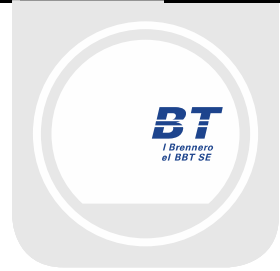




Mit Beteiligung der Europäischen Union aus dem Haushalt der Transeuropäischen Verkehrsnetze finanziertes Vorhaben

Opera finanziata con la partecipazione dell'Unione Europea attraverso il bilancio delle reti di trasporto transeuropee



Ausbau Eisenbahnachse München-Verona

BRENNER BASISTUNNEL

Ausführungsplanung

Potenziamento asse ferroviario Monaco-Verona

GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO

Progettazione esecutiva

D0700: Baulos Mauls 2-3

D0700: Lotto Mules 2-3

Projekteinheit

Haupttunnel

Dokumentenart

Statische Berechnung

Titel

Statische Berechnung Interferenz GL-West - FdE-CcT (km 45.1+55.363)

WBS

Gallerie principali

Tipo Documento

Calcolo statico

Titolo

Relazione di calcolo interferenza GL-Ovest - FdE-CcT (km 45.1+55.363)



Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P

ch. Pro.ter S.r.l., Via G.B. Sommariva 5, 20125 Milano, Tel: +39 026787911, Fax: +39 0267152612

Generalplaner / Responsabile integrazioni prestazioni specialistiche

Ing. Enrico Maria Pizzarotti

Ord. Ingg. Milano N° A 29470

Mandataria



Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.

Mandante



Mandante



Mandante



Fachplaner / il progettista specialista

Ing. Davide Merlini

Ord. Ingg. Como N° 2354 A

Datum / Data

Name / Nome

Gesellschaft / Società

Bearbeitet / Elaborato

30.01.2015

A. Battaglia / M. Falanesca

Pini Swiss

Geprüft / Verificato

30.01.2015

D. Merlini

Pini Swiss



Name / Nome

R. Zurlo

Name / Nome

K. Bergmeister

Projekt-kilometer /
Chilometro
progetto

von / da 32.0+88

bis / a 54.0+15

bei / al

Projekt-kilometer /
Chilometro
opera

von / da 44.3+52

bis / a 46.7+69

bei / al

Status
Dokument /
Stato
documento

Massstab /
Scala

-

Staat

Stato

Los

Lotto

Einheit

Unità

Nummer

Numero

Dokumentenart

Tipo Documento

Vertrag

Contratto

Nummer

Codice

Revision

Revisione

02

H61

OP

070

KST

D0700

22906

21

Bearbeitungsstand Stato di elaborazione

Revision Revisione	Änderungen / Cambiamenti	Verantwortlicher Änderung Responsabile modifica	Datum Data
10	Endgültige Abgabe / Consegna definitiva	A.Battaglia / M. Falanesca	31.07.2014
11	Projektvollständigung und Umsetzung der Verbesserungen aus dem Prüfverfahren / Completamento progetto e recepimento istruttoria	A.Battaglia / M. Falanesca	09.10.2014
20	Überarbeitung infolge Dienstanweisung Nr. 1 vom 17.10.2014 / Revisione a seguito ODS n°1 del 17.10.14	A.Battaglia / M. Falanesca	04.12.2014
21	Abgabe für Ausschreibung / Emissione per Appalto	A.Battaglia	30.01.2015

1	EINFÜHRUNG	
1	INTRODUZIONE.....	4
2	MATERIALIEN	
2	MATERIALI.....	5
2.1	SPRITZBETON	
2.1	BETONCINO PROIETTATO	5
2.2	ANKER	
2.2	ANCORAGGI	5
2.3	STAHLBÖGEN	
2.3	CENTINE.....	6
2.4	BETON	
2.4	CALCESTRUZZO.....	6
2.5	BEWEHRUNGSSTAHL	
2.5	ACCIAIO DA ARMATURA.....	6
3	GEOTECHNISCHES MODELL	
3	MODELLO GEOTECNICO	7
3.1	GEOLOGIE UND GEOMECHANIK	
3.1	GEOLOGIA E GEOMECCANICA.....	7
3.2	TRENNFLÄCHENORIENTIERUNG	
3.2	ORIENTAMENTO DELLE DISCONTINUITÀ	8
3.2.1	Trennflächenparameter	
3.2.1	Parametri delle discontinuità	9
4	GEBIRGSVERHALTEN	
4	COMPORAMENTO DELLA ROCCIA	9
4.1	ABSCHÄTZUNG DES GEBIRGSVERHALTENS	
4.1	VALUTAZIONE DEL COMPORAMENTO DELLA ROCCIA.....	9
5	AUßENSCHALE	
5	RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE	11
5.1	BRUCHKÖRPERANALYSE	
5.1	ANALISI DEI BLOCCHI.....	11
5.1.1	Gebirgslast bei trennflächendominiertem Gebirge	
5.1.1	Carichi dell'ammasso altamente fratturato	11
5.1.2	Nachweisverfahren	
5.1.2	Procedura di verifica.....	11
5.1.3	Untersuchte Fälle und Ergebnisse	
5.1.3	Casi analizzati e risultati	12
5.2	ANALYSE DER AUSBRUCHPHASEN	
5.2	ANALISI DELLE FASI DI SCAVO	13
5.2.1	Untersuchte Ausbruchquerschnitte	
5.2.1	Sezione analizzata	13
5.2.1.1	Gebirgsmodell	
5.2.1.1	Modello costitutivo dell'ammasso	14
5.2.1.2	Eigenschaften der Außenschale	
5.2.1.2	Caratteristiche dei rivestimenti di prima fase	15
5.2.1.3	Laststufen	
5.2.1.3	Step di carico.....	16
5.2.1.4	Nachweisverfahren	
5.2.1.4	Procedura di verifica.....	17

5.2.1.5	Ergebnisse	
5.2.1.5	Risultati.....	18
5.3	ANALYSE DER STANDSICHERHEIT DER ORTBRUST	
5.3	ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE.....	19
5.3.1	Nachweisverfahren	
5.3.1	Procedura di verifica.....	19
5.3.2	Ergebnisse	
5.3.2	Risultati.....	19
6	INNENSCHALE	
6	RIVESTIMENTO DEFINITIVO.....	19
7	VERZEICHNISSE	
7	ELENCHI.....	20
7.1	TABELLENVERZEICHNIS	
7.1	ELENCO DELLE TABELLE.....	20
7.2	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	
7.2	ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI.....	20
7.3	ANLAGENVERZEICHNIS	
7.3	ELENCO APPENDICI.....	21
7.4	REFERENZDOKUMENTE	
7.4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	21
7.4.1	Eingangsdokumente	
7.4.1	Documenti in ingresso.....	21
7.4.1.1	Ausführungsprojekt Baulos Muls 2-3	
7.4.1.1	Progetto Esecutivo Lotto Muls 2-3.....	21
7.4.1.2	Technische Projektaufbereitung	
7.4.1.2	Elaborazione tecnica del progetto.....	22
7.4.1.3	Ausführungsprojekt Erweiterung Baulos Muls 1	
7.4.1.3	Progetto Esecutivo Estensione Lotto Muls 1.....	22
7.4.2	Normen und Richtlinien	
7.4.2	Normativa.....	22
7.4.3	Literatur	
7.4.3	Letteratura.....	22
	ANHANG 1 - GEOMECHANISCHE KARTEN	
	APPENDICE 1 - SCHEDE GEOMECCANICHE.....	24
	ANHANG 2 - KENNLINIENVERFAHREN	
	APPENDICE 2 - CURVE CARATTERISTICHE.....	29
	ANHANG 3 - BRUCHKÖRPERANALYSE	
	APPENDICE 3 - ANALISI DEI BLOCCHI.....	32
	ANHANG 4 - FEM- ANALYSE DER AUßENSCHALE	
	APPENDICE 4 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE.....	45

1 EINFÜHRUNG

Das vorliegende Dokument beinhaltet die Erläuterung zur Bemessung der Außen- und Innenschalen der Haupttunnel (GL) und des Mittelstollen Trens im Bereich der Kilometrierung 45.1+55.363 (Weströhre), wo sich die Interferenzzone zwischen dem Ende des Mittelstollen Trens/ Beginn des Zufahrstollen (H=755.874m) und dem Haupttunnel West (H=742.817m) befindet.

Wie in der Abb. 1 angegeben, entwickelt sich dieser Abschnitt innerhalb der Amphibolite (geomechanische Zone 14 [2]) mit einer Überdeckung, die von 1095 m bis 1200 m reicht und sich vorwiegend in Klasse II (85%) befindet.

Aufgrund der Nähe der Bauwerke (minimaler vertikaler Abstand ca. 3 m), unabhängig von den angetroffenen geologischen Bedingungen, müssen Ausbruchquerschnitte mit Maßnahmen T4 oder mehr für mindestens 3 Blöcke Außenschale (36 m) sei es für die GL West als auch für die CcT/GA mit bewehrter Innenschale (Abbildung 2) vorgesehen werden. Aufgrund des effektiven Gebirgszustands muss abgewogen werden, ob der Abschnitt mit Mindestsicherheitsmaßnahmen T4 und bewehrter Innenschale ausgedehnt werden muss.

1 INTRODUZIONE

La seguente relazione riporta il dimensionamento dei rivestimenti di prima fase e definitivi della galleria di linea (GL) e del cunicolo centrale di Trens in corrispondenza della progressiva 45.1+55.363 (canna ovest) in cui è presente la zona di interferenza tra il termine del cunicolo centrale di Trens/inizio galleria di accesso (H=755.874m) e la galleria di linea ovest (H=742.817m).

Facendo riferimento alla Figura 1, questa tratta si sviluppa all'interno del complesso delle Anfiboliti (zona geomeccanica 14 [2]) con coperture variabili da 1095 m a 1200 m con prevalenza in classe II (85%).

Vista la vicinanza tra le opere (distanza verticale minima di ca. 3 metri), indipendentemente dalle condizioni geologiche riscontrate dovranno essere impiegate sezioni di scavo con provvedimenti T4 o superiori per almeno 3 blocchi di anello definitivo (36 m) sia per la GL Ovest che per il CcT/GA e con rivestimento definitivo armato (Figura 2). Sulla base delle effettive condizioni dell'ammasso roccioso riscontrate, si dovrà valutare se incrementare la lunghezza di estensione della tratta con provvedimenti di sicurezza minimi T4 e rivestimenti definitivi armati.

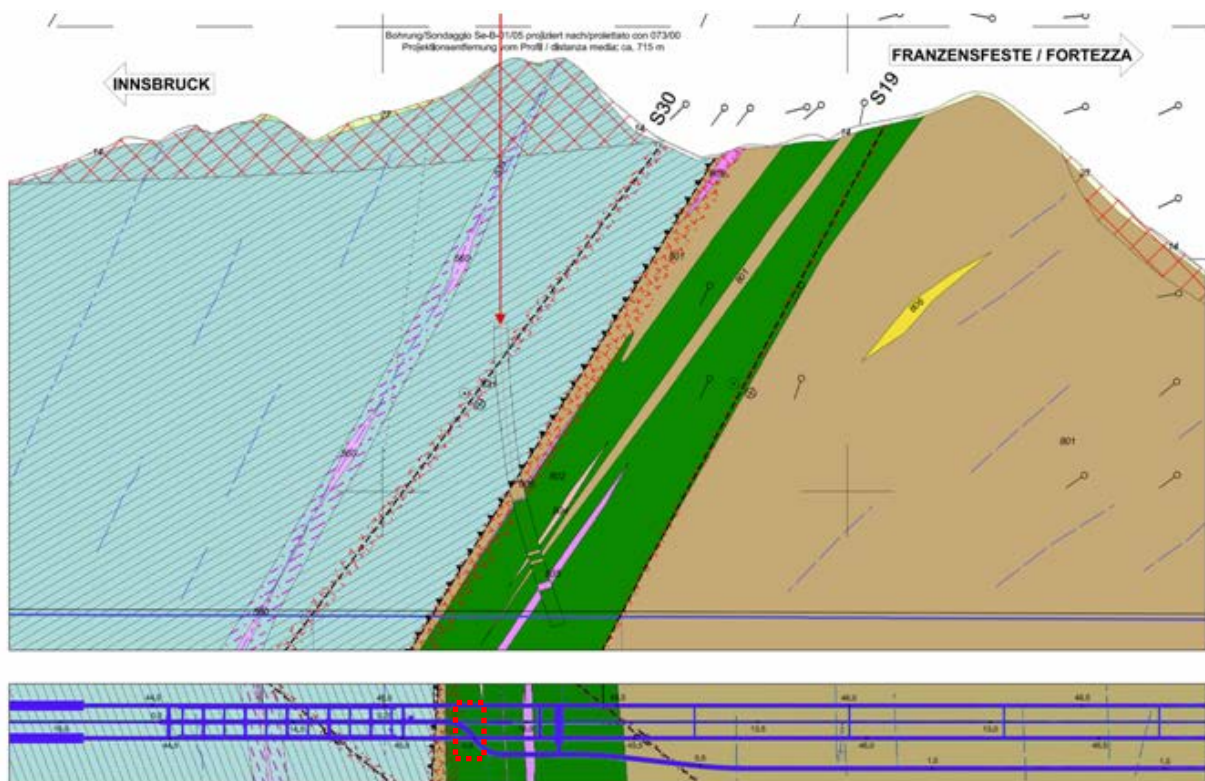


Abbildung 1: Auszug aus dem geomechanischen Längsprofil und des geologischen Lageplans [3], [4], [5] mit Angabe des Untersuchungsgebietes.

Figura 1: Estratto del profilo geomeccanico longitudinale e della planimetria geologica [3], [4], [5] con indicazione dell'area di studio.

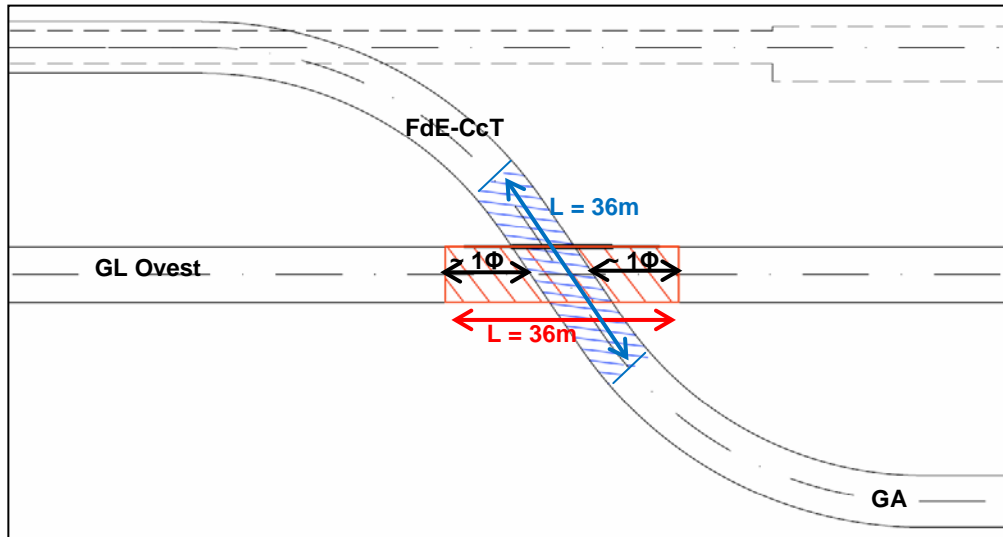


Abbildung 2: Auszug aus dem Lageplan des Untersuchungsgebietes mit Angabe des Mindestabschnittes, an dem die Maßnahmen der Klasse T4 oder höher angewandt werden müssen.

Figura 2: Estratto planimetrico dell'area di indagine con l'indicazione della tratta minima in cui devono essere applicati provvedimenti in classe T4 o superiore.

Die analysierten Ausbruchquerschnitte zeigen eine bewehrte Innenschale, die aus Beton C30/37 besteht und dessen Mindeststärken, die die Bautoleranzen berücksichtigen, jeweils 60 und 70 cm an der Kalotte und am Sohlgewölbe betragen.

Per le sezioni in analisi, il rivestimento definitivo è armato ed è costituito da calcestruzzo C30/37 con spessore minimi, che tengono conto delle tolleranze in fase di costruzione, pari a 60 e 70 cm rispettivamente in calotta e nell'arco rovescio.

2 MATERIALIEN

2.1 SPRITZBETON

Für die Bemessung der Spritzbetonaußenschale ist in der Regel ein Beton der Festigkeitsklasse C30/37 mit folgenden Eigenschaften zu berücksichtigen:

$$E_{cm} = 33000 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

Hierbei sind:

- E_{cm} = Mittelwert Sekantenmodul
- f_{ck} = charakteristische Druckfestigkeit Spritzbeton nach 28 Tagen

2 MATERIALI

2.1 BETONCINO PROIETTATO

Per il dimensionamento del rivestimento di prima fase in betoncino proiettato si considera un calcestruzzo con classe di resistenza C30/37 con le seguenti caratteristiche:

Dove:

- E_{cm} è il valore medio del modulo elastico secante
- f_{ck} è la resistenza caratteristica a compressione del betoncino proiettato a 28 giorni

2.2 ANKER

Es wird der Einsatz von Selbstbohranker R38N, R51N und Dywidag SN 28 vorgesehen, mit folgenden Eigenschaften:

2.2 ANCORAGGI

Si prevede l'utilizzo di ancoraggi tipo ancoraggi autoperforanti R38N e R51N, ancoraggi tipo Dywidag SN28 aventi le seguenti caratteristiche:

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$N_{yk} = 400 \text{ kN (R38N)}$$

$$N_{yk} = 413 \text{ kN (Dywidag SN28)}$$

$$N_{yk} = 630 \text{ kN (R51N)}$$

Wobei:

- E_s = Elastizitätsmodul
- N_y = Ermüdungslast der Niete

Dove:

- E_s è il modulo elastico
- N_y è il carico di snervamento del chiodo

2.3 STAHLBÖGEN

Die Stahlbögen des Typs IPN 180 bestehen aus Stahl S355 mit folgenden Eigenschaften:

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

Wobei:

- E_s = Elastizitätsmodul
- f_{yk} = charakteristischer Wert der Streckgrenze

2.3 CENTINE

Le centine metalliche di tipo IPN 180 sono realizzate con acciaio S355 aventi le seguenti caratteristiche:

Dove:

- E_s è il modulo elastico
- f_{yk} è la tensione caratteristica di snervamento

2.4 BETON

Für die Bemessung der Innenschale ist in der Regel ein Beton der Festigkeitsklasse C30/37 mit folgenden Eigenschaften zu berücksichtigen:

$$E_{cm} = 33000 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

Hierbei sind:

- E_{cm} = Mittelwert Sekantenmodul
- f_{ck} = charakteristische Druckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen

2.4 CALCESTRUZZO

Per il dimensionamento del rivestimento definitivo si considera un calcestruzzo con classe di resistenza C30/37 con le seguenti caratteristiche:

Dove:

- E_{cm} è il valore medio del modulo elastico
- f_{ck} è la resistenza a compressione caratteristica del calcestruzzo dopo 28 giorni

2.5 BEWEHRUNGSSTAHL

Für die Bemessung der Außenschale verwendet man den Stahl B450C:

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 450 \text{ MN/m}^2$$

Hierbei ist:

- E_s = Sekantenmodul
- f_{yk} = charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls

2.5 ACCIAIO DA ARMATURA

Per il dimensionamento dell'anello si utilizza l'acciaio tipo B450C:

dove:

- E_s = modulo elastico
- f_{yk} = tensione caratteristica di snervamento acciaio per cemento armato

3 GEOTECHNISCHES MODELL

3.1 GEOLOGIE UND GEOMECHANIK

Die Haupttunnel und der Mittelstollen Trens befinden sich im Bereich der Kilometrierung 45.1+55.363 (Weströhre) innerhalb des Amphibolitkomplexes (geomechanische Zone 14 [2]) mit einer Überdeckung, die von 1095 m bis 1200 m reicht.

Nachfolgend werden die Daten der Homogenbereiche laut Dokument [2] angeführt.

Zone number	Zone initial pk (approx.)	Zone final pk (approx.)	Zone length	Zone max overburden	Zone min overburden	Rock mass name	Rock mass Length	
	[km]	[km]	[m]	[m]	[m]		[% of zone length]	[m]
14	45.1	45.5	390	1200	1095	GA-BCA-A-10g	85%	331.5
						GA-BCA-GS-10g	15%	58.5

Tabelle 1 Geomechanische Homogenbereiche

Folgende Tabellen geben die geomechanischen Grundparameter für die Definition der geomechanisch homogenen Zonen und die Wahrscheinlichkeitsverteilung der unterschiedlichen Klassen nach Bieniawski [2] wieder.

Zone number	14	
Rock mass name	GA-BCA-A-10g	GA-BCA-GS-10g
$\gamma(m)$ [kN/m ³]	27.8	27.3
$\gamma(\sigma)$ [kN/m ³]	0.52	1.49
$\sigma_{ci}(m)$ [MPa]	140	75
$\sigma_{ci}(\sigma)$ [MPa]	48	5
$m_i(m)$	20	17
$m_i(\sigma)$	6	3
$E_i(m)$ [GPa]	53	56
$E_i(\sigma)$ [GPa]	8	10.9
RMR(m)	70	60
RMR(σ)	5	5
GSI(m)	65	50
GSI(σ)	10	5

Zone number	14	
Rock mass name	GA-BCA-A-10g	GA-BCA-GS-10g (*)
p(class I)	-	-
p(class II)	100%	-
p(class III)	-	100%
p(class IV)	-	-
p(class V)	-	-

Tabelle 2 Charakterisierung des Gebirges jeder homogenen Zone und Wahrscheinlichkeitsverteilung der unterschiedlichen Klassen (die mit [*] angegebenen Gebirge haben vorgesehene Längen von unter ca. 100m, während für die mit [**] angegebenen Gebirge stellte sich heraus, dass die Literaturwechselbeziehungen zwischen RMR und nicht gültig sind; in beiden Fällen wurden die RMR und GSI Mittelwerte angewandt).

Wobei:

- γ = spezifisches Gewicht des Gebirges
- σ_{ci} = einaxiale Druckfestigkeit der Gesteinsmatrix
- m_i = Krümmungsparameter aus triaxialem Druckversuch des Gebirgsmaterial
- E_i = Verformungsmodul der Gesteinsmatrix

3 MODELLO GEOTECNICO

3.1 GEOLOGIA E GEOMECCANICA

Le galleria di linea e il cunicolo centrale di Trens in corrispondenza della progressiva 45.1+55.363 (canna ovest) si sviluppa all'interno del complesso delle Anfiboliti (zona geomeccanica 14 [2]) con coperture variabili da 1095 m a 1200 m.

Nel seguito si riportano i dati delle tratte omogenee interessate dallo scavo secondo il documento [2].

Tabella 1: Zone geomeccaniche omogenee

Le seguenti tabelle riportano i parametri geomeccanici di base che caratterizzano ciascuna zona geomeccanica omogenea e la distribuzione probabilistica delle diverse classi secondo la classificazione di Bieniawski [2].

Tabella 2: Caratterizzazione degli ammassi di ciascuna zona omogenea e distribuzione probabilistica delle diverse classi (gli ammassi indicati con [*] hanno lunghezze previste inferiori a circa 100m, mentre per quelli indicati con [**] non risultano valide le correlazioni da letteratura tra RMR e GSI; in entrambi i casi sono stati adottati i valori medi di RMR e GSI).

Dove:

- γ è il peso di volume naturale dell'ammasso roccioso.
- σ_{ci} è la resistenza a compressione monoassiale di matrice.
- m_i è un parametro di curvatura dell'involuppo di rottura triassiale del materiale roccia.

- RMR = *Rock Mass Rating 1989*
- GSI = *Geological Strength Index*

Die typischen Verformungs- und Festigkeitsparameter jeder Strecke wurden gemäß dem Bruchkriterium nach Hoek & Brown [26] berechnet, welches im allgemeinen geomechanischen Bericht [1] näher beschrieben wird.

- E_i è il modulo di deformazione di matrice.
- RMR è il *Rock Mass Rating 1989*.
- GSI è il *Geological Strength Index*.

I parametri di deformabilità e di resistenza caratteristici di ciascuna tratta sono stati calcolati in accordo al principio di linearizzazione dell'involuppo di rottura proposto da Hoek & Brown [26] e esplicitato nella relazione geomeccanica generale [1].

Zone number	Rock mass name	Class [-]	Zone max overburden [m]	γ [kN/m ³]	Φ_{peak} [°]	Φ_{res} [°]	c_{peak} [MPa]	c_{res} [MPa]	E_{rm} [MPa]	Ψ [°]
14	GA-BCA-A-10g	II	1200	27.8	42.21	33.15	4.887	2.900	21074	6.86
	GA-BCA-GS-10g	III		27.3	36.23	28.85	3.535	2.274	15528	4.53

Tabelle 3 Typische Parameter des Gebirges in den unterschiedlichen Zonen und Klassen

Tabella 3: Parametri caratteristici dell'ammasso nelle diverse zone e classi

Wobei:

- Φ_{peak} ist der Reibungswinkel am Peak
- Φ_{res} ist der Restreibungswinkel
- c_{peak} ist die Kohäsion am Peak
- c_{res} ist die Restkohäsion
- E_{rm} ist der Gebirgsmodul
- Ψ ist die Dilatanz

Dove:

- Φ_{peak} è l'angolo d'attrito di picco.
- Φ_{res} è l'angolo d'attrito residuo.
- c_{peak} è la coesione di picco.
- c_{res} è la coesione residua.
- E_{rm} è il modulo d'ammasso.
- ψ è la dilatanza.

3.2 TRENFLÄCHENORIENTIERUNG

Auf Grund der verfügbaren Daten der Regelplanung [9] und [10] wurden die Diskontinuitäten aus Tabelle 4 berücksichtigt.

3.2 ORIENTAMENTO DELLE DISCONTINUITÀ

Sulla base dei dati disponibili dalla progettazione di sistema [9] e [10] sono state considerate le discontinuità riportate in Tabella 4.

Rock mass name	ID Joint	Dip direction [°]	Dip [°]	Max Persistence [m]
GA-BCA-A-10g GA-BCA-GS-10g <i>Doc. [13]</i>	SC	345	45	3
	RTF1	160	80	1
	RTFw	255	75	1
	RTF3	300	85	1
	RTF6	020	80	3

Tabelle 4: Lage der Trennflächen

Tabella 4: Giacitura delle discontinuità

3.2.1 Trennflächenparameter

Um eventuellen ungünstigen Bedingungen (glatte und ebene Flächen, tonige Füllungen, Wasservorkommen) Rechnung zu tragen, werden sicherheitshalber folgende Scherparameter der Trennflächen berücksichtigt:

- $\Phi_k = 20^\circ$
- $c_k = 0 \text{ MPa}$

4 GEBIRGSVERHALTEN

Die Ermittlung der Gebirgslast sowie die Ermittlung der Lastableitung von der Außen- auf die Innenschale erfolgt in Abhängigkeit des Gebirgsverhaltens:

- Bei spannungsdominiertem Gebirgsverhalten werden die Gebirgslasten durch die numerische Modellierung der Interaktion zwischen Gebirge und Ausbau ermittelt.
- Bei trennflächendominiertem Gebirgsverhalten ermitteln sich die Gebirgslasten in erster Linie aus Bruchkörperanalysen.

Zur Einschätzung des Gebirgsverhaltens und zur Unterscheidung der beiden Gebirgsverhalten ist das Kennlinienverfahren anzuwenden.

4.1 ABSCHÄTZUNG DES GEBIRGSVERHALTENS

Zur Abschätzung des Gebirgsverhaltens wurden die Dokumente [2] [9] und [10] berücksichtigt. Für weitere Details verweist man auf den Bericht [2]. In der folgenden Tabelle werden die aus dem Gebirgskennlinienverfahren resultierenden Ergebnisse aufgezeigt.

Zone number	Rock mass name	Class	Zone max overburden	c_t	c_a	c_r	F_{plf}	F_{pla}	c_t/R	F_{plf}/R	c_r/R	F_{pla}/R
				[cm]	[cm]	[cm]	[m]	[m]	[%]	[-]	[%]	[-]
14	GA-BCA-A-10g	II	1200	0.66	2.22	1.55	0.00	2.39	0.14%	0.00	0.32%	0.49
	GA-BCA-GS-10g	III		1.39	4.62	3.23	0.96	4.61	0.29%	0.20	0.67%	0.95

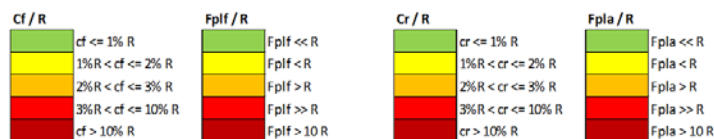


Tabelle 5: Ergebnisse Kennlinienverfahren. c_t = Ortsbrustkonvergenz, c_a = absolute Konvergenz am natürlichen Gleichgewicht, c_r = relative Konvergenz am natürlichen Gleichgewicht, F_{plf} = plastische Zone an der Ortsbrust, F_{pla} = plastische Zone Gleichgewicht, R = Ausbruchradius (mit 4.86m angenommen).

Tabelle 6 gibt ein Annahmekriterium [24] [25] wieder, um das Verhalten der Ortsbrust in Abhängigkeit der Berechnungsergebnisse aus dem Gebirgskennlinienverfahren abzuschätzen (Konvergenz an der Ortsbrust und Ausdehnung

3.2.1 Parametri delle discontinuità

Si adottano parametri conservativi per tenere in considerazione eventuali condizioni sfavorevoli delle discontinuità (superfici planari e lisce, riempimenti argillosi e presenza d'acqua, ecc.):

- $\Phi_k = 20^\circ$
- $c_k = 0 \text{ MPa}$

4 COMPORTAMENTO DELLA ROCCIA

Il calcolo del carico dell'ammasso e il calcolo del trasferimento del carico dal rivestimento esterno al rivestimento definitivo dipendono dal comportamento dell'ammasso:

- in caso di comportamenti dell'ammasso di tipo spingente, i carichi si calcolano tramite modellazione numerica dell'interazione fra ammasso e rivestimento;
- in caso di ammasso altamente fratturato, i carichi si calcolano mediante l'analisi dei blocchi.

Per la valutazione del comportamento dell'ammasso e per la differenziazione tra i due comportamenti si utilizza il metodo delle curve caratteristiche.

4.1 VALUTAZIONE DEL COMPORTAMENTO DELLA ROCCIA

Per la valutazione del comportamento dell'ammasso roccioso in esame sono stati presi in considerazione i documenti [2], [9] e [10]. Rimandando al Rapporto [2] per maggiori dettagli, si riportano nella tabella seguente i risultati ottenuti dalle linee caratteristiche.

Tabella 5: Risultati del metodo delle Linee Caratteristiche. c_t = convergenza al fronte, c_a = convergenza assoluta all'equilibrio naturale, c_r = convergenza relativa all'equilibrio naturale, F_{plf} = fascia plastica al fronte, F_{pla} = fascia plastica all'equilibrio naturale, R = raggio di scavo (assunto pari a 4.86m)

In Tabella 6 si riporta un criterio [24] [25] per stimare il comportamento del fronte di scavo in funzione dei risultati delle analisi con le linee caratteristiche (convergenza al fronte e estensione della fascia plastica al fronte).

der plastischen Zone an der Ortsbrust).

Fronte stabile Stabile Ortsbrust	Fronte stabile a breve termine Kurzzeitig stabile Ortsbrust	Tendenza all'instabilità del fronte Neigung der Ortsbrust zur Instabilität	Fronte instabile Instabile Ortsbrust
$c_f < 1\% R_{scavo}$	$1\% R_{scavo} < c_f < 2\% R_{scavo}$	$2\% R_{scavo} < c_f < 3\% R_{scavo}$	$c_f > 3\% R_{scavo}$
$F_{pl f} \ll R_{scavo}$	$F_{pl f} < R_{scavo}$	$F_{pl f} \geq R_{scavo}$	$F_{pl f} \gg R_{scavo}$

Tabelle 6: Vorgeschlagene Stabilitätskriterien in [24], [25]; c_f = Ortsbrustkonvergenz; $F_{pl f}$ = Ausdehnung des plastischen Streifens an der Ortsbrust; $R_{scavo} = r_{eq}$ = äquivalenter Ausbruchradius

Tabella 6: Criteri di stabilità proposti in [24], [25]; c_f = convergenza al fronte; $F_{pl f}$ = estensione della fascia plastica al fronte; $R_{scavo} = r_{eq}$ = raggio equivalente di scavo.

Aus den Analysen geht hervor, dass für die Gebirge GA-BCA-A-10g und GA-BCA-GS-10g, ohne Berücksichtigung der Interferenz, geringe Verformungs- (< 5 cm) und Stabilitätsprobleme zu erwarten sind. Man erwartet sich ein vorwiegend elastisches Verhalten des Hohlraums mit Bildung eines plastischen Streifens, der geringer als der Ausbruchradius ist und die Ortsbrust erweist sich als fast standhaft.

Für die FEM-Analysen (Anhang 4 und Kap.5) werden aus Sicherheitsgründen die Parameter des Gebirges GA-BCA-GS-10g angewandt.

In Anhang 1 sind die geomechanischen Karten der Gebirge GA-BCA-A-10g, und GA-BCA-GS-10g [9]- [10] aufgezeigt.

Dall'analisi si evidenzia come per gli ammassi GA-BCA-A-10g e GA-BCA-GS-10g, trascurando gli effetti dell'interferenza, si possono attendere basse problematicità deformative (< 5 cm) e di stabilità. Il comportamento del cavo atteso è di tipo sostanzialmente elastico con fascia plastica, inferiore al raggio di scavo, e il fronte si presenta pressoché stabile.

Per l'analisi agli elementi finiti (Appendice 4, e Cap. 5), vengono adottati in via cautelativi i parametri dell'ammasso GA-BCA-GS-10g.

Nell'Appendice 1 sono riportate le schede geomeccaniche per gli ammassi GA-BCA-A-10g e GA-BCA-GS-10g [9]- [10].

5 AUßENSCHALE

Aus der Analyse mittels Kennlinienverfahren für die Gebirge GA-BCA-A-10g und GA-BCA-GS-10g geht hervor, dass das Gebirgsverhalten (ohne die Interferenz zu berücksichtigen) durch reduzierte Konvergenzen im Zentimeterbereich und durch die Bildung einer plastischen Zone, welche kleiner als der Aushubradius ist, gekennzeichnet ist.

Die Bruchkörperanalyse (Anhang 3) erfolgte, um die Bedingungen während des Ausbruchs (und die Ortsbruststabilität) zu überprüfen. Sie ist für den Nachweis der Innenschale nicht relevant (Abs. 5.1).

Der detaillierte Nachweis des Gebirgsverhaltens und der Einwirkungen auf die Außen- und Innenschale erfolgt mittels der Finiten-Elemente-Methode (Abs. 5.2).

5.1 BRUCHKÖRPERANALYSE

5.1.1 Gebirgslast bei trennflächendominiertem Gebirge

Die für die Bemessung der Innenschale zu berücksichtigende Last ergibt sich aus der Größe der Felsblöcke. Eine beispielhafte Ableitung der im Modell des gebetteten Stabmodells anzusetzende Last ist nachfolgend dargestellt.

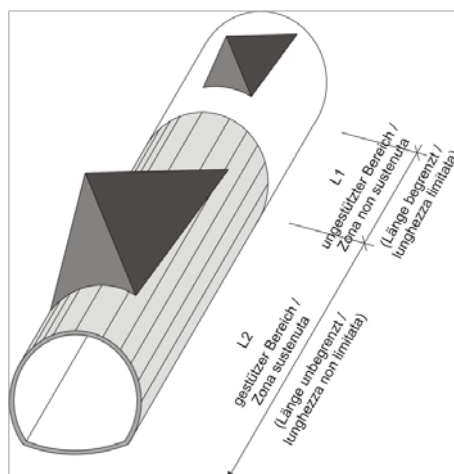


Abbildung 3: Qualitative Darstellung der Einwirkung aus dem Gebirge auf die Schale bei stark trennflächendominiertem Gebirgsverhalten

5.1.2 Nachweisverfahren

Gemäß NTC 2008 ist das Teilsicherheitskonzept zu berücksichtigen. Demnach ist die Einwirkungsseite mit $\gamma_G = 1,30$ zu erhöhen und die Widerstandseite mit $\gamma_c = 1,50$ bzw. $\gamma_s = 1,15$ zu reduzieren.

Für die Analyse werden die Trennflächenparameter c' und ϕ'

5 RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

Dall'analisi delle linee caratteristiche, per gli ammassi GA-BCA-A-10g e GA-BCA-GS-10g, si evince che il comportamento dell'ammasso (trascurando gli effetti dell'interferenza) è caratterizzato da convergenze ridotte, dell'ordine centimetrico, e dalla formazione di una fascia plastica inferiore al raggio di scavo.

L'analisi a blocchi (Appendice 3) viene sviluppata per verificare le condizioni durante lo scavo (inclusa la verifica della stabilità del fronte) e non risulta determinante per la verifica dell'anello interno (Par. 5.1).

Per la verifica dettagliata della risposta dell'ammasso roccioso e gli influssi sui rivestimenti di prima fase e definitivi, viene implementata l'analisi agli elementi finiti (Par. 5.2).

5.1 ANALISI DEI BLOCCHI

5.1.1 Carichi dell'ammasso altamente fratturato

Le dimensioni dei blocchi definiscono i carichi da considerare per il dimensionamento del rivestimento definitivo. La seguente figura illustra l'esempio di una trasposizione del carico da applicare al modello statico appoggiato su un letto di molle.

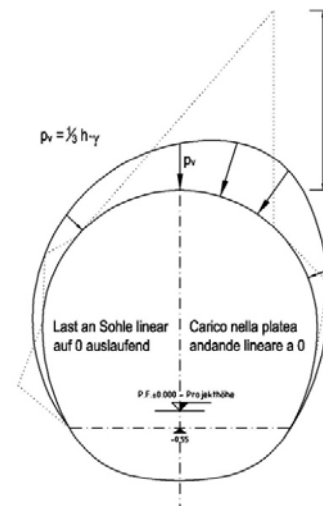


Figura 3: Rappresentazione qualitativa degli effetti dell'ammasso sul rivestimento, in caso di ammasso altamente fratturato

5.1.2 Procedura di verifica

In conformità alle NTC 2008 sono stati considerati i fattori parziali di sicurezza secondo i quali le azioni vengono aumentate di $\gamma_G = 1,30$ e le resistenze ridotte di $\gamma_c = 1,50$ ovvero $\gamma_s = 1,15$.

Per l'analisi, si adottano i valori caratteristici c' e ϕ' riportati al

mit ihren charakteristischen Werten laut Abs. 3.2.1 verwendet. paragrafo 3.2.1.

Der Nachweis mittels Bruchkörperanalyse berücksichtigt folgendes Sicherheitskonzept.

Per la verifica basata sull'analisi dei blocchi deve essere considerato il seguente criterio di sicurezza.

$$E_d \leq R_d$$

Hierbei ist:

- R_d = Bemessungswert Widerstand
- E_d = Bemessungswert Einwirkung

Dove:

- R_d = Valore della resistenza di progetto
- E_d = Valore di progetto dell'effetto delle azioni

5.1.3 Untersuchte Fälle und Ergebnisse

Der Nachweis wurde mit dem Berechnungsprogramm UNWEDGE 3.0 durchgeführt. Dabei wird die Wirksamkeit der Anker in Abhängigkeit von deren Neigung, Rutschrichtung der Felsblöcke und in Hinblick auf die Scherfestigkeit der Kluffüllungen untersucht. Sicherheitshalber wurde der Ausbruchquerschnitt GL-T2 für den Haupttunnel und der Ausbruchquerschnitt FdE-CcT-T2 aufgrund der in Tabelle 4 aufgezeigten Diskontinuitäten analysiert.

Es werden zwei Arten von Nachweisen durchgeführt:

- Sektor L1: die Länge des Berechnungsmodells entspricht der Abschlaglänge (4.5 m), welche aus Sicherheitsgründen um 0.5 Meter verlängert und ohne Spritzbeton berücksichtigt wurde. Um die Stabilität der Felsblöcke sicherzustellen, ist ein Netz aus Ankern des Typs Superswellex Pm 16 ($N_{yd} = 122$ kN) von 3.0 Meter Länge mit Raster 1.50 m (längs) x 1.80 m (quer) vorgesehen.
- Sektor L2: Das Berechnungsmodell ist unendlich lang mit einer 10 cm dicken Spritzbetonschale und mit Ankern des Typs Superswellex Pm 16 ($N_{yd} = 122$ kN) von 3.0 Meter Länge mit Raster 1.50 m (längs) x 1.80 m (quer).

Blöcke mit geringer Größe (<100 kN) sind für die Berechnung nicht maßgebend und falls sie nicht schon durch die Sprengung abgebrochen sein sollten, müssen sie vor Ort vom Fachmann geprüft und mit einzelnen Ankern gesichert werden. Für die Zusammenfassung der Ergebnisse wird auf Anhang 3 verwiesen. Es wird hervorgehoben, dass mit der geplanten Ausbruchsicherung ein Sicherheitsfaktor größer 1.3, und somit gleich γ_G , erreicht wird.

Aus den Nachweisen geht hervor, dass die maximale Höhe der Blöcke geringer als 1 m ist. Daher ist die Last der Blöcke im Verhältnis zur Lockerungslast, die in den folgenden Absätzen wiedergegeben wird, nicht ausschlaggebend.

5.1.3 Casi analizzati e risultati

Le analisi sono state effettuate con il programma di calcolo UNWEDGE 3.0 considerando l'efficacia dei chiodi in funzione della loro inclinazione rispetto al direzione di scivolamento dei blocchi e considerando la resistenza a taglio degli inclusi. In via cautelativa è stata analizzata la sezione GL T2 per la galleria di linea e la sezione FdE-CcT T2 sulla base delle discontinuità riportate in Tabella 4.

Vengono eseguite due tipologie di analisi:

- settore L1: lunghezza di analisi pari allo sfondo di abbattimento (4.5 m) aumentato cautelativamente di 0.5 metri con assenza di betoncino proiettato. Per garantire la stabilità dei cunei rocciosi si prevede una rete di ancoraggi Superswellex Pm 16 ($N_{yd} = 122$ kN) di lunghezza 3.0 metri e maglia 1.50 m (longitudinale) x 1.80 m (trasversale).
- settore L2: lunghezza di analisi illimitata con presenza di uno strato di betoncino proiettato di 10 cm e ancoraggi Superswellex Pm 16 ($N_{yd} = 122$ kN) di lunghezza 3.0 metri e maglia 1.50 m (longitudinale) x 1.80 m (trasversale).

I blocchi che hanno una dimensione ridotta (< 100 kN) non sono rappresentativi per l'analisi e, qualora non si siano già distaccati a seguito del brillamento, devono essere esaminati sul luogo dall'esperto geotecnico ed assicurati con bulloni singoli. Rimandando all'Appendice 3 per la sintesi dei risultati, si evidenzia che con i provvedimenti di messa in sicurezza previsti si raggiunge sempre un fattore di sicurezza maggiore di 1.3, uguale a γ_G .

Dall'analisi risulta che l'altezza massima dei blocchi è inferiore a 1 m. Conseguentemente i carichi derivanti dai blocchi non sono determinanti rispetto ai carichi di allentamento riportati nei paragrafi successivi.

5.2 ANALYSE DER AUSBRUCHPHASEN

Die Analyse wurde mit dem Finiten-Elemente Programm MIDAS GTS [34] durchgeführt. Dieses erlaubt es, die Lastentwicklung und das spannungs-verformende Verhalten des Gebirges während der einzelnen Bauphasen zu verfolgen.

Die Modellierungen erfolgen im ebenen Verformungszustand, d.h.:

- Das geotechnische Bezugsmodell stellt einen Querschnitt orthogonal zur Tunnelachse dar;
- Die Definition des Spannungs-Verformungs-Verhaltens und der Festigkeit des Gebirges ist vom Ausbruch abhängig;
- Die Definition des Spannungszustands im Gebirge vor dem Tunnelvortrieb ist erforderlich;
- Die einzelnen Ausbruchphasen sowie die entsprechende Ausbruchsicherung werden modelliert.

5.2.1 Untersuchte Ausbruchquerschnitte

Für die Bemessung des Ausbruchquerschnitts der Interferenz zwischen GL und FdE-CcT wurde der Regelquerschnitt T4 für beide Bauwerke berücksichtigt.

Vorsichtshalber wurden breitere Ausbruchquerschnitte angenommen, wobei die Querschnitte geneigt sind. Im untersuchten Abschnitt beläuft sich die Bedeckung auf $H \approx 1150$ m und aufgrund der Entfernung von 70 m zwischen den Achsen der GL West und Ost wurde beim Rechenmodell das Vorhandensein der GL Ost nicht berücksichtigt (Abbildung 4).

Aufgrund der Symmetrie der zu untersuchenden Problemstellung, erstreckt sich das Berechnungsmodell über eine Breite von 300 m und über eine Höhe von 300 m, von denen 100 m unter und 200 m über der Schienenoberkante liegen. Durch die gewählten Modellabmessungen kann davon ausgegangen werden, dass eventuelle Randeinflüsse vernachlässigbar sind. Das Gebirge wurde mittels zweidimensionaler, quadratischer Elemente mit Abmessungen von ca. 200x200 cm diskretisiert. In der Nähe des Tunnels wird die Maschenweite verdichtet und die Elemente erreichen Abmessungen von 50x50 cm. Die gewählten Auflagerbedingungen verhindern eine Verschiebung in beide Richtungen am unteren Modellrand und blockieren

5.2 ANALISI DELLE FASI DI SCAVO

L'analisi è stata condotta mediante il programma agli elementi finiti MIDAS GTS [34] che consente di seguire la storia di carico e il comportamento tensio-deformativo dell'ammasso roccioso durante tutte gli step per la realizzazione delle opere.

Le analisi, condotte nell'ipotesi di deformazioni piane, comportano:

- La definizione del modello geotecnico di riferimento che rappresenta una sezione trasversale all'asse della galleria;
- La definizione delle leggi sforzo-deformazione e di resistenza dell'ammasso roccioso interessato dagli scavi;
- La definizione dello stato tensionale presente nell'ammasso prima dello scavo della galleria;
- La simulazione delle fasi di scavo e di messa in opera dei sostegni.

5.2.1 Sezione analizzata

Per il dimensionamento della sezione di interferenza tra GL e FdE-CcT si è considerata l'applicazione dei profili T4 per entrambe le opere.

In via cautelativa si sono considerate sezioni di scavo allargate considerando sezioni trasversali inclinate. Si è considerata la copertura nella tratta in esame ($H \approx 1150$ m) e vista la distanza di 70 m tra l'asse della GL Ovest e Est, è stato implementato un modello di calcolo trascurando la presenza della GL Est (Figura 4).

Il modello di calcolo, in virtù della simmetria del problema, si estende per 300 m in larghezza e 300 m in altezza, di cui 100 m al di sotto del piano del ferro e 200 m al di sopra di quest'ultimo. Tali limiti sono sufficienti per ritenere trascurabili gli effetti di bordo. L'ammasso è stato discretizzato mediante elementi bidimensionali quadrati di dimensioni pari a circa 200x200 cm, infittiti in prossimità della galleria, dove assumono dimensioni pari a circa 50x50 cm. Le condizioni di vincolo al contorno del modello prevedono spostamenti impediti in entrambe le direzioni lungo il boundary inferiore e spostamenti impediti in direzione orizzontale lungo i boundary verticali. Sul boundary superiore è applicata una pressione pari al peso del terreno presente in sito fino alla quota del piano campagna.

Verschiebungen in horizontaler Richtung an den vertikalen Modellrändern. Am oberen Modellrand wurde ein Druck aufgebracht, welcher der vorhandenen Bodenauflast (von Tunnel bis Geländeoberkante) entspricht.

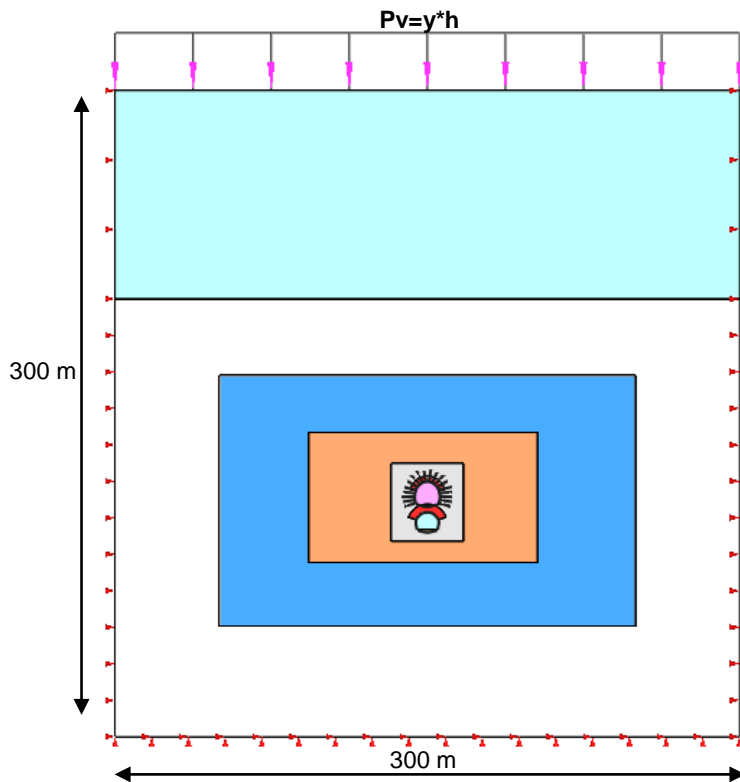


Abbildung 4: Analyseabschnitt Interferenz GL-T4 /FdE-CcT T4

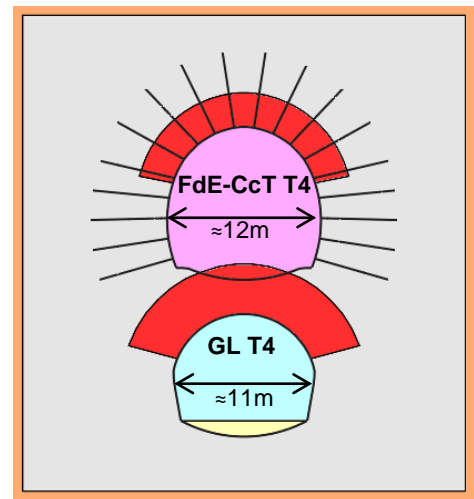


Figura 4: Sezione di analisi interferenza GL T4/FdE-CcT T4

5.2.1.1 Gebirgsmodell

Das Gebirge wurde als ein kontinuierlich elastisch-plastisches Medium modelliert mit Widerstandskriterium des Typs Hoek-Brown [26] und Restparameter, die gemäß der Cai et. al [33] Theorie bewertet und im Bericht [1] angeführt werden. Im Besonderen wurden die elastischen (Verformungsmodul und Poisson-Beiwert), elastisch-plastischen (m_b , s mit Peak- und Restwerte) und physischen (Dichte und einachsiger Komprimierungswiderstand) Eigenschaften der vom Ausbruch betroffenen Felsen bestimmt.

Aufgrund der im Abs. 3.1 aufgezeigten Bemerkungen, werden die geomechanischen Parameter des Gebirges GA-BCA-GS-10g berücksichtigt:

5.2.1.1 Modello costitutivo dell'ammasso

L'ammasso è stato modellato come un mezzo continuo elasto-plastico avente criterio di resistenza di tipo Hoek-Brown [26] con parametri residui valutati sulla base della teoria di Cai et. al [33] e riportata nel Rapporto [1]. In particolare sono state assegnate le caratteristiche elastiche (modulo di deformazione e coefficiente di Poisson), elasto-plastiche (m_b , s con valori di picco e residuo) e fisiche (densità e resistenza a compressione monoassiale) proprie delle rocce interessate dallo scavo.

Sulla base delle considerazione riportate nel Par 3.1, vengono considerati i parametri geomeccanici dell'ammasso GA-BCA-GS-10g:

Zone max overburden [m]	GSI	GSI _{res}	γ [kN/m ³]	E_{rm} [MPa]	σ_{ci} [MPa]	σ_{cm} [MPa]	m_i [-]	$m_{b, peak}$ [-]	$m_{b, res}$ [-]	$s_{, peak}$ [-]	$s_{, res}$ [-]
1150	50	25.59	27.3	15528	72.5	15.60	15.5	2.599	1.087	0.0039	0.0003

Tabelle 7: Berücksichtigte geomechanische Parameter

Tabella 7: Parametri geomeccanici considerati

Die Auflagebedingungen am Modellumriss sehen behinderte Verschiebungen in beiden Richtungen längs der unteren Grenze sowie behinderte Verschiebungen in horizontaler Richtungen längs der senkrechten Grenze vor. Auf der Obergrenze ist ein Druck angewandt worden, der dem vor Ort vorhandenen Erdreichgewicht bis zur Quote der Geländeoberkante entspricht. Die Kraftlage vor Ort wurde gemäß folgenden Verhältnissen ausgewertet:

$$\sigma_y = \gamma \cdot z$$

$$\sigma_x = K_0 \cdot \sigma_z$$

Wobei:

- Z = Abstand des allgemeinen Elements von der Geländeoberkante
- K_0 = Beiwert des horizontal wirkenden Erddrucks, gleich 0.75 angenommen.

Le condizioni di vincolo al contorno del modello prevedono spostamenti impediti in entrambe le direzioni lungo il boundary inferiore e spostamenti impediti in direzione orizzontale lungo i boundary verticali. Sul boundary superiore è applicata una pressione pari al peso del terreno presente in sito fino alla quota del piano campagna. Lo stato di sforzo in sito è stato valutato secondo le seguenti relazioni:

Dove

- Z rappresenta la distanza del generico elemento dal piano campagna
- K_0 è il coefficiente di spinta orizzontale, assunto pari a 0.75.

5.2.1.2 Eigenschaften der Außenschale

Folgende Tabelle zeigt die Eigenschaften der Sicherheitsmaßnahmen für das Profil GL T4 und für das Profil FdE-CcT T4 auf:

5.2.1.2 Caratteristiche dei rivestimenti di prima fase

La seguente tabella riporta le caratteristiche dei provvedimenti di messa in sicurezza per il profilo GL T4 e il profilo FdE-CcT T4:

	Anker							Spritzbeton			Stählbogen	
	Position	Typ	N_y	L	$i_{\text{längs/long}}$	$i_{\text{quer/transv}}$	n°	Klasse	S_{nom}	S_{min}	Typ	i
GL T4	Posizione	Tipo	[kN]	[m]	[m]	[m]	[-]	Classe	[cm]	[cm]	Tipo	[m]
	Umriss Contorno	R51N	630	12	3.0	0.75	14	C30/37	30	24	2 IPN 180	0.75-1.5
FdE-CcT T4	Umriss Contorno	R51N	630	12	3.0	0.75	20	C30/37	30	24	2 IPN 180	0.75-1.5
	Radial	R38N	400	6	1.5	1.5	18					
	Radiali	SN28	413	5.5	1.5	1.5	18					

Tabelle 8: Eigenschaften der Außenschale

Tabella 8: Caratteristiche rivestimenti di prima fase

Die Anker werden ins Modell eingefügt und zwar mit einem Grenzwiderstand, der ihrer Streckgrenze entspricht, die um den Widerstandsbeiwert ($\gamma_R = 1.15$) und der Reibung ($\gamma_R = 1.3$) faktorisiert wird, so wie mit BBT SE abgesprochen. Die Anker werden mit spezifischen eindimensionalen Elementen (Truss) nachgebildet, mit perfekt plastisch-elastischem Verhalten (Abbildung 5) und Von Mises Bruchkriterium ($N_{yd} = N_{yk}/1.15 = 348$ kN). Sie sind mit den Gitterknoten über eine Schnittstelle verbunden, wobei Vorsichtswerte des Querwiderstands (190 kN/m) und der tangentialen Steifigkeit (10 MN/m/m) [32] berücksichtigt werden.

Analog zum Bericht [11] wurde die Wirkung der Befestigung am Umriss des Hohlraums durch einen Materialstreifen mit leicht erhöhten Festigkeitsparametern modelliert, wie in der

Gli ancoraggi vengono inseriti nel modello con una resistenza limite pari alla loro resistenza a snervamento fattorizzata per il coefficiente sulle resistenze ($\gamma_R = 1.15$) e sull'aderenza di ($\gamma_R = 1.3$) come concordato con BBT SE. Gli ancoraggi sono stati riprodotti con specifici elementi monodimensionali (Truss) aventi comportamento elastico perfettamente plastico (Figura 5) con criterio di rottura alla Von Mises ($N_{yd} = N_{yk}/1.15 = 348$ kN) collegati ai nodi della griglia mediante un'interfaccia considerando valori cautelativi di resistenza a taglio (190 kN/m) e rigidità tangenziale (15 MN/m/m) [32].

Analogamente al Rapporto [11], l'effetto del consolidamento del contorno del cavo è stato modellato tramite uno strato di materiale con parametri di resistenza lievemente superiori del

Abbildung 3 angegeben ist.

Zur Modellierung des Spritzbetons wurden eindimensionale Elemente - beam mit elastischem Verhalten angenommen. Vorsichtshalber wurden zwei Analysen durchgeführt: eine mit $E = 5 \text{ GPa}$, um die Verformungen zu maximieren und eine mit $E = 15 \text{ GPa}$, um die Belastungen zu maximieren. Der Wert $E = 15 \text{ GPa}$ entspricht ca. 50% der Steifigkeit eines verhärteten Betons mittlerer Klasse; auf diese Weise ist es möglich das typische Verhalten der viskosen Verformung und des Schwindens zu berücksichtigen.

Die numerische Modellierung modelliert nicht die Stahlbögen aufgrund des konservativen Ansatzes, die Stahlbögen wurden nur bei den Abschnittsüberprüfungen aus Anlage 3 berücksichtigt.

materiale circostante come illustrato in Appendice 3.

Per la modellazione dello spritzbeton si sono assunti elementi monodimensionali beam con comportamento elastico. In via cautelativa si sono eseguite due analisi: una con $E = 5 \text{ GPa}$ per massimizzare le deformazioni e una con $E = 15 \text{ GPa}$ per massimizzare le sollecitazioni. Il valore di $E = 15 \text{ GPa}$, corrisponde a circa il 50% della rigidezza di un calcestruzzo indurito di classe media; in questo modo è possibile considerare il caratteristico comportamento di deformazione viscosa e il ritiro.

Nella modellazione numerica, secondo un approccio conservativo, le centine non sono state modellate ma solamente considerate nelle verifiche sezionali riportate in Appendice 3.

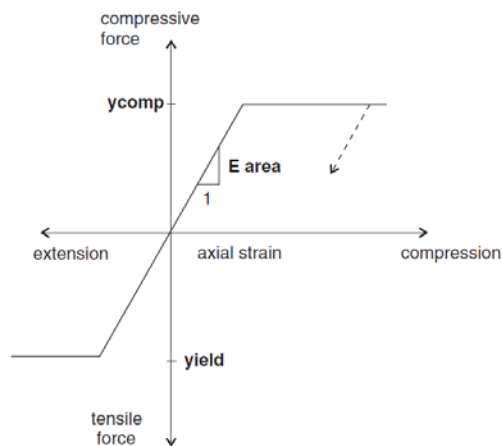


Abbildung 5: Kraft-Verformungsverhalten der Anker-Elemente
5.2.1.3 Laststufen

Nach einer ersten Phase der Modellinitialisierung, zur Berechnung des Ausgangsgleichgewichts, wird die Tunnelaushebung der GL und FdE-CcT mittels Trägheitskräften der Aushebung simuliert (späterhin FFS). Der Prozentsatz dieser Kräfte an der Ortsbrust wurde aufgrund der Ergebnisse des Kennlinienverfahrens bestimmt (Anhang 2).

Figura 5: Comportamento sforzo-deformazione per gli ancoraggi
5.2.1.3 Step di carico

Dopo una prima fase di inizializzazione del modello, necessaria per calcolare l'equilibrio iniziale, lo scavo della GL e del FdE-CcT viene simulato mediante l'utilizzo delle Forze Fittizie di Scavo, di seguito denominate FFS. La percentuale di tali forze è definita sulla base dei risultati delle Linee Caratteristiche (vedasi Appendice 2).

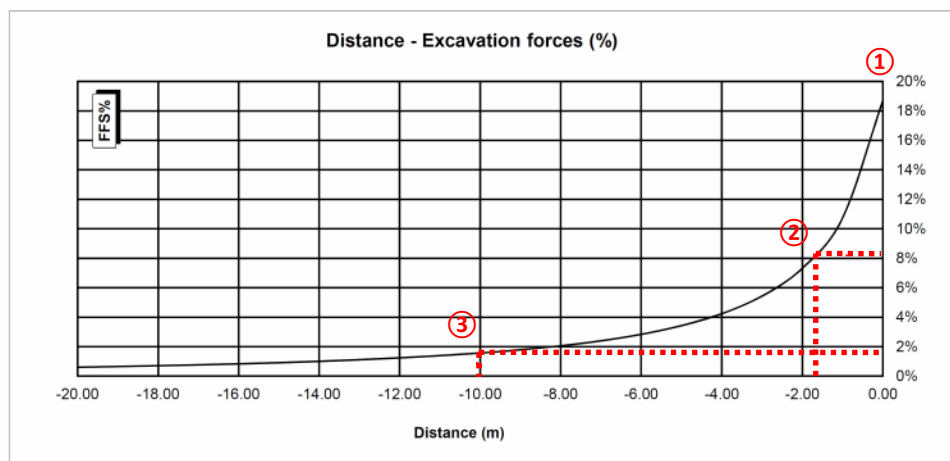


Abbildung 6: FFS an der Ortsbrust und bei Einsetzung der Anker

Figura 6: FFS al fronte e all'installazione delle chiodature

Nachfolgend sind die Berechnungsstufen zusammengefasst:

- 0) Geostatische Ausgangslage mit Bestimmung der Geometrie, der Randbedingungen, der Stratigraphie und der geostatischen Ausgangsspannungen;
- 1) Einführung der befestigten Zone am Umriss und Verringerung der FFS Werte bis zum Wert, den sie an der Ortsbrust einnehmen (FFS =18%);
- 2) Reduktion der FFS bis zum Wert, den sie bei der Einsetzung der Außenschale einnehmen (1.5 m von der Ortsbrust) (FFS =8%);
- 3) Einführung in das numerische Modells der radialen Anker in die Kalotte (für FdE-CcT T4) und Verringerung der FFS auf ca. 2% (10.0m von Ortsbrust - 1 Durchmesser);
- 4) Einführung des Spritzbetons (Kalotte $s_{tot} = 24$ cm, $E = 15$ GPa; Sohlgewölbe $s_{tot} = 28$ cm, $E = 15$ GPa) und Annullierung der FFS (FFS=0%).
- 5) Entfernung der Außenschale und Simulation der Langzeitkonfiguration mit der Einsetzung der Innenschale. Diese ist mit der Mesh mittels eines Schnittstellenelements verbunden, mit normaler Steifigkeit, die dem Gebirge entspricht, und tangentialer Steifigkeit gleich Null. Dieses Schnittstellenelement ermöglicht es, die Wirkung der Abdichtungsschicht zwischen den zwei Schalen zu berücksichtigen, indem es die tangentialen Spannungen annulliert, sowie die Drücke abzuschätzen, die auf der Innenschale wirken.

Für die Anbringung des Spritzbetons nimmt man an, dass dieser nur dann in Spannung gerät, nachdem der Hohlraum die Gesamtkonvergenz gleich des Mehrausbruchs (10 cm) erreicht, um zu berücksichtigen, dass die Stahlbögen für den Querschnitt mit bereits erfolgter Verformung vorgesehen sind. Vorsichtshalber nimmt man an, dass der Spritzbeton bei ca. 1 Durchmesser angebracht wird (Gesamtkonvergenz kleiner Mehrausbruch mit FFS -Werten gleich ca. 2%).

5.2.1.4 Nachweisverfahren

Gemäß den NTC 2008 werden die Einwirkungen auf die Außenschale, die dem FEM Modell entnommen sind, um $\gamma_G = 1,30$ erhöht und die Widerstände des strukturellen Abschnitts um $\gamma_c = 1,50$ reduziert, das heißt $\gamma_s = 1,15$.

Die Nachweise gelten erfüllt, wenn folgende Ungleichung verifiziert ist:

$$E_d \leq R_d$$

Di seguito sono riassunti gli step di calcolo:

- 0) Condizione geostatica iniziale con definizione della geometria, delle condizioni al contorno, della stratigrafia e delle tensioni geostatiche iniziali;
- 1) Inserimento zona consolidata al contorno e riduzione delle forze FFS, fino al valore che assumono al fronte (FFS=18%);
- 2) Riduzione delle FFS fino al valore che assumono nel momento di installazione del rivestimento di prima fase (1.5 m dal fronte) (FFS=8%);
- 3) Introduzione nel modello numerico degli ancoraggi radiali in calotta (per FdE-CcT T4) e riduzione delle FFS a ca. 2% (10.0 m dal fronte - 1 diametro);
- 4) Introduzione dello spitz-beton (calotta $s_{tot} = 24$ cm, $E = 15$ GPa; arco rovescio $s_{tot} = 28$ cm, $E = 15$ GPa) e annullamento delle FFS (FFS=0%).
- 5) Rimozione del rivestimento di prima fase e simulazione della configurazione a lungo termine con l'installazione del rivestimento definitivo. Quest'ultimo è collegato alla mesh mediante un elemento interfaccia avente rigidità normale pari a quella dell'ammasso e rigidità tangenziale nulla. Quest'ultimo elemento, oltre a consentire di valutare le pressioni che agiscono sul rivestimento definitivo, consente di considerare l'effetto del pacchetto di impermeabilizzazione presente tra i due rivestimenti, annullando le tensioni tangenziali.

Per la messa in opera del betoncino proiettato si ipotizza che esso si carica solo dopo che il cavo ha raggiunto una convergenza totale pari all'extrascavo (10 cm) per tenere conto che lo sviluppo delle centine è stato previsto per la sezione di scavo con deformazione avvenuta. In via cautelativa si ipotizza che l'installazione del betoncino avviene a circa 1 diametro (convergenze totali minori dell'extrascavo) con valore delle FFS pari a ca. 2%.

5.2.1.4 Procedura di verifica

In conformità alle NTC 2008 le azioni ricavate dal modello FDM sul rivestimento di prima fase sono aumentate di $\gamma_G = 1,30$ e le resistenze della sezione strutturale sono ridotte di $\gamma_c = 1,50$ ovvero $\gamma_s = 1,15$.

Le verifiche risultano soddisfatte se è verificata la seguente disuguaglianza:

Hierbei ist:

- R_d = Bemessungswert Widerstand
- E_d = Bemessungswert Einwirkung

Die Anker, die ihre Streckgrenze erreichen ($N_{yd} = 348$ kN), überschreiten nicht die axiale Verformungsgrenze, die auf 5% gesetzt wurde.

5.2.1.5 Ergebnisse

Die in Anhang 4 aufgezeigten Analysen zeigen, dass die Zone oberhalb der GL West durch größere plastische Bildungen gekennzeichnet ist, die durch den darüber liegenden Ausbruch der FdE-CcT entstehen.

Die Gesamtkonvergenz der GL West bei Vorhandensein von Befestigungen und Verkleidungen beträgt ca. 85 mm (relative Konvergenz ca. 60 mm) mit Ausbildung eines plastischen Streifens von maximaler Ausdehnung von ca. 3/4 m. Der Schnitt FdE-CcT zeigt keine besonderen Probleme.

Die strukturellen Nachweise an der provisorischen Verkleidung erweisen sich als erfüllt und die Anker erreichen die Streckgrenze ($N_{yd} = 348$ kN), aber nicht die Stahlverformungsgrenze ($\epsilon < 5\%$).

Der vom Gebirge ausgeübte Druck auf die Innenschale, bei Verfall der Außenschale, beträgt 260 kPa für den Schnitt GL (geringere Werte bei FdE-CcT). Daher verweist man für die statische Bemessung der Innenschale auf die Berichte 02_H61_OP_060_KST_D0700_22910 Statischer Bericht FdE-CcT-T4/T6 (ab km 44.5+15.0 bis 45.3+ 75.0) und 02_H61_OP_070_KST_D0700_22905 Statischer Bericht GL-T4/T6.

Dove:

- R_d = Valore della resistenza di progetto
- E_d = Valore di progetto dell'effetto delle azioni

Inoltre si verifica che gli ancoraggi che raggiungono il limite di snervamento ($N_{yd} = 348$ kN) non superino il limite di deformazione assiale posto pari a 5%.

5.2.1.5 Risultati

Le analisi riportate nell'Appendice 4 evidenziano come la zona sovrastante la GL Ovest è interessata da una maggiore plasticizzazione dovuta allo scavo del sovrastante FdE-CcT.

La convergenza totale per la GL Ovest in presenza dei consolidamenti e dei rivestimenti è di ca. 85 mm (convergenza relativa ca. 60 mm) con la formazione di una fascia plastica di estensione massima di ca. 3/4 m. Per quanto riguarda la sezione FdE-CcT non si evidenziano particolari criticità.

Le verifiche strutturali sul rivestimento provvisorio risultano soddisfatte e gli ancoraggi raggiungono il limite di snervamento ($N_{yd} = 348$ kN) ma non il limite di deformazione dell'acciaio ($\epsilon < 5\%$).

La pressione esercitata dall'ammasso sul rivestimento definitivo, al decadimento del rivestimento di prima fase, è dell'ordine dei 260 kPa per la GL (valore inferiore per il FdE-CcT). Ne consegue che per il dimensionamento statico del rivestimento definitivo si rimanda ai rapporti 02_H61_OP_060_KST_D0700_22910 Relazione di calcolo FdE-CcT-T4/T6 (da km 44.5+15.0 a 45.3+ 75.0) e 02_H61_OP_070_KST_D0700_22905 Relazione di calcolo GL-T4/T6.

5.3 ANALYSE DER STANDSICHERHEIT DER ORTBRUST

5.3.1 Nachweisverfahren

Für die Durchführung der Ortsbrustnachweise werden die charakteristischen Werte der geotechnischen Parameter mit den folgenden Faktoren ab gemindert:

Parameter / Parametri	Symbol / Simbolo	Faktor / Fattore
Effektiver Reibungswinkel / Angolo di attrito effettivo ^a	γ_{φ}'	1.25
effektive Kohäsion / Coesione effettiva	γ_c'	1.25
undrainierte Scherfestigkeit / Resistenza a taglio non drenata	γ_{cu}	1.4
einaxiale Druckfestigkeit / Resistenza a compressione monoassiale	γ_{qu}	1.6
Wichte / Peso specifico	γ_{γ}	1
^a Dieser Faktor wird auf $\tan \varphi'$ angewendet / valore applicato alla tangente dell'angolo		

Tabelle 9: Teilsicherheitsfaktoren Ortsbrustnachweis

5.3 ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE

5.3.1 Procedura di verifica

Per l'esecuzione dei calcoli di stabilità del fronte vengono applicati i valori caratteristici dei parametri geotecnici ridotti con i seguenti fattori:

Tabella 9: Fattori parziali di sicurezza per la verifica di stabilità del fronte di scavo

5.3.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse des Kennlinienverfahrens schließen wichtige Instabilitätsphänomene der Ortsbrust für diese Gebirge aus. Die Bruchkörperanalyse, die mit der Software Unwedge durchgeführt wurde, zeigt, dass das Volumen der abbrechenden Felsblöcke unter 0.5 m³ liegt und deshalb können sie, wenn sie nicht schon bei der Sprengung abgebrochen sind, auf Anordnung des geotechnischen Fachmanns abgelöst werden.

Bei längerem Aufenthalt an der Ortsbrust ist zum Ortsbrustschutz der Einsatz einer faserverstärkten Spritzbetonschicht von mindestens 10 cm Stärke vorgesehen.

5.3.2 Risultati

I risultati delle linee caratteristiche escludono importanti fenomeni di instabilità del fronte di scavo per gli ammassi oggetto di studio. L'analisi dei blocchi, eseguita mediante il software Unwedge mostra come i blocchi distaccabili hanno un volume inferiore a 0.5 m³ e pertanto, se non già distaccati durante il brillamento, possono essere disgiunti su indicazione dell'esperto geotecnico.

In caso di sosta prolungata delle attività di scavo si prevede di installare uno strato di betoncino proiettato fibrorinforzato a protezione del fronte di spessore minimo 10 cm.

6 INNENSCHALE

Für die statische Bemessung der Innenschale verweist man auf die Berichte 02_H61_OP_060_KST_D0700_22910 Statischer Bericht *FdE-CcT-T4/T6 (ab km 44.5+15.0 bis 45.3+75.0)* und 02_H61_OP_070_KST_D0700_22905 Statischer Bericht *GL-T4/T6*.

6 RIVESTIMENTO DEFINITIVO

Per il dimensionamento statico del rivestimento definitivo si rimanda ai rapporti 02_H61_OP_060_KST_D0700_22910 Relazione di calcolo *FdE-CcT-T4/T6 (da km 44.5+15.0 a 45.3+75.0)* e 02_H61_OP_070_KST_D0700_22905 Relazione di calcolo *GL-T4/T6*.

7 VERZEICHNISSE

7.1 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 Geomechanische Homogenbereiche	7
Tabelle 2 Charakterisierung des Gebirges jeder homogenen Zone und Wahrscheinlichkeitsverteilung der unterschiedlichen Klassen (die mit [*] angegebenen Gebirge haben vorgesehene Längen von unter ca. 100m, während für die mit [**] angegeben Gebirge stellte sich heraus, dass die Literaturwechselbeziehungen zwischen RMR und nicht gültig sind; in beiden Fällen wurden die RMR und GSI Mittelwerte angewandt). 7	7
Tabelle 3 Typische Parameter des Gebirges in den unterschiedlichen Zonen und Klassen	8
Tabelle 4: Lage der Trennflächen	8
Tabelle 5: Ergebnisse Kennlinienverfahren. c_f = Ortsbrustkonvergenz, c_a = absolute Konvergenz am natürlichen Gleichgewicht, c_r = relative Konvergenz am natürlichen Gleichgewicht, F_{plf} = plastische Zone an der Ortsbrust, F_{pla} = plastische Zone Gleichgewicht, R = Ausbruchradius (mit 4.86m angenommen).	9
Tabelle 6: Vorgeschlagene Stabilitätskriterien in [24], [25]; c_f = Ortsbrustkonvergenz; F_{pf} = Ausdehnung des plastischen Streifens an der Ortsbrust; $R_{scavo} = r_{eq}$ = äquivalenter Ausbruchradius 10	10
Tabelle 7: Berücksichtigte geomechanische Parameter	14
Tabelle 8: Eigenschaften der Außenschale.....	15
Tabelle 9: Teilsicherheitsfaktoren Ortsbrustnachweis	19

7.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Auszug aus dem geomechanischen Längsprofil und des geologischen Lageplans [3], [4], [5] mit Angabe des Untersuchungsgebietes.....	4
Abbildung 2: Auszug aus dem Lageplan des Untersuchungsgebietes mit Angabe des Mindestabschnittes, an dem die Maßnahmen der Klasse T4 oder höher angewandt werden müssen. 5	5
Abbildung 3: Qualitative Darstellung der Einwirkung aus dem Gebirge auf die Schale bei stark trennflächendominiertem Gebirgsverhalten 11	11
Abbildung 4: Analyseabschnitt Interferenz GL-T4 /FdE-CcT T4 14	14
Abbildung 5: Kraft-Verformungsverhalten der Anker-Elemente 16	16

7 ELENCHI

7.1 ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1: Zone geomeccaniche omogenee.....	7
Tabella 2: Caratterizzazione degli ammassi di ciascuna zona omogenea e distribuzione probabilistica delle diverse classi (gli ammassi indicati con [*] hanno lunghezze previste inferiori a circa 100m, mentre per quelli indicati con [**] non risultano valide le correlazioni da letteratura tra RMR e GSI; in entrambi i casi sono stati adottati i valori medi di RMR e GSI).	7
Tabella 3: Parametri caratteristici dell'ammasso nelle diverse zone e classi 8	8
Tabella 4: Giacitura delle discontinuità	8
Tabella 5: Risultati del metodo delle Linee Caratteristiche. c_f = convergenza al fronte, c_a = convergenza assoluta all'equilibrio naturale, c_r = convergenza relativa all'equilibrio naturale, F_{plf} = fascia plastica al fronte, F_{pla} = fascia plastica all'equilibrio naturale, R = raggio di scavo (assunto pari a 4.86m)	9
Tabella 6: Criteri di stabilità proposti in [24], [25]; c_f = convergenza al fronte; F_{pf} = estensione della fascia plastica al fronte; $R_{scavo} = r_{eq}$ = raggio equivalente di scavo.	10
Tabella 7: Parametri geomeccanici considerati	14
Tabella 8: Caratteristiche rivestimenti di prima fase	15
Tabella 9: Fattori parziali di sicurezza per la verifica di stabilità del fronte di scavo.....	19

7.2 ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI

Figura 1: Estratto del profilo geomeccanico longitudinale e della planimetria geologica [3], [4], [5] con indicazione dell'area di studio. 4	4
Figura 2: Estratto planimetrico dell'area di indagine con l'indicazione della tratta minima in cui devono essere applicati provvedimenti in classe T4 o superiore.	5
Figura 3: Rappresentazione qualitativa degli effetti dell'ammasso sul rivestimento, in caso di ammasso altamente fratturato 11	11
Figura 4: Sezione di analisi interferenza GL T4/FdE-CcT T414	
Figura 5: Comportamento sforzo-deformazione per gli ancoraggi 16	16
Figura 6: FFS al fronte e all'installazione delle chiodature. 16	16

7.3 ANLAGENVERZEICHNIS

- ANHANG 1 – GEOMECHANISCHE KARTEN
- ANHANG 2 - KENNLINIENVERFAHREN
- ANHANG 3 - BRUCHKÖRPERANALYSE
- ANHANG 4 - FEM-ANALYSE DER AUßENSCHALE

7.4 REFERENZDOKUMENTE

7.4.1 Eingangsdokumente

7.4.1.1 Ausführungsprojekt Baulos Mault 2-3

- [1] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13018 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Allgemeiner geomechanischer Bericht
- [2] 02_H61_GD_040_GTB_D0700_22001 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Geomechanischer Detailbericht
- [3] 02_H61_GD_040_GLS_D0700_22002 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Geomechanischer und Planungsvorprofil - GL-T, FdE-GL-T, FdE-GL-TT, GL-CM Ost - von km 44+192 bis km 46+769
- [4] 02_H61_GD_040_GLS_D0700_22003 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Geomechanischer und Planungsvorprofil - GL-T, FdE-GL-T, FdE-GL-TT, GL-CM West - von km 44+155 bis km 46+732
- [5] 02_H61_GD_040_GLS_D0700_22004 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Geomechanischer und Planungsvorprofil - GA-T, FdE-CCT-T
- [6] 02_H61_EG_991_KBA_D0700_55001 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 - Bauprogramm
- [7] 02_H61_EG_995_KTB_D0700_15003 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 – Sicherheit bzgl. Feuerexposition
- [8] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13034 - Brenner

7.3 ELENCO APPENDICI

- APPENDICE 1 - SCHEDE GEOMECCANICHE
- APPENDICE 2 - CURVE CARATTERISTICHE
- APPENDICE 3 - ANALISI DEI BLOCCHI
- APPENDICE 4 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

7.4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

7.4.1 Documenti in ingresso

7.4.1.1 Progetto Esecutivo Lotto Mault 2-3

- [1] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13018 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali - Relazione tecnica - Relazione geomeccanica generale
- [2] 02_H61_GD_040_GTB_D0700_22001 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali Parte 2 - Relazione geomeccanica di dettaglio
- [3] 02_H61_GD_040_GLS_D0700_22002 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali Parte 2 - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione - GL-T, FdE-GL-T, FdE-GL-TT, GL-CM Est - da km 44+192 a km 46+769
- [4] 02_H61_GD_040_GLS_D0700_22003 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali Parte 2 - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione - GL-T, FdE-GL-T, FdE-GL-TT, GL-CM Ovest - da km 44+155 a km 46+732
- [5] 02_H61_GD_040_GLS_D0700_22004 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Opere generali Parte 2 - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione - GA-T, FdE-CCT-T
- [6] 02_H61_EG_991_KBA_D0700_55001 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Programma Lavori Lotto Mault 2-3
- [7] 02_H61_EG_995_KTB_D0700_15003 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Sicurezza nei riguardi di

Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos
Mauls 2-3 – Geologischer Längenschnitt
Zugangstunnel Trens

esposizione al fuoco

[8] 02_H61_GD_992_GLS_D0700_13034 - Galleria di
Base del Brennero - Progettazione esecutiva -
D0700: Lotto Mules 2-3 - Profilo geologico Galleria di
accesso Trens

7.4.1.2 Technische Projektaufbereitung

- [9] Geomechanischer Bericht Hauptröhren Mauls PMF
Trens“
- [10] Geomechanischer Bericht Erkundungsstollen Mauls-
Brenner

7.4.1.2 Elaborazione tecnica del progetto

- [9] Relazione geomeccanica Canne principali Mules
PMF Trens
- [10] Relazione geomeccanica Cunicolo esplorativo Mules-
Brennero

7.4.1.3 Ausführungsprojekt Erweiterung Baulos Mauls 1

- [11] D0755/02-V04-OP.EN 01.01 - Statischer Bericht
Außenschale - Haupttunnel km 46+800/47+800

7.4.1.3 Progetto Esecutivo Estensione Lotto Mules 1

- [11] D0755/02-V04-OP.EN 01.01 - Relazione statica
rivestimento di prima fase - Galleria di linea km
46+800/47+800

7.4.2 Normen und Richtlinien

- [12] Norme Tecniche delle Costruzioni 2008 – NTC 2008
- [13] Circolare n.617, Istruzioni per l'applicazione delle
“Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al
DM 14 gennaio 2008
- [14] DM 28/10/2005 Sicherheit für Bahntunnel
- [15] UNI EN1990:2006 - Eurocode 0 – Grundlage für
Konstruktion und Dokumentation zur nationalen
Umsetzung ;
- [16] UNI EN 1991-1; Eurocode 1 – Actions on structures
– 2010/2011
- [17] UNI EN 1992:2005 - Eurocode 2 – Planung von
Stahlbetonbauwerken und Dokumente zur nationalen
Umsetzung;
- [18] UNI EN 1997:2005 - Eurocode 7 – Geotechnik und
Dokumente zur nationalen Umsetzung
- [19] UNI EN 1992-1-2:2005 Planung von
Stahlbetonbauwerken Teil 1-2: Allgemeinregelung –
Brandschutz Strukturplanung
- [20] UNI 11076 del 1 luglio 2003, "Modalità di prova per la
valutazione del comportamento di protettivi applicati
a soffitti di opere sotterranee, in condizioni di incendi"
- [21] .M. 16.02.2007 "Classificazione di resistenza al fuoco
di prodotti ed elementi costruttivi di opere da
costruzione"

7.4.2 Normativa

- [12] Norme Tecniche delle Costruzioni 2008 – NTC 2008;
- [13] Circolare n.617, Istruzioni per l'applicazione delle
“Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al
DM 14 gennaio 2008
- [14] DM 28/10/2005 , Sicurezza nelle gallerie ferroviarie.
- [15] UNI EN1990:2006 - Eurocodice 0 – Basi per la
progettazione strutturale e documento di applicazione
nazionale3
- [16] UNI EN 1991-1; Eurocode 1 – Actions on structures
– 2010/2011
- [17] UNI EN 1992:2005 - Eurocodice 2 – Progettazione
delle strutture in calcestruzzo e documento di
applicazione nazionale
- [18] UNI EN 1997:2005 - Eurocodice 7 – Progettazione
geotecnica e documento di applicazione nazionale
- [19] UNI EN 1992-1-2:2005 "Progettazione delle strutture
in calcestruzzo Parte 1-2: Regole generali -
Progettazione strutturale contro l'incendio"
- [20] UNI 11076 del 1 luglio 2003, "Modalità di prova per la
valutazione del comportamento di protettivi applicati
a soffitti di opere sotterranee, in condizioni di
incendi".
- [21] D.M. 16.02.2007 "Classificazione di resistenza al
fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da
costruzione"

7.4.3 Literatur

7.4.3 Letteratura

- [22] Ribacchi R., Riccioni R. – Stato di sforzo e di deformazione intorno ad una galleria circolare. Gallerie e grandi opere sotterranee, 1977.
- [23] Nguyen-Minh D., Guo C. – Recent progress in convergence confinement method”, Eurock '96, pagg. 855-860.
- [24] Gamble J.C. – Durability-plasticity classification of shales. Ph. D. Thesis, University of Illinois, 1971.
- [25] Sakurai – Lessons Learned from Field Measurements in Tunneling. Tunneling and Underground Space Technology, 1997.
- [26] HOEK E., CARRANZA TORRES C., CORKUM B. – Hoek-Brown failure criterion. 2002
- [27] UNWEDGE-rocscience, Underground Wedge Stability Analysis Manual
- [28] Wang, J., 1993 - Seismic Design of Tunnels - A Simple State-of-the-Art Design
- [29] Hashash, Y., et al., 2001, - Seismic design and analysis of underground structures, Tunnelling and underground space technology 16, (247-293)
- [30] Pöttler, R. Die unbewehrte Innenschale im Felstunnelbau - Standsicherheit und Verformung im Reißbereich, Beton und Stahlbetonbau Heft 6, 1993
- [31] Pöttler, R. Standsicherheitsnachweis unbewehrter Innenschalen, Bautechnik 67, 1990
- [32] Rocscience Phase2 online manual (Swelllex / Split Sets Section - indicazioni Atlas Copco 2006)
- [33] Cai M., Kaiser P.K., Tasaka Y., Minami M. - Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 44 pag. 247-256, 2007
- [34] MIDAS GTS Manual
- [22] Ribacchi R., Riccioni R. – Stato di sforzo e di deformazione intorno ad una galleria circolare. Gallerie e grandi opere sotterranee, 1977.
- [23] Nguyen-Minh D., Guo C. – Recent progress in convergence confinement method”, Eurock '96, pagg. 855-860.
- [24] Gamble J.C. – Durability-plasticity classification of shales. Ph. D. Thesis, University of Illinois, 1971.
- [25] Sakurai – Lessons Learned from Field Measurements in Tunneling. Tunneling and Underground Space Technology, 1997.
- [26] HOEK E., CARRANZA TORRES C., CORKUM B. – Hoek-Brown failure criterion. 2002
- [27] UNWEDGE-rocscience, Underground Wedge Stability Analysis Manual
- [28] Wang, J., 1993 - Seismic Design of Tunnels - A Simple State-of-the-Art Design
- [29] Hashash, Y., et al., 2001, - Seismic design and analysis of underground structures, Tunnelling and underground space technology 16, (247-293)
- [30] Pöttler, R. Die unbewehrte Innenschale im Felstunnelbau - Standsicherheit und Verformung im Reißbereich, Beton und Stahlbetonbau Heft 6, 1993
- [31] Pöttler, R. Standsicherheitsnachweis unbewehrter Innenschalen, Bautechnik 67, 1990
- [32] Rocscience Phase2 online manual (Swelllex / Split Sets Section - indicazioni Atlas Copco 2006)
- [33] Cai M., Kaiser P.K., Tasaka Y., Minami M. - Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 44 pag. 247-256, 2007
- [34] MIDAS GTS Manual

ANHANG 1 - GEOMECHANISCHE KARTEN

Nachfolgend werden die geomechanischen Karten der Gebirge GA-BST-KS-8f, GA-BCA-A-10g und GA-BCA-GS-10g laut Dokument [9][10] angeführt.

APPENDICE 1 - SCHEDE GEOMECCANICHE

Di seguito sono riportate le schede geomeccaniche per gli ammassi rocciosi GA-BST-KS-8f, GA-BCA-A-10g e GA-BCA-GS-10g secondo il Documento [9].

Geotechnische Kennwerte	Gebirgsart GA-BCA-GS-10g		
Parametri geotecnici	Tipo di ammasso roccioso GA-BCA-GS-10g		
Lithologie	Glimmerschiefer und Paragneis ("Paraschiefer"), untergeordnet Amphibolit, lokal Orthogneis - 801b		
Litologia	Paragneiss e micascisti ("parascisto"), subordinato anfibolite, localmente ortogneiss - 801b		
Gesteinskennwerte / Mineralogie (Labor)	Mittelwert (M)	Standardabweichung (s)	Versuchszahl (n)
Parametri della roccia / Mineralogia (Laboratorio)	Valore medio (M)	Deviazione standard (s)	Numero di prove (n)
γ [MN/m ³]	0,02731	\pm 0,00149	4
σ_{ci} [MPa] min (F 45° sf)	75	\pm 5	4
σ_{ci} [MPa]			
m_i [-] (Hoek&Brown) geschätzt / stimato	17		
E [MPa] aus Einax.-Druckversuch / da prova uniaassiale	56400	\pm 10900	4
ν [-] geschätzt / stimato	0,24		
CAI [-]	3,8	\pm 0,5	4
äquiv. Qz-Gehalt / Contenuto equ.di Qz [%]	80	\pm 8	3
Quellpotential / Potenziale di swelling	keines / assente		
Trennflächeneigenschaften (Kartierung / Bohrungen)	Statistische Auswertung der Orientierungen und Eigenschaften der Trennflächen		
Proprietà delle discontinuità (Rilevamento / Sondaggi)	Elaborazione statistica delle giaciture e delle proprietà delle discontinuità		
Schieferung: Orientierung / Abstand	S: 345/45		
Scistosità: Giacitura / Spaziatura			
Trennflächenorientierung [°] (Vertrauenskegel)	RTF1: 160/80	RTF3: 300/85	
Giacitura delle discontinuità (Cono di confidenza)	RTF2w: 255/75	RTF6: 020/80	
Trennflächenabstände [mm]	RTF1: 60-200	RTF3: 200-600	S: 60-200
Spaziatura delle discontinuità	RTF2w: 60-200	RTF6: 200-600	
Trennflächendurchgängigkeit [m]	RTF1: <1	RTF3: <1	S: 1-3
Persistenza delle discontinuità	RTF2w: <1	RTF6: 1-3	
Trennflächenöffnung [mm]	RTF1: 0	RTF3: 0	S: 0
Apertura della discontinuità	RTF2w: 0	RTF6: 0	
Trennflächenrauigkeit JRC _{Co} [-]	RTF1: 10-12	RTF3: 12-14	S: 4-8
Rugosità delle discontinuità	RTF2w: 8-10	RTF6: 10-12	
Trennflächenverwitterung (ENISO 14689-1)			
Alterazione delle discontinuità			
Trennflächenfüllung (Typ u. %-Anteil)			
Riempimento delle discontinuità (tipo e %)			
Trennflächenkennwerte (Labor)		Bandbreite	Versuchszahl (n)
Parametri delle discontinuità (Laboratorio)		Range	Numero di prove (n)
Φ_{res} [°] (unverwitt. TF / Disc. inalterate)		35 - 40*	
c_{res} [MPa] (unverwitt. TF / Disc. inalterate)		0,05 - 1,0*	
Gebirgskennwerte in-Situ		Bandbreite	Versuchszahl (n)
Parametri dell'ammasso roccioso in sito		Range	Numero di prove (n)
E [MPa] (BLA / Prova dilatometrica)			
Gebirgskennwerte	Statistik der Indexwerte u. berechnete Festigkeits- und Verformungsparameter		
Parametri dell'ammasso roccioso	Statistica dei parametri indice e parametri di resistenza e deformabilità calcolati		
Indexwerte (Kartierung / Bohrungen)	Mittelwert (M)	Standardabweichung (s)	Versuchszahl (n)
Parametri indice (Rilevamento / Sondaggi)	Valori medio (M)	Deviazione standard (s)	Numero di prove (n)
RQD [%] (ISRM)	80	\pm	
RMR [-] (Bieniawski, 1999)	60	\pm	
GSI [-] (Hoek)	50	-	-
Festigkeits- u. Verformungskennwerte (berechnet)	Kombination 1: M	Kombination 2: M - s	Kombination 3: M + s
Parametri di resistenza e deformabilità (calcolati)	Combinazione 1: M	Combinazione 2: M - s	Combinazione 3: M + s
α [MPa] (Hoek&Brown)	4,5	4,2	4,8
α_{cm} [MPa] (Hoek&Brown)	16,9	15,8	18,0
c [MPa] (Mohr-Coulomb): $H_{min}=600m / H_{med}=990m / H_{max}=1200m$	2,4 / 3,3 / 3,7	2,4 / 3,2 / 3,6	2,5 / 3,4 / 3,8
ϕ [°] (Mohr-Coulomb): $H_{min}=600m / H_{med}=990m / H_{max}=1200m$	43 / 39 / 37	42 / 38 / 37	43 / 39 / 38
E [MPa] (Boyd/Serafim 1983 / Hoek 2002 / Hoek&Diederichs 2006)	- / 8700 / 17300	- / 8400 / 14000	- / 8900 / 20700
Charakteristische Werte / Valori caratteristici		Inputparameter / Valori di input	
γ_k (Gebirge / ammasso) [kN/m ²]	27,0	GSI [-] - Hoek&Brown	50
$\alpha_{t,k}$ (Gestein / roccia) [MPa]	70	RMR [-] - Bieniawski	60
$\alpha_{m,k}$ (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa]	15,7	σ_v ($\gamma \cdot H_{min}/med/max$) [MPa]	16,2 / 26,7 / 32,4
c_k (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa] - $H_{min}/med/max$	2,4 / 3,2 / 3,6	k_0 [-]	0,8-1,0
ϕ_k (Gebirge / ammasso roccioso) [°] - $H_{min}/med/max$	42 / 38 / 37		
E_k (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa]	8000*		
Bemerkungen	Laborergebnisse Datenblatt 801 a		
Note	* Daten aus Einreichprojekt		
	Risultati prove di laboratorio scheda 801 a		
	* Dati da progetto definitivo		

BCA-GS-10g: Gebirgsverhaltenstyp GVT 2	
BCA-GS-10g: Comportamento dell'ammasso roccioso TCR 2	
Gebirgsart : BCA-GS-10g	
SW 263°	NE 83°
NW 353°	SE 173°
Gebirgsarten	BCA-GS-10g: Glimmerschiefer und Paragneis, untergeordnet Amphibolit, Orthogneis - 801
Tipo di ammasso roccioso	BCA-GS-10g: Paragneiss e micascisti, subordinato anfibolite, loc. ortogneiss - 801b
Orientierung der Haupttrennflächen	Steil einfallende, schleiend, quer bzw. senkrecht zur Tunnelachse verlaufende Trennfläche Schieferung: mittelsteil einfallend, senkrecht zur Tunnelachse
Direzione delle discontinuità principali	Discontinuità ad alta inclinazione con direzione subparallela, trasversale e perpendicolare all'asse tunnel (AT); Scistosità ad inclinazione media con direzione perpendicolare all'AT
Druckhaftigkeit $\sigma_{cm,k}/\sigma_{max}$ (Hoek 2000)	$\geq 0,48$: nachbrüchig
Rapporto di sollecitazione $\sigma_{cm,k}/\sigma_{max}$	$\geq 0,48$: friabile
Einfluss des Bergwassers	vernachlässigbar
Influenza della falda	trascurabile
Quelldruck	keiner
Pressione di rigonfiamento	assente
Gebirgsverhalten	GVT 2: Oberflächliche Ablösungen und Ausbrüche entlang durchgängiger Trennflächen Ortsbrust stabil
Comportamento dell'ammasso roccioso	TCR 2: Distacchi superficiali e distacchi lungo discontinuità persistenti Fronte di scavo stabile
Radialdeformation	< 10 cm (Kennlinienverfahren)
Deformazione radiale	< 10 cm (Metodo delle curve caratteristiche)
Bemerkungen	Überlagerung: 600 - 1200 m
Note	Coperatura: 600 - 1200m

Geotechnische Kennwerte	Gebirgsart GA-BCA-A-10g		
Parametri geotecnici	Tipo di ammasso roccioso GA-BCA-A-10g		
Lithologie	Amphibolit - 802, untergeordnet Paragneis und Quarzit (805)		
Litologia	Anfibolite - 802, subordinato paragneiss e quarzite (805)		
Gesteinskennwerte / Mineralogie (Labor)	Mittelwert (M)	Standardabweichung (s)	Versuchszahl (n)
Parametri della roccia / Mineralogia (Laboratorio)	Valore medio (M)	Deviazione standard (s)	Numero di prove (n)
γ [MN/m ³]	0,02778	\pm 0,00052	33
α_i [MPa]	140	\pm 48	11
α_c [MPa]			
m [-] (Hoek&Brown) aus Triax.-Druckversuch / da prova triassiale	20	\pm 6	8
E [MPa] aus Einax.-Druckversuch / da prova uniassiale	53100	\pm 8000	11
ν [-] aus Einax.-Druckversuch / da prova uniassiale	0,24	\pm 0,06	10
CAI [-]	4,33	\pm 0,39	2
äquiv. Oz-Gehalt / Contenuto equ. di Oz [%]	52	\pm 2,5	4
Quellpotential / Potenziale di swelling	keines / assente		
Trennflächeneigenschaften (Kartierung / Bohrungen)	Statistische Auswertung der Orientierungen und Eigenschaften der Trennflächen		
Proprietà delle discontinuità (Rilevamento / Sondaggi)	Elaborazione statistica delle giaciture e delle proprietà delle discontinuità		
Schieferung: Orientierung / Abstand	S: 345/45		
Scistosità: Giacitura / Spaziatura			
Trennflächenorientierung [°] (Vertrauenskegel)	RTF1: 160/80	RTF3: 300/85	
Giacitura delle discontinuità (Cono di confidenza)	RTF2w: 255/75	RTF6: 020/80	
Trennflächenabstände [mm]	RTF1: 60-200	RTF3: 200-600	S: 200-600
Spaziatura delle discontinuità	RTF2w: 60-200	RTF6: 200-600	
Trennflächendurchgängigkeit [m]	RTF1: <1	RTF3: <1	S: 1-3
Persistenza delle discontinuità	RTF2w: <1	RTF6: 1-3	
Trennflächenöffnung [mm]	RTF1: 0	RTF3: 0	S: 0
Apertura della discontinuità	RTF2w: 0	RTF6: 0	
Trennflächenrauigkeit JRC ₀ [-]	RTF1: 10-12	RTF3: 12-14	S: 4-8
Rugosità delle discontinuità	RTF2w: 8-10	RTF6: 10-12	
Trennflächenverwitterung (EN ISO 14689-1)			
Alterazione delle discontinuità			
Trennflächenfüllung (Typ u. %-Anteil)			
Riempimento delle discontinuità (tipo e %)			
Trennflächenkennwerte (Labor)	Bandbreite		Versuchszahl (n)
Parametri delle discontinuità (Laboratorio)	Range		Numero di prove (n)
$\varphi_{res} / \varphi_{base}$ [°] (unverwitt. TF / Disc. inalterate)	35 - 39 / 27 - 30		5 / 5
c _{res} [MPa] (unverwitt. TF / Disc. inalterate)	0,03 - 0,53		5
Gebirgskennwerte in-Situ	Bandbreite		Versuchszahl (n)
Parametri dell'ammasso roccioso in sito	Range		Numero di prove (n)
E [MPa] (BLA / Prova dilatometrica)			
Gebirgskennwerte	Statistik der Indexwerte u. berechnete Festigkeits- und Verformungsparameter		
Parametri dell'ammasso roccioso	Statistica dei parametri indice e parametri di resistenza e deformabilità calcolati		
Indexwerte (Kartierung / Bohrungen)	Mittelwert (M)	Standardabweichung (s)	Versuchszahl (n)
Parametri indice (Rilevamento / Sondaggi)	Valori medio (M)	Deviazione standard (s)	Numero di prove (n)
RQD [%] (ISRM)	90	\pm	
RMR [-] (Bieniawski, 1999)	70	\pm	
GSI [-] (Hoek)	65	\pm 10	-
Festigkeits- u. Verformungskennwerte (berechnet)	Kombination 1: M	Kombination 2: M - s	Kombination 3: M + s
Parametri di resistenza e deformabilità (calcolati)	Combinazione 1: M	Combinazione 2: M - s	Combinazione 3: M + s
σ_c [MPa] (Hoek&Brown)	19,9	7,4	46,8
σ_{cm} [MPa] (Hoek&Brown)	46,7	20,9	88,3
c [MPa] (Mohr-Coulomb): H _{min} =600m / H _{med} =990m / H _{max} =1200m	4,5 / 5,8 / 6,5	2,8 / 3,7 / 4,2	7,0 / 8,8 / 9,7
φ [°] (Mohr-Coulomb): H _{min} =600m / H _{med} =990m / H _{max} =1200m	52 / 49 / 47	44 / 40 / 38	58 / 55 / 54
E [MPa] (Boyd/Serafim 1983 / Hoek 2002 / Hoek&Diederichs 2006)	- / 23700 / 33500	- / 12800 / 18400	- / 42200 / 50700
Charakteristische Werte / Valori caratteristici		Inputparameter / Valori di input	
γ_k (Gebirge / ammasso) [kN/m ³]	28,0	GSI [-] - Hoek&Brown	55
$\alpha_{i,k}$ (Gestein / roccia) [MPa]	92*	RMR [-] - Bienawski	70
$\alpha_{m,k}$ (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa]	24,8	σ_v ($\gamma \cdot H_{min}/med/max$) [MPa]	16,8 / 27,8 / 33,6
c _k (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa] - H _{min} /med/max	3,0 / 4,1 / 4,6	ko [-]	0,8-1,0
φ_k (Gebirge / ammasso roccioso) [°] - H _{min} /med/max	47 / 43 / 41		
E _k (Gebirge / ammasso roccioso) [MPa]	12000		
Bemerkungen	*Wert: M-s		
Note	*Valore: M-s		

BCA-A-10g: Gebirgsverhaltenstyp GVT 2	
BCA-A-10g: Comportamento dell'ammasso roccioso TCR 2	
Gebirgsart : BCA-A-10g	
SW 263°	NE 83° NW 353° SE 173°
Gebirgsarten	BCA-A-10g: Amphibolit - 802, untergeordnet Paragneis und Quarzit (805)
Tipo di ammasso roccioso	BCA-A-10g: Anfibolite - 802, subordinato paragneiss e quarzite (805)
Orientierung der Haupttrennflächen	Steil einfallende, schleiend, quer bzw. senkrecht zur Tunnelachse verlaufende Trennfläche Schieferung: mittelsteil einfallend, senkrecht zur Tunnelachse
Direzione delle discontinuità principali	Discontinuità ad alta inclinazione con direzione subparallela, trasversale e perpendicolare all'AT; Scistosità ad inclinazione media con direzione perpendicolare all'AT
Druckhaftigkeit $\sigma_{cm,k}/\sigma_{max}$ (Hoek 2000)	$\geq 0,74$: nachbrüchig
Rapporto di sollecitazione $\sigma_{cm,k}/\sigma_{max}$	$\geq 0,74$: friabile
Einfluss des Bergwassers	vernachlässigbar
Influenza della falda	trascurabile
Quelldruck	keiner
Pressione di rigonfiamento	assente
Gebirgsverhalten	GVT 2: Oberflächliche Ablösungen und Ausbrüche entlang durchgängiger Trennflächen Ortsbrust stabil
Comportamento dell'ammasso roccioso	TCR 2: Distacchi superficiali e distacchi lungo discontinuità persistenti Fronte di scavo stabile
Radialdeformation	< 10 cm (Kennlinienverfahren)
Deformazione radiale	< 10 cm (Metodo delle curve caratteristiche)
Bemerkungen	Überlagerung: 990 - 1200 m
Note	Coperatura: 990 - 1200 m

ANHANG 2 - KENNLINIENVERFAHREN

Nachfolgend werden die Kennlinien für die Gebirge GA-BCA-A-10g und GA-BCA-GS-10g wiedergegeben, durch die folgendes bestimmt werden kann:

- Radialer Druck - Konvergenz
- Konvergenz - Entfernung von Ortsbrust
- Radialer Druck - Ausdehnung des plastischen Streifens jenseits des Abbruchprofils
- Entfernung von Ortsbrust - Ausdehnung des plastischen Streifens jenseits des Abbauprofils
- Entfernung von Ortsbrust - fiktive Aushubkräfte

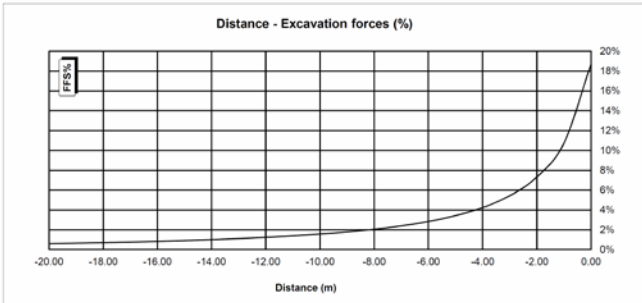
Die Kurve "Konvergenz - Entfernung von Ortsbrust" wurde durch ein vereinfachtes, analytisches Verfahren ermittelt, das die Relationen von Nguyen, Minh et al. [23] verwendet

APPENDICE 2 - CURVE CARATTERISTICHE

Di seguito sono riportate le curve caratteristiche per gli ammassi rocciosi GA-BCA-A-10g e GA-BCA-GS-10g, mediante le quali è stato possibile valutare:

- Pressione Radiale – Convergenza.
- Convergenza – Distanza dal Fronte.
- Pressione Radiale – Estensione della Fascia Plastica oltre il profilo di scavo.
- Distanza dal fronte – Estensione della Fascia Plastica oltre il profilo di scavo.
- Distanza dal Fronte – Forze Fittizie di Scavo

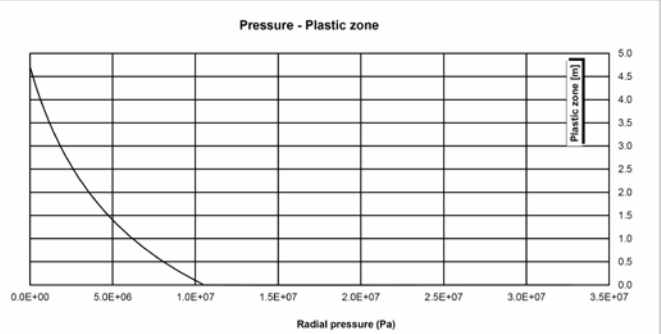
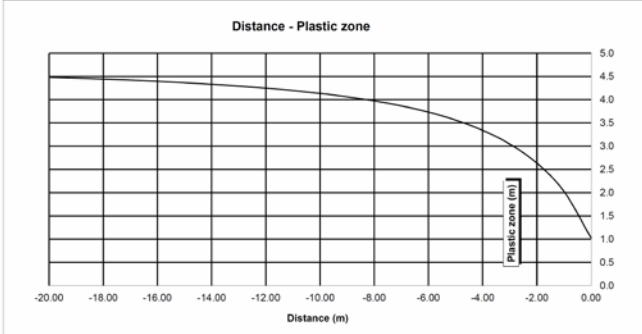
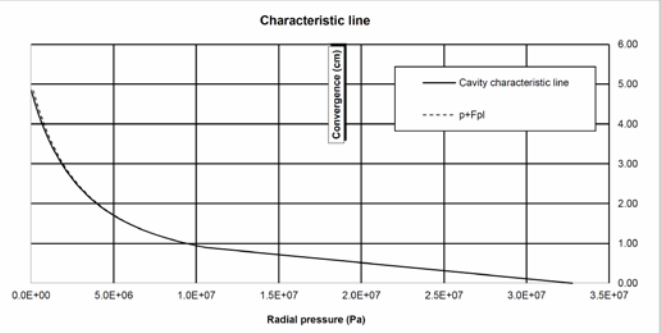
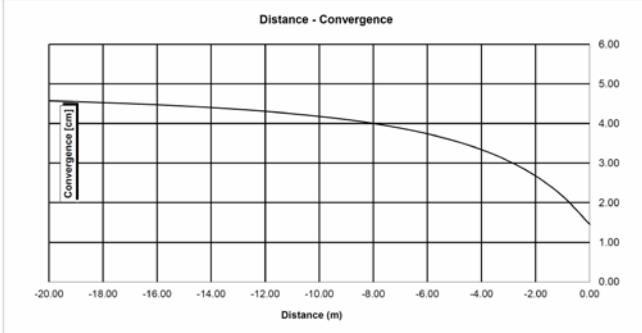
La curva "Convergenza – Distanza dal fronte" è stata ricavata attraverso un procedimento analitico semplificato che sfrutta le relazioni proposte da Nguyen, Minh et al. [23].

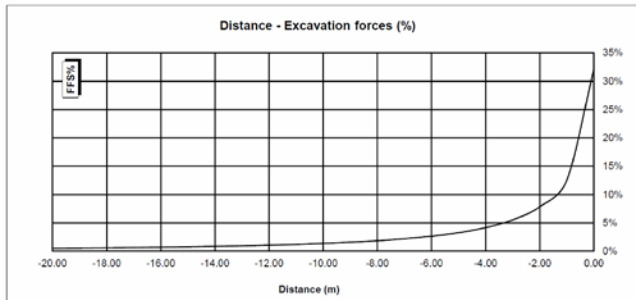


14_GA-BCA-GS-10g

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/mc]	27300	At final equilibrium	
Overburden [m]	1200	Total convergence [cm]	4.9
Excavation radius [m]	4.84	Convergence after excavation [cm]	3.4
		Plastic zone thickness [m]	4.7
Peak internal friction angle [°]	36.23	Equilibrium at excavation face	
Post peak internal friction angle [°]	28.85	Convergence [cm]	1.5
Peak cohesion [Pa]	3535000	1 - (deconfinement ratio) [%]	18.7%
Post peak cohesion [Pa]	2274000		
Deformation modulus [Pa]	1.55E+10		
Poisson's ratio [-]	0.3		
Dilation angle [°]	4.53		

c(face) / Radius	0.30 [%]
c(total) / Radius	1.00 [%]
c(after excav.) / Radius	0.70 [%]
Pl.thick. (face)/Radius	21.2 [%]
Pl.thick. (total)/Radius	97.4 [%]

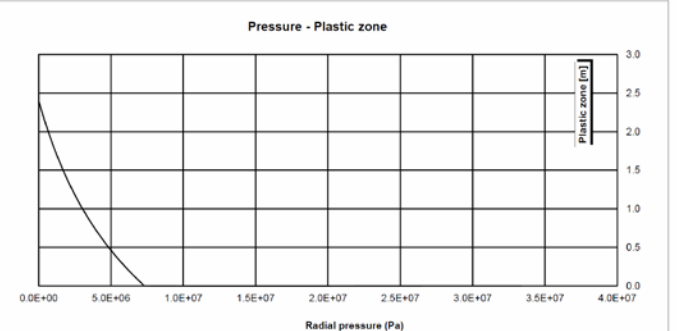
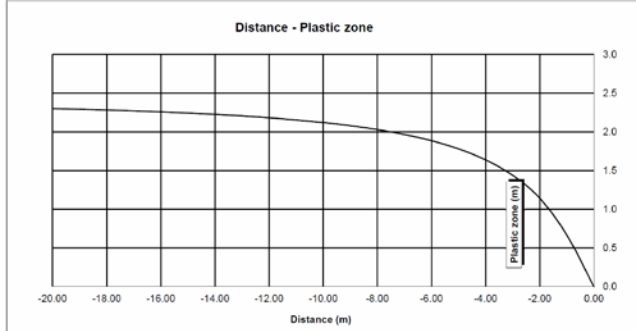
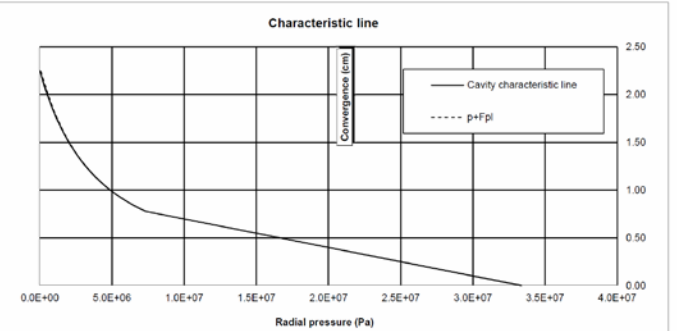
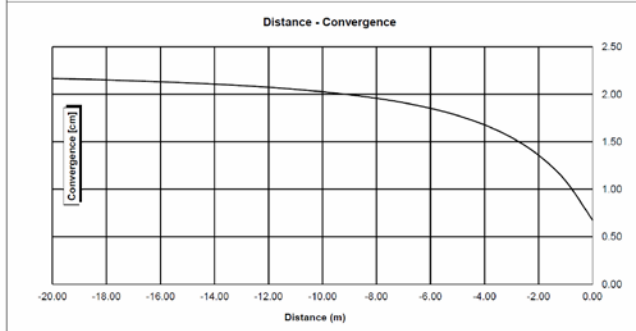




14_GA-BCA-A-10g

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/mc]	27800	At final equilibrium	
Overburden [m]	1200	Total convergence [cm]	2.3
Excavation radius [m]	4.84	Convergence after excavation [cm]	1.6
		Plastic zone thickness [m]	2.4
Peak internal friction angle [°]	42.21	Equilibrium at excavation face	
Post peak internal friction angle [°]	33.15	Convergence [cm]	0.7
Peak cohesion [Pa]	4887000	1 - (deconfinement ratio) [%]	32.2%
Post peak cohesion [Pa]	2900000		
Deformation modulus [Pa]	2.11E+10		
Poisson's ratio [-]	0.3		
Dilation angle [°]	6.86		

c(face) / Radius	0.14 [%]
c(total) / Radius	0.47 [%]
c(after excav.) / Radius	0.33 [%]
Pl.thick. (face)/Radius	0.0 [%]
Pl.thick. (total)/Radius	49.8 [%]



ANHANG 3 - BRUCHKÖRPERANALYSE

Der Anhang 3 führt die Ergebnisse der Bruchkörperanalyse an, die mit dem Rechenprogramm UNWEDGE 3.0 erstellt wurden. Die Tabellen enthalten den minimalen Sicherheitsfaktor für jeweils drei Trennflächen, die die einzelnen Homogenbereiche kennzeichnen. Die Grafiken führen hingegen nur die jeweils drei ungünstigsten Trennflächen an.

APPENDICE 3 - ANALISI DEI BLOCCHI

L'appendice 3 riporta i risultati delle analisi a blocchi condotte con il programma di calcolo UNWEDGE 3.0. Nelle tabelle è riportato il fattore di sicurezza minimo per ciascuna terna di discontinuità caratterizzanti le singole tratte omogenee mentre in forma grafica sono riportati solo i risultati della terna di discontinuità più gravosa.

FdE-CcT

Rock mass

BCA-A-10g; BCA-GS-10g;

Area L1 - advance per round: 4.5 m (counted with 5.0 m)

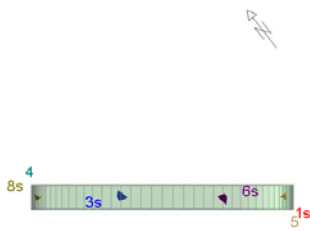
		Joint Orientations		Joint Properties		
		Dip	Dip Direction	persistence	ϕ	c
		[°]	[°]	[m]	[°]	[kPa]
J1	SC	45	345	3	20	0
J2	RTF1	80	160	1	20	0
J3	RTF2w	75	255	1	20	0
J4	RTF3	85	300	1	20	0
J5	RTF6	80	20	3	20	0

Necessary anchorage pattern:

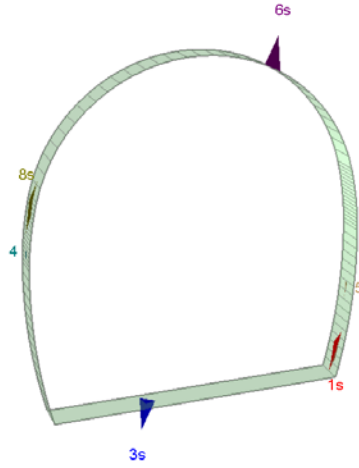
1.8	x	1.5	m
L	=	3.0	m
Pm 16	N _{yd}	122	kN

X1	Wedges with a maximum high of 0.3 m or a maximum weight of 10 kN
X2	Wedges with a maximum high of 0.5 m or a maximum weight of 100 kN
S	Safety reached
N	Negligible small

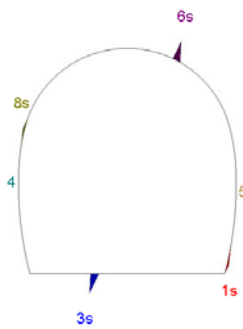
Combination	Joint A	Joint B	Joint C	Factor of Safety [-]	Wedge Weight [MN]	Wedge Volume [m ³]	Comment
1	3	4	5	0	0.001	0.037	X1
2	1	2	4	0	0.001	0.033	X1
3	1	2	3	0	0.001	0.026	X1
4	1	3	4	0	0.000	0.011	X1
5	1	2	5	0	0.000	0.006	X1
6	3	4	5	0	0.000	0.002	X1
7	1	3	5	0	0.000	0.001	X1
8	1	4	5	0	0.000	0.000	X1
9	2	3	4	0.032	0.000	0.000	N
10	2	3	5	0.064	0.000	0.002	X1



Top - Wedges 1, 3, 6, 8 Scaled



Perspective - Wedges 1, 3, 6, 8 Scaled



Front - Wedges 1, 3, 6, 8 Scaled



Side - Wedges 1, 3, 6, 8 Scaled

Wedge Information

Lower Right wedge [1]
 Factor of Safety: 0.350
 Wedge Volume: 0.004 m3
 Wedge Weight: 0.000 MN
 Wedge z-Length: 0.31 m
 Apex Height: 0.09 m

Floor wedge [3]
 Factor of Safety: stable
 Wedge Volume: 0.021 m3
 Wedge Weight: 0.001 MN
 Wedge z-Length: 0.41 m
 Apex Height: 0.90 m

Upper Left wedge [4]
 Factor of Safety: 0.220
 Wedge Volume: 0.000 m3
 Wedge Weight: 0.000 MN
 Wedge z-Length: 0.10 m
 Apex Height: 0.00 m

Lower Right wedge [5]
 Factor of Safety: 0.081
 Wedge Volume: 0.000 m3
 Wedge Weight: 0.000 MN
 Wedge z-Length: 0.13 m
 Apex Height: 0.01 m

Roof wedge [6]
 Factor of Safety: 0.032
 Wedge Volume: 0.020 m3
 Wedge Weight: 0.001 MN
 Wedge z-Length: 0.43 m
 Apex Height: 0.87 m

Upper Left wedge [8]
 Factor of Safety: 0.000
 Wedge Volume: 0.003 m3
 Wedge Weight: 0.000 MN
 Wedge z-Length: 0.29 m
 Apex Height: 0.08 m

Rock mass
 BCA-A-10g; BCA-GS-10g;

Area L2

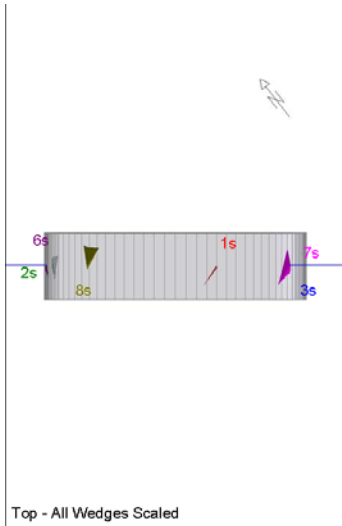
		Joint Orientattions		Joint Properties		
		Dip	Dip Direction	persistence	ϕ	c
		[°]	[°]	[m]	[°]	[kPa]
J1	SC	45	345	3	20	0
J2	RTF1	80	160	1	20	0
J3	RTF2w	75	255	1	20	0
J4	RTF3	85	300	1	20	0
J5	RTF6	80	20	3	20	0

Necessary anchorage pattern:

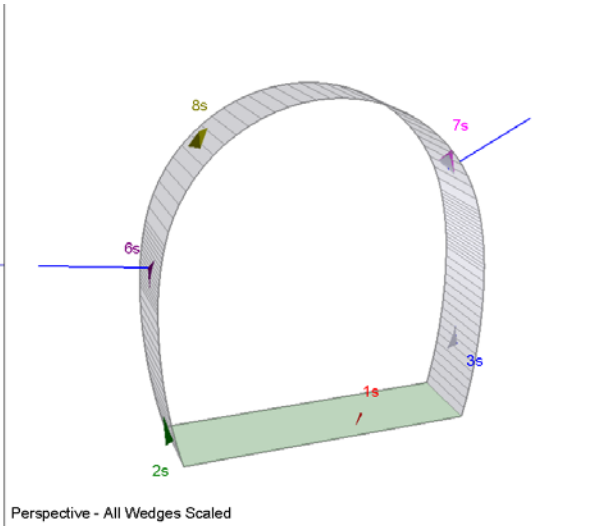
1.8	x	1.5	m
L	=	3.0	m
Pm 16	N_{yd}	122	kN
Shotcrete lining	15	cm	(Shear strength 0.91 MPa)

X1	Wedges with a maximum high of 0.3 m or a maximum weight of 10 kN
X2	Wedges with a maximum high of 0.5 m or a maximum weight of 100 kN
S	Safety reached
N	Negligible small

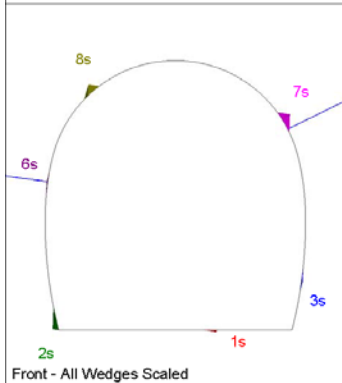
Combination	Joint A	Joint B	Joint C	Factor of Safety [-]	Wedge Weight [MN]	Wedge Volume [m ³]	Comment	Apex Height [m]
1	1	2	4	131.616	0.001	0.033	S	0.31
2	1	3	4	139.003	0.001	0.051	S	0.58
3	1	4	5	150.487	0.001	0.054	S	0.62
4	3	4	5	156.775	0.000	0.003	S	0.08
5	2	4	5	162.362	0.001	0.037	S	0.91
6	1	2	5	192.636	0.002	0.091	S	0.50
7	2	3	5	194.442	0.001	0.052	S	0.87
8	1	2	3	194.725	0.001	0.025	S	0.34
9	1	3	5	260.754	0.001	0.032	S	0.53
10	2	3	4	1306.760	0.000	0.000	S	0.85



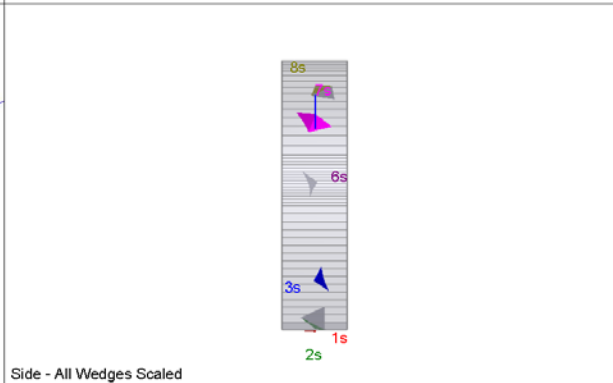
Top - All Wedges Scaled



Perspective - All Wedges Scaled



Front - All Wedges Scaled



Side - All Wedges Scaled

Wedge Information

Floor wedge [1]
 Factor of Safety: stable
 Wedge Volume: 0.001 m³
 Wedge Weight: 0.000 MN
 Wedge z-Length: 0.85 m
 Apex Height: 0.07 m

Lower Left wedge [2]
 Factor of Safety: 2162.310
 Wedge Volume: 0.029 m³
 Wedge Weight: 0.001 MN
 Wedge z-Length: 0.93 m
 Apex Height: 0.22 m

Lower Right wedge [3]
 Factor of Safety: 421.246
 Wedge Volume: 0.003 m³
 Wedge Weight: 0.000 MN
 Wedge z-Length: 0.58 m
 Apex Height: 0.05 m

Upper Left wedge [6]
 Factor of Safety: 329.174
 Wedge Volume: 0.002 m³
 Wedge Weight: 0.000 MN
 Wedge z-Length: 0.58 m
 Apex Height: 0.04 m

Upper Right wedge [7]
 Factor of Safety: 155.886
 Wedge Volume: 0.050 m³
 Wedge Weight: 0.001 MN
 Wedge z-Length: 1.36 m
 Apex Height: 0.36 m

Upper Left wedge [8]
 Factor of Safety: 131.616
 Wedge Volume: 0.033 m³
 Wedge Weight: 0.001 MN
 Wedge z-Length: 0.90 m
 Apex Height: 0.31 m

Rock mass

BCA-A-10g; BCA-GS-10g;

Area tunnel face

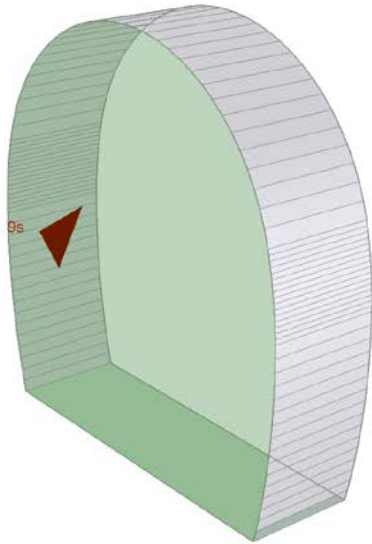
		Joint Orientattions		Joint Properties			
		Dip	Dip Direction	persistence	φ	c	φ_d
		[°]	[°]	[m]	[°]	[kPa]	[°]
J1	SC	45	345	3	20	0	16.23
J2	RTF1	80	160	1	20	0	16.23
J3	RTF2w	75	255	1	20	0	16.23
J4	RTF3	85	300	1	20	0	16.23
J5	RTF6	80	20	3	20	0	16.23

Shotcrete lining 5 cm (Shear strength 0.91 MPa)

X1	Wedges with a maximum high of 0.3 m or a maximum weight of 10 kN
X2	Wedges with a maximum high of 0.5 m or a maximum weight of 100 kN
S	Safety reached
N	Negligible small

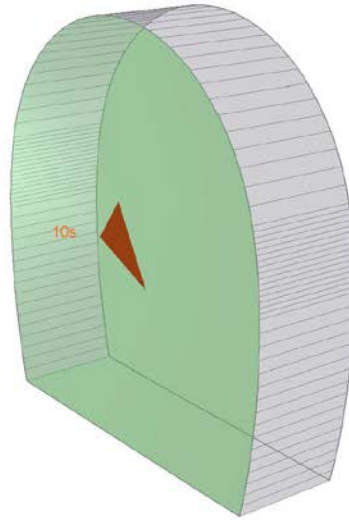
Combination	Joint A	Joint B	Joint C	Factor of Safety [-]	Wedge Weight [MN]	Wedge Volume [m ³]	Comment
1	1	2	5	70.609	0.002	0.059	S
2	1	4	5	90.773	0.000	0.015	S
3	1	2	3	181.161	0.000	0.008	S
4	2	4	5	209.443	0.000	0.003	S
5	1	2	4	247.823	0.000	0.012	S
6	1	3	4	272.573	0.000	0.005	S
7	1	3	5	621.816	0.000	0.000	N
8	2	3	5	654.486	0.000	0.000	N
9	3	4	5	675.967	0.000	0.000	N
10	2	3	4	1343.965	0.000	0.000	N

Near End wedge [9] Scaled
FS: 70.609



Volume: 0.059 m3, Weight: 0.002 MN, z-Length: 0.00 m, Apex Height

Far End wedge [10] Scaled
FS: 104.702



Volume: 0.059 m3, Weight: 0.002 MN, z-Length: 0.00 m, Apex Height

Wedge Information

Near End wedge [9]

Factor of Safety: 70.609
Wedge Volume: 0.059 m3
Wedge Weight: 0.002 MN
Wedge z-Length: 0.00 m
Apex Height: 0.28 m

Far End wedge [10]

Factor of Safety: 104.702
Wedge Volume: 0.059 m3
Wedge Weight: 0.002 MN
Wedge z-Length: 0.00 m
Apex Height: 0.28 m

GL

Rock mass

BCA-A-10g; BCA-GS-10g;

Area L1 - advance per round: 4.5 m (counted with 5 m)

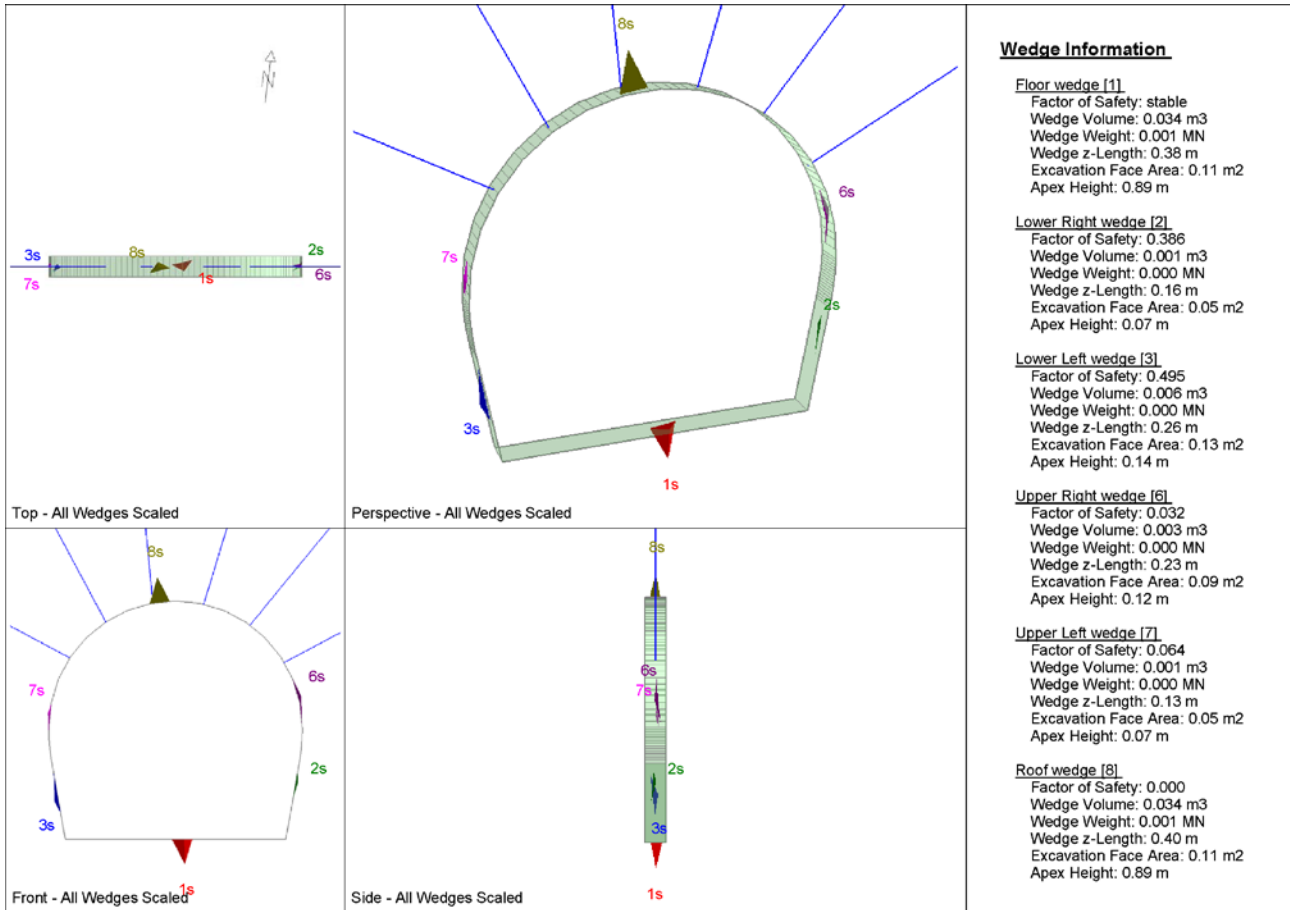
		Joint Orientations		Joint Properties		
		Dip	Dip Direction	persistence	ϕ	c
		[°]	[°]	[m]	[°]	[kPa]
J1	SC	45	345	3	20	0
J2	RTF1	80	160	1	20	0
J3	RTF2w	75	255	1	20	0
J4	RTF3	85	300	1	20	0
J5	RTF6	80	20	3	20	0

Necessary anchorage pattern:

1.8	x	1.5	m
L	=	4.5	m
Swellex Pm24	N_{yd}	174	kN

X1	Wedges with a maximum high of 0.3 m or a maximum weight of 10 kN
X2	Wedges with a maximum high of 0.5 m or a maximum weight of 100 kN
S	Safety reached
N	Negligible small

Combination	Joint A	Joint B	Joint C	Factor of Safety [-]	Wedge Weight [MN]	Wedge Volume [m ³]	Comment
1	3	4	5	0	0	0	N
2	1	2	4	0	0.001	0.02	X1
3	1	3	4	0	0	0.001	X1
4	2	4	5	0	0.001	0.034	X1
5	1	4	5	0.032	0	0.003	X1
6	1	2	3	0.064	0	0.001	X1
7	1	2	5	0.064	0.001	0.023	X1
8	1	3	5	0.064	0	0.006	X1
9	2	3	5	0.064	0	0	N
10	2	3	4	0.22	0	0	N



Rock mass
 BCA-A-10g; BCA-GS-10g;

Area L2

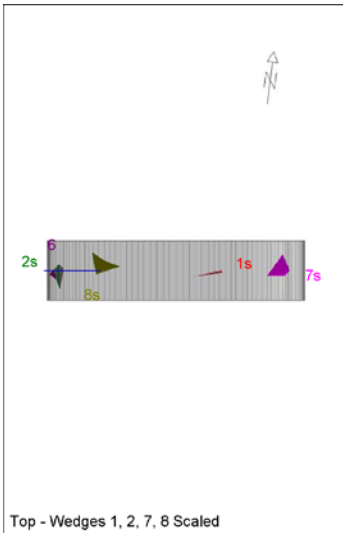
		Joint Orientations		Joint Properties		
		Dip	Dip Direction	persistence	ϕ	c
		[°]	[°]	[m]	[°]	[kPa]
J1	SC	45	345	3	20	0
J2	RTF1	80	160	1	20	0
J3	RTF2w	75	255	1	20	0
J4	RTF3	85	300	1	20	0
J5	RTF6	80	20	3	20	0

Necessary anchorage pattern:

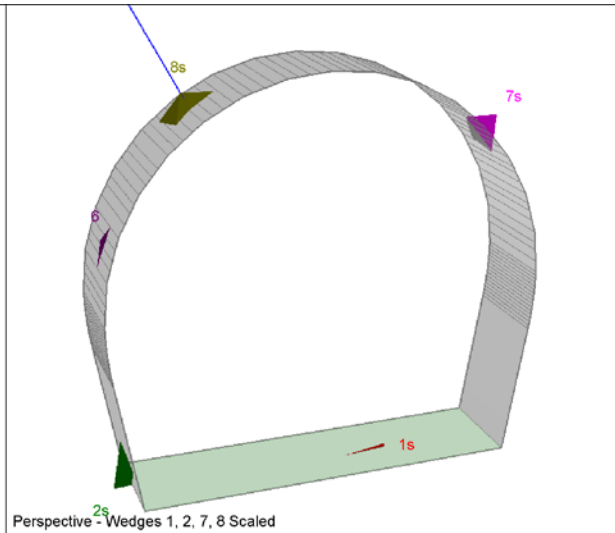
1.8	x	1.5	m
L	=	4.5	m
Swellex Pm24	N_{yd}	174	kN
Shotcrete lining	10	cm	(Shear strength 0.91 MPa)

X1	Wedges with a maximum high of 0.3 m or a maximum weight of 10 kN
X2	Wedges with a maximum high of 0.5 m or a maximum weight of 100 kN
S	Safety reached
N	Negligible small

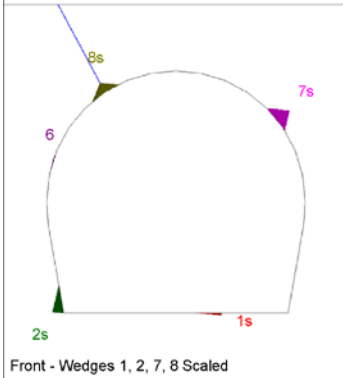
Combination	Joint A	Joint B	Joint C	Factor of Safety [-]	Wedge Weight [MN]	Wedge Volume [m ³]	Comment	Apex Height [m]
1	1	2	3	98.34	0.002	0.069	S	0.57
2	1	4	5	112.14	0.003	0.099	S	0.64
3	2	4	5	128.356	0.001	0.034	S	0.89
4	3	4	5	146.977	0.001	0.023	S	0.93
5	1	3	4	159.937	0	0.017	S	0.20
6	1	2	5	163.932	0.003	0.125	S	0.69
7	1	3	5	177.585	0.001	0.041	S	0.60
8	1	2	4	188.6	0.001	0.02	S	0.37
9	2	3	5	195.326	0.001	0.051	S	0.87
10	2	3	4	1028.609	0	0	N	0.94



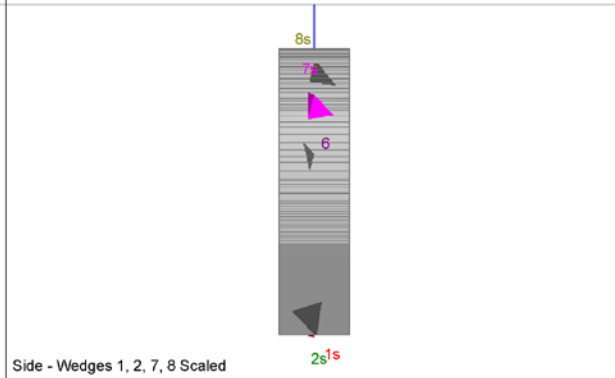
Top - Wedges 1, 2, 7, 8 Scaled



Perspective - Wedges 1, 2, 7, 8 Scaled



Front - Wedges 1, 2, 7, 8 Scaled



Side - Wedges 1, 2, 7, 8 Scaled

Wedge Information

Floor wedge [1]
 Factor of Safety: stable
 Wedge Volume: 0.001 m3
 Wedge Weight: 0.000 MN
 Wedge z-Length: 0.22 m
 Excavation Face Area: 0.04 m2
 Apex Height: 0.07 m

Lower Left wedge [2]
 Factor of Safety: 1760.202
 Wedge Volume: 0.053 m3
 Wedge Weight: 0.001 MN
 Wedge z-Length: 0.86 m
 Excavation Face Area: 0.41 m2
 Apex Height: 0.39 m

Upper Left wedge [6]
 Factor of Safety: 232.136
 Wedge Volume: 0.001 m3
 Wedge Weight: 0.000 MN
 Wedge z-Length: 0.32 m
 Excavation Face Area: 0.11 m2
 Apex Height: 0.03 m

Upper Right wedge [7]
 Factor of Safety: 98.340
 Wedge Volume: 0.069 m3
 Wedge Weight: 0.002 MN
 Wedge z-Length: 0.75 m
 Excavation Face Area: 0.37 m2
 Apex Height: 0.57 m

Upper Left wedge [8]
 Factor of Safety: 172.577
 Wedge Volume: 0.044 m3
 Wedge Weight: 0.001 MN
 Wedge z-Length: 0.78 m
 Excavation Face Area: 0.37 m2
 Apex Height: 0.36 m

Rock mass
 BCA-A-10g; BCA-GS-10g;

Area tunnel face

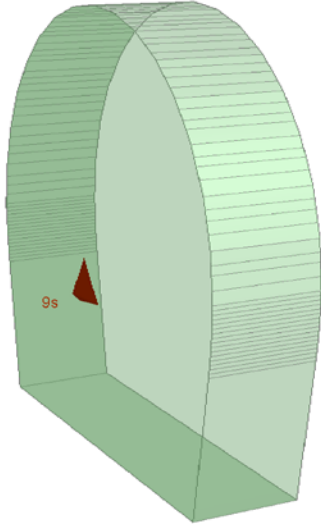
		Joint Orientattions		Joint Properties			
		Dip	Dip Direction	persistence	φ	c	φ_d
		[°]	[°]	[m]	[°]	[kPa]	[°]
J1	SC	45	345	3	20	0	16.23
J2	RTF1	80	160	1	20	0	16.23
J3	RTF2w	75	255	1	20	0	16.23
J4	RTF3	85	300	1	20	0	16.23
J5	RTF6	80	20	3	20	0	16.23

Shotcrete lining 5 cm (Shear strength 0.91 MPa)

X1	Wedges with a maximum high of 0.3 m or a maximum weight of 10 kN
X2	Wedges with a maximum high of 0.5 m or a maximum weight of 100 kN
S	Safety reached
N	Negligible small

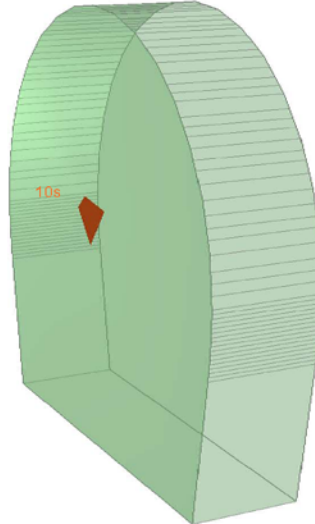
Combination	Joint A	Joint B	Joint C	Factor of Safety [-]	Wedge Weight [MN]	Wedge Volume [m ³]	Comment
1	1	2	3	71.781	0.001	0.022	S
2	1	2	4	90.563	0.001	0.019	S
3	1	4	5	114.623	0	0.009	S
4	1	3	5	144.94	0	0.01	S
5	2	4	5	203.803	0	0.003	S
6	2	3	5	210.647	0	0.003	S
7	1	2	5	212.669	0	0.002	S
8	3	4	5	418.707	0	0.002	S
9	1	3	4	479.509	0	0	N
10	2	3	4	1741.805	0	0	N

Near End wedge [9] Scaled
FS: 156.908



Volume: 0.022 m3, Weight: 0.001 MN, z-Length: 0.00 m, Excavation

Far End wedge [10] Scaled
FS: 71.781



Volume: 0.022 m3, Weight: 0.001 MN, z-Length: 0.00 m, Excavation

Wedge Information

Near End wedge [9]
Factor of Safety: 156.908
Wedge Volume: 0.022 m3
Wedge Weight: 0.001 MN
Wedge z-Length: 0.00 m
Excavation Face Area: 0.38 m2
Apex Height: 0.17 m

Far End wedge [10]
Factor of Safety: 71.781
Wedge Volume: 0.022 m3
Wedge Weight: 0.001 MN
Wedge z-Length: 0.00 m
Excavation Face Area: 0.38 m2
Apex Height: 0.17 m

ANHANG 4 - FEM- ANALYSE DER AUßENSCHALE

Diese Anlage führt die wichtigsten Outputs der FEM-Analysen an, die mit dem Rechenprogramm Midas GTS durchgeführt wurden.

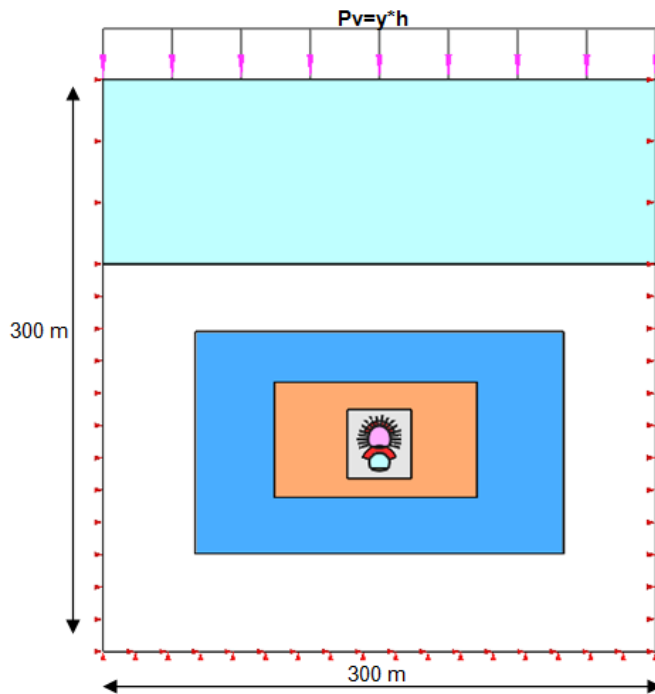


Abbildung 1: Numerisches Modell

APPENDICE 4 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

Nella presente appendice sono riportati i principali output delle analisi agli elementi finiti effettuate con il programma di calcolo Midas GTS.

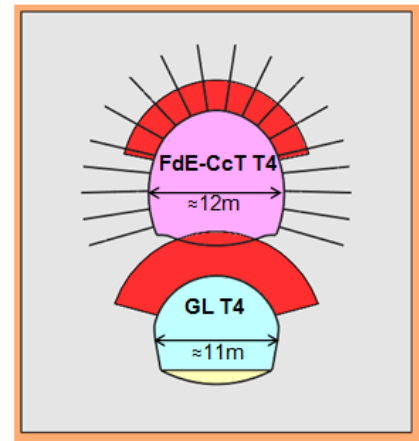


Illustrazione 1: Modello numerico

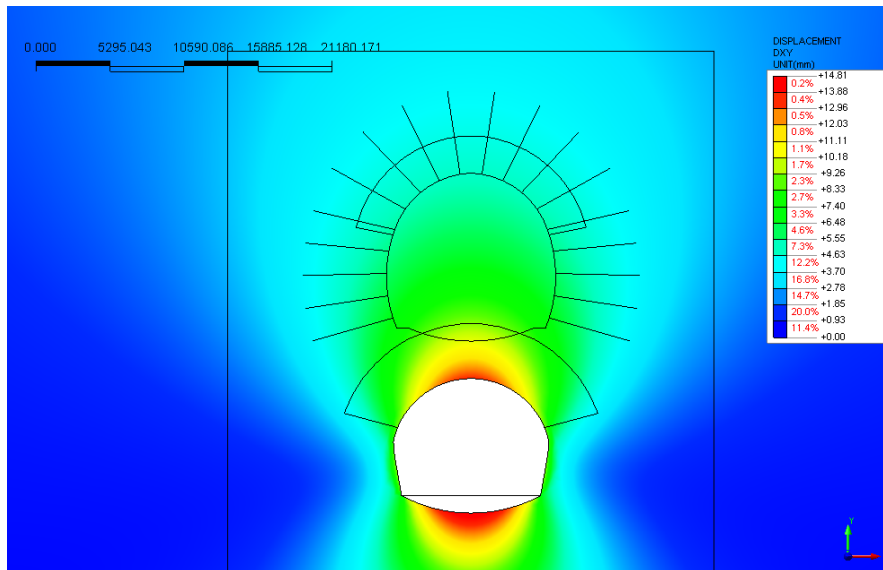


Abbildung 2: Verschiebungen xy [mm] an der Ortsbrust GL-T4

Illustrazione 2: Spostamenti xy [mm] - fronte GL T4

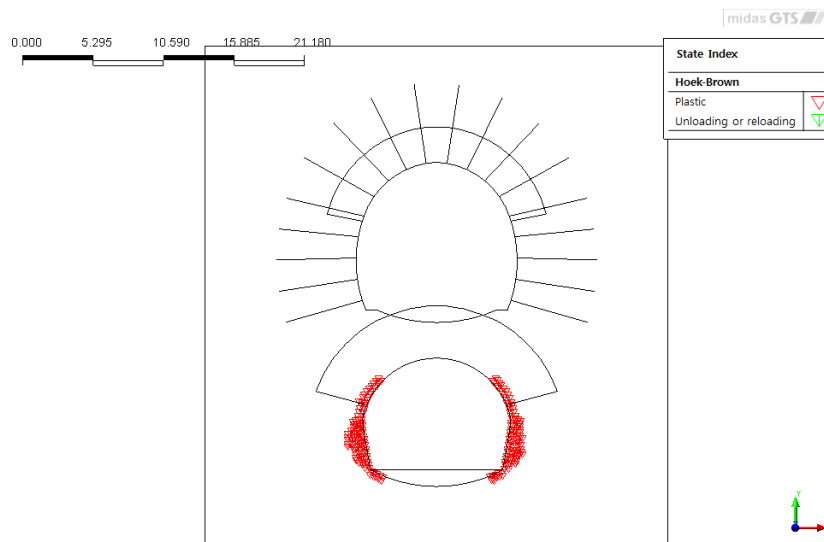


Abbildung 3: Plastifizierung an der Ortsbrust GL-T4

Illustrazione 3: Plasticizzazioni - fronte GL T4

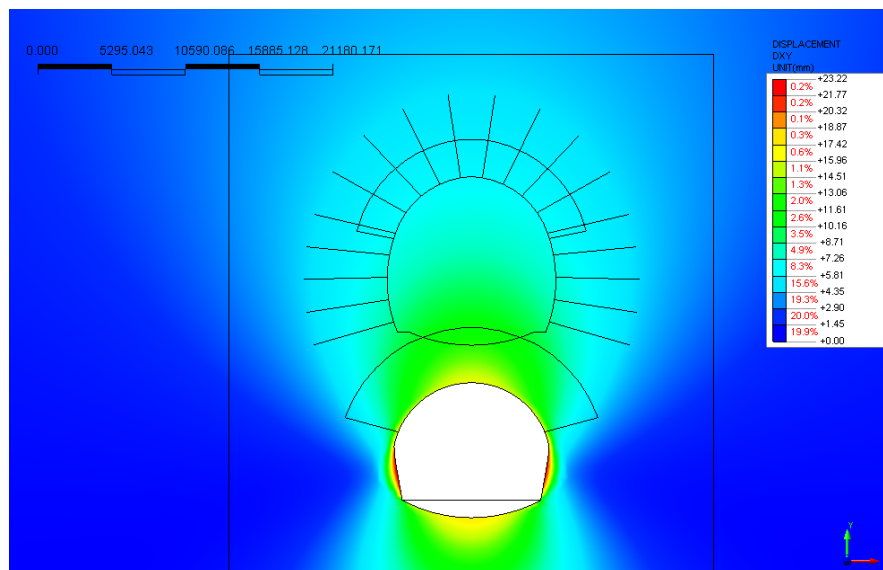


Abbildung 4: Verschiebungen xy [mm] in 1.5 m Entfernung von Ortsbrust GL-T4

Illustrazione 4: Spostamenti xy [mm] a 1.5m fronte GL T4

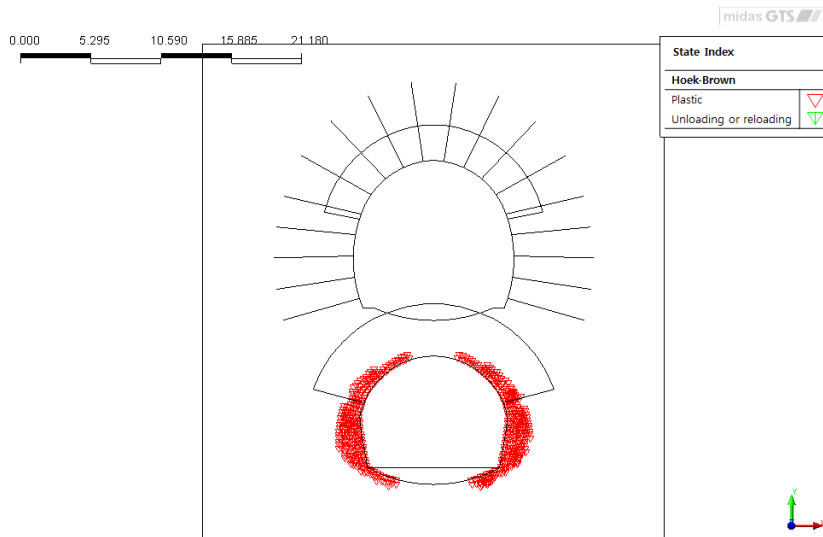


Abbildung 5: Plastifizierung in 1.5 m Entfernung von Ortsbrust GL-T4

Illustrazione 5: Plasticizzazioni a 1.5m dal fronte GL T4

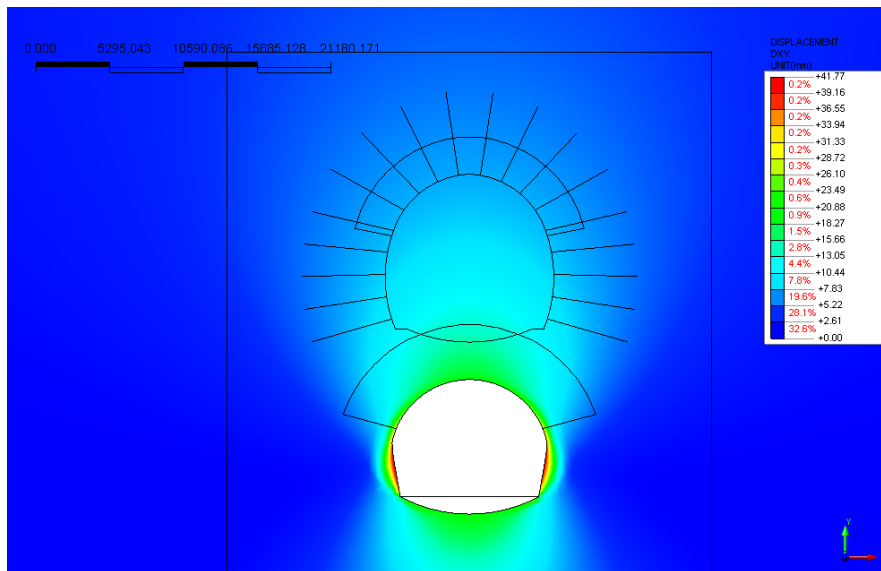


Abbildung 6: Verschiebungen xy [mm] am Ende des Ausbruchs GL-T4

Illustrazione 6: Spostamenti xy [mm] fine scavo GL T4

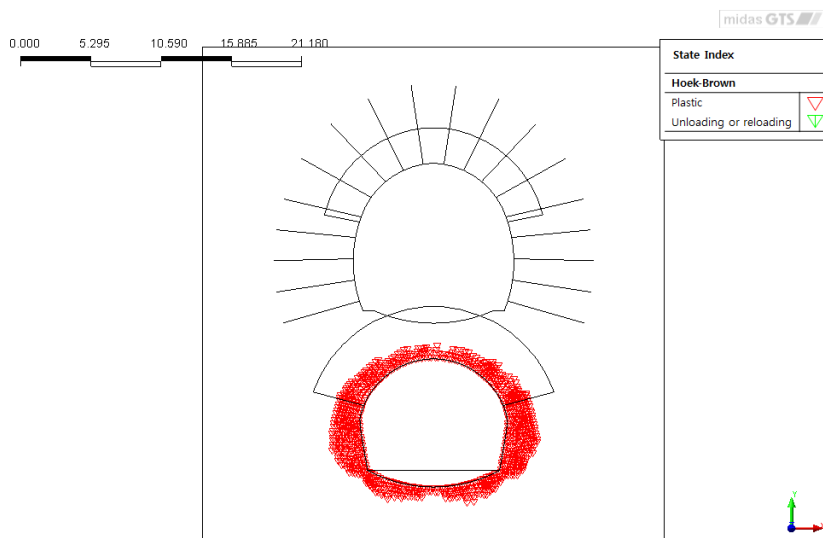


Abbildung 7: : Plastifizierung am Ende des Ausbruchs GL-T4

Illustrazione 7: Plasticizzazioni fine scavo GL T4

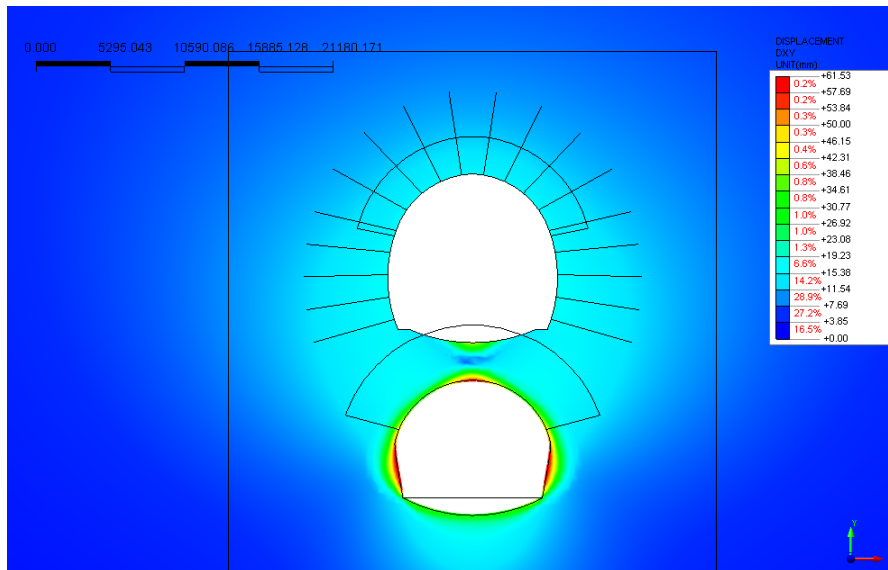


Abbildung 8: Verschiebungen xy [mm] an der Ortsbrust FdE-CcT-T4

Illustrazione 8: Spostamenti xy [mm] - fronte FdE-CcT T4

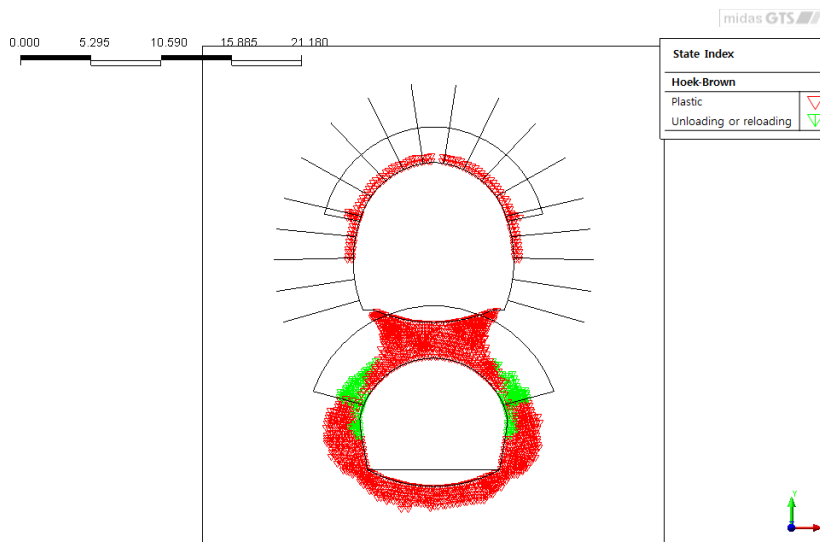


Abbildung 9: Plastifizierung an der Ortsbrust FdE-CcT-T4

Illustrazione 9: Plasticizzazioni - fronte FdE-CcT T4

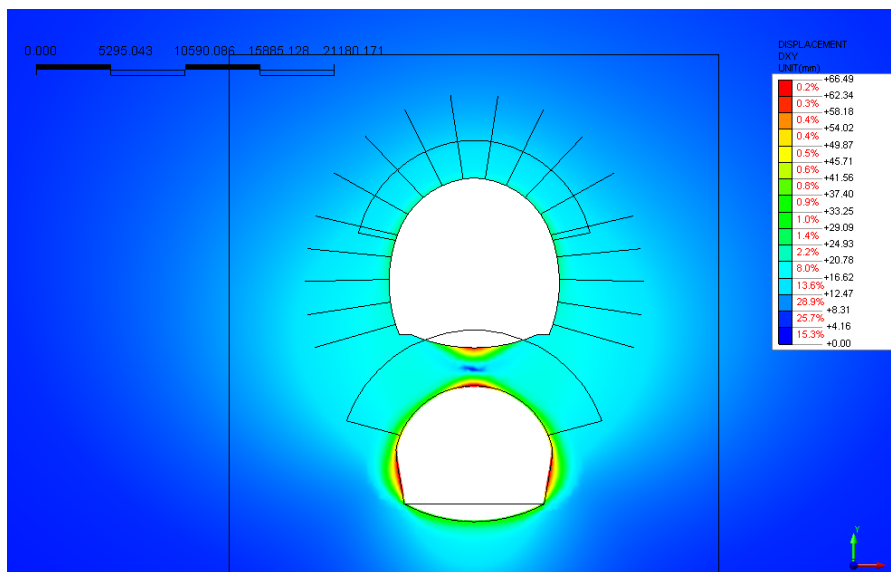


Abbildung 10: Verschiebungen xy [mm] in 1.5 m Entfernung von Ortsbrust FdE-CcT-T4

Illustrazione 10: Spostamenti xy [mm] a 1.5m fronte FdE-CcT T4

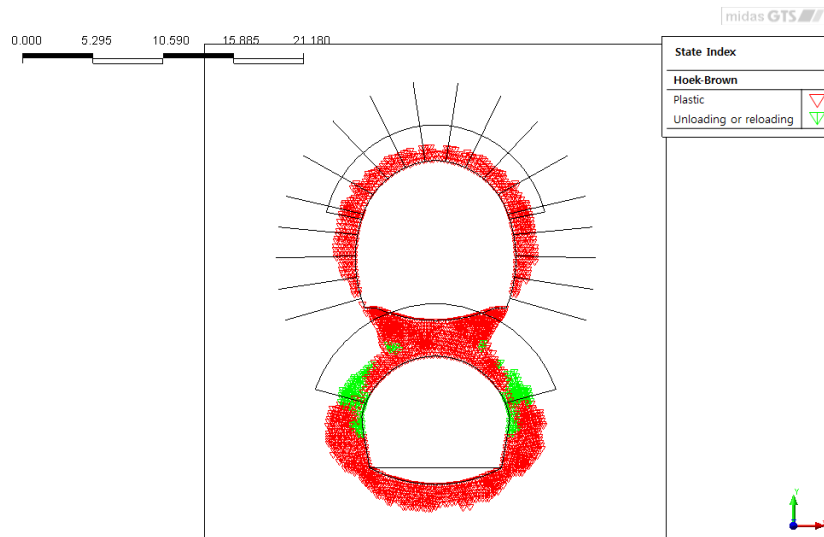


Abbildung 11: Plastifizierung in 1.5m Entfernung von Ortsbrust FdE-CcT-T4 Illustrazione 11: Plasticizzazioni a 1.5m dal fronte FdE-CcT T4

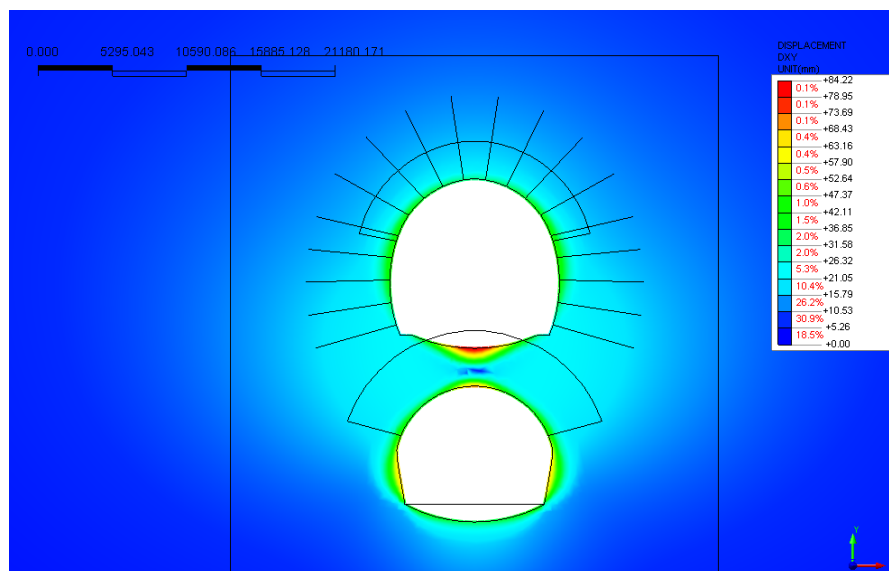


Abbildung 12: Verschiebungen xy [mm] am Ende des Ausbruchs FdE-CcT-T4 Illustrazione 12: Spostamenti xy [mm] fine scavo FdE-CcT T4

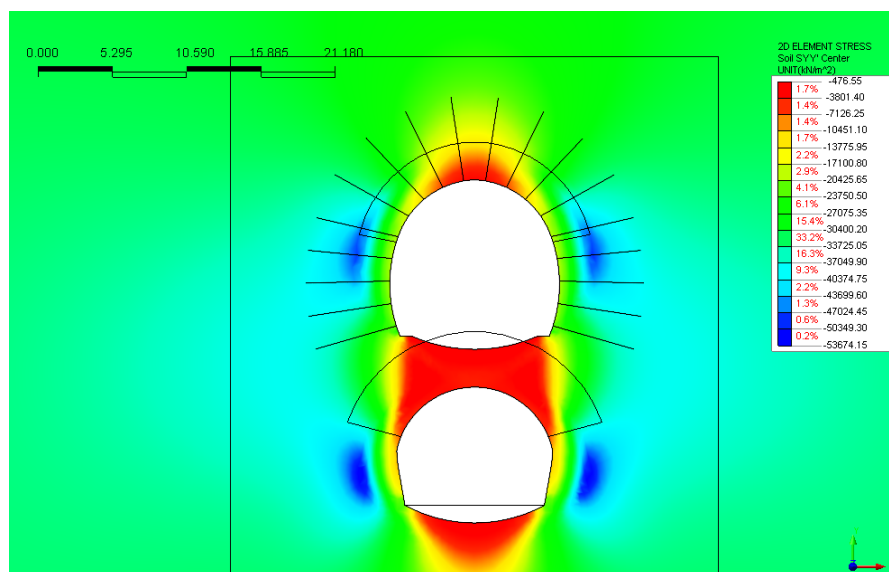


Abbildung 13: Vertikale Spannungen σ_{yy} [N/mm²] - am Ende des Ausbruchs FdE-CcT-T4 Illustrazione 13: Tensioni verticali σ_{yy} [N/mm²] - fine scavo FdE-CcT T4

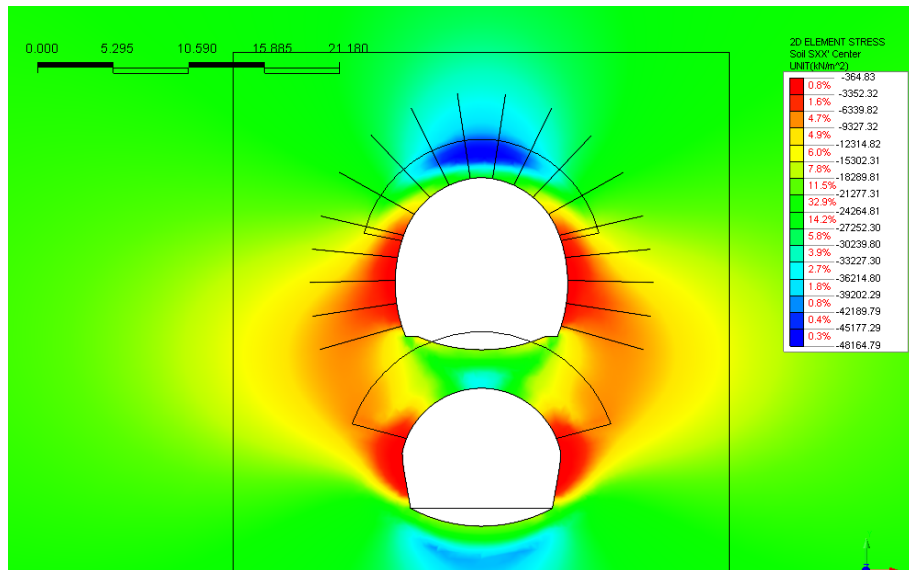


Abbildung 14: Horizontale Spannungen σ_{xx} [N/mm²] - am Ende des Ausbruchs FdE-CcT T4

Illustrazione 14: Tensioni orizzontali σ_{xx} [N/mm²] - fine scavo FdE-CcT T4

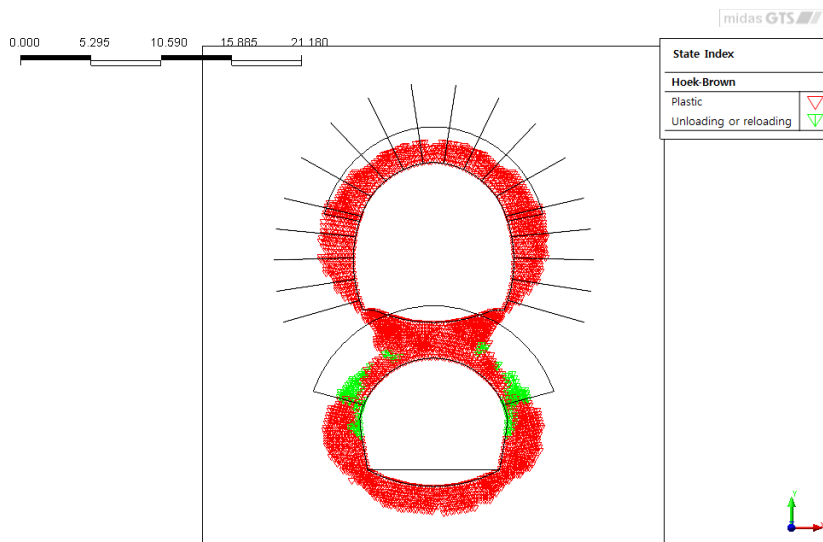


Abbildung 15: Plastifizierung am Ende des Ausbruchs FdE-CcT T4

Illustrazione 15: Plasticizzazioni fine scavo FdE-CcT T4

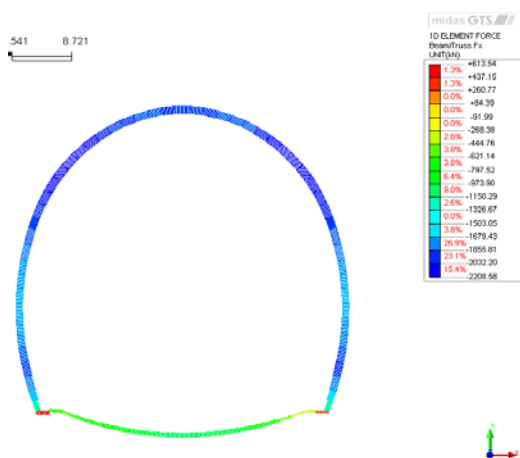


Abbildung 16: Normale Beanspruchungen an Außenschale [kN] - am Ende des Aushubs FdE-CcT T4 (rechts FdE-CcT und links GL)

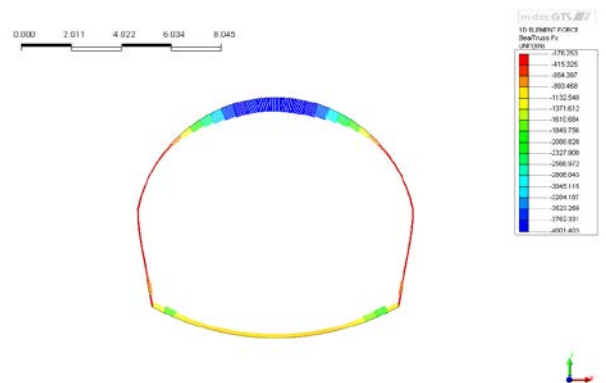


Illustrazione 16: Sollecitazioni normali sul rivestimento di prima fase fine scavo FdE-CcT T4 - (a sinistra FdE-CcT; a destra GL)

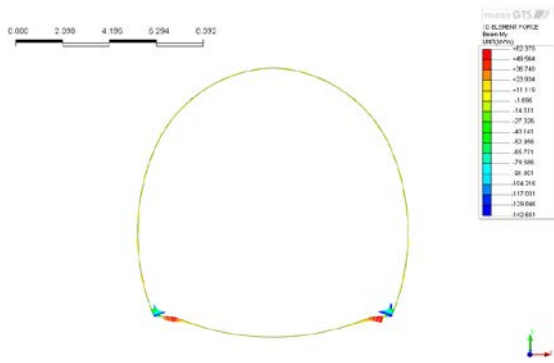


Abbildung 17: Momente an Außenschale [kNm] - am Ende des Aushubs FdE-CcT T4 (rechts FdE-CcT und links GL)

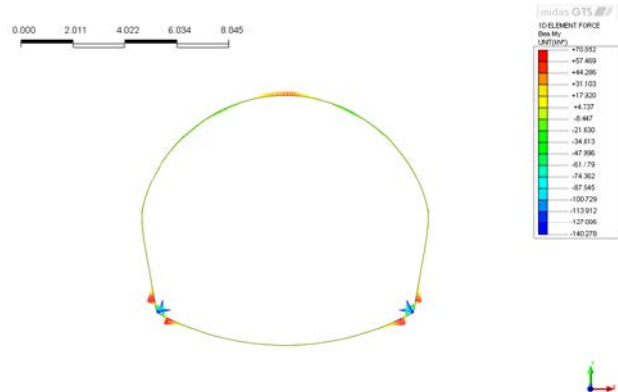


Illustrazione 17: Momenti sul rivestimento di prima fase [kNm] fine scavo FdE-CcT T4 - (a sinistra FdE-CcT; a destra GL)

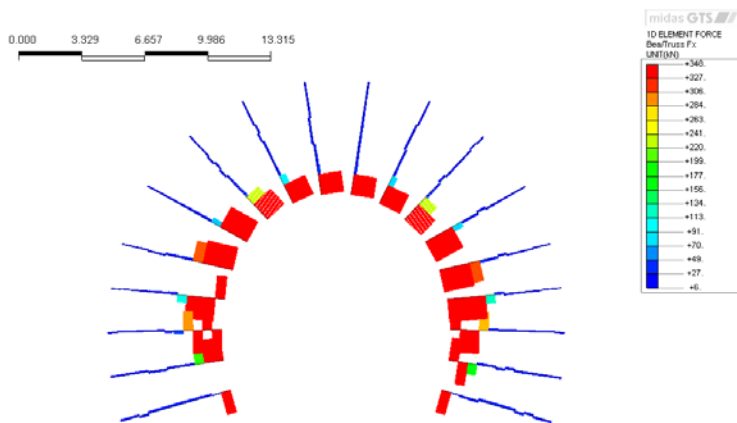


Abbildung 18: Axiale Beanspruchungen auf Anker [-] - am Ende des Aushubs FdE-CcT T4

Illustrazione 18: Sollecitazioni assiali ancoraggi FdE-CcT T4 [kNm] - fine scavo FdE-CcT T4

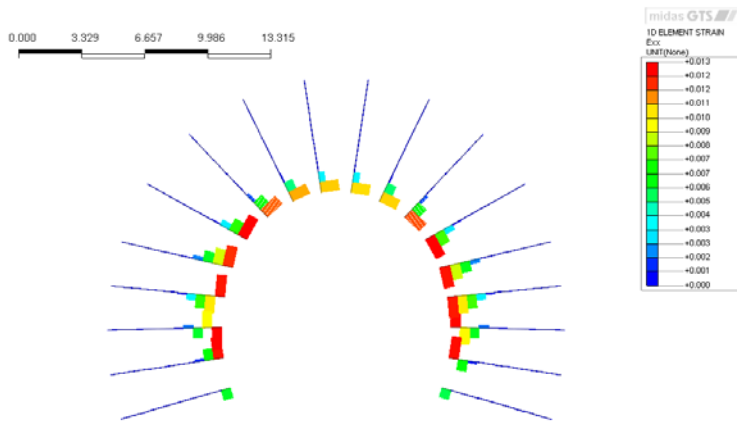


Abbildung 19: Axiale Verformung an Anker [-] - am Ende des Aushubs FdE-CcT-T4

Illustrazione 19: Deformazioni assiali ancoraggi FdE-CcT T4 [kNm] - fine scavo FdE-CcT T4

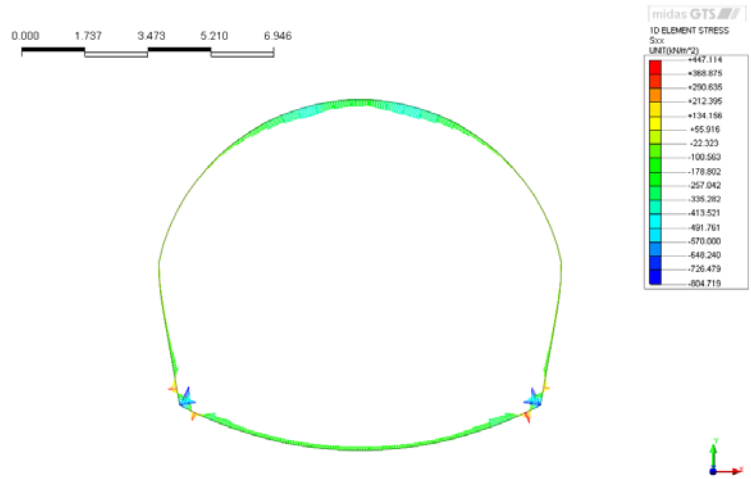


Abbildung 20: Lockerungslast auf Innenausbau (GL-T4)

Illustrazione 20: Pressioni normali sul rivestimento definitivo (GL-T4)

NACHWEIS AUßENSCHALE

Nachfolgend führt man den Nachweis des Schnitts GL-T4 an. Für den Schnitt FdE-CcT verweist man auf den Bericht 02_H61_OP_060_KST_D0700_22910 *Statischer Bericht FdE-CcT-T4/T6 (von km 44.5+15.0 bis 45.3+ 75.0)*.

Nachweis Diagramm Wechselwirkung M-N

Im Bereich des Fußes des Widerlagers wurden die Höchstwerte der Beanspruchungen vernachlässigt, da sie auf die theoretische Geometrie der Maschen zurückzuführen sind, da durch die numerische Modellierung die Spannung konzentriert wird.

VERIFICHE RIVESTIMENTO PRIMA FASE

Nel seguito viene verificata solamente la sezione GL T4. Per la FdE-CcT si rimanda alla relazione 02_H61_OP_060_KST_D0700_22910 *Relazione di calcolo FdE-CcT-T4/T6 (da km 44.5+15.0 a 45.3+ 75.0)*.

Verifiche diagramma di interazione M-N

In corrispondenza del piede della muretta sono stati trascurati i picchi di sollecitazione in quanto dovuti alla geometria teorica della mesh che con la modellazione numerica genera delle concentrazioni di sforzi.

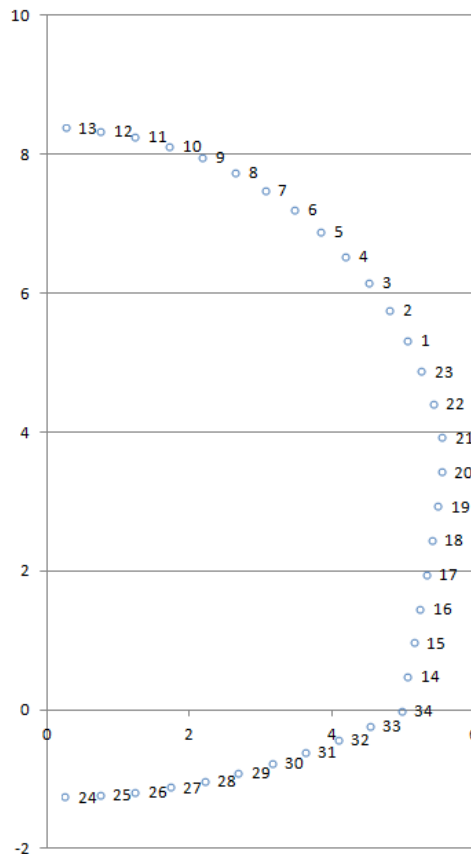
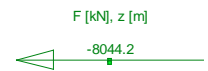
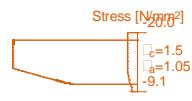
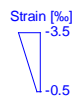
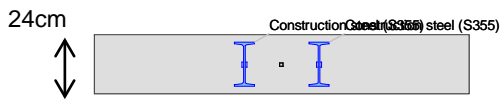
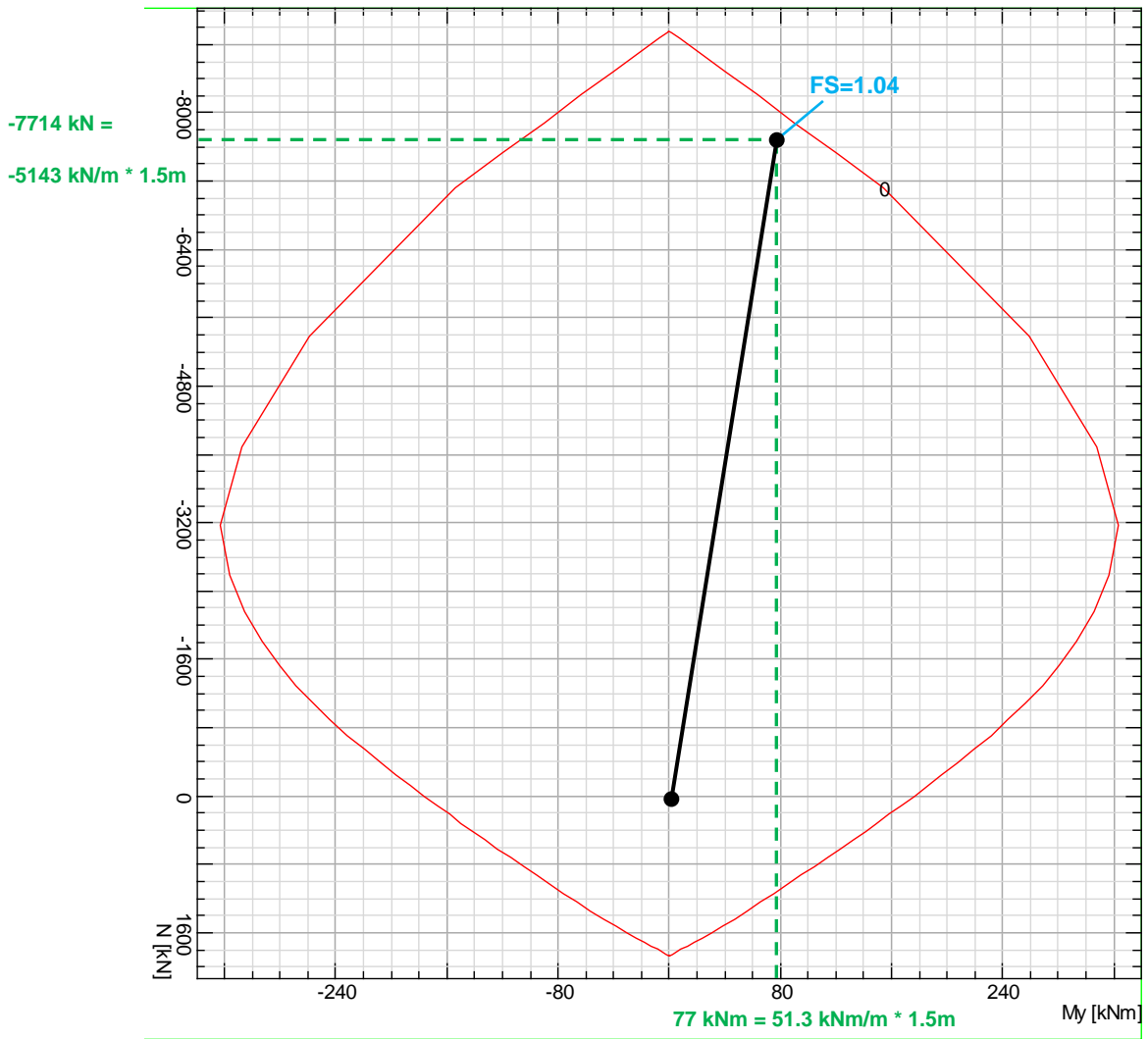


Abbildung 21: Nummerierung der Knoten des numerischen Modells GL-T4 (Interferenz mit FdE-CcT)

Illustrazione 21: Numerazione dei nodi del modello numerico GL T4 (interferenza con FdE-CcT)

	X	Y	N _k	M _k	N _d	M _d	FS
	[m]	[m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[-]
1	5.0	5.3	-227.7	-1.9	-296.0	-2.5	18.43
2	4.8	5.8	-232.3	-3.3	-302.0	-4.3	16.99
3	4.5	6.2	-304.0	-2.9	-395.2	-3.8	13.62
4	4.2	6.5	-445.1	-4.8	-578.6	-6.3	9.19
5	3.8	6.9	-804.5	-11.1	-1045.9	-14.4	4.93
6	3.5	7.2	-1340.0	-6.1	-1742.0	-8.0	3.26
7	3.0	7.5	-1822.0	-2.7	-2368.6	-3.6	2.48
8	2.6	7.8	-2398.0	-18.3	-3117.4	-23.8	1.76
9	2.2	8.0	-2982.0	-14.6	-3876.6	-19.0	1.46
10	1.7	8.1	-3520.0	-1.5	-4576.0	-2.0	1.3
11	1.2	8.3	-3876.0	5.7	-5038.8	7.4	1.17
12	0.7	8.4	-4001.0	19.5	-5201.3	25.3	1.09
13	0.2	8.4	-3956.0	39.4	-5142.8	51.3	1.04
14	5.1	0.5	-319.1	53.9	-414.8	70.1	2.75
15	5.1	1.0	-644.6	5.6	-838.0	7.3	6.49
16	5.2	1.5	-379.0	0.2	-492.7	0.2	12.05
17	5.3	2.0	-252.5	0.5	-328.3	0.7	17.75
18	5.4	2.5	-225.1	0.4	-292.6	0.5	20.06
19	5.5	2.9	-257.0	0.8	-334.1	1.0	17.26
20	5.5	3.4	-282.4	3.0	-367.1	3.8	14.52
21	5.5	3.9	-251.0	-5.5	-326.3	-7.1	14.55
22	5.4	4.4	-279.6	2.4	-363.5	3.1	14.96
23	5.2	4.9	-245.8	0.6	-319.5	0.7	18.22



	X	Y	N _k	M _k	N _d	M _d	FS
	[m]	[m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[-]
24	0.25	-1.24	-994.70	-1.37	-1293.11	-1.7849	7.75
25	0.74	-1.22	-985.80	-1.05	-1281.54	-1.365	7.85
26	1.23	-1.17	-977.50	-0.38	-1270.75	-0.49491	7.97
27	1.72	-1.10	-967.50	0.30	-1257.75	0.38987	8.05
28	2.20	-1.01	-958.80	-0.27	-1246.44	-0.35555	8.13
29	2.68	-0.90	-962.00	-2.09	-1250.6	-2.717	7.96
30	3.15	-0.76	-1015.00	-2.18	-1319.5	-2.8275	7.54
31	3.62	-0.60	-1174.00	1.88	-1526.2	2.4427	6.56
32	4.07	-0.42	-1616.00	17.98	-2100.8	23.374	4.35
33	4.52	-0.22	-1885.00	65.38	-2450.5	84.994	3.01
34	4.97	0.00	-1073.00	-136.10	-1394.9	-176.93	2.19

