Lithologien sowie der großen Überlagerungen keine bis geringe hydraulische Verbindungen mit seicht liegenden Grundwasserkörpern bzw. hydraulischen Elementen auf.

Instationäre Wasserzutritte: Es wird größtenteils von trockenen Gebirgsverhältnissen bis Tropfwasser ausgegangen, (Klasse: 0 bis 0,16l/s/10m). Einzelne, leicht rinnende kleine diskrete Wasserzutritte sind im Bereich der prognostizierten Störzonen möglich (Klassen: >0,16 bis 2l/s/10m). Die Zutritte nehmen rasch ab. Einzelne größere Wasserzutritte (2-10l/s/10m), welche aber rasch abnehmen bzw. nach Tagen ausrinnen, können mit dem Auffahren von exotischen Schollen (insbesondere Marmore und Evaporite) auftreten, wobei deren Vorkommen und deren Positione mit großen Prognoseunsicherheiten behaftet sind.

Stationäre Abflüsse

Die stationären Wasserzutritte für das Bauwerk werden für den gesamten Homogenbereich mit ca. $Q_{stat} = 3 \text{ l/s}$ prognostiziert. Unter der Annahme von Auffahren von exotischen Schollen wird der stationäre Abfluss für diesen Homogenbereich mit ca. 8l/s geschätzt.

4.2.3 Homogenbereich 3

Länge: 3.640m (ca. km 18+360 bis ca. km 22+000)

Lithologie: Glockner Decke mit Wechsellagerung kalkreichen und kalkarmen Bündnerschiefern sowie Schwarzphylliten. Einzelne Abschnitte mit möglichen Einschaltungen von Exotika.

Störungen: Aus hydrogeologischer Sicht wird von Störungen ausgegangen mit geringer hydrogeologischer Relevanz, da die Überlagerungshöhen generell sehr hoch sind bzw. die Ausgangsgesteine sehr phyllitreich sind.

Hydraulische Durchlässigkeiten: generell liegen

Connessioni idrauliche: Data la presenza di ammassi poco permeabili soprattutto con litologie filladiche e le coperture elevate, il settore omogeneo non presenta connessioni idrauliche (o ne presenta molto poche) con i corpi d'acqua a poca profondità o con altri elementi idraulici.

Venute d'acqua non stazionarie: In genere, è prevista la presenza di ammassi rocciosi asciutti o con stillicidi (Classe: 0 fino a 0,16l/s/10m). Sono possibili alcune singole venute d'acqua di dimensioni ridotte e portata limitata nelle zone di faglie pronosticate (Classe: >0,16 a 2l/s/10m). Le venute d'acqua diminuiscono rapidamente. È possibile che con l'intercettazione di corpi esotici (in particolare marmi ed evaporiti) si verifichino singole venute d'acqua di dimensioni elevate (2-10l/s/10m), che diminuiscono però velocemente e possono azzerarsi dopo alcuni giorni, la cui presenza e posizione sono affette da grande incertezza di previsione.

Deflussi in regime stazionario

Per l'intero settore omogeneo, si prevedono delle venute d'acqua in regime stazionario per l'opera pari a circa $Q_{stat} = 3 \text{ l/s}$. Nell'ipotesi dell'intercettazione di corpi esotici si prevedono dei deflussi in regime stazionario per questo settore omogeneo pari a circa 8l/s.

4.2.4 Settore omogeneo 3

Lunghezza: 1.640m (da progr. 18+360 fino a progr. 22+000)

Litologia: Falda del Glockner con alternanza di calcescisti carbonatici e calcescisti poveri in carbonato nonché filladi nere. In alcuni settori possibile presenza di intercalazioni di corpi esotici.

Faglie: dal punto di vista idrogeologico si prevedono delle faglie con bassa rilevanza idrogeologica, in quanto le coperture sono generalmente molto elevate e i protoliti sono ricchi di fillade.

Permeabilità idrauliche: in generale sono presenti

gering durchlässige Gesteine ($K < 10^{-8} \text{ m/s}$) vor.

rocce debolmente permeabili ($K < 10^{-8} \text{ m/s}$).

Hydraulische Druckhöhen: Die hydraulischen Druckhöhen steigen von Norden nach Süden an und erreichen in diesem Homogenbereich abhängig von der Topografie Werte von ca. 400m (N) bis zu ca. 1.000m (S).

Livelli piezometrici: I livelli piezometrici aumentano da nord verso sud e raggiungono, in questo settore omogeneo, in dipendenza della topografia, dei valori da ca. 400m (N) fino a circa 1.000m (S).

Hydraulische Verbindungen: Der Homogenbereich weist aufgrund der Überlagerung durch gering durchlässige Gesteine, insbesondere der phyllitreichen Lithologien sowie der großen Überlagerungshöhen keine bis geringe hydraulische Verbindungen mit seicht liegenden Grundwasserkörpern bzw. hydraulischen Elementen auf.

Connessioni idrauliche: Data la copertura con ammassi poco permeabili soprattutto con litologie filladiche e le coperture elevate, il settore omogeneo non presenta connessioni idrauliche (o ne presenta molto poche) con i corpi d'acqua a poca profondità o con altri elementi idraulici.

Instationäre Wasserzutritte: Es wird größtenteils von trockenen Gebirgsverhältnissen bis Tropfwasser ausgegangen, (Klasse: 0 bis $0,16 \text{ l/s/10m}$). Einzelne, leicht rinnende kleine diskrete Wasserzutritte sind im Bereich der prognostizierten Störzonen möglich (Klassen: $>0,16$ bis 2 l/s/10m). Die Zutritte nehmen rasch ab.

Venute d'acqua non stazionarie: In genere, è prevista la presenza di ammassi rocciosi asciutti o con stillicidi (Classe: 0 fino a $0,16 \text{ l/s/10m}$). Sono possibili alcune singole venute d'acqua di dimensioni ridotte e portata limitata nelle zone di faglie pronosticate (Classe: $>0,16$ a 2 l/s/10m). Le venute d'acqua diminuiscono rapidamente.

Stationäre Abflüsse

Stationärer Abfluß aus Homogenbereich: Es wird von einer Wassermenge von $Q < 2 \text{ l/s}$ ausgegangen, wobei diese sehr gesteuert ist vom Antreffen wasserführender Störungen in den kalkreichen Bündner Schiefern und den exotischen Schollen. Die stationäre Wasserführung in beiden geologischen Zonen weist eine hohe Prognoseunsicherheit auf. Bei Auffahren mehrerer wasserführender Störungen oder exotischen Schollen kann der stationäre Abfluss auf ca. 18 l/s ansteigen.

Deflussi in regime stazionario

Deflusso stazionario dal settore omogeneo: Si presume una quantità di acqua pari a $Q < 2 \text{ l/s}$, influenzata però estremamente dall'intercettazione di faglie con circolazione idrica presenti nei calcescisti carbonatici e di corpi esotici. La circolazione idrica in regime stazionario è affetta, in entrambe le zone geologiche, da un'alta incertezza di previsione. Nel caso dell'intercettazione di diverse faglie con circolazione idrica o di corpi esotici il deflusso in regime stazionario può aumentare a circa 18 l/s .

5 EIGENSCHAFTEN DER WASSERZUTRITTE UND DES GESAMTABFLUSSES

Wassertemperatur:

Die Wassertemperaturen der zutretenden Wässer sind insbesondere abhängig von den Überlagerungshöhen. Die prognostizierten Temperaturen liegen zwischen knapp 20°C und ca. 34° C. das abfließende Wasser in der Dränage hat schlussendlich eine Mischtemperatur.

Wasseraggressivität:

Die Wässer sind insbesondere im Bereich der Glockner Decke aufgrund des hohen Sulfatgehaltes (Klasse 600 bis 3.000mg/l Sulfat) als mäßig angreifend einzustrufen (Klasse XA2).

Gesamtmenge

Für den Betrieb der GSA Anlage am Portal wird von folgenden relevanten Wassermengen ausgegangen:

Spitzenabfluss

75 l/s

Abfluss im Betrieb

41 l/s

5 CARATTERISTICHE DELLE VENUTE D'ACQUA E DEL DEFLUSSO COMPLESSIVO

Temperatura dell'acqua:

Le temperature delle acque affluenti dipendono in particolare dalle coperture. Le temperature pronosticate variano tra circa 20°C e circa 34°C; l'acqua uscente tramite il drenaggio presenterà infine una temperatura mista.

Aggressività dell'acqua:

In particolare nell'area della falda del Glockner le acque vengono classificate moderatamente aggressive (classe XA2) a causa del contenuto elevato di solfato (classe 600 - 3.000mg/l solfato).

Quantità totale

Per l'esercizio dell'impianto di trattamento delle acque presso il portale si assumono le seguenti quantità d'acqua rilevanti:

Deflusso di picco

75 l/s

Deflusso in fase d'esercizio

41 l/s

6 POTENTIELLER HYDROGEOLOGISCHER EINFLUSSBEREICH UND BEWEISSICHERUNGSRAUM

Der potentielle hydrogeologische Einflussbereich entspricht auch dem wasserwirtschaftlichen Beweissicherungsraum für die Bauwerke (siehe Abb. 20).

Im potentiellen Einflussbereich wird während der Vortriebe in Abhängigkeit von den Ereignissen (Zutritten) beim Vortrieb und in Abhängigkeit des Vortriebsstandes das wasserwirtschaftliche Beweissicherungsprogramm an Quellen, Gerinnen und Grundwassermessstellen intensiviert.

Die Beweissicherung an der Oberfläche wird dahingehend von Vorkommnissen, insbesondere Wasserzutritten, im Tunnel gesteuert.

6 POTENZIALE ZONA DI INFLUENZA IDROGEOLOGICA E AREA DI MONITORAGGIO

La potenziale zona di influenza idrogeologica corrisponde anche alla zona di monitoraggio delle risorse idriche per le opere (vedi fig. 20).

Nella potenziale zona di influenza, nel corso dello scavo, a seconda dei risultati (afflussi) ottenuti nel corso dello scavo e a seconda dello stato di avanzamento, viene intensificato il progetto di monitoraggio delle risorse idriche presso sorgenti, torrenti e piezometri.

In riferimento a ciò, le attività di monitoraggio in superficie vengono gestite da eventi, in particolare da venute d'acqua.

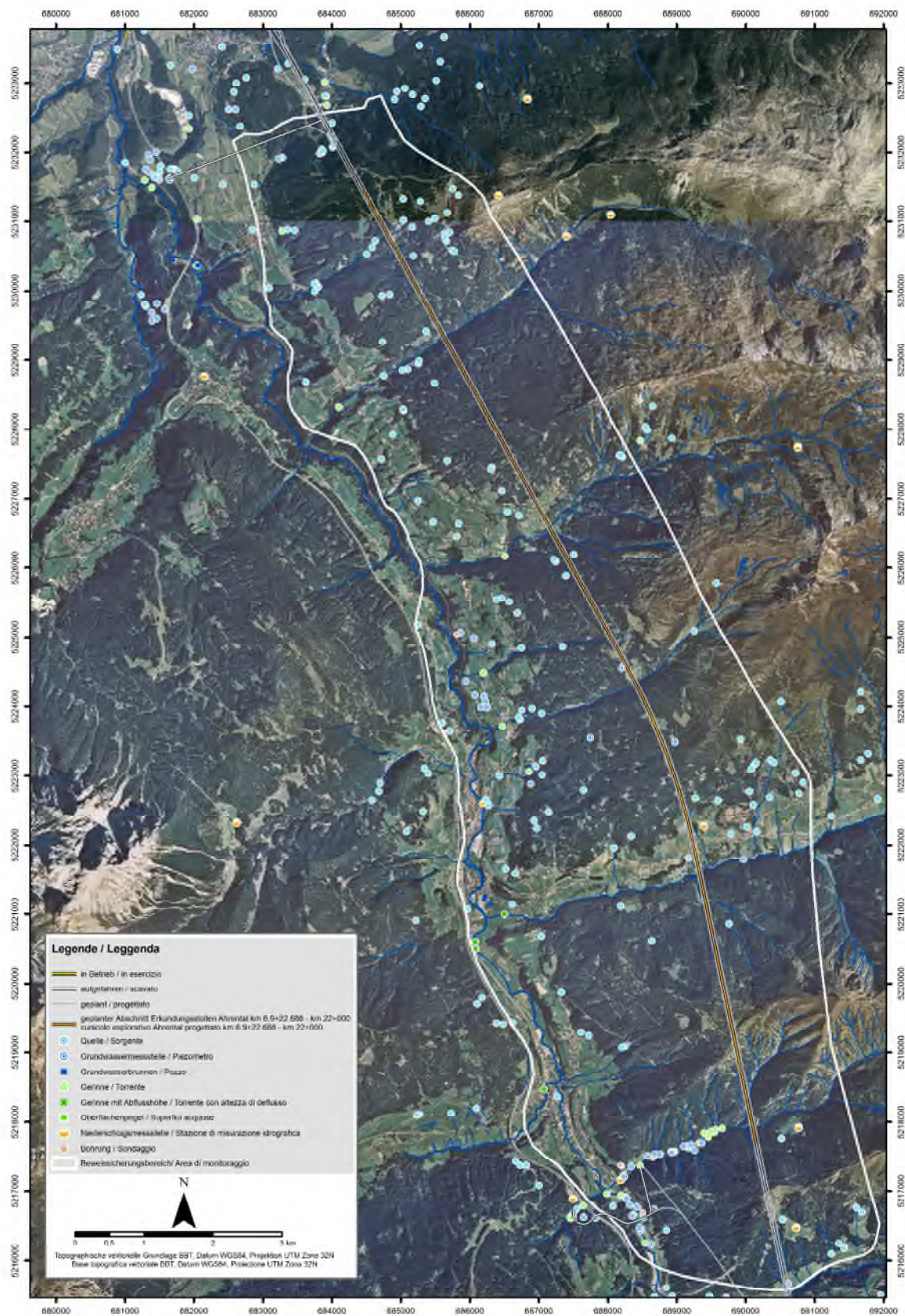


Abb. 20 Wasserwirtschaftlicher Beweissicherungsraum für die Bauwerke.

Fig. 20 Area di monitoraggio delle risorse idriche per le opere costruttive.

7 LITERATURVERZEICHNIS

7.1 ZUSÄTZLICH VERWENDETE UNTERLAGEN

Zusätzlich zu den im Bericht "Teil E - Übersicht der geologischen, hydrogeologischen, geotechnischen Berichte und Pläne" aufgelisteten Grundlagen wurden zur Erstellung des Berichtes folgende Unterlagen verwendet:

Brandner, R. (2008): Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie - Haupttunnel: Geologisches Modell (Technischer Bericht G 1.2a-02), Brenner Basistunnel UVE Technische Projektaufbereitung

Brandner, R. (2008): Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie - Haupttunnel Blatt E.1.1. bis E.1.2.: Geologischer Längenschnitt (Längenschnitt G 1.2c-02 bis G1.2c-03), Brenner Basistunnel UVE Technische Projektaufbereitung

Perello, P. (2008): Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie - Haupttunnel Tafel 1/3 bis E.1.2.: Hydrogeologischer Längenschnitt (Längenschnitt G 1.2f-02), Brenner Basistunnel UVE Technische Projektaufbereitung

7.2 LITERATUR UND QUELLEN

Axen, G.J., Bartley, J.M. & Selverstone, J. (1995): Structural expression of a rolling hinge in the footwall of the Brenner Line normal fault, eastern Alps. *Tectonics*, 14(5): 1380-1392

Behrmann, J.H. (1988): Crustal-scale extension in a convergent orogen: the Sterzing-Steinach mylonite zone in the Eastern Alps. *Geodinamica Acta* (Paris), 2: 63-73

Boncio, P., Lavecchia, G. & Pace, B. (2004): Defining a model of 3D seismogenic sources for Seismic Hazard Assessment applications: The case of central Apennines (Italy). *Journal of Seismology*, 8(3): 407

Brandner, R. (1980): Geologische Übersichtskarte von Tirol. 1:300.000, Tirol-Atlas, Universitätsverlag

7 BIBLIOGRAFIA

7.1 DOCUMENTI ADDIZIONALI

In aggiunta alle basi elencate nella relazione "Sezione E - Riepilogo delle relazioni ed elaborati geologici, idrogeologici e geotecnici" sono stati utilizzati i documenti riportati di seguito per la redazione della relazione:

Brandner, R. (2008): Geologia, geotecnica, idrogeologia - Galleria principale: Modello geologico (Relazione tecnica G 1.2a-02), Galleria di Base del Brennero DCA Elaborazione tecnica del progetto

Brandner, R. (2008): Geologia, geotecnica, idrogeologia - Galleria principale Tavola E.1.1. bis E.1.2: Profilo geologico longitudinale (Sezione longitudinale G 1.2c-02 a G1.2c-03), Galleria di Base del Brennero DCA Elaborazione tecnica del progetto

Perello, P. (2008): Geologia, geotecnica, idrogeologia - Galleria principale Tavola 1/3 a 2/3: Sezione idrogeologica longitudinale (Sezione longitudinale G 1.2f-02 a G 1.2f-03), Galleria di Base del Brennero DCA Elaborazione tecnica del progetto

7.2 BIBLIOGRAFIA E FONTI

Axen, G.J., Bartley, J.M. & Selverstone, J. (1995): Structural expression of a rolling hinge in the footwall of the Brenner Line normal fault, eastern Alps. *Tectonics*, 14(5): 1380-1392

Behrmann, J.H. (1988): Crustal-scale extension in a convergent orogen: the Sterzing-Steinach mylonite zone in the Eastern Alps. *Geodinamica Acta* (Paris), 2: 63-73

Boncio, P., Lavecchia, G. & Pace, B. (2004): Defining a model of 3D seismogenic sources for Seismic Hazard Assessment applications: The case of central Apennines (Italy). *Journal of Seismology*, 8(3): 407

Brandner, R. (1980): Geologische Übersichtskarte von Tirol. 1:300.000, Tirol-Atlas, Universitätsverlag

Decker, K. & Peresson, H., (1996): Tertiary kinematics in the Alpine-Carpathian-Pannonian system: links between thrusting, transform faulting and crustal extension. In: G. Wessely and W. Liebl (Editors), Oil and Gas in Alpidic Thrustbelts and Basins of Central and Eastern Europe. EAGE Special Publication, pp. 69-77

Frisch, W. (1976): Ein Modell zur alpidischen Evolution und Orogenese des Tauernfensters. *Geologische Rundschau*, 65: 375-392

Frisch, W. (1979): Tectonic progradation and plate tectonic evolution of the Alps. *Tectonophysics*, 60: 121-139

Frisch, W. (1984): Sedimentological response to late Mesozoic subduction in the Penninic windows of the Eastern Alps. *Geologische Rundschau*, 73: 33-45

Froitzheim, N. & Manatschal, G. (1996): Kinematics of Jurassic rifting, mantle exhumation, and passive-margin formation in the Austroalpine and Penninic nappes (eastern Switzerland). *Geological Society of America Bulletin*, 108(9): 1120-1133

Fügenschuh, B., Seward, D. & Mancktelow, N.S. (1997): Exhumation in a convergent orogen: the western Tauern window. *Terra Nova*, 9(5-6): 213-217

Galadini, F., Meletti, C. & Vittori, E. (2000): Stato delle conoscenze sulle faglie attive in Italia: elementi geologici di superficie. In: F. Galadini, C. Meletti & A. Rebez (Editors), *Le Ricerche del GNDT Nel Campo della Pericolosità Sismica (1996-1999)*. CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, pp. 107-136

Haditsch, G. & Mostler, H. (1982): Zeitliche und stoffliche Gliederung der Erzvorkommen im Innsbrucker Quarzphyllit. - *Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck*, 12, p.1-40

Haditsch, J.-G. & Mostler, H. (1983): The succession of ore mineralization of the lower Austroalpine Innsbruck quartz phyllite. - In: Schneider, H.J. (ed.): *Mineral deposits of the Alps*,

Decker, K. & Peresson, H., (1996): Tertiary kinematics in the Alpine-Carpathian-Pannonian system: links between thrusting, transform faulting and crustal extension. In: G. Wessely and W. Liebl (Editors), Oil and Gas in Alpidic Thrustbelts and Basins of Central and Eastern Europe. EAGE Special Publication, pp. 69-77

Frisch, W. (1976): Ein Modell zur alpidischen Evolution und Orogenese des Tauernfensters. *Geologische Rundschau*, 65: 375-392

Frisch, W. (1979): Tectonic progradation and plate tectonic evolution of the Alps. *Tectonophysics*, 60: 121-139

Frisch, W. (1984): Sedimentological response to late Mesozoic subduction in the Penninic windows of the Eastern Alps. *Geologische Rundschau*, 73: 33-45

Froitzheim, N. & Manatschal, G. (1996): Kinematics of Jurassic rifting, mantle exhumation, and passive-margin formation in the Austroalpine and Penninic nappes (eastern Switzerland). *Geological Society of America Bulletin*, 108(9): 1120-1133

Fügenschuh, B., Seward, D. & Mancktelow, N.S. (1997): Exhumation in a convergent orogen: the western Tauern window. *Terra Nova*, 9(5-6): 213-217

Galadini, F., Meletti, C. & Vittori, E. (2000): Stato delle conoscenze sulle faglie attive in Italia: elementi geologici di superficie. In: F. Galadini, C. Meletti & A. Rebez (Editors), *Le Ricerche del GNDT Nel Campo della Pericolosità Sismica (1996-1999)*. CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, pp. 107-136

Haditsch, G. & Mostler, H. (1982): Zeitliche und stoffliche Gliederung der Erzvorkommen im Innsbrucker Quarzphyllit. - *Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck*, 12, p.1-40

Haditsch, J.-G. & Mostler, H. (1983): The succession of ore mineralization of the lower Austroalpine Innsbruck quartz phyllite. - In: Schneider, H.J. (ed.): *Mineral deposits of the Alps*,

Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, p. 20

Lammerer, B. & Weger, M. (1998): Footwall Uplift in an Orogenic Wedge - The Tauern Window in the Eastern Alps of Europe. *Tectonophysics*, 285(3-4): 213-230

Linzer, H.-G., Decker, K., Peresson, H., Dell'Mour, R. & Frisch, W. (2002): Balancing lateral orogenic float of the Eastern Alps. *Tectonophysics*, 354(3-4): 211-237

Mancktelow, N.S. Stöckli, D.F., Grollimund, B., Müller, W., Fügenschuh, B., Viola, G., Seward, D. & Villa, I.M., (2001): The DAV and Periadriatic fault systems in the Eastern Alps south of the Tauern window. *International Journal of Earth Sciences*, 90: 593-622

Matsuda, T. (1976): Magnitude and recurrence intervals of earthquakes from a fault. *Zisin. J. Seism. Soc. Jpn.*, 28: 283-293

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. Wien*, 1, p. 77-83

Ortner, H., Brandner, R. & Gruber, A. (1999): Kinematic evolution of the Inn Valley shear zone from Oligocene to Miocene. *Tübinger Geowiss. Arb., Ser. A*, 52, S. 192-193

Ratschbacher, L., Frisch, W., Neubauer, F., Schmid, S.M. & Neugebauer, J. (1989) Extension in compressional orogenic belts: the Eastern Alps. *Geology*, 17: 404-407

Ratschbacher, L., Frisch, W., Linzer, H.-G. & Merle, O. (1991): Lateral extrusion in the Eastern Alps, Part 2: Structural Analysis. *Tectonics*, 10(2): 257-271

Rockenschaub M., Kolenprat B., Nowotny A. (2003): Innsbrucker Quarzphyllitkomplex, Tarntaler Mesozoikum, Patscherkofelkristallin. - In: Geologische Bundesanstalt (Hrsg.): Arbeitstagung 2003 „Brenner“, Blatt 148 Brenner: 41–58

Rockenschaub, M., Brandner, R., Decker, K., Priewalder, H. & Reiter, F. (2003): Geologie und Tektonik westlich des Wipptales. - In: Geologische

Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, p. 20

Lammerer, B. & Weger, M. (1998): Footwall Uplift in an Orogenic Wedge - The Tauern Window in the Eastern Alps of Europe. *Tectonophysics*, 285(3-4): 213-230

Linzer, H.-G., Decker, K., Peresson, H., Dell'Mour, R. & Frisch, W. (2002): Balancing lateral orogenic float of the Eastern Alps. *Tectonophysics*, 354(3-4): 211-237

Mancktelow, N.S. Stöckli, D.F., Grollimund, B., Müller, W., Fügenschuh, B., Viola, G., Seward, D. & Villa, I.M., (2001): The DAV and Periadriatic fault systems in the Eastern Alps south of the Tauern window. *International Journal of Earth Sciences*, 90: 593-622

Matsuda, T. (1976): Magnitude and recurrence intervals of earthquakes from a fault. *Zisin. J. Seism. Soc. Jpn.*, 28: 283-293

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. Wien*, 1, p. 77-83

Ortner, H., Brandner, R. & Gruber, A. (1999): Kinematic evolution of the Inn Valley shear zone from Oligocene to Miocene. *Tübinger Geowiss. Arb., Ser. A*, 52, S. 192-193

Ratschbacher, L., Frisch, W., Neubauer, F., Schmid, S.M. & Neugebauer, J. (1989) Extension in compressional orogenic belts: the Eastern Alps. *Geology*, 17: 404-407

Ratschbacher, L., Frisch, W., Linzer, H.-G. & Merle, O. (1991): Lateral extrusion in the Eastern Alps, Part 2: Structural Analysis. *Tectonics*, 10(2): 257-271

Rockenschaub M., Kolenprat B., Nowotny A. (2003): Innsbrucker Quarzphyllitkomplex, Tarntaler Mesozoikum, Patscherkofelkristallin. - In: Geologische Bundesanstalt (Hrsg.): Arbeitstagung 2003 „Brenner“, Blatt 148 Brenner: 41–58

Rockenschaub, M., Brandner, R., Decker, K., Priewalder, H. & Reiter, F. (2003): Geologie und Tektonik westlich des Wipptales. - In: Geologische

Bundesanstalt (Hrsg.): Arbeitstagung 2003
„Brenner“, Blatt 148 Brenner: 79-94

Schmid, S.M., Fügenschuh, B., Kissling, E. & Schuster, R. (2004): Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 97(1): 93

Selverstone, J. (1988): Evidence for east-west crustal extension in the eastern Alps: implications for the unroofing history of the Tauern Window. *Tectonics*, 7(1): 87-105

Selverstone J., Axen G.J. & Bartley J.M. (1995): Fluid inclusion constraints on the kinematics of footwall uplift beneath the Brenner Line normal fault, eastern Alps. *Tectonics*, 14, 264-278

Wallace, R.E. (1970): Earthquake recurrence intervals on the San Andreas fault. *Geological Society of America Bulletin*, 81: 2875-2890

Bundesanstalt (Hrsg.): Arbeitstagung 2003
„Brenner“, Blatt 148 Brenner: 79-94

Schmid, S.M., Fügenschuh, B., Kissling, E. & Schuster, R. (2004): Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 97(1): 93

Selverstone, J. (1988): Evidence for east-west crustal extension in the eastern Alps: implications for the unroofing history of the Tauern Window. *Tectonics*, 7(1): 87-105

Selverstone J., Axen G.J. & Bartley J.M. (1995): Fluid inclusion constraints on the kinematics of footwall uplift beneath the Brenner Line normal fault, eastern Alps. *Tectonics*, 14, 264-278

Wallace, R.E. (1970): Earthquake recurrence intervals on the San Andreas fault. *Geological Society of America Bulletin*, 81: 2875-2890