



**AUSBAU  
EISENBAHNACHSE  
MÜNCHEN - VERONA**

**POTENZIAMENTO  
ASSE FERROVIARIO  
MONACO - VERONA**

**BRENNER  
BASISTUNNEL**

**GALLERIA DI BASE  
DEL BRENNERO**

**REGELPLANUNG**

**PROGETTAZIONE DI SISTEMA**

Fachbereich

Grundlagen für die Planung

Thema

Bemessung und konstruktive  
Durchbildung der Bauwerke

Dokumentenart

Technischer Bericht

Dokumenteninhalt

Bemessungskonzept Tübbingring

Settore

Dati di base per la progettazione

Tema



Dimensionamento e configurazione strutturale  
delle opere

Tipo Documento

Relazione Tecnica

Contenuto documento

Standard per il dimensionamento strutturale  
dell'anello di concii

	Bearbeitet / elaborato	Datum / data 16.01.2013		Name / nome S.Höser					
	Geprüft / verificato	Datum / data 17.01.2013		Name / nome U.Grunicke					
	Freigegeben / autorizzato	Datum / data 18.01.2013		Name / nome G. Fischnaller					
		Datum / data 31.05.2013		Datum / data 31.05.2013					
		Name / nome K. Bergmeister		Name / nome R. Zurlo					
Masstab / scala  1 : -		Projektkilometer / progressiva di progetto		von / da 2,107	bis / a 56,250	bei / al			
		Kilometer / progressiva		von / da	bis / a	bei / al			
Staat Stato	Los Lotto	Einheit Unità	Nummer Numero	Vertrag Contratto	Fachb. Settore	Thema Tema	Dokumentenart Tipo Documento	Nummer Codice	Revision Revisione
00	- Ü01	- GD	- 001	D0616	- III	- 08	- TB	- 3604	- 25



## Bearbeitungsstand Stato di elaborazione

Revision Revisione	Änderungen / Cambiamenti	Verantwortlicher Änderung Responsabile modifica	Datum Data
25	Abgabeexemplar (keine inhaltlichen Änderungen) / Copia di consegna (nessuna modifica di contenuto)	Höser	31.05.2013
04	Überarbeitung gem. Besprechung vom 18.12.2012 / Revisione secondo riunione del 18.12.2012	Höser	16.01.2013
03	Überarbeitung gem. Besprechung vom 14.09.2012 / Revisione secondo riunione del 14.09.2012	Höser	30.09.2012
02	Überarbeitung gem. Besprechung vom 09.08.2012 / Revisione secondo riunione del 09.08.2012	Höser / Grunicke	10.08.2012
01	Überarbeitung gem. Abstimmung BBT revidiertes Tübbingdokument / Recepimento dei commenti di BBT sul documento relativo al rivestimento definitivo	Poli / Höser	29.02.2012
00	Erstversion / Prima Versione	Poli / Höser	22.12.2011

## INHALTSVERZEICHNIS INDICE

<b>1.</b>	<b>ALLGEMEINES.....</b>	<b>8</b>
<b>1.</b>	<b>GENERALE.....</b>	<b>8</b>
<b>2.</b>	<b>TÜBBINGSYSTEM .....</b>	<b>9</b>
<b>2.</b>	<b>SISTEMA DI RIVESTIMENTO IN CONCI .....</b>	<b>9</b>
<b>3.</b>	<b>GRUNDLAGEN.....</b>	<b>11</b>
<b>3.</b>	<b>RIFERIMENTI.....</b>	<b>11</b>
3.1.	Projektspezifische Grundlagen.....	11
3.1.	Documenti di Riferimento .....	11
3.2.	Literatur / Normen .....	11
3.2.	Bibliografia e Normative .....	11
<b>4.</b>	<b>BEMESSUNGSKONZEPT FÜR TÜBBINGSCHALE.....</b>	<b>14</b>
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA PROGETTUALE PER IL RIVESTIMENTO IN CONCI.....</b>	<b>14</b>
4.1.	Grundlagen.....	14
4.1.	Principi di calcolo.....	14
4.2.	Geotechnische Parameter.....	14
4.2.	Parametri geotecnici.....	14
4.3.	Rechenmodell.....	14
4.3.	Modello di calcolo .....	14
4.3.1.	Statische Berechnung Tübbingschale .....	14
4.3.1.	Dimensionamento statico del rivestimento in conci .....	14
4.3.2.	Statische Berechnung Bau- und Manipulationszustände (Transport) .....	15
4.3.2.	Dimensionamento statico per le fasi di costruzione e movimentazione .....	15
4.4.	Koppelung in Ring- und Längsfugen .....	15
4.4.	Collegamento tra i giunti tra gli anelli e giunti longitudinali .....	15
<b>5.</b>	<b>EINWIRKUNGEN .....</b>	<b>17</b>
<b>5.</b>	<b>AZIONI .....</b>	<b>17</b>
5.1.	Maßgebende Einwirkungen abhängig vom Auskleidungssystem (ein- oder zweischalig) .....	17
5.1.	Azioni rappresentative riconducibili al sistema di rivestimento (guscio singolo o doppio) .....	17
5.2.	Eigengewicht G1 .....	20
5.2.	Peso proprio G1 .....	20
5.3.	Oberleitung G2 .....	20
5.3.	Catenaria G2 .....	20
5.4.	Sohlbeton G3.....	20
5.4.	Riempimento in calcestruzzo al di sopra l'arco rovescio G3.....	20
5.5.	Wasserdruck G4.....	20
5.5.	Pressione idrostatica G4 .....	20

5.6.	Gebirgslast G5.....	21
5.6.	Carico dell'ammasso G5 .....	21
5.7.	Kriechen und Schwinden des Betons G6.....	22
5.7.	Viscosità e ritiro del calcestruzzo G6 .....	22
5.8.	Quelldruck G7.....	22
5.8.	Potenziale di rigonfiamento G7 .....	22
5.9.	Temperatur und Schwinden Q1 .....	22
5.9.	Azioni termiche Q1 .....	22
5.10.	Verkehrslast Q2.....	23
5.10.	Traffico veicolare Q2 .....	23
5.11.	Erdbebeneinwirkung E1 .....	23
5.11.	Azioni sismiche E1 .....	23
5.12.	Druck / Sog infolge Zufahrt A1 .....	23
5.12.	Pressione aerodinamica A1 .....	23
5.13.	Anpralllast A2 .....	24
5.13.	Urto A2 .....	24
5.14.	Brand A3.....	24
5.14.	Incendio A3.....	24
5.15.	Ausfall einer Koppelstelle A4.....	25
5.15.	Cedimento di un giunto A4 .....	25
5.16.	Belastung durch Abheben aus der Schalung, Lagerung, Transport, Anhebung durch Erektor B1 .....	25
5.16.	Azioni dovute all'estrazione dal cassero, stoccaggio, movimentazione, sollevamento mediante erettore B125	
5.17.	Vortriebskräfte und Einbau der Tübbinge B2 .....	25
5.17.	Spinta della macchina ed installazione del concio B2.....	25
5.18.	Belastung im Sohlbereich durch Nachläufer B3.....	26
5.18.	Carico sulla soletta di fondo dovuto al back-up B3 .....	26
5.19.	Ringspaltverpressung B4 .....	26
5.19.	Iniezione di riempimento B4 .....	26
5.20.	Teilgebetteter Zustand B5 .....	26
5.20.	Appoggio parziale del rivestimento B5.....	26
5.21.	Sonstige Lasten aus Bauzuständen B6 .....	27
5.21.	Altre azioni in fase di costruzione B6 .....	27
5.22.	Einwirkung aus Verschneiden mit Querschlägen.....	27
5.22.	Effetto in corrispondenza ai cunicoli di collegamento trasversale.....	27
<b>6.</b>	<b>MATERIALKENNWERTE.....</b>	<b>28</b>
<b>6.</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....</b>	<b>28</b>
6.1.	Materialkennwerte Beton.....	28
6.1.	Caratteristiche del calcestruzzo .....	28
6.2.	Materialkennwerte Bewehrungsstahl .....	29
6.2.	Caratteristiche dell'acciaio da armatura .....	29

<b>7.</b>	<b>ANZUSETZENDE ABMINDERUNGSFAKTOREN .....</b>	<b>31</b>
<b>7.</b>	<b>COEFFICIENTI DI RIDUZIONE DA APPLICARE .....</b>	<b>31</b>
7.1.	Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) .....	31
7.1.	Stati Limite Ultimi (SLU) .....	31
7.1.1.	Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen .....	31
7.1.1.	Coefficienti parziali di sicurezza per le azioni .....	31
7.1.2.	Kombinationsbeiwerte Einwirkungen .....	31
7.1.2.	Coefficienti di combinazione delle azioni .....	31
7.1.3.	Einwirkungskombinationen .....	32
7.1.3.	Combinazioni delle azioni .....	32
7.1.4.	Teilsicherheitsfaktoren Widerstand .....	32
7.1.4.	Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze .....	32
7.2.	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) .....	32
7.2.	Stati Limite di Esercizio (SLE) .....	32
7.2.1.	Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen .....	32
7.2.1.	Coefficienti parziali di sicurezza delle azioni .....	32
7.2.2.	Kombinationsbeiwerte Einwirkungen .....	33
7.2.2.	Coefficienti di combinazione delle azioni .....	33
7.2.3.	Einwirkungskombinationen .....	33
7.2.3.	Combinazioni delle azioni .....	33
7.2.4.	Teilsicherheitsfaktoren Widerstand .....	33
7.2.4.	Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze .....	33
<b>8.</b>	<b>NACHWEISE .....</b>	<b>34</b>
<b>8.</b>	<b>VALORI LIMITE .....</b>	<b>34</b>
8.1.	Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) .....	34
8.1.	Stati Limite Ultimi (SLE) .....	34
8.2.	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (GZG) .....	35
8.2.	Stati Limite di Esercizio (SLE) .....	35
<b>9.</b>	<b>ERLÄUTERUNGEN ZUM BEMESSUNGSKONZEPT DER TÜBBINGSCHALE IN DER BAUPHASE ...</b>	<b>36</b>
<b>9.</b>	<b>INDICAZIONI SUI PRINCIPI DI DIMENSIONAMENTO DEL RIVESTIMENTO IN CONCI NELLA FASE DI COSTRUZIONE .....</b>	<b>36</b>
9.1.	Projektgrundlagen .....	36
9.1.	Basi per la progettazione .....	36
9.2.	Herstellung, Transport und Lagerungszustände/Bauzustände .....	36
9.2.	Produzione, movimentazione e stoccaggio / Fasi di costruzione .....	36
9.2.1.	Statisches Modell .....	36
9.2.1.	Modello statico .....	36
9.2.2.	Standortsicherheitsnachweise .....	37
9.2.2.	Verifiche di sicurezza .....	37
9.3.	TBM-Vortrieb .....	38
9.3.	Avanzamento della TBM .....	38
9.3.1.	Kontaktdruckkräfte auf die Vortriebspressen .....	38
9.3.1.	Pressioni di contatto indotte dalla spinta della macchina sui martinetti .....	38

9.3.2.	Statische Berechnungen .....	39
9.3.2.	Analisi e verifiche strutturali .....	39
9.3.3.	Zugkräfte infolge der Krafteinleitung .....	39
9.3.3.	Trazioni indotte dall'azione di spinta .....	39
<b>10.</b>	<b>BAULICHE DURCHBILDUNG .....</b>	<b>40</b>
<b>10.</b>	<b>CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE.....</b>	<b>40</b>
10.1.	Mindestdicke Tübbingschale .....	40
10.1.	Spessore minimo del rivestimento in conci .....	40
10.2.	Betondeckung.....	40
10.2.	Copriferro.....	40
10.3.	Mindest- und Höchstbewehrung.....	40
10.3.	Armatura minima .....	40
<b>11.</b>	<b>EINBAUTEILE.....</b>	<b>41</b>
<b>11.</b>	<b>POSA IN OPERA .....</b>	<b>41</b>
<b>12.</b>	<b>VERZEICHNISSE.....</b>	<b>42</b>
<b>12.</b>	<b>ELENCHI.....</b>	<b>42</b>
12.1.	Tabellenverzeichnis.....	42
12.1.	Elenco delle Tabelle .....	42
12.2.	Abbildungsverzeichnis.....	42
12.2.	Elenco delle illustrazioni .....	42
12.3.	Anhangsverzeichnis .....	42
12.3.	Elenco delle allegati .....	42

## 1. ALLGEMEINES

Das vorliegende Dokument gilt als Grundlage für die Dimensionierung der Tübbinge und der Tübbingschale aus Fertigteilelementen bei Vortrieb der Haupttunnelröhre des Brenner Basis Tunnels (BBT) mit einer Schildvortriebsmaschine (TBM-DS oder TBM-S).

In diesem Bericht werden im Allgemeinen die Bemessungsgrundlagen, die Einwirkungen und die Einwirkungskombinationen für die Dimensionierung der Tübbingschale erläutert und die Teilsicherheitsfaktoren für die Einwirkungen sowie der Materialsicherheit, welche im Zuge einer Gegenüberstellung der beiden nationalen Vorschriften (Österreich / Italien) ermittelt wurden, definiert.

Auf Basis der in diesem Dokument angeführten Grundlagen für die Bemessung der Tübbinge hat der Auftragnehmer (AN) in der Ausführungsphase alle Tübbingtypen (Regel-, Sondertübbinge) im Detail zu dimensionieren und zu planen.

Das Tübbingkonzept ist durch den Ausschreibungsplaner festzulegen.

Bei Abweichung von den nachstehend aufgeführten Mindestanforderungen (Werkstoffe, etc.) oder von den bestehenden Bemessungskonzepten, sind die erforderlichen Nachweise und die Bewehrungsführung entsprechend anzupassen und dem AG zur Prüfung vorzulegen.

Der vorliegende Bericht baut auf das Dokument D0616-III-08-TB-3601 – „Leitfaden für die Modellierung und Festlegung der Berechnungsgrundsätze“ auf.

### **Hinweis:**

**Im Falle von Widersprüchen zwischen den Vorgaben in diesem Dokument und den aktuellen italienischen Gesetzen gelten - für Italien - die Vorgaben entsprechend den Gesetzen.**

## 1. GENERALE

Questo documento è la base per il dimensionamento del rivestimento in conci con elementi prefabbricati della galleria principale della Galleria di base del Brennero (BBT) per lo scavo mediante TBM scudata o doppio-scudata (TBM-DS o TBM S).

La relazione illustra in generale i principi di dimensionamento del rivestimento in conci, con le relative le azioni, le loro combinazioni di carico ed i coefficienti parziali di sicurezza per le azioni e la sicurezza dei materiali risultanti dal confronto delle normative nazionali vigenti in Austria e Italia.

In relazione alle informazioni contenute nel presente documento di base per la progettazione dei conci, il progettista esecutivo dimensionerà, nella fase di progettazione esecutiva, tutti i tipi di concio (normale e speciale).

Il tipo di rivestimento in conci deve essere determinato dal progettista esecutivo.

Se la soluzione proposta non rispetta i requisiti minimi (materiali, ecc.) od i principi di progettazione allo stato dell'arte, devono essere sviluppati e presentati alla Committenza, per verifica ed approvazione, gli studi e le verifiche necessarie.

La presente relazione si basa sul documento D0616-III-08-TB-3601 „Linee guida per la modellazione e definizione dei principi di progettazione“.

### **Nota:**

**In caso di discordanza tra le direttive in questo documento e le leggi italiane vigenti fanno fede - per l'Italia - le prescrizioni delle leggi pertinenti.**

## 2. TÜBBINGSYSTEM

Die Tunnelauskleidung erfolgt beim Tübbingausbau generell als einschaliges, abgedichtetes Auskleidungssystem. Nach Erfordernis werden eine Kunststoffabdichtung und eine Innenschale aus Ortbeton eingebaut.

Das einschalige Auskleidungssystem übernimmt auf die Bemessungsdauer folgende Funktionen:

- Sicherung der Hohlraumlaibung
- Tragsicherheit des Tunnelbauwerks
- Gebrauchstauglichkeit des Tunnelbauwerks (Dichtheit, Dauerhaftigkeit)

Bei zweischaligen Auskleidungssystemen mit Tübbing-Außenschale und tragfähiger Innenschale aus Ortbeton übernimmt der Tübbingausbau folgende Funktionen:

- Sicherung der Hohlraumlaibung
- Tragsicherheit des Tunnelbauwerks

Die Gebrauchstauglichkeit und Brandbeständigkeit werden diesfalls von der Ortbeton-Innenschale übernommen. Gegebenenfalls ist das Zusammenwirken von Tübbingschale mit Innenschale zu berücksichtigen. In diesem Fall wird die Innenschale die Funktion der Tragfähigkeit übernehmen.

Die Einzeltübbinge eines Ringes liegen direkt aneinander, d.h. quer- und normal-kraftschlüssig. Die Tübbingfugen sind von Tübbingring zu Tübbingring jeweils versetzt anzuordnen. Die Abstände der Gelenkfugen haben Einfluss auf das Tragverhalten des gekoppelten Systems und sind vom AN festzulegen und zu begründen

Das grundsätzliche Tübbingsystem wird durch den Ausschreibungsplaner festgelegt. Die Detailplanung sowie die Detailbemessung für die vom Tübbingkonzept abhängigen temporären oder dauerhaften Verbindungen in den Längs- und Ringfugen mit Schrauben, Dübeln, Führungsstäben, etc. werden durch den Ausführungsplaner erstellt. Diese werden daher im vorliegenden Bericht nicht behandelt.

## 2. SISTEMA DI RIVESTIMENTO IN CONCI

Il rivestimento in conci della galleria è in genere ad unico guscio, cioè l'unico rivestimento permanente. Se necessario, al suo interno sarà posata una membrana di impermeabilizzazione e sarà realizzato un ulteriore guscio gettato in opera.

Durante la vita nominale dell'opera, il sistema a singolo guscio deve garantire le seguenti funzioni:

- Protezione della superficie della galleria
- Sicurezza strutturale della galleria
- Funzionalità dell'opera (tenuta, durabilità)

Nei sistemi a doppio guscio con rivestimento esterno in conci e rivestimento interno gettato in opera, i conci prefabbricati hanno le seguenti funzioni:

- Protezione della superficie della galleria
- Sicurezza strutturale della galleria

Il mantenimento della funzionalità e la resistenza in caso di incendio sono in questo caso compito del rivestimento interno di calcestruzzo gettato in opera. Sarà eventualmente da considerare l'interazione tra rivestimento in conci e rivestimento interno. In questo caso la funzione portante sarà assunta dal rivestimento interno.

I conci prefabbricati sono collegati sia in direzione trasversale che radiale a formare anelli che permettano la trasmissione degli sforzi normali e tangenziali. I giunti trasversali devono essere sfalsati rispetto ai giunti longitudinali. Le distanze tra le cerniere di collegamento influiscono sul comportamento strutturale del rivestimento in conci e devono essere verificate dal Progettista esecutivo.

Il tipo di anello sarà definito dal Progettista esecutivo nel progetto per la gara lavori, redigendo anche la progettazione ed il dimensionamento dettagliato delle connessioni (siano esse a carattere temporaneo o permanente) dei giunti longitudinali o ad anello (verifiche di viti, tasselli, barre guida, conex o qualsiasi sistema sarà adottato), legate alla concezione dei conci. Pertanto, tali connessioni, non sono trattate nel presente documento.



### 3. GRUNDLAGEN

#### 3.1. Projektspezifische Grundlagen

Die folgenden Dokumente wurden als Grundlagen für die Erstellung des vorliegenden Berichtes verwendet:

1. D0616-3001 – Projektanforderungen, Nutzungsanforderungen
2. D0616-3010 - Technische Spezifikationen: Tübbinge
3. D0616-3410 – BBT Geomechanische Richtlinie
4. D0616-3601 – Leitfaden für die Modellierung und Festlegung der Berechnungsgrundsätze
5. D0118-TB-02868-10 – Konzept baulicher Brandschutz
6. D0118-04326 – Sicherheit gegenüber Feuerexplosionen
7. D0116-00064 – Aerodynamik – Klima - Lüftung
8. E-Mail K. Bergmeister vom 22.11.2012 „documento coefficienti di sicurezza“

#### 3.2. Literatur / Normen

Für die Erstellung des gegenständlichen Berichtes werden die folgenden Literaturen, Regelwerke und Normen in der jeweils gültigen Fassung berücksichtigt. Für die zukünftige Planung sind die oder die jeweils zu ersetzenden Nachfolgewerke zu berücksichtigen.

##### Literatur

- [1]. **Vrettos, C.**, 2009 – Tunnelbauwerke unter Erdbebenbeanspruchung, Taschenbuch für den Tunnelbau 2009
- [2]. **Wang, J.**, 1993 - Seismic Design of Tunnels - A Simple State-of-the-Art Design
- [3]. **Hashash, Y.**, et al., 2001, - Seismic design and analysis of underground structures, Tunnelling and underground space technology 16, (247-293)
- [4]. **Grunicke, U.**, 2001, Auswirkungen quellfähigen Gebirges auf Vortrieb und Ausbau eines Tunnels - numerische Simulation und Vergleich mit Feldmessungen.
- [5]. **Wittke-Gattermann, P.**, 2003, Dimensioning of Tunnels in Swelling Rock, ISRM,

### 3. RIFERIMENTI

#### 3.1. Documenti di Riferimento

Come riferimento per la preparazione della presente relazione sono stati considerati i seguenti documenti:

1. D0616-3001 – Requisiti delle basi di progettazione
2. D0616-3010 - Specifica tecnica: conci
3. D0616-3410 - BBT linee guida geomeccaniche
4. D0616-3601 - Manuale per la modellazione e determinazione dei principi di calcolo
5. D0118-TB-02868-10 – Concetto sull'antincendio
6. D0118-04326 – Sicurezza nei riguardi dell'esposizione al fuoco
7. D0116-00064 – Aerodinamica – Clima - Ventilazione
8. E-mail K. Bergmeister del 22.11.2012 „documento coefficienti di sicurezza“

#### 3.2. Bibliografia e Normative

Per la redazione della presente relazione si è fatto riferimento alla seguente letteratura ed alle seguenti normative e direttive. Nella futura progettazione andranno considerate le successive modifiche e integrazioni rispettivamente vigenti.

##### Letteratura

- [1]. **Vrettos, C.**, 2009 – Tunnelbauwerke unter Erdbebenbeanspruchung, Taschenbuch für den tunnelbau 2009
- [2]. **Wang, J.**, 1993 - Seismic Design of Tunnels - A Simple State-of-the-Art Design
- [3]. **Hashash, Y.**, et al., 2001, - Seismic design and analysis of underground structures, Tunnelling and underground space technology 16, (247-293)
- [4]. **Grunicke, U.**, 2001, Auswirkungen quellfähigen Gebirges auf Vortrieb und Ausbau eines Tunnels - numerische Simulation und Vergleich mit Feldmessungen.
- [5]. **Wittke-Gattermann, P.**, 2003, Dimensioning of Tunnels in Swelling Rock, ISRM, Technol-

Technology roadmap for rock mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy.

- [6]. **Hashash, Y., et al.**, 2001, Seismic design and analysis of underground structures, Tunnelling and underground space technology 16, (247-293)
- [7]. **Guglielmetti, V., et al.**, 2008, Mechanized Tunnelling in Urban Areas, Taylor & Francis
- [8]. **Leonhardt, F.**, 1977. Vorlesungen über Massivbau.
- [9]. **Muir Wood A. M.**, 1975, The circular tunnel in elastic ground, Geotechnique 25 No.1, S.115-127.
- [10]. **Janßen P.**, 1983, Tragverhalten von Tunnelausbauten mit Gelenktübbings, Bericht-Nr. 83-41, Technische Universität Braunschweig.

#### Normen / Richtlinien UE

- TSI-SRT Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität – Tunnelsicherheit, Ausgabe 2007
- ÖNORM UNI EN 1990; Eurocode 0 (EC0) – Basis of structural Design – 2010
- ÖNORM UNI EN 1991-1; Eurocode 1 (EC1) – Actions on structures – 2010/2011
- ÖNORM UNI EN 1992; Eurocode 2 (EC2) – Design of concrete structures – 2012
- ÖNORM UNI EN 1997; Eurocode 7 (EC 7) – Geotechnical Design – 2011

#### Normen / Richtlinien Italien

- Technische Konstruktionsnormen 2008 – NTC 2008;
- Leitfaden N.617, Vorgehensweise für technische Konstruktionsnormen, Ausgabe Januar 2008
- UNI EN 1990:2006 - Eurocode– Grundlagen zur Tragwerksplanung und Dokumente nationaler Anwendung;
- UNI EN 1992:2005 - Eurocode 2– Planung von Stahlbetonbauwerken und Dokumente nationaler Anwendung;
- UNI EN 1997:2005 - Eurocode 7– Planung Geotechnik und Dokumente nationaler Anwendung;
- DM 28/10/2005 Sicherheit für Bahntunnel;

#### Normen / Richtlinien Österreich

- OENORM EN 1990; Grundlagen der Tragwerksplanung, 2003 AMD 1 2006, Ausgabe

#### Progettazione di sistema

##### Settore: III Dati di base per la progettazione

ogy roadmap for rock mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy.

- [6]. **Hashash, Y., et al.**, 2001, Seismic design and analysis of underground structures, Tunnelling and underground space technology 16, (247-293)
- [7]. **Guglielmetti, V., et al.**, 2008, Mechanized Tunnelling in Urban Areas, Taylor & Francis
- [8]. **Leonhardt, F.**, 1977. C.a. & c.a.p. calcolo di progetto & tecniche costruttive.
- [9]. **Muir Wood A. M.**, 1975, The circular tunnel in elastic ground, Geotechnique 25 No.1, S.115-127
- [10]. **Janßen P.**, 1983, Tragverhalten von Tunnelausbauten mit Gelenktübbings, Bericht-Nr. 83-41, Technische Universität Braunschweig

#### Norme / Linee Guida EU

- TSI-SRT Specifiche tecniche per interoperabilità – sicurezza della galleria, edizione 2007
- UNI ÖNORM EN 1990; Eurocode 0 (EC0) – Basis of structural Design – 2010
- UNI ÖNORM EN 1991-1; Eurocode 1 (EC1) – Actions on structures – 2010/2011
- UNI ÖNORM EN 1992; Eurocode 2 (EC2) – Design of concrete structures – 2012
- UNI ÖNORM EN 1997; Eurocode 7 (EC7) – Geotechnical Design – 2011

#### Norme / Linee guida Italia

- Norme Tecniche delle Costruzioni 2008 – NTC 2008;
- Circolare n.617, Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008
- UNI EN 1990:2006 - Eurocodice – Basi per la progettazione strutturale e documento di applicazione nazionale;
- UNI EN 1992:2005 - Eurocodice 2– Progettazione delle strutture in calcestruzzo e documento di applicazione nazionale;
- UNI EN 1997:2005 - Eurocodice 7– Progettazione geotecnica e documento di applicazione nazionale;
- DM 28/10/2005, Sicurezza nelle gallerie ferroviarie.

#### Norme / Linee guida Austria

- OENORM EN 1990; Basi per la progettazio-

September 2006

- OENORM B 1990-2; Grundlagen der Tragwerksplanung - Brückenbau, Ausgabe Dezember 2010
- OENORM EN 1991 – Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 2, Verkehrslasten auf Brücken, Ausgabe März 2012
- OENORM EN 1991 – Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 7, Außergewöhnliche Einwirkungen, Ausgabe April 2007
- OENORM EN 1992-1-1:2011– Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- OENORM B 1992-1-1:2011 – Nationale Festlegungen zu OENORM EN 1992-1-1, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen
- OENORM EN 1997-1:2009 - Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, Teil 1: Allgemeine Regeln
- OENORM B 1997-1-1:2010 – Nationale Festlegungen zu OENORM EN 1997-1 und nationale Ergänzungen
- Richtlinie Innenschalenbeton, Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Ausgabe Oktober 2003
- Richtlinie Tübbingsysteme aus Beton, Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Ausgabe 2009
- Richtlinie Schildvortrieb „Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Ausgabe 2008
- RVS 09.01.44 Statisch konstruktive Richtlinien – Betondeckung der Stahleinlagen, Ausgabe Juni 2002
- Richtlinie Erhöhter Brandschutz mit Beton für unterirdische Verkehrsbauwerke, Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Ausgabe Juli 2005
- RVS 09.01.42 Geschlossene Bauweise im Lockergestein unter Bebauung
- Bewehrungsatlas – Eurocode ÖNORM EN 1992-1-1, ÖNORM B 1992-1-1, Ausgabe Oktober 2011

ne strutturale, edizione settembre 2006

- OENORM B 1990-2; Basi per la progettazione strutturale – costruzione di ponti, edizione di dicembre 2010
- OENORM EN 1991 – Carichi sulle strutture, parte 7, carichi straordinari, edizione aprile 2007
- OENORM EN 1992-1-1:2011– Dimensionamento delle costruzioni in calcestruzzo armato ed armato precompresso, parte 1-1: Regole generali e regole per edifici
- OENORM B 1992-1-1:2011 – Definizioni nazionali sulla OENORM EN 1992-1-1, Descrizioni e integrazioni nazionali
- OENORM EN 1997-1:2009 - Bozza, Calcolo e dimensionamento geotecnico, parte 1: regole generali
- OENORM B 1997-1-1:2010 – Definizioni nazionali sulla OENORM EN 1997-1 ed integrazioni nazionali
- Direttiva calcestruzzo dell'anello interno, Unione austriaca per la tecnica del calcestruzzo e delle costruzioni, edizione ottobre 2003
- Direttiva sul rivestimento in conci di calcestruzzo, Società Austriaca per la tecnologia del calcestruzzo e la costruzione, edizione 2009
- Direttiva per lo scavo con TBM scudate, Società Austriaca per la tecnologia del calcestruzzo e la costruzione, edizione 2008
- RVS 09.01.44 - Direttiva costruttiva statica – Copriferro, edizione giugno 2002
- Direttiva, Sicurezza antincendio alta qualità per costruzioni in sotterraneo, Unione austriaca per la tecnica del calcestruzzo e delle costruzioni, edizione luglio 2005
- RVS 09.01.42 Gallerie artificiali in terreni teneri in corrispondenza di edifici
- Appendice – Eurocodice ÖNORM EN 1992-1-1, ÖNORM B 1992-1-1, Edizione Ottobre 2011

## **4. BEMESSUNGSKONZEPT FÜR TÜBBINGSCHALE**

### **4.1. Grundlagen**

Die geologisch und geomechanisch relevanten Informationen sowie Angaben zur Modellbildung für die Dimensionierung der Tübbingschale des BBT können dem Dokument D0616-3601 – „Leitfaden für die Modellierung und Festlegung der Berechnungsgrundsätze“ entnommen werden. Im vorliegenden Dokument werden daher die geologischen und geomechanischen Randbedingungen nicht weiter erläutert.

### **4.2. Geotechnische Parameter**

Die Tübbingschale ist unter Berücksichtigung der Gebirgsarten, unter Verwendung der zugeordneten Gebirgskennwerte und der daraus resultierenden Einwirkungen zu dimensionieren. Die zu verwendenden Werte der geotechnischen Parameter sind gemäß dem Dokument D0616-3410 – „BBT Geomechanische Richtlinie“ zu bestimmen. Für die Ermittlung der Beanspruchungen der Tübbingschale sind die charakteristischen Werte der geotechnischen Parameter zu verwenden.

### **4.3. Rechenmodell**

#### **4.3.1. Statische Berechnung Tübbingschale**

Für die statische Bemessung der Tübbingschale kann der Auftragnehmer zwischen einem Stabwerksmodell BBM (Bedded Beam Model) wie unten beschrieben oder einem Finite-Elemente-Modell wählen.

In beiden Modellen muss der Planer die nachfolgend beschriebenen Lastenwirkungen berücksichtigen und die Überlagerung der Einwirkungen für die Lebensdauer der Tübbinge als auch der Tübbingschale als Ganzes nachweisen.

Im Fall der Verwendung eines Stabwerksmodells kann die Tübbingschale als ebener Stabzug mit gebetteten Balkenelementen berechnet werden (Zugausschaltung). Jedes Balkenelement wird durch mindestens einen Anfangs-, Mittel- und Endknoten und durch eine gekrümmte Systemlinie definiert.

## **4. METODOLOGIA PROGETTUALE PER IL RIVESTIMENTO IN CONCI**

### **4.1. Principi di calcolo**

Le informazioni rilevanti dal punto di vista geologico e geomeccanico e le istruzioni per la modellazione finalizzata al dimensionamento del rivestimento in conci della Galleria di base del Brennero possono essere estratte dal documento D0616-3601 – “Linee guida per la modellazione e definizione dei principi di progettazione”. Pertanto, il presente documento non illustra le condizioni al contorno geologiche e geomeccaniche.

### **4.2. Parametri geotecnici**

Il dimensionamento del rivestimento in conci deve tenere conto dei tipi di ammasso roccioso, dei relativi parametri e delle azioni risultanti. I valori da utilizzare per i parametri geotecnici sono da definire in base al documento D0616-3410 – BBT „Direttive geomeccaniche“. Per il calcolo delle sollecitazioni del rivestimento in conci si utilizzano i valori caratteristici dei parametri geotecnici.

### **4.3. Modello di calcolo**

#### **4.3.1. Dimensionamento statico del rivestimento in conci**

Per il dimensionamento strutturale del rivestimento in conci è possibile fare riferimento al metodo delle reazioni iperstatiche (BBM Bedded Beam Model), come descritto nel seguito, o modelli FEM, a seconda delle scelte del progettista.

In entrambi i casi il Progettista deve tenere in conto delle azioni sotto descritte e verificare la sovrapposizione degli effetti per la vita utile dei singoli conci e dell'intero rivestimento in conci. In caso di utilizzo del metodo BBM, il rivestimento sarà modellato con "elementi trave" appoggiati su un letto di molle non resistenti a trazione. Ogni elemento trave è caratterizzato da almeno un nodo di estremità e da nodi intermedi, localizzati in modo da rappresentare la curvatura dell'elemento.

Der Tübbingring aus Stahlbeton wird mit gekrümmten Balkenelementen simuliert.

Die Dehn- und Biegesteifigkeit der Balkenelemente wird mit EA bzw. EI bezogen auf die Systemlinie ermittelt, wobei der Anteil der Bewehrung vernachlässigt werden kann.

Das Betonverhalten kann im Rahmen der Regeln der EN1992-1-1 als linear-elastisch mit den darin je nach ausgewählten Festigkeitsklassen gegebenen Eigenschaften angenommen werden.

#### 4.3.2. Statische Berechnung Bau- und Manipulationszustände (Transport)

Für die Nachweise des Aushebens des Tübbings aus der Schalung, der Lagerung, der Manipulationen (Transport) und das Anheben für den Einbau können sowohl Finite-Elemente-Programme mit Balkenelementen als auch analytische Ansätze der Baustatik verwendet werden (vgl. Kapitel 9).

#### 4.4. Koppelung in Ring- und Längsfugen

Eine Tübbingschale hat eine andere Systemsteifigkeit als ein monolithischer Ring oder ein Einzelring aus Elementen, welche über Gelenke verbunden sind.

Das Tragverhalten der eingebauten Tübbingschale ist geprägt von Koppelungseffekten sowohl in den Ringfugen zwischen den einzelnen Tübbingringen als auch in den Längsfugen zwischen zwei Tübbingsteinen (siehe Abbildung 1:). Diese Effekte können in der Regel erst bei Vorliegen des endgültigen Tübbingdesigns und der Fugenausbildung erfasst werden.

Der Planer kann auf vereinfachte Modelle (z.B. nach Guglielmetti [7] oder Muir Wood [9]) im Rahmen ihrer jeweiligen Anwendungsgrenzen zurückgreifen, wenn damit ein sicheres und wirtschaftliches Design möglich ist. Bei diesen Modellen werden in der Regel Steifigkeiten und/oder Schnittgrößen auf einen idealisierten Einzelring und seine Längsfugen umgelegt.

#### Progettazione di sistema

Settore: III Dati di base per la progettazione

L'anello di conci in calcestruzzo armato è simulato con elementi tipo trave.

La rigidezza strutturale degli elementi trave è calcolata in relazione a EA e EI sulla linea d'asse di riferimento; il contributo dell'armatura può essere trascurato.

Il comportamento del calcestruzzo è assunto elastico lineare con caratteristiche desunte dall'EN1992-1-1, in funzione delle classi di resistenza selezionate.

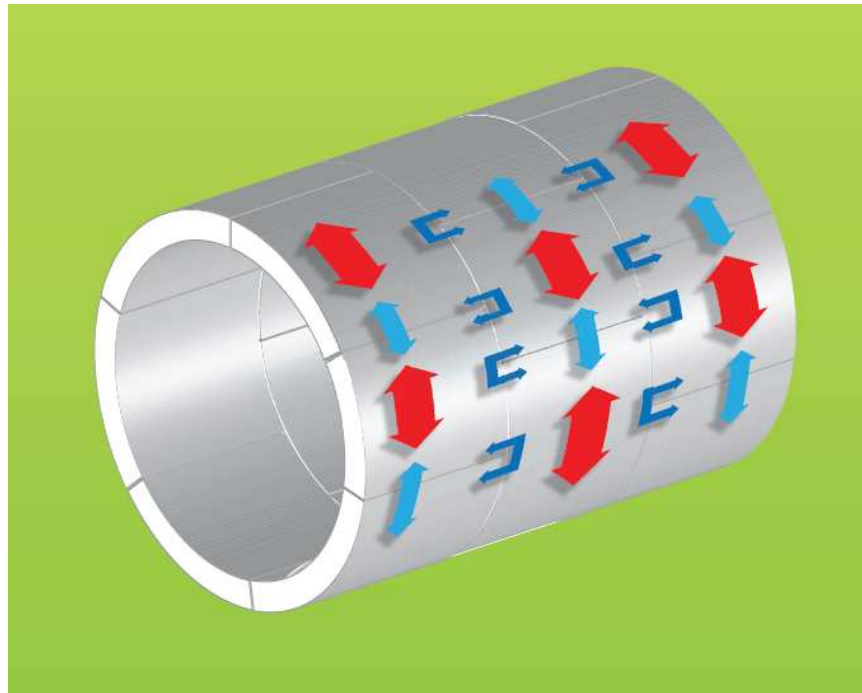
#### 4.3.2. Dimensionamento statico per le fasi di costruzione e movimentazione

Per le verifiche di estrazione dal cassero, stoccaggio, movimentazione e sollevamento per la posa in opera del concio è possibile utilizzare sia programmi ad elementi finiti con elementi di tipo beam, sia le formulazioni classiche della scienza delle costruzioni (si veda capitolo 9).

#### 4.4. Collegamento tra i giunti tra gli anelli e giunti longitudinali

E' chiaro che un rivestimento in conci ha una rigidezza complessiva diversa sia da quella di un anello monolitico sia da quella di un anello composto da elementi curvi con elementi di giunzione sempre nella medesima posizione.

La capacità portante di un rivestimento in conci in opera è caratterizzata da effetti di accoppiamento sia tra i giunti ad anello tra i singoli anelli di conci che nei giunti longitudinali tra due conci (si veda la Figura 1:). Generalmente tali effetti possono essere rilevati solo una volta che l'anello e la struttura dei giunti sia completa. Per il dimensionamento, il progettista può impiegare inizialmente modelli semplificati (ad es. Guglielmetti [7] o Muir Wood [9]) all'interno dei relativi limiti di applicazione. Questi modelli prevedono generalmente rigidzze e/o e sollecitazioni applicate ad un singolo anello ideale e al relativo giunto longitudinale.



*Abbildung 1: Spannungsumlagerung aufgrund der Berücksichtigung einer durch Fugen verminderten Steifigkeit [5]*

Der beauftragte Planer kann im Zuge der Ausführungsprojektierung das Tragverhalten der Tübbingsschale unter Berücksichtigung der Drehsteifigkeit der Gelenke gemäß Janßen [10] durchführen.

*Figura 1: Redistribuzione delle sollecitazioni dovuta all'ipotesi di rigidità ridotta per la presenza dei giunti [5]*

Nella progettazione esecutiva, il Progettista incaricato potrà valutare il comportamento portante del rivestimento in conci, tenendo conto della rigidità torsionale dei giunti secondo Janßen [10]

## 5. EINWIRKUNGEN

Im Folgenden werden Lastbilder definiert, welche nach Erfordernis für die Dimensionierung der Tübbingschale heranzuziehen sind. Die Lastgrößen (Lasten) selbst sind entsprechend den Randbedingungen zu definieren und mit dem AG abzustimmen.

Im Folgenden werden folgende Kürzel für die Einwirkungen herangezogen:

- G = ständige Einwirkungen
- Q = vorübergehende Einwirkungen
- A = außergewöhnliche Einwirkungen (z.B. Brand, Anprall, Explosion)
- E = Erdbeben
- B = vorübergehende Einwirkungen aus dem Bauzustand

### 5.1. Maßgebende Einwirkungen abhängig vom Auskleidungssystem (ein- oder zweischalig)

Folgende Tragfunktion des Auskleidungssystems mit Tübbingen ist zu unterscheiden:

1. Einschaliger Ausbau (die Tübbingschale stellt die endgültige Auskleidung dar);
2. Zweischaliger Ausbau mit Tübbing-Außenschale und Ortbetoninnenschale.

In der untenstehenden Tabelle sind die zu verwendenden Einwirkungen entsprechend der Funktion des Ausbaus bei einschaligem oder zweischaligem Ausbau zusammengefasst (eine detaillierte Aufstellung der Einwirkungskombinationen siehe Anhang I).

Die Nachweise während des Handlings auf der Baustelle (Transport, etc.) sowie beim Einbau der Tübbinge sind in beiden Fällen gleich.

## 5. AZIONI

Di seguito si definiscono le azioni da considerare nel dimensionamento del rivestimento in conci. Le entità dei carichi vanno definite in base alle condizioni al contorno e concordate con la Committenza.

Per le azioni si utilizzano le seguenti abbreviazioni:

- G = Azioni permanenti
- Q = Azioni variabili
- A = Azioni eccezionali (per es. incendio, urto, esplosione)
- E = Azioni sismiche
- B = Azioni temporanee in fase di realizzazione

### 5.1. Azioni rappresentative riconducibili al sistema di rivestimento (guscio singolo o doppio)

Si distinguono due tipi di rivestimento in base alla funzione portante:

- 1- Guscio singolo (il rivestimento in conci costituisce il rivestimento definitivo)
- 2- Guscio doppio con rivestimento esterno in conci e rivestimento interno in calcestruzzo gettato in opera.

La seguente tabella sintetizza le azioni da applicare in base alla funzione del rivestimento, in caso di guscio singolo o doppio (per i dettagli relativi alle combinazioni delle azioni si veda l'allegato I).

Le verifiche durante il maneggio sul cantiere (trasporto, etc.) e durante la posa in opera dei conci sono le stesse in entrambi i casi.

	Einwirkungen / Azioni	Einschaliger Ausbau / Rivestimento a singolo guscio	Zweischaliger Ausbau / Rivestimento a doppio guscio	
			BS1 <sup>1</sup>	BS2 <sup>2</sup>
ständige Einwirkungen / Azioni permanenti (G)	Eigengewicht / Peso proprio G1	V	V	V
	Oberleitung / Catenaria G2	V	X	X
	Sohlbeton / Riempimento al di sopra dell'arco rovescio G3	V	V	X
	Wasserdruck / Pressione idrostatica G4	V	X (Abhängig von der Präsenz der Abdichtung / dipende dalla presenza o meno delle guaine di impermeabilizzazione)	
	Gebirgslast / Carico dell'ammasso G5	V	V	V
	Kriechen und Schwinden / Viscosità e ritiro del calcestruzzo G6	V	V	V
	Quelldruck / Potenziale di rigonfiamento G7	V	V	V
	Rückstellkräfte zufolge Dichtungen, Schraubenkräfte / Forze dovute a ripristini, sigillature, tensioni nelle bullonature G8	V	V	V
veränderliche Einwirkungen / Azioni variabili (Q)	Temperatur und Schwinden / Azioni termiche Q1	V	V	X
	Verkehrslasten im Tunnel / Traffico veicolare Q2	V	V	X
Außergewöhnliche Einwirkungen / Azioni eccezionali (A)	Druck- und Sogbelastung zufolge Zugfahrt / Pressione aerodinamica A1	V	X	X
	Anpralllasten / Urto A2	V	X	X
	Brandlasten / Incendio A3	V	X	X
	Ausfall Koppelstelle / Cedimento di un giunto A4	V	X	V

<b>Erdbeben / Azioni sismiche (E)</b>	Erdbeben / Azioni sismiche E	V	V	X
<b>veränderliche Einwirkungen aus Bauzuständen / Azioni proprie della fase costruttiva (B)</b>	Belastung durch Abheben aus der Schalung, Lagerung, Transport, Anhebung durch Erektor / Estrazione dal cassero, stoccaggio, movimentazione e sollevamento dell'erettore B1	V	V	V
	Einbau und Vortriebskräfte / Spinta della TBM e posa in opera B2	V	V	V
	Belastung im Sohlbereich durch Nachläufereinrichtung / Azione sulla zona inferiore dovuta al back-up della TBM B3	V	V	V
	Ringspaltverpressung / Iniezione di riempimento B4	V	V	V
	Teilgebetteter Zustand / Appoggio parziale del rivestimento B5	V	V	V
	Sonstiges / Altro B6	V	V	V

Tabelle 1: Zusammenstellung der Einwirkungen für einschaligen oder zweischaligen Ausbau

Tabella 1: Abaco di applicazione delle azioni nel caso di rivestimento singolo o doppio guscio

Legende:

<sup>1</sup> ständige Bemessungssituation BS1 (nach Einbau der Ortbetonschale)

<sup>2</sup> vorübergehende Bemessungssituation BS2 (vor Einbau der Ortbetonschale)

V = zu berücksichtigende Einwirkungen

X = nicht zu berücksichtigende Einwirkung

Legenda:

<sup>1</sup> dimensionamento nella fase finale BS1 (dopo la posa di rivestimento in calcestruzzo gettato in opera)

<sup>2</sup> dimensionamento in fase provvisoria BS2 (prima della posa di rivestimento in calcestruzzo gettato in opera)

V = azioni da considerare

X = azioni da non considerare

## 5.2. Eigengewicht G1

Die für die Berechnung des Eigengewichts verwendete Querschnittsfläche pro Tunnelmeter basiert auf den Planmaßen der Konstruktion.

Das spezifische Eigengewicht des bewehrten Betons ist mit  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$  zu berücksichtigen.

## 5.3. Oberleitung G2

Die Einwirkungen sind aus den Plänen der Oberleitung zu entnehmen.

## 5.4. Sohlbeton G3

Das für die Berechnung des Eigengewichts verwendete Volumen basiert auf den Nenndimensionen der Konstruktion.

Das spezifische Gewicht des unbewehrten Betons wird mit  $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$  angenommen.

Das spezifische Gewicht des Stahlbetons wird mit  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$  angenommen.

## 5.5. Wasserdruck G4

Für den BBT sind grundsätzlich zwei Ausbauvarianten, d.h. druckdicht ( $\leq 5 \text{ bar}$ ) und druckentlastet (drainiert) möglich.

Der Wasserdruck ist als radial wirkend auf die Schale anzusetzen.

Die Wasserdruckhöhe ist gemäß der zu erwartenden Hydrogeologischen Bedingungen (siehe Projektunterlagen) zu berücksichtigen. Die Wasserlasten sind wie folgt anzusetzen:

## 5.2. Peso proprio G1

Il volume utilizzato per il calcolo del peso proprio si basa sulle dimensioni effettive della struttura.

Il peso specifico del calcestruzzo armato è assunto pari a  $\gamma_{c,ar} = 25 \text{ kN/m}^3$ .

## 5.3. Catenaria G2

I carichi possono essere estratti dagli elaborati riguardanti la catenaria.

## 5.4. Riempimento in calcestruzzo al di sopra l'arco rovescio G3

Il volume utilizzato per il calcolo del peso proprio si basa sulle dimensioni effettive della struttura.

Il peso specifico del calcestruzzo non armato è assunto pari a  $\gamma_{c,na} = 24 \text{ kN/m}^3$ .

Il peso specifico del calcestruzzo armato è assunto pari a  $\gamma_{c,ar} = 25 \text{ kN/m}^3$ .

## 5.5. Pressione idrostatica G4

Per la Galleria di base del Brennero sono possibili due soluzioni costruttive: rivestimento non drenato ( $\leq 5 \text{ bar}$ ) e rivestimento drenato (non in pressione).

La pressione idrostatica si applica come carico sul rivestimento nella sua direzione radiale.

Si considera il valore della pressione idrostatica in relazione alle condizioni idrogeologiche attese (si vedano i documenti di progetto).

Il carico idraulico è applicato secondo lo schema seguente:

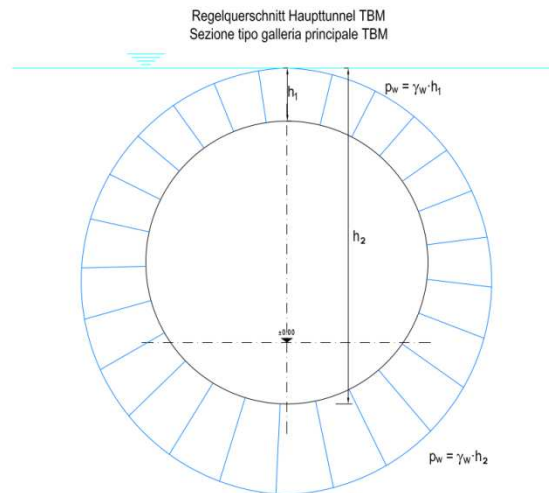


Abbildung 2: Lastbild Wasserdruck – druckdichter Regelquerschnitt

Für druckentlastete (drainierte) Tunnel wird der Wasserdruck bis in Höhe der Ulmenlängsdrainage berücksichtigt (siehe folgende Abbildung). Die Wasserlasten sind dann wie folgt anzusetzen:

Figura 2: Pressione idrostatica – sezione tipo non drenata

Per il caso di galleria drenata (senza pressione) il carico idraulico è considerato solo fino alla quota dei tubi di drenaggio (vedi figura sottostante). Il carico idraulico è applicato secondo lo schema seguente:

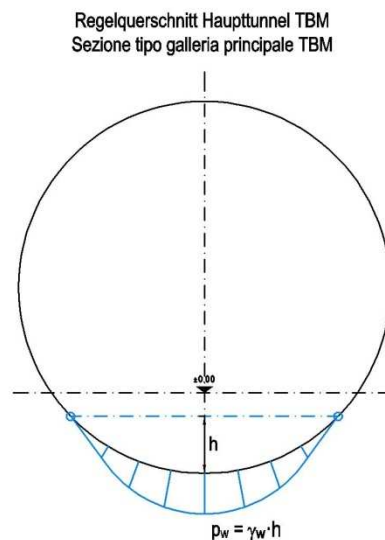


Abbildung 3: Lastbild Wasserdruck – drainierter Regelquerschnitt

Figura 3: Pressione idrostatica - Sezione tipo drenata

## 5.6. Gebirgslast G5

Die Ermittlung der Gebirgslast und deren Verteilung ist dem Dokument D0616-3601 – „Leitfaden für die Modellierung und Festlegung der Berechnungsgrundsätze“ zu entnehmen.

## 5.6. Carico dell'ammasso G5

Il carico dell'ammasso e la relativa distribuzione si ricava dal documento D0616-3601 „Linee guida per la modellazione e definizione dei principi di dimensionamento“.

## 5.7. Kriechen und Schwinden des Betons G6

Sofern für das Tragsystem maßgeblich, sind Kriechen und Schwinden wie folgt zu berücksichtigen.

Das Schwindmaß des Betons ist gemäß dem EC2, Abs. 3.1.4 zu ermitteln, und NTC 2008 Kap. 11.2.10.6.

Die Kriechzahl  $\phi$  wird gemäß dem EC2, Abs. 3.1.4 und NTC 2008 Kap. 11.2.10.7, unter Berücksichtigung des Spannungszustandes aus einer Einwirkungskombination ständiger Lasten (G1 (Eigengewicht) + G2 (Oberleitung) + G5 (Gebirge)) ermittelt.

Kriechen und Schwinden des Betons bewirkt eine Längenänderung  $\Delta l$ . Diese Längenänderung (Endschwindmaß) ist in Form einer gleichmäßigen Temperaturabkühlung der Rechnung zu Grunde zu legen.

## 5.8. Quelldruck G7

Der Quelldruck  $p_s$  ist jedenfalls aus Versuchen, z.B. Huder und Amberg, abzuleiten und der Dimensionierung der Tübbingschale zugrunde zu legen.

## 5.9. Temperatur und Schwinden Q1

Die Dimensionierung der Tübbingschale hat unter Berücksichtigung der Temperatureinwirkung gemäß der nachfolgenden Tabelle entsprechend dem Abstand zum Portal zu erfolgen.

Abstand Portal / Distanza dall'imbocco [km]	bis 3,0		3,0 - 10,0		>10,0	
Temperaturgradient / gradiente della temperatura $\Delta T$ / [°C]	5		2		2	
$\Delta T_{\text{eff}}$ [°C]	Winter / inverno	Sommer / estate	Winter / inverno	Sommer / estate	Winter / inverno	Sommer / estate
	-16	16	-10	10	-6	6

Tabelle 2: Temperatureinwirkung Tübbinge

Der Temperaturgradient gibt die Temperaturdifferenz zwischen der Innenkante der Tübbingschale und Außenkante Tübbingschale wieder.

## 5.7. Viscosità e ritiro del calcestruzzo G6

Viscosità e ritiro del calcestruzzo, se rilevanti per il sistema portante, vanno considerati come di seguito.

La deformazione dovuta al ritiro del calcestruzzo si calcola in base all'EC2 paragrafo 3.1.4 e alle NTC 2008 par. 11.2.10.6.

Il coefficiente di viscosità  $\phi$  si calcola ai sensi dell'EC2, paragrafo 3.1.4 ed alle NTC 2008 par. 11.2.10.7, considerando la condizione tensionale derivante dalla combinazione di azioni permanenti (G1 (peso proprio) + G2 (catenaria) + G5 (Carico dell'ammasso)).

Viscosità e ritiro del calcestruzzo comportano una variazione in lunghezza  $\Delta l$  (valore finale del ritiro), su cui deve essere basato il calcolo, in forma di diminuzione uniforme della temperatura.

## 5.8. Potenziale di rigonfiamento G7

Il potenziale di rigonfiamento  $p_s$  deve essere dedotto da prove e posto alla base del dimensionamento del rivestimento in conci.

## 5.9. Azioni termiche Q1

Per il dimensionamento del rivestimento in conci si considerano azioni termiche in conformità alla seguente tabella, secondo la distanza dall'imbocco.

Tabella 2: Temperatura dei conci

Il gradiente della temperatura indica la differenza di temperatura tra le superfici interna ed esterna del rivestimento in conci.

Temperaturbeanspruchungen während des Baus der Tübbingschale können vernachlässigt werden.

In Bereichen in denen Temperaturschwankungen ausgeschlossen werden können (z.B. im Bereich der Sohle durch Füllbeton), brauchen keine Temperaturlasten berücksichtigt zu werden.

Die Temperatureinwirkung infolge Brand wird in Kapitel 5.14 behandelt.

## 5.10. Verkehrslast Q2

Einwirkungen durch Verkehrslasten im Tunnelinneren sind gemäß den Vorgaben im EC 1, Teil 2, Abs. 6 und zusätzlich, auf italienischer Seite, der NTC 2008 Kap. 5.2 zu berücksichtigen.

## 5.11. Erdbebeneinwirkung E1

Aufgrund der vollständigen Bettung der Tübbingschale mit dem umgebenden Gebirge sowie der ständigen Einwirkungen, z.B. Überlagerungsdruck, wird der Lastfall „Erdbeben“ im Festgestein als nicht maßgebend bewertet und ist nicht zu berücksichtigen (siehe auch den Leitfaden 853.9120 zur DB-Richtlinie 853.2001 zu Absatz 15).

Im Lockermaterialbereich ist dieses Gefährdungsbild zu berücksichtigen. Die Erdbebeneinwirkung können z.B. mittels vorgeschlagener Methoden gemäß [1], [2] und [3] berücksichtigt werden.

## 5.12. Druck / Sog infolge Zugfahrt A1

Die Verdichtungs- und Druckentlastungsvorgänge aus der Zugsdurchfahrt sind in Dokument D0118-00064 „Aerodynamik – Klima – Lüftung“ festgelegt. Dem Dokument kann entnommen werden, dass im Extremfall (außergewöhnliche Einwirkung) im Tunnel aerodynamische Einwirkungen von  $\Delta p_{\text{Druck}} = + 11 \text{ kN/m}^2$  und  $\Delta p_{\text{Sog}} = - 9 \text{ kN/m}^2$  auf. Da diese Einwirkungen, auch unter Berücksichtigung der entsprechend angepassten Teilsicherheitsfaktoren die maßgebende Einwirkung darstellen, werden gemäß den Vorgaben in Anhang I die aerodynamischen Einwirkungen nur in Kombination von Einwirkungen bei außergewöhnlicher Bemessungssituation BS 3 nachgewiesen.

Le sollecitazioni derivanti dalla temperatura durante la costruzione rivestimento in conci possono essere trascurate.

Non è necessario considerare le azioni derivanti dalla temperatura in aree in cui possono essere escluse variazioni di temperatura (per es. nella parte inferiore con calcestruzzo di riempimento).

Le azioni derivanti dalle alte temperature a seguito di incendio si trattano nel par.5.14.

## 5.10. Traffico veicolare Q2

Le azioni derivanti dai carichi del traffico all'interno della galleria devono essere considerate secondo le prescrizioni dell'EC1, parte 2, paragrafo 6 e, sul lato italiano, secondo le NTC 2008 par. 5.2.

## 5.11. Azioni sismiche E1

In base alla connessione totale del rivestimento in conci con l'ammasso roccioso circostante e della presenza di altri carichi permanenti, per es. la pressione sul rivestimento, il carico dovuto al sisma non è determinante e non è considerato nei tratti di galleria in roccia (si vedano anche le linee guida 853.9120 nella direttiva DB 853.2001 al paragrafo 15).

Al contrario, nelle zone in materiale sciolto le azioni sono da considerare. Il carico sismico per il tunnel sarà applicato secondo la metodologia proposta in [1], [2] e [3].

## 5.12. Pressione aerodinamica A1

I processi di carico e scarico tensionale a seguito del passaggio dei treni sono definiti nel documento D0118-00064 „Aerodynamica – clima – ventilazione“. Dal documento si deduce che in casi estremi (azioni eccezionali) si presentano in galleria azioni aerodinamiche  $\Delta p_{\text{Druck}} = + 11 \text{ kN/m}^2$  und  $\Delta p_{\text{Sog}} = - 9 \text{ kN/m}^2$ . Poiché si tratta di azioni rilevanti, anche in considerazione dei relativi coefficienti parziali di sicurezza adottati, in conformità alle prescrizioni in allegato I, le azioni aerodinamiche si considerano solo associate in combinazione con le azioni derivanti dalla situazione di dimensionamento eccezionale BS3.

### 5.13. Anpralllast A2

In Ermangelung an spezifischen Risikoanalysen sind die folgenden statischen Ersatzlasten (harmonisiert gemäß Vorgabe EC1 bzw. NTC 2008), abhängig vom Abstand  $d$  des zu bemessenden Bauteils zur Gleisachse, anzusetzen.

für  $d \leq 5$  m:

- 4000 kN parallel zur Fahrtrichtung;
- 1500 kN quer zur Fahrtrichtung;

für  $5 \text{ m} < d \leq 15 \text{ m}$ :

- 2000 kN parallel zur Fahrtrichtung;
- 750 kN quer zur Fahrtrichtung;

für  $d > 15 \text{ m}$  gleich Null in beiden Fahrtrichtungen.

Diese Kräfte sind 1,80 m über Schienenoberkante anzusetzen.

Die Einwirkung Anprall Schienenfahrzeuge ist nur in den Verzweigungsbauwerken und Portalen zu berücksichtigen.

### 5.14. Brand A3

Die Brandbemessung ist gemäß den Vorschriften in EN1992-1-2 durchzuführen.

Für Konstruktionen auf österreichischer Seite ist die Bemessung nur in projektspezifischen festgelegten Schutzniveaus und Schutzzonen gemäß genehmigtem Projekt erforderlich. Es ist die Temperatur-Zeit Kurve gemäß [5] zugrunde zu legen.

Für die Konstruktionen auf italienischer Seite muss, in Übereinstimmung mit den Vorschriften des DM 28/10/2005 *Sicurezza gallerie ferroviarie* (Ministererlass zur Sicherheit der Eisenbahntunnel), der Stand-sicherheitsnachweis für alle Konstruktionen unter Berücksichtigung der Temperatur-Zeit-Kurve laut UNI 11076 gemäß [6] erbracht werden.

Darüber hinaus sind den Angaben im par. 3.6.1 der NTC 2008 zu folgen.

Ergänzend sind die Anforderungen der TSI – SRT zu berücksichtigen.

### 5.13. Urto A2

In mancanza di specifiche analisi di rischio, possono assumersi le seguenti azioni statiche equivalenti (secondo direttiva EC1 oppure NTC 2008), in funzione della distanza  $d$  degli elementi esposti dall'asse del binario:

per  $d \leq 5$  m:

- 4000 kN in direzione parallela alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;
- 1500 kN in direzione perpendicolare alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;

per  $5 \text{ m} < d \leq 15 \text{ m}$ :

- 2000 kN in direzione parallela alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;
- 750 kN in direzione perpendicolare alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;

per  $d > 15 \text{ m}$  pari a zero in entrambe le direzioni.

Queste forze dovranno essere applicate a 1,80 m dal piano del ferro.

L'azione è da considerare solo in corrispondenza alle caverne di diramazione ed ai portali.

### 5.14. Incendio A3

Il dimensionamento in caso di incendio si esegue in conformità alle prescrizioni della EN 1992-1-2.

Per la realizzazione lato Austria è necessario solo il dimensionamento riguardante il livello e le aree da proteggere, appositamente definite nel progetto definitivo; ci si deve basare sulla curva temperatura-tempo come in [5].

Per le opere lato Italia, in accordo alle prescrizioni del DM 28/10/2005 *Sicurezza gallerie ferroviarie*, deve essere testata la stabilità di tutte le opere in considerazione della curva temperatura-tempo secondo la UNI 11076 in conformità a [6].

Inoltre si deve tenere conto di quanto riportato nel par. 3.6.1 of NTC 2008.

Si devono inoltre considerare i requisiti contenuti nelle STI – SRT.

### 5.15. Ausfall einer Koppelstelle A4

Im Rahmen der Ausführungsplanung ist der außergewöhnliche Lastfall des Ausfalls einer Koppelstelle in der Ringfuge zu untersuchen.

Es ist nachzuweisen, dass kein Reißverschlusseffekt bzw. ein progressives Versagen entsteht.

### 5.16. Belastung durch Abheben aus der Schalung, Lagerung, Transport, Anhebung durch Erektor B1

Für den Nachweis der Tübbinge sind die Transportrandbedingungen (z.B. Situierung und Anzahl der Aufhängepunkte) und die Frühfestigkeit des Betons zu berücksichtigen.

Die Korrelation zwischen Zug- und Druckfestigkeit des Betons ist im Rahmen der Erstprüfung zu ermitteln. Das Erreichen der rechnerisch angesetzten Druckfestigkeit für das Ausschalen ist vom AN nachzuweisen.

Es sind mindestens die nachfolgenden Belastungen in Bauphase nachzuweisen:

- Lagerung
- Tübbingtransport
- Heben der Tübbinge mit Segmentlift oder Zange
- Einbau mit Erektor (Tübbing liegt horizontal)
- Ausfall des Erektors (Tübbing liegt vertikal in dessen Zentrierkranz und den Dornen des Erektors)
- Einbau Schlussstein.
- Schraubenkräfte
- Rückstellkräfte von Dichtprofilen

### 5.17. Vortriebskräfte und Einbau der Tübbinge B2

Die Pressenkräfte sind mit den maximalen Werten unter den beim Vortrieb auftretenden ungünstigen Lagerungsbedingungen der Tübbingringe anzusetzen.

Für die Dimensionierung sind durch den Ausschreibungsplaner die Vorschubkräfte aus z.B. Schneidradanpresskraft, Stützdruck und Schildrei-

### 5.15. Cedimento di un giunto A4

Nell'ambito della progettazione esecutiva si deve esaminare la condizione di carico eccezionale dovuta al cedimento di elemento di collegamento del giunto ad anello.

Si deve controllare che non si crei un "effetto cerniera", ovvero un cedimento progressivo.

### 5.16. Azioni dovute all'estrazione dal cassero, stoccaggio, movimentazione, sollevamento mediante erettore B1

Per il dimensionamento si devono considerare le condizioni di movimentazione (ad esempio posizionamento e numero di punti di fissaggio) e la resistenza iniziale del calcestruzzo.

La correlazione tra la resistenza a trazione ed a compressione del calcestruzzo è determinata durante la prima serie di prove. Il raggiungimento della resistenza a compressione programmata al momento dell'estrazione dal cassero deve essere verificata dall'impresa esecutrice dei lavori.

Devono essere condotte le seguenti verifiche per le fasi temporanee:

- Stoccaggio
- Trasporto dei conci
- Sollevamento del concio da parte dell'apparecchio di sollevamento o tenaglia
- Posa in opera mediante erettore (il concio giace orizzontale)
- Guasto dell'erettore (il concio giace verticale);
- Installazione del concio di chiave
- Resistenza dei bulloni
- Resistenza delle guaine impermeabilizzanti

### 5.17. Spinta della macchina ed installazione del concio B2

Le pressioni utilizzate per il dimensionamento degli anelli di conci devono cautelativamente essere assunte pari alle massime che la macchina può esercitare in condizioni sfavorevoli.

Per il dimensionamento dell'anello di conci, il progettista esecutivo deve definire provvisoriamente la spinta della TBM, in relazione alla resistenza

bung vorläufig anzunehmen und vom Ausführungsplaner anhand der tatsächlichen Maschinendaten zu verifizieren.

Die Stahlbetontübbinge sind für die einzuleitenden Vorschubkräfte (Regelvorschubkraft und erhöhte Vorschubkraft) zu bemessen. Dabei sind auch Fälle abzudecken, in denen infolge Versteuerung einseitige Pressenbelastungen auftreten, die zu einem Verschieben des Ringes nach außen führen.

Des Weiteren ist der Fall abzudecken, dass die Presse im Mittelbereich eines Tübbingsegmentes ausfällt und das Tübbingsegment als wandartiger Träger beansprucht wird. Einwirkungen, die aus einseitig erhöhten am Tübbing wirkenden Pressenkräften resultieren, sind abzudecken.

Die Flächenpressung unter den Pressenschuhen und unter den Zwischenlagen darf die maximal zulässige Spannung nicht überschreiten.

#### **5.18. Belastung im Sohlbereich durch Nachläufer B3**

Im Sohlbereich (vor allem bei den Sohlübbingen) sind die Einwirkungen aus dem Bauzustand wie Nachläufer, Transportlasten, etc. zu berücksichtigen. Die Festigkeitsentwicklung des Ringspaltmörtels ist dabei mit einzubeziehen.

#### **5.19. Ringspaltverpressung B4**

Bei der rechnerischen Modellierung des Verfülldruckes sind die zeitabhängigen Eigenschaften des Verfüllmaterials zu berücksichtigen. Der Lastfall mit einem maximalen Verfülldruck über die Oberfläche des Ringspaltes verteilt ist zu untersuchen. Mögliche Druckgradienten längs des Ringumfanges sind zu berücksichtigen.

Der Verfülldruck auf die installierten Tübbinge muss nach Ort und Größe längs des Ringumfanges durch den Auftragnehmer angegeben werden.

#### **5.20. Teilgebetteter Zustand B5**

In Abhängigkeit vom Prozedere der Ringspaltverfüllung mit Perlkies und/oder Ringspaltmörtel sind die vordersten Ringe in der Regel noch nicht über den gesamten Umfang voll gebettet. In diesem Fall ist

#### **Progettazione di sistema**

#### **Settore: III Dati di base per la progettazione**

all'avanzamento del fronte, attrito laterale dello scudo e pressione del terreno sullo scudo, nonché verificarla sulla base dei dati effettivi della macchina.

I conci armati devono essere verificati sulla spinta di progetto della TBM (spinta in condizioni normali e spinta di picco, per esempio per sbloccaggio). Devono essere considerati i casi in cui per deviazioni della TBM, il carico è applicato in modo asimmetrico, determinando uno spostamento dell'anello verso l'esterno.

Inoltre, bisogna considerare il caso in cui le scarpe di spinta della TBM non siano posizionate nella sezione media del concio ed occorra considerare il concio come un guscio (od elemento a piastra). È necessario verificare le trazioni indotte nel concio; è anche necessario considerare il carico trasmesso dalle scarpe di spinta agenti su un solo lato del concio.

La pressione superficiale applicata dalle scarpe di spinta nei giunti di contatto non deve superare la massima tensione ammissibile.

#### **5.18. Carico sulla soletta di fondo dovuto al back-up B3**

Nella parte inferiore dell'anello (in particolare nella zona più prossima alla coda dello scudo), si deve tenere conto dei carichi nella fase di costruzione come il telaio di sostegno della TBM, i carichi derivanti dalla movimentazione materiali, ecc. Inoltre, si deve anche considerare che in tale zona la resistenza della malta di riempimento non sia ancora quella finale.

#### **5.19. Iniezione di riempimento B4**

Nella modellazione dell'iniezione di riempimento si devono considerare le caratteristiche del materiale anche in funzione del tempo. E' da valutare il caso di carico con la massima pressione delle iniezioni di riempimento sulla superficie dell'anello. Se vi sono gradienti di pressione che si sviluppano lungo l'anello, questi devono essere considerati.

La pressione delle iniezioni di riempimento da applicare lungo la circonferenza per l'installazione degli anelli deve essere indicata, in distribuzione e valore, dal Progettista.

#### **5.20. Appoggio parziale del rivestimento B5**

A seconda del processo costruttivo per il riempimento del vuoto anulare tra l'ammasso ed i conci, riempito con pea gravel e/o malta, alcuni anelli poggiano completamente o meno sul terreno. In questo caso,

daher bei trennflächendominiertem Gebirge das außergewöhnliche Szenario (Grenzfallbetrachtung) eines gelösten Blockes (vgl. Gebirgslast G5) auf einem teilgebetteten Ring zu untersuchen.

### 5.21. Sonstige Lasten aus Bauzuständen B6

Für alle Bauzustände sind die Sonstigen Einwirkungen zu berücksichtigen.

### 5.22. Einwirkung aus Verschneiden mit Querschlägen

Die Kreuzungsbereiche sind aufgrund der geometrischen Randbedingungen der beiden zu verschneidenden Regelquerschnitte mittels räumlicher Schalenmodelle zu dimensionieren.

Diese Modelle werden mit ständigen, veränderlichen und falls notwendig mit sonstigen, oben beschriebenen Einwirkungen belastet. Zudem muss die Lasterhöhung aufgrund der Diskontinuität durch die Unterbrechung des Tübbingringes sowie der vergrößerte Auflockerungsbereich berücksichtigt werden.

In diesen Bereichen sind die Auswirkungen auf den bestehenden Tübbingring infolge der Öffnung für die Querschläge zu untersuchen und zu berücksichtigen, dass:

- im Bauzustand eine temporäre Maßnahme zur Unterstützung des Tübbingringes oder zur Sicherung einzelner Tübbingsteine erstellt werden soll
- im Endzustand der kritische Punkt im Bereich des Anschluss der Auskleidung des Querschlags am Tübbingring liegt und (bei einschaligem Ausbau) zu berücksichtigen ist.

### Progettazione di sistema Settore: III Dati di base per la progettazione

in presenza di un ammasso con importanti discontinuità, si dovrà esaminare il caso eccezionale (caso limite) del distacco di un blocco (vedi azione dell'ammasso G5) su un anello parzialmente poggianto.

### 5.21. Altre azioni in fase di costruzione B6

Per tutte le fasi di costruzione devono essere considerate tutte le ulteriori azioni presenti.

### 5.22. Effetto in corrispondenza ai cunicoli di collegamento trasversale

In relazione alle diverse geometrie delle due sezioni tipo presenti nelle zone di collegamento, per il dimensionamento si usa il modello spaziale a gusci.

Tali modelli dovranno tenere in conto delle azioni permanenti, variabili e, se necessario, eccezionali sopra descritte, nonché dell'amplificazione del carico causata dalla discontinuità strutturale dovuta all'interruzione dell'anello di conci e dall'allargamento della sezione trasversale.

Pertanto, in tali zone gli effetti dovuti all'apertura dei passaggi trasversali sugli anelli di conci del cunicolo devono essere analizzati tenendo conto:

- in fase temporanea, della realizzazione di una struttura provvisoria per il sostegno dell'anello di conci o per il consolidamento dei singoli conci
- in fase permanente, della criticità associata alla zona di collegamento tra l'anello di conci ed il rivestimento definitivo del cunicolo di collegamento (nel caso guscio singolo).

## 6. MATERIALKENNWERTE

Die Spezifikation der Materialien kann im Detail dem Dokument D0616-3010 – „Technische Spezifikationen: Tübbing“ entnommen werden.

### 6.1. Materialkennwerte Beton

Für die Bemessung der Tübbing sind folgende Festigkeitsklassen zu berücksichtigen:

Tübbingtypen / Tipo di conci	Festigkeitsklasse / Classe di resistenza
„Normaltübbing“ (in Fels und überwiegend felsbeanspruchte Bereiche) / Conci standard (da usarsi in condizioni di roccia e sollecitazione normali)	$\geq C 35/45$
„Sondertübbing“ (Störzone) / Conci speciali (da usarsi in zone difficili)	$\geq C 50/60$
Hinterfüllung / Materiale di riempimento	E-Modul (Hinterfüllung) / Modulo elastico (riempimento)
„Perlkieshinterfüllung“ / Riempimento con pea gravel	<i>Die Anforderungen an die Bettung des Tübbingrings sind durch den Ausschreibungsplaner festzulegen / I requisiti per il sottofondo dell'anello devono essere definiti dall progettista executivo</i>
„Mörtel“ / Malta	

Tabelle 3: Materialeigenschaften für den Tübbing

## 6. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Le caratteristiche dei materiali possono essere ricavate in dettaglio dal documento D0616-3010 – „Specifiche tecniche: conci“.

### 6.1. Caratteristiche del calcestruzzo

Per la progettazione dei conci si prenderanno in conto le classi di resistenza sotto riportate:

Tabella 3: Caratteristiche dei materiali per l'anello di conci

Für die Bemessung der Tübbing ist in der Regel ein Beton der Festigkeitsklasse C35/45 mit folgenden Eigenschaften zu berücksichtigen:

$$E_{cm} = 34.000 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{ck} = 35 \text{ MN/m}^2$$

Hierbei sind:

$E_{cm}$  = Mittelwert Sekantenmodul

$f_{ck}$  = charakteristische Druckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen

Die Arbeitslinie (Spannung-Dehnungs-Linie) für den Druckbereich des Betons ist gemäß EC2, Bild 3.4 (siehe Abb. 4A) bzw. NTC2008, Bild 4.1.1 (b) (siehe Abb. 4B) zu übernehmen.

Per il dimensionamento dei conci si considera generalmente un calcestruzzo con classe di resistenza C35/45 con le seguenti caratteristiche:

Ove:

$E_{cm}$  = Valore medio modulo secante

$f_{ck}$  = resistenza a compressione caratteristica dopo 28 giorni

Il modello costitutivo da considerare per la modellazione della sezione resistente a compressione del calcestruzzo (diagramma tensione-deformazione) deve essere ricavato dall'EC2, fig. 3.4 (si veda la fig. 4A) ovvero dalla NTC2008, fig. 4.1.1 (b) (si veda la fig. 4B).

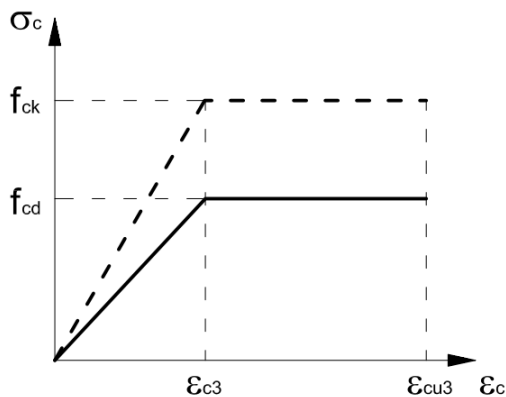


Abbildung 4: Bilineare Spannungs-Dehnungslinie Beton (A)

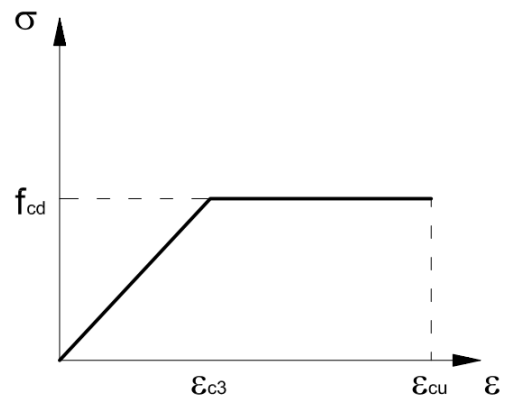


Figura 4: Diagrammi tensione-deformazione per il calcestruzzo (B)

Abweichend von den oben angeführten Betoneigenschaften sind für die Nachweise zur Herstellung der Tübbinge (z.B. Ausheben aus der Schalung) geringere Festigkeiten zu berücksichtigen. Eine ausreichende Frühfestigkeit des Betons im jungen Alter liegt i.d.R. nach 6 - 8 Stunden mit einaxialer Zugfestigkeit zwischen 0,8-1,2 N/mm<sup>2</sup>.

Die Grenzwerte für Festigkeit und Widerstand, welche der junge Beton während der einzelnen Phasen wie Abheben aus der Schalung, Lagerung, Transport, Anhebung, etc. müssen vom Planer bestimmt werden.

Der AN (verantwortlich für die Erstellung der Tübbinge) muss die vorgesehenen Werte bestätigen.

A differenza di quanto sopra riportato, si evidenzia che nel processo di prefabbricazione per la produzione dei conci i valori di resistenza da utilizzare nel dimensionamento (ad esempio per l'estrazione dal cassero) devono essere inferiori ai suddetti indicati. Un'adeguata resistenza a trazione monoassiale nel calcestruzzo fresco dopo 6 - 8 ore è pari a 0,8 - 1,2 N/mm<sup>2</sup>.

In ogni caso, i valori limite di resistenza e rigidità che deve avere il calcestruzzo fresco durante le fasi di estrazione dal cassero, movimentazione, stoccaggio, trasporto, ecc. devono essere definite dal Progettista esecutivo.

L'Appaltatore (responsabile del processo di prefabbricazione) deve confermare i valori di progetto previsti.

## 6.2. Materialkennwerte Bewehrungsstahl

In Österreich und Italien kommen unterschiedliche Betonstähle zum Einsatz. Folgende Betonstähle sind für die Bemessung des Tübbingringes heranzuziehen:

in Österreich / Austria: B550B –  $f_{yk} = 550 \text{ MN/m}^2$   
in Italien / Italia: B450C –  $f_{yk} = 450 \text{ MN/m}^2$

Hierbei ist:

$f_{yk}$  – charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls

Die Arbeitslinie (Spannung-Dehnungs-Linie) für den Zugbereich des Betonstahls ist gemäß EC2, Bild 3.7a (siehe Abb. 5A) bzw. NTC2008, Bild 4.1.2 (a) (siehe Abb. 5B) zu übernehmen.

## 6.2. Caratteristiche dell'acciaio da armatura

In Austria e Italia vengono utilizzati differenti acciai da armatura. Per il dimensionamento dell'anello di conci si dovranno utilizzare i seguenti tipi di acciaio per armatura:

Ove:

$f_{yk}$  – Tensione caratteristica di snervamento acciaio per cemento armato

Il modello costitutivo da considerare nella modellazione dell'acciaio (per la sezione resistente a trazione dell'acciaio (modello tensione-deformazione) deve essere ricavato dall'EC2, fig. 3.7a (si veda la fig. 5A) ovvero dalla NTC2008, fig. 4.1.2 (a) (si veda la fig.

5B).

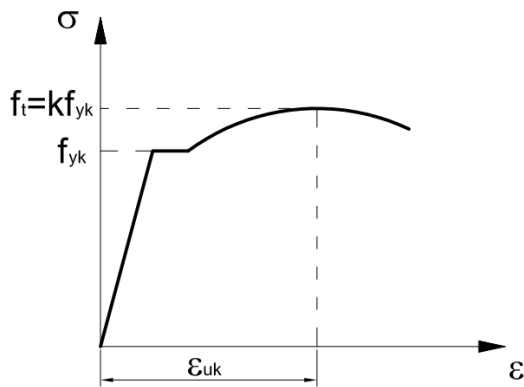


Abbildung 5: Spannungs-Dehnungsdiagramm Betonstahl (A)

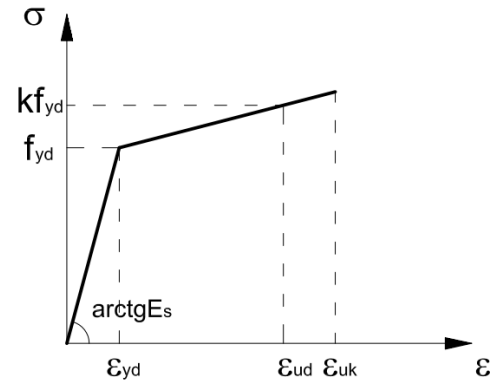


Figura 5: Diagrammi tensione-deformazione per l'acciaio da cemento armato (B)

## 7. ANZUSETZENDE ABMINDERUNGSFAKTOREN

Für den Nachweis des Grenzzustandes der Trag- und Gebrauchstauglichkeit der Tübbingschale sind gemäß den Vorgaben im EC 0, Abs. 6.4 (GZT) und Abs. 6.5 (GZG) bzw. NTC2008, Abs. 2.5.3 Kombinationsregeln zu berücksichtigen.

### 7.1. Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

#### 7.1.1. Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen

Die zu berücksichtigenden Teilsicherheitsfaktoren variieren in Abhängigkeit der Kombinationsregeln und den Bedingungen und sind dem Anhang zu entnehmen. Folgende Teilsicherheitsfaktoren sind gemäß EC 0 bzw. NTC2008 für ständige / vorübergehende / außergewöhnliche Bemessungssituationen (BS1 / BS2 / BS3) zu berücksichtigen:

$$\begin{aligned}\gamma_{Gj,inf} \text{ günstig/favorevole} &= 1,00 / 1,00 / 1,00 \\ \gamma_{Gj,sup} \text{ ungünstig/sfavorevole} &= 1,35 / 1,20 / 1,00 \\ \gamma_{Q,1,sup} / \gamma_{Q,i,sup} \text{ günstig/favorevole} &= 0,00 / 0,00 / 0,00 \\ \gamma_{Q,1,sup} / \gamma_{Q,i,sup} \text{ ungünstig/sfavorevole} &= 1,50 / 1,30 / 1,00\end{aligned}$$

Werden die Einwirkungen aus dem Schwinden für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit berücksichtigt, ist gemäß EC2, Teil 1, Abs. 2.4.2.1 der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{SH} = 1,0$  zu berücksichtigen.

#### 7.1.2. Kombinationsbeiwerte Einwirkungen

Die in den Einwirkungskombinationen zu berücksichtigten Kombinationsbeiwerte sind dem Anhang zu entnehmen. Folgende Kombinationsbeiwerte sind gemäß EN 1990 bzw. NTC2008 zu berücksichtigen (BS1/BS2/BS3):

Einwirkung / Azioni	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Druck / Sog infolge Zugfahrt A1 / Pressione aerodinamica A1	0,8	0,5	0,0
Temperatur Q2 / Azioni termiche Q2	0,6	0,6	0,5

Tabelle 4: Kombinationsbeiwerte

## 7. COEFFICIENTI DI RIDUZIONE DA APPLICARE

Per la verifica allo stato limite ultimo ed allo stato limite di esercizio del rivestimento in conci vanno considerate le combinazioni delle azioni in conformità delle prescrizioni dell'EC 0, paragrafo 6.4 e paragrafo 6.5, ovvero della NTC2008, paragrafo 2.5.3..

### 7.1. Stati Limite Ultimi (SLU)

#### 7.1.1. Coefficienti parziali di sicurezza per le azioni

I coefficienti parziali di sicurezza da considerare variano in funzione delle combinazioni e del tipo di azioni si trovano in allegato. In conformità all'EC 0 ovvero NTC2008, per le situazioni di dimensionamento standard, temporanee ed eccezionali (BS1 / BS2 / BS3) sono da considerarsi i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

Considerando le azioni derivanti dal ritiro, per la verifica allo stato limite ultimo, si deve considerare, in conformità all'EC2, parte 1, paragrafo 2.4.2.1 il coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_{SH} = 1,0$ .

#### 7.1.2. Coefficienti di combinazione delle azioni

I coefficienti di combinazione da considerare nelle combinazioni delle azioni si trovano in allegato. In conformità alla EN 1990 ovvero alla NTC2008 (BS1/BS2/BS3), devono essere utilizzati i seguenti coefficienti di combinazione:

Tabella 4: Coefficienti di combinazione

### 7.1.3. Einwirkungskombinationen

Die zu untersuchenden Einwirkungskombinationen sind gemäß EC 0 mit den entsprechenden Kombinationsbeiwerten  $\psi$  zu berücksichtigen.

Die für die Dimensionierung der Tübbingschale entsprechenden maßgebenden Einwirkungskombinationen gemäß dem Anhang sind in Abhängigkeit von den in-situ vorherrschenden Randbedingungen auszuwählen.

### 7.1.4. Teilsicherheitsfaktoren Widerstand

Die Teilsicherheitsfaktoren der Widerstände bei einer ständigen und vorübergehenden Bemessungssituation (BS1 und BS2) sind unter Berücksichtigung einer Lebensdauer des Bauwerkes von 200 Jahren gemäß [8] wie folgt zu berücksichtigen:

Stahlbeton

- Teilsicherheitskoeffizient für den Betonwiderstand  $\gamma_c = 1,60$  (Unter Voraussetzung einer besonderen Qualitätskontrolle bei der Fertigteilproduktion kann der Teilsicherheitskoeffizient für den Betonwiderstand nach Rücksprache mit dem Bauherrn reduziert werden (vgl. EN 1992-1-1:2004 Anhang A.3 + NTC2008 Kap. 11.8.3))
- Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung der Betondruckfestigkeit:  $\alpha_{cc} = 0,85$
- Teilsicherheitskoeffizient für Stahlwiderstand  $\gamma_s = 1,20$

Für den Nachweis der außergewöhnlichen Bemessungssituation (BS3) sind die Teilsicherheitsfaktoren mit  $\gamma_c = 1,20$  und  $\gamma_s = 1,00$  zu berücksichtigen. Der Abminderungsbeiwert der Betondruckfestigkeit  $\alpha$  bleibt unverändert.

## 7.2. Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

### 7.2.1. Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen

Im Nachweis der Gebrauchstauglichkeit sind gemäß der Kombinationsregeln die charakteristischen Einwirkungen zu berücksichtigen.

### 7.1.3. Combinazioni delle azioni

Le combinazioni delle azioni da analizzare devono essere considerate, in conformità all'EC 0, con i relativi coefficienti di combinazione  $\psi$ .

Le combinazioni delle azioni rilevanti per il dimensionamento del rivestimento in conci, di cui in allegato, devono essere scelte in funzione delle effettive condizioni al contorno in situ.

### 7.1.4. Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze

I coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze in fase permanente e temporanea (BS1 e BS2) vanno considerati come segue tenendo conto della vita utile dell'opera di 200 anni secondo [8]:

Calcestruzzo

- Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo  $\gamma_c = 1,60$  (presupponendo un controllo di qualità speciale nella produzione dei prefabbricati, il coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza del calcestruzzo può essere ridotto previo accordo con la Commitenza (cfr. EN 1992-1-1:2004 allegato A.3 + NTC2008 par. 11.8.3)).
- Coefficiente di riduzione della resistenza a compressione del calcestruzzo, per tenere conto dell'effetto a lungo termine:  $\alpha_{cc} = 0,85$
- Coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza dell'acciaio  $\gamma_s = 1,20$

Per le verifiche nella situazione di dimensionamento eccezionale (BS3), i fattori parziali di sicurezza devono essere considerati con  $\gamma_c = 1,20$  e  $\gamma_s = 1,00$ . Il coefficiente di riduzione della resistenza a compressione del calcestruzzo  $\alpha$  resta invariato.

## 7.2. Stati Limite di Esercizio (SLE)

### 7.2.1. Coefficienti parziali di sicurezza delle azioni

Nella verifica agli stati limite di esercizio devono essere considerate le azioni caratteristici con le loro combinazioni.

### 7.2.2. Kombinationsbeiwerte Einwirkungen

Die in den Einwirkungskombinationen zu berücksichtigen Kombinationsbeiwerte sind dem Anhang zu entnehmen. Die Kombinationsbeiwerte sind gemäß Tabelle 4: zu berücksichtigen.

### 7.2.3. Einwirkungskombinationen

Die zu untersuchenden Einwirkungskombinationen sind gemäß EC 0 mit den entsprechenden Kombinationsbeiwerten  $\psi$  zu berücksichtigen.

Die für die Dimensionierung der Tübbinge entsprechenden maßgebenden Einwirkungskombinationen sind gemäß den Anhängen in Abhängigkeit von den in-situ vorherrschenden Randbedingungen auszuwählen.

### 7.2.4. Teilsicherheitsfaktoren Widerstand

Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit sind die charakteristischen Werte der Widerstände zu berücksichtigen.

### 7.2.2. Coefficienti di combinazione delle azioni

In allegato si trovano i coefficienti da considerare nelle combinazioni delle azioni. I coefficienti di combinazione sono da considerare come in Tabella 4:.

### 7.2.3. Combinazioni delle azioni

Le combinazioni delle azioni da analizzare devono essere considerate in conformità all'EC 0 con i relativi coefficienti di combinazione  $\psi$ .

Le combinazioni delle azioni rilevanti per il dimensionamento dei conci si scelgono in conformità all'allegato, in funzione delle effettive condizioni al contorno in situ.

### 7.2.4. Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze

Per la verifica agli stati limite di esercizio si devono considerare i valori caratteristici delle resistenze.

## 8. NACHWEISE

### 8.1. Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

Die Tragsicherheitsnachweise erfolgen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) unter Berücksichtigung der entsprechenden Kombinationsbeiwerte.

Die Nachweise sind zu führen für:

- eingebauter Tübbingring
- Einzelstein (z.B. Heben, Transport, Lagern)
- Detailnachweise:
  - Spaltzug an Längsfugen
  - Spaltzug an Ringfugen
  - Zugkräfte zufolge Kraftdurchleitung zwischen Pressenschuhen und Ringfuge
  - Schraubenbemessung für Rückstellkräfte des komprimierten Dichtprofils
  - Spaltzug- und Abplatzungssicherheit beim Dichtprofil (Abbildung 6:)

Die Detailnachweise sind in der Regel erst im Rahmen der Ausführungsplanung möglich.

Vom Ausführungsplaner sind zudem für die Ausführung Grenzwerte der zulässigen Ovalisierung als Grundlage für die geotechnische Überwachung während des Baus zu definieren.

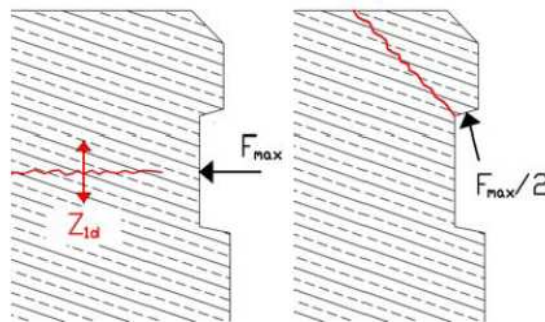


Abbildung 6: Nachweis des Spaltzugs  $Z_{id}$  und der Abplatzsicherheit unter der Rückstellkraft  $F_{max}$  des Dichtprofils

## 8. VALORI LIMITE

### 8.1. Stati Limite Ultimi (SLE)

Le verifiche saranno condotte secondo il metodo agli SLU, secondo i fattori di combinazione riportati.

Le verifiche vanno eseguite per:

- Anelli di conci in opera
- Sul singolo concio (ad es. sollevamento, movimentazione, stoccaggio)
- Verifiche di dettaglio:
  - Trazioni indotte sui giunti longitudinali
  - Trazioni indotte sui giunti tra gli anelli
  - Trazioni indotte dall'azione di compressione tra scarpa e giunti tra gli anelli
  - Dimensionamento delle bullonature
  - Trazioni indotte e rottura degli spigoli nella superficie di contatto (Figura 6:)

Generalmente le verifiche dettagliate sono possibili solo in fase esecutiva.

Il Progettista Esecutivo deve inoltre definire i valori limite dell'ovalizzazione ammissibile, su cui basare il monitoraggio geotecnico.

Figura 6: Verifica dell'azione di distacco  $Z_{id}$  e della sicurezza a rottura degli spigoli mediante reazione di contrasto  $F_{max}$

## 8.2. Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist für die maßgebenden Einwirkungskombinationen unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsfaktoren und Abminderungsfaktoren  $\psi$  laut Anhang I die maximale Rissweite  $w_{\text{kal}}$  unter Berücksichtigung der OENORM B 1992-1-1 bzw. der RVS 09.01.42 und NTC2008 nachzuweisen. Die zulässige Rissbreite für Normalbeton ohne besondere Anforderung der Dichtigkeit oder bei Existenz einer Abdichtung ist auf  $w_{\text{kal}} \leq 0,3$  mm zu begrenzen.

Bei besonderer Anforderung an die Dichtigkeit der Tübbingschale oder bei aggressiven oder sehr aggressiven Umgebungsbedingungen ist die maximale Rissweite auf  $w_{\text{kal}} \leq 0,2$  mm zu begrenzen. Zudem ist zu prüfen, ob die Dichtigkeit der Dichtungsprofile unter den zu erwartenden Rotationen in den Fugen und unter Berücksichtigung der Bautoleranzen (Offsets) im Gebrauchszustand sowie auch beim Ausfall einer Koppelstelle in der Ringfuge gegeben ist.

Die Ermittlung der Schnittgrößen bzw. der Systemverformung erfolgt im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit unter Berücksichtigung der Kombinationsregeln mit den charakteristischen Einwirkungen sowie den entsprechenden Kombinationsbeiwerten (siehe Anhänge).

## 8.2. Stati Limite di Esercizio (SLE)

Agli stati limite di esercizio si deve verificare l'ampiezza massima di apertura della fessura  $w_{\text{kal}}$  in relazione alle norme OENORM B 1992-1-1 ovvero della direttiva stradale austriaca RVS 09.01.42 ed alla NTC 2008, per le combinazioni delle azioni rilevanti, considerando i coefficienti parziali di sicurezza ed il fattore di riduzione  $\psi$  come in allegato I. Il valore limite di apertura della fessura per il calcestruzzo standard, senza particolari requisiti di impermeabilità o in presenza di impermeabilizzazione, deve essere limitato a  $w_{\text{kal}} \leq 0,3$ .

Ove richiesti particolari requisiti di impermeabilità del rivestimento in conci od in presenza di ambiente aggressivo o molto aggressivo, il valore limite di apertura della fessura deve essere limitato a  $w_{\text{kal}} \leq 0,2$  mm. Si deve anche verificare che il profilo mantenga l'impermeabilità sotto l'influenza delle rotazioni previste nei giunti ed in considerazione delle tolleranze di costruzione (offset), in condizioni di esercizio ed anche in caso di rottura, in uno dei più punti di accoppiamento del giunto ad anello.

Il calcolo delle forze di scorrimento interne e delle deformazioni del sistema si esegue allo stato limite ultimo, in funzione delle combinazioni delle azioni e delle azioni caratteristiche combinate tra loro mediante i relativi coefficienti di combinazione (si veda allegati).

## **9. ERLÄUTERUNGEN ZUM BEMESSUNGSKONZEPT DER TÜBBINGSCHALE IN DER BAUPHASE**

### **9.1. Projektgrundlagen**

Die zu führenden Nachweise werden in Kapitel 8 beschrieben.

Dieses Kapitel enthält weitere Erläuterungen zum Nachweis für die Phasen Ausheben, Transport, Lagerung und Einbau der Tübbing gemäß [7]. Die Untersuchungen können vom Ausführungsplaner anhand einer 3D Modellierung der Schale durchgeführt werden.

### **9.2. Herstellung, Transport und Lagerungszustände/Bauzustände**

#### **9.2.1. Statisches Modell**

Für die Nachweise des Aushebens des Tübbings aus der Schalung, der Lagerung und das Anheben für den Einbau können sowohl Finite-Elemente-Programme mit Balkenelementen- oder Schalenelementen als auch analytische Ansätze der Baustatik verwendet werden.

In diesen Lastfällen wirkt in der Regel lediglich das Eigengewicht des Bauteils.

Das für die Berechnung des Eigengewichts verwendete Volumen basiert auf den Planmaßen der Konstruktion.

Bei den Nachweisen für das Ausheben aus der Schalung sind auch die in Tabelle 5: beschriebenen Effekte zu berücksichtigen, die zu einem Anstieg der Beanspruchung des Tübbings führen.

Die darin gegebenen Werte sind Richtwerte und können entsprechend den Randbedingungen der Fertigung, Lagerung und Transport im Zuge der Ausführungsplanung angepasst werden.

## **9. INDICAZIONI SUI PRINCIPI DI DIMENSIONAMENTO DEL RIVESTIMENTO IN CONCI NELLA FASE DI COSTRUZIONE**

### **9.1. Basi per la progettazione**

Le basi per la verifica previste sono descritte al capitolo 8.

In questo capitolo, si forniscono indicazioni aggiuntive per la verifica delle fasi di produzione, movimentazione, stoccaggio e posa in opera dei conci in accordo con [7]. Tale verifica potrà essere eseguita dal Progettista esecutivo mediante e modellazioni 3D dell'anello.

### **9.2. Produzione, movimentazione e stoccaggio / Fasi di costruzione**

#### **9.2.1. Modello statico**

Per le verifiche di estrazione dal cassero, stoccaggio, sollevamento e posa in opera del concio è possibile usare sia programmi ad elementi finiti con elementi di tipo beam, sia le formulazioni classiche analitiche della scienza delle costruzioni.

In tali condizioni di carico la sola azione agente è il peso proprio della struttura.

Il volume utilizzato per il calcolo del peso proprio si basa sulle dimensioni geometriche della struttura.

Nella verifica in fase di estrazione dal cassero, si raccomanda inoltre di tenere conto degli effetti descritti nella Tabella 5:, da considerarsi come un incremento del peso del concio.

Tali valori sono da ritenersi indicativi e possono essere modificati in fase esecutiva in relazione alle condizioni specifiche di produzione, stoccaggio e movimentazione.

Vorgang / Azione	Wert für Ausheben aus der Schalung / Valore per estrazione [kN]	Wert für ersten Transport / Valore per primo spostamento [kN]
Gewicht des Tübbings / Peso del concio	$W_C = V_C \cdot \gamma$	$W_C = V_C \cdot \gamma$
Erhöhung aufgrund der dynamischen Effekte des Transports und Erschütterungen (+40% Ausheben aus Schalung, +60% erster Transport) / Incremento per effetti dinamici di movimentazione, urti e vibrazioni (+40% estrazione, +60% per primo spostamento)	$0,4 \cdot W_C$	$0,6 \cdot W_C$
Erhöhung aufgrund der Betonfeuchtigkeit ( $0,5 \text{ kN/m}^3$ ) / Incremento per l'umidità del calcestruzzo ( $0,5 \text{ kN/m}^3$ )	$0,5 \text{ kN/m}^3 \cdot V_C$	$0,5 \text{ kN/m}^3 \cdot V_C$
Erhöhung aufgrund Haftung zwischen Tübbing und Schale $2 \text{ kN/m}^2$ / Incremento per aderenza tra concio e cassero $2 \text{ kN/m}^2$	$2 \text{ kN/m}^2 \cdot A_d$	-

Tabelle 5: Faktor des Eigengewichts während des Transports

Tabella 5: Fattori di incremento del peso proprio nelle fasi di movimentazione

Mit:

$W_C$  = Gewicht des Tübbings [kN]

$\gamma$  = Wichte des Betons [ $\text{kN/m}^3$ ]

$V_C$  = Volumen des Tübbings [ $\text{m}^3$ ]

$A_d$  = Haftfläche zwischen dem Tübbing und der Schalung im Moment des Ausschalens [ $\text{m}^2$ ]

Dove:

$W_C$  = peso del concio [kN]

$\gamma$  = peso specifico del calcestruzzo [ $\text{kN/m}^3$ ]

$V_C$  = volume del concio [ $\text{m}^3$ ]

$A_d$  = superficie di contatto tra concio e cassero al momento dell'estrazione [ $\text{m}^2$ ]

### 9.2.2. Standsicherheitsnachweise

Für die Standsicherheitsnachweise in den Phasen Aushebung aus der Schalung, Transport, Lagerung gelten die Vorgaben gemäß Kapitel 8.

Die geometrischen Toleranzen der Position von Lagerpunkten bei Lagerung und Transport sind bei der Berechnung zu berücksichtigen.

Aus dem Gerätekonzept des Unternehmers vorgesehene Hebezeug (Erektoren) für das Heben der Tübbinge können besondere Anforderungen an die Rissbeschränkung der Tübbinge in Hebelastzuständen resultieren. Gewisse Vakuumerektoren erfordern eine weitestgehend rissfreie Betonoberfläche. Für die Fertigteile ist in solchen Fällen nachzuweisen, dass diese bis zum endgültigen Einbau im ungerissenen Zustand

### 9.2.2. Verifiche di sicurezza

Per le verifiche di sicurezza nelle fasi di estrazione, movimentazione, stoccaggio, vale quanto riportato al cap. 8.

Devono essere considerate le tolleranze geometriche degli appoggi per lo stoccaggio e la movimentazione.

Possono rendersi necessari ulteriori particolari requisiti per le esigenze del sollevamento dei conci, con l'obiettivo di limitazione fessure in tale fase. Alcune imprese specializzate richiedono una superficie di calcestruzzo completamente priva di fessure. In questi casi si deve verificare che i manufatti prefabbricati restino privi di fessure fino alla posa in opera (stato I – non fessurato).

(Zustand I) verbleiben.

### 9.3. TBM-Vortrieb

Die Tübbingschale ist auf die Einwirkungen nachzuweisen, welche durch den TBM-Vortrieb auf die Tübbinge übertragen werden, siehe Kap. 5.17. Insbesondere müssen die folgenden zwei Effekte nachgewiesen werden:

1. Kontaktdruck zwischen den Pressenschuhen unter den Vortriebspresen und den Tübbingen;
2. Spaltzugkräfte im Lasteinleitungsbereich, Randzugkräfte und Biegezug in Schalenebene zufolge der Kraftdurchleitung zwischen Pressenschuhen und der gegenüberliegenden Ringfuge

Es ist dabei zu beachten, dass die Pressenkräfte in der Regel zum Zwecke der Schildsteuerung nicht gleichmäßig über den Umfang verteilt sind.

#### 9.3.1. Kontaktdruckkräfte auf die Vortriebspresen

Während des TBM-Vortriebs werden die Tübbinge durch die Vortriebspresen beansprucht. Diese konzentrierten Druckkräfte erzeugen im Ring wiederum Längs- und Querkzugkräfte, welche nachgewiesen werden müssen.

Ergänzend ist eine mögliche Exzentrizität, die durch den Auftragnehmer zu definieren ist, zu berücksichtigen.

Die erforderliche Vorschubkraft der TBM wird vom Ausschreibungsplaner definiert. Darüber hinaus sind die Mindesteigenschaften der TBM durch den Auftragnehmer zu definieren (siehe auch Kap. 5.17) und durch den Ausführungsplaner zu prüfen:

1. Anzahl an Vortriebspresen  $N_m$
2. Anzahl an Pressenschuhen  $N_s$
3. Größe jedes Pressenschuhs  $b_0 \times l_0$
4. Maximal zulässige Exzentrizität beim Einbau und
5. Maximaler Schubkraft der TBM  $S_{max}$

### 9.3. Avanzamento della TBM

Il rivestimento in conci è anche verificato nella condizione di sforzo indotto dalla TBM con la sua spinta sui conci (si veda il cap. 5.17). Questo provoca due effetti che richiedono verifiche specifiche:

1. Pressione al contatto tra le scarpe al di sotto dei martinetti ed i conci;
2. Sforzi di trazione trasversali e longitudinali indotti nei conci dall'azione di spinta tra le scarpe ed il primo anello.

Per gli obiettivi della verifica, si deve tenere in considerazione che le pressioni generalmente non sono distribuite uniformemente sulla circonferenza dell'anello.

#### 9.3.1. Pressioni di contatto indotte dalla spinta della macchina sui martinetti

Durante la fase di scavo della TBM, i conci sono sollecitati dai martinetti. Tali forze concentrate causano sforzi di trazione trasversali e longitudinali che devono essere verificati.

A ciò si deve aggiungere la possibile eccentricità da definirsi a cura del Progettista esecutivo.

La necessaria forza di spinta della TBM deve essere definita dal Progettista Esecutivo. Inoltre, sulla base della TBM che sarà effettivamente impiegata per lo scavo della galleria, devono essere definite dall'Affidatario dei lavori di costruzione e verificate dal Progettista Esecutivo le seguenti caratteristiche minime della TBM (si veda il cap. 5.17):

1. Numero di martinetti  $N_m$
2. Numero di scarpe di spinta  $N_s$
3. Dimensione di ogni scarpa di spinta  $b_0 \times l_0$
4. Massima eccentricità di posizionamento ammissibile
5. Massima spinta di progetto della TBM  $S_{max}$

### 9.3.2. Statische Berechnungen

Die Nachweise der Teilflächenbelastung gemäß Abschnitt 6.7 der EN1992-1-1 sind zu erbringen.

Es gilt:

$$F_{sd} \leq F_{Rdu} \leq F_{max}$$

Wobei:

$$F_{sd} = \gamma * (S_{max} / N_s)$$

(Aufgrund der Steuerungskontrolle und Druckbegrenzung der Hydraulikpressen kann ein reduzierter Teilsicherheitsbeiwert von  $\gamma = 1.1$  angesetzt werden)

$$F_{Rdu} = A_{c0} * f_{cd} * (A_{c1} / A_{c0})^{0.5}$$

$$F_{max} = 3 * f_{cd} * A_{c0}$$

Und

$F_{sd}$  = Bemessungswert Einzelpressenkraft

$F_{Rdu}$  = maximale konzentrierte Last (Bemessungswert Widerstand)

$S_{max}$  = maximale Vorschubkraft

$N_s$  = Anzahl der Vorschubpressen

$b_0$  = kleinere Abmessung des Pressenschuhs

$l_0$  = größere Abmessung des Pressenschuhs

$A_{c0} = b_0 * l_0$  = Kontaktfläche des Pressenschuhs

$b_1$  = kleinere Abmessung der rechnerischen Lastverteilungsfläche

$l_1$  = größere Abmessung der rechnerischen Lastverteilungsfläche (normalerweise gleich  $l_0$ )

$A_{c1} = b_1 * l_1$  = Lastverteilungsfläche

### 9.3.3. Zugkräfte infolge der Krafteinleitung

Die Kraftdurchleitung zwischen Pressenschuhen und nächster Ringfuge verursacht Zugkräfte in Analogie zu einem wandartigen Träger.

Die Zugkräfte können anhand eines Fachwerksmodells bestehend aus Zug- oder Druckstreben im Sinne der EN 1992-1-2 Pkt. 6.5 oder anhand eines FE-Scheibenmodells berechnet werden

Die sich unterhalb der konzentrierten Lasteinleitungsflächen ausbildenden Spaltzugkräfte in Querrichtung über die Bauteildicke können nach der Theorie der Lastausbreitung der Kräfte (Leonhardt (1977) [6] oder EN 1992-1-2 6.5) berechnet werden.

### 9.3.2. Analisi e verifiche strutturali

Devono essere soddisfatte le verifiche in accordo alla sezione 6.7 dell'EN 1992-1-1:2005

In particolare si ha:

$$F_{sd} \leq F_{Rdu} \leq F_{max}$$

Dove

$$F_{sd} = \gamma * (S_{max} / N_s)$$

(tenendo conto del controllo della guida e della limitazione della pressione dei martinetti, può essere applicato un coefficiente parziale di sicurezza di  $\gamma=1.1$ )

$$F_{Rdu} = A_{c0} * f_{cd} * (A_{c1} / A_{c0})^{0.5}$$

$$F_{max} = 3 * f_{cd} * A_{c0}$$

Inoltre

$F_{sd}$  = Valore di progetto della singola spinta

$F_{Rdu}$  = carico massimo concentrato (valore di dimensionamento resistenza)

$S_{max}$  = Spinta massima

$N_s$  = Numero di scarpe di spinta

$b_0$  = dimensione minore della scarpa di spinta

$l_0$  = dimensione maggiore della scarpa di spinta

$A_{c0} = b_0 * l_0$  = area della scarpa di spinta

$b_1$  = dimensione minore della zona di diffusione del carico

$l_1$  = dimensione maggiore della zona di diffusione del carico (normalmente uguale a  $l_0$ )

$A_{c1} = b_1 * l_1$  = area di diffusione del carico

### 9.3.3. Trazioni indotte dall'azione di spinta

L'azione di spinta provoca sollecitazioni di trazione in corrispondenza delle zone di contatto tra scarpa e concio, analoghe a una struttura portante a parete.

Le trazioni indotte possono essere calcolate utilizzando un modello composto da tralicci a trazione o compressione, in conformità alla EN 1992-1-2, punto 6.5, od il metodo ad elementi finiti.

Le sollecitazioni che si formano in corrispondenza delle concentrazioni di sforzo in direzione trasversale, sulla sezione dell'elemento, possono essere calcolate secondo la teoria di diffusione degli sforzi in un mezzo elastico (Leonhardt (1977) [6] o la EN 1992-1-2 6.5).

## 10. BAULICHE DURCHBILDUNG

### 10.1. Mindestdicke Tübbingschale

Die Mindestdicke der Tübbingschale wird in Dokument D0616-03010 festgelegt.

### 10.2. Betondeckung

Die Betondeckung wird in Dokument D0616-03010 festgelegt.

### 10.3. Mindest- und Höchstbewehrung

Die Mindestbewehrung wird gemäß OENORM EN 1992, Punkt 9.2.1.1 und im Punkt 4.1.6.1.1 des NTC 2008 definiert.

Die Querschnittsfläche der Längszugbewehrung darf nicht geringer sein als

$$A_{s,min} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b \times d$$

und jedenfalls nicht geringer als  $0,0013 \times b \times d$ ,

wobei:

b die mittlerer Breite der Zugzone,

d die Nutzhöhe des Querschnitts,

$f_{ctm}$  der Mittelwert der Zugfestigkeit des Betons und

$f_{yk}$  der charakteristische Wert der Streckengrenze des Betonstahls ist.

## 10. CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE

### 10.1. Spessore minimo del rivestimento in conci

Lo spessore minimo dell'anello è definito nel documento D0616-03010.

### 10.2. Copriferro

Il copriferro è definito nel documento D0616-03010.

### 10.3. Armatura minima

L'armatura minima è definita dalla OENORM EN 1992, punto 9.2.1.1 ed al punto 4.1.6.1.1 della NTC 2008.

L'area di armatura longitudinale in zona tesa non può essere minore di

$$A_{s,min} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b \times d$$

ed in ogni caso non minore di  $0.0013 \times b \times d$ .

ove:

b è la larghezza media della zona tesa,

d è l'altezza utile della sezione,

$f_{ctm}$  è il valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo,

$f_{yk}$  è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura ordinaria.

## 11. EINBAUTEILE

Die Einbauteile der Tunnelröhre sind nicht Bestandteil des vorliegenden Dokumentes.

## 11. POSA IN OPERA

La posa in opera non è oggetto del presente documento.

## 12. VERZEICHNISSE

### 12.1. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusammenstellung der Einwirkungen für einschaligen oder zweischaligen Ausbau.....	19
Tabelle 2:	Temperatureinwirkung Tübbinge...	22
Tabelle 3:	Materialeigenschaften für den Tübbingring.....	28
Tabelle 4:	Kombinationsbeiwerte .....	31
Tabelle 5:	Faktor des Eigengewichts während des Transports.....	37

### 12.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Spannungsumlagerung aufgrund der Berücksichtigung einer durch Fugen verminderten Steifigkeit [5].....	16
Abbildung 2:	Lastbild Wasserdruck – druckdichter Regelquerschnitt.....	21
Abbildung 3:	Lastbild Wasserdruck – drainierter Regelquerschnitt.....	21
Abbildung 4:	Bilineare Spannungs-Dehnungslinie Beton (A).....	29
Abbildung 5:	Spannungs-Dehnungsdiagramm Betonstahl (A) .....	30
Abbildung 6:	Nachweis des Spaltzugs $Z_{td}$ und der Abplatzsicherheit unter der Rückstellkraft $F_{max}$ des Dichtprofils	34

### 12.3. Anhangsverzeichnis

Anhang I –	Einwirkungskombinationen Tübbingring – einschalig
Anhang II –	Einwirkungskombinationen Tübbingring - zweischalig

## 12. ELENCHI

### 12.1. Elenco delle Tabelle

Tabella 1:	Abaco di applicazione delle azioni nel caso di rivestimento singolo o doppio guscio .....	19
Tabella 2:	Temperatura dei conci.....	22
Tabella 3:	Caratteristiche dei materiali per l'anello di conci .....	28
Tabella 4:	Coefficienti di combinazione.....	31
Tabella 5:	Fattori di incremento del peso proprio nelle fasi di movimentazione .....	37

### 12.2. Elenco delle illustrazioni

Figura 1:	Redistribuzione delle sollecitazioni dovuta all'ipotesi di rigidezza ridotta per la presenza dei giunti [5] .....	16
Figura 2:	Pressione idrostatica – sezione tipo non drenata .....	21
Figura 3:	Pressione idrostatica - Sezione tipo drenata .....	21
Figura 4:	Diagrammi tensione-deformazione per il calcestruzzo (B) .....	29
Figura 5:	Diagrammi tensione-deformazione per l'acciaio da cemento armato (B).....	30
Figura 6:	Verifica dell'azione di distacco $Z_{td}$ e della sicurezza a rottura degli spigoli mediante reazione di contrasto $F_{max}$ .....	34

### 12.3. Elenco delle allegati

Allegato I –	Combinazioni di azioni anello di conci – singolo guscio
Allegato II –	Combinazioni di azioni anello di conci – doppio guscio

Anhang I.I - Tübbingring - EINSCHALIG - Einwirkungskombinationen / Allegato I - Rivestimento in conci - Singolo guscio - Combinazioni di carico

		Lastfall / Caso di carico	ständig / permanenti								Bauphase / Fase di costruzione <sup>7</sup>					vorübergehend / variabili			außergewöhnlich / eccezionali							
			Eigen- gewicht <sup>11</sup> / Peso proprio <sup>11</sup> G1	Ober- leitung / Catenaria G2	Sohlbeton <sup>2</sup> / Carichi permanenti posti al di sopra dell'arco rovescio <sup>2</sup> G3	Gebirgslast ohne Auftrieb <sup>12</sup> / Carico della roccia in condizione asciutte <sup>12</sup> G5	Gebirgslast mit Auftrieb <sup>12</sup> / Carico della roccia in presenza di acqua <sup>12</sup> G5	Kriechen und Schwinden / Ritiro e rilassamento G6	Quelldruck / Swelling <sup>1</sup> G7	Wasserdruck / Carico idraulico <sup>1,11,13</sup> G4	Ringspalt- verpressung / iniezione di riempimento <sup>10</sup> B4	Transport und Lagerung / trasporto e stoccaggio B1 / B3	Einbau (Pressen- kräfte) / installazione B2	Rückstellkraft des Dichtprofils / Verifica delle guarnizioni B1	teilgebetteter Zustand / Verifica degli anelli già installati e non ancora iniettati B5	Temperatur (Sommer) / Temperatura (estate) Q1	Temperatur (Winter) / Temperatura (inverno) Q1	Verkehrslast (Zugfahrt) / Carico ferroviario <sup>3</sup> Q2	Erdbeben / Sismi E1	Anprall / Impatto A2	Brand / Fuoco A3	Ausfall Koppel- stelle / Rottura del giunto di contatto A4	Druck infolge Zugfahrt / Carico aerodinamico (pressione) A1	Sog infolge Zugfahrt / Carico aerodinamico (aspirazione) A1		
Innenschale aus Ortbeton / Rivestimento definitivo gettato in opera	druckentlastet / Sistema drenato	1	1,35 1,00													1,50 1,00										
		2	1,35 1,00					1,00 1,00									1,50 1,00									
		3	1,35 1,00	1,35 1,00	1,00 1,00												1,50 1,00									
		4	1,35 1,00	1,35 1,00	1,00 1,00			1,00 1,00									1,50 1,00									
		5	1,35 1,00	1,35 1,00	1,00 1,00	1,35 1,00											1,50 1,00									
		6	1,35 1,00	1,35 1,00	1,00 1,00	1,35 1,00	1,00 1,00	1,00 1,00									1,50 1,00									
		7	1,35 1,00	1,35 1,00	1,00 1,00	1,35 1,00			1,35 1,00								1,50 1,00									
		8	1,35 1,00	1,35 1,00	1,00 1,00	1,35 1,00	1,00 1,00	1,00 1,00	1,35 1,00								1,50 1,00									
		9	1,35 1,00	1,35 1,00	1,00 1,00				1,35 1,00								1,50 1,00									
		10	1,35 1,00	1,35 1,00	1,00 1,00		1,00 1,00	1,35 1,00									1,50 1,00									
		11	1,00	1,00	1,00												Ψ <sub>1</sub> =0,6							1,00 <sup>4</sup>		
		12	1,00	1,00	1,00												Ψ <sub>1</sub> =0,6								1,00 <sup>4</sup>	
		13	1,00	1,00	1,00	1,00											Ψ <sub>1</sub> =0,6			1,00						
		14	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00									Ψ <sub>1</sub> =0,6			1,00						
		15	1,00	1,00	1,00	1,00			1,00								Ψ <sub>1</sub> =0,6			1,00						
		16	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	1,00								Ψ <sub>1</sub> =0,6			1,00						
		17	1,00	1,00	1,00		1,00										Ψ <sub>1</sub> =0,6				1,00					
		18	1,00	1,00	1,00	1,00						1,00					Ψ <sub>1</sub> =0,6				1,00					
		19	1,00	1,00	1,00	1,00			1,00								Ψ <sub>1</sub> =0,6				1,00					
		20	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	1,00								Ψ <sub>1</sub> =0,6				1,00					
		21	1,00	1,00	1,00	1,00											Ψ <sub>1</sub> =0,6					1,00				
		22	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00									Ψ <sub>1</sub> =0,6					1,00				
		23	1,00	1,00	1,00	1,00			1,00								Ψ <sub>1</sub> =0,6					1,00				
		24	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	1,00								Ψ <sub>1</sub> =0,6					1,00				
		25	1,00	1,00	1,00	1,00											Ψ <sub>1</sub> =0,6						1,00			
		26	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00									Ψ <sub>1</sub> =0,6						1,00			
		27	1,00	1,00	1,00	1,00			1,00								Ψ <sub>1</sub> =0,6						1,00			
		28															Ψ <sub>1</sub> =0,6						1,00			
	Bauphase / Fasi di costruzione	29	1,35 1,00							1,35 1,00																
		30	1,35 1,00								1,35 <sup>8</sup> 1,00 <sup>8</sup>															
		31	1,35 1,00									1,10 <sup>9</sup> 1,00														
		32	1,35										1,50													
		33	1,35											1,00												
Für den Nachweis der druckdichten Regelquerschnitte sind zusätzlich die Einwirkungskombinationen der druckentlasteten Querschnitte zu führen! / Per la verifica delle sezioni a tenuta si devono creare combinazioni di azioni aggiuntive della sezione drenata!																										
druckdicht <sup>6</sup> / Sistema a tenuta <sup>6</sup>	34	1,35 1,00	1,35 1,00	1,00 1,00				1,35 1,00							1,50 1,00											
	35	1,35 1,00	1,35 1,00	1,00 1,00			1,00 1,00	1,35 / 1.00 <sup>5</sup> 1,00							1,50 1,00											
	36	1,35 1,00	1,35 1,00	1,00 1,00		1,35 1,00		1,35 1,00							1,50 1,00											
	37	1,35 1,00	1,35 1,00	1,00 1,00		1,35 1,00	1,00 1,00	1,35 / 1.00 <sup>5</sup> 1,00							1,50 1,00											
	38	1,00	1,00	1,00		1,00		1,00							Ψ <sub>1</sub> =0,6			1,00								
	39	1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00							Ψ <sub>1</sub> =0,6			1,00								
	40	1,00	1,00	1,00		1,00		1,00							Ψ <sub>1</sub> =0,6				1,00							
	41	1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00							Ψ <sub>1</sub> =0,6				1,00							
	42	1,00	1,00	1,00		1,00		1,00							Ψ <sub>1</sub> =0,6					1,00						
	43	1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00							Ψ <sub>1</sub> =0,6				1,00							
	44	1,00	1,00	1,00		1,00		1,00							Ψ <sub>1</sub> =0,6					1,00						
	45	1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00							Ψ <sub>1</sub> =0,6					1,00						

1. Wasserdruck und Quellen werden nicht gleichzeitig berücksichtigt. Der höhere Wert ist maßgebend. / Carico idraulico e rigonfiamento non possono sommarsi. Il valore superiore è decisivo.

2. Günstige Einwirkung / effetto favorevole

3. Verkehrslasten können für das Tragverhalten der Innenschale günstig sein. Der Ausführungsplaner hat zu entscheiden welche Einwirkungskombination die Verkehrslast berücksichtigt. / I carichi derivanti dal traffico possono avere effetti favorevoli sul comportamento portante del rivestimento interno. Il progettista esecutivo deciderà quale combinazione di azioni considerare nel carico derivante dal traffico.

4. Die aerodynamische Einwirkung kann für die Dimensionierung der Innenschale dann maßgebend werden, wenn die Beanspruchung gering ist. Daher wird die aerodynamische Beanspruchung nur in Kombination mit Eigengewicht, Oberleitung und Sohlbeton sowie der Temperatureinwirkung berücksichtigt. / In caso di scarsa sollecitazione l'azione aerodinamica può diventare decisiva per il dimensionamento del rivestimento interno. Pertanto la sollecitazione aerodinamica si considera solo in combinazione con peso proprio, catenaria e arco rovescio, e degli effetti della temperatura.

5. bei günstiger Einwirkung / in caso di azione favorevole

6. Wenn sichergestellt werden kann, dass während der Lebensdauer des Projektes der Wasserspiegel nicht abgesenkt wird, können die Einwirkungskombinationen 13 - 28, für den Nachweis der druckdichten Regelquerschnitte entfallen. / Se si garantisce che per tutta la durata del progetto il livello di falda non si abbasserà si possono tralasciare le combinazioni di azione 13 - 28 per la prova delle sezioni a tenuta

7. Während der Bauphase brauchen die Lasten aus aussergewöhnlichen Einwirkungen nicht berücksichtigt zu werden. / Durante la fase costruttiva non si considerano carichi straordinari

8. Der Einsatz von Vakuummektoren kann eine Beschränkung auf wkal << 0,2mm oder einen rissefreien Zustand (Zustand I) erfordern. / La limitazione dell'apertura delle fessure (condizione I) o il contenimento entro 0,2mm può essere necessario soprattutto nel caso di mobilitazione con erettori con sistema tipo vacuum.

9. Aufgrund der Steuerkontrolle der Pressenkräfte (hydraulische Druckbegrenzung) kann in Abtimmung mit dem AG ein reduzierter Teilsicherheitsbeiwert angesetzt werden. / Tenuto conto della precisa regolazione delle forze nel sistema idraulico è possibile applicare un Fattore di sicurezza minore, in accordo con la Committenza.

10. Die Gebirgslast und der einwirkende Verpressdruck brauchen nicht gleichzeitig berücksichtigt zu werden. Der höhere Wert ist maßgebend. / Il carico di montagna e la pressione per l'iniezione di intasamento non si sommano. Il valore più alto sarà quello dimensionante.

11. Bei günstiger Einwirkung ist der Teilsicherheitsfaktor mit 1,0 zu berücksichtigen. / In caso di azione favorevole si considera il coefficiente parziale di sicurezza con 1,0

12. Für die Gebirgslasten kann je nach geotechnischen Verhältnissen die Definition von Regellastfällen (mit herkömmlichen Sicherheitsbeiwerten gem. Tabelle) und darüber hinaus von Grenzfallbetrachtungen (mit reduzierten Teilsicherheiten) zweckmäßig sein. / Per il carico di montagna possono essere definite condizioni di carico convenzionali da controllarsi con i valori proposti in tabella e condizioni di carico straordinarie da verificarsi con fattori di amplificazione ridotti

13. Der Wasserdruck ist bei druckentlasteten (drainierten) Regelquerschnitten mit Sohlgewölbe bis in Höhe der Ulmenlängsdrainage zu berücksichtigen. / Il carico idraulico in sezioni con arco rovescio drenate si considera fino alla quota del drenaggio laterale

ULS / SLU  
SLS / SLE

Anhang I.II - Tübbingring - ZWEISCHALIG - Lastfallkombinationen / Allegato I - Rivestimento in conci - Doppio guscio - Combinazioni di carico

Lastfall / Caso di carico		ständig / permanenti								Bauphase / Fase di costruzione <sup>5</sup>					vorübergehend / variabili			außergewöhnlich / eccezionali					
		Eigen- gewicht <sup>2</sup> / Peso proprio <sup>9</sup> G1	Ober- leitung / Catenaria G2	Sohlbeton <sup>2</sup> / Carichi permanent posti al di sopra dell'arco rovescio <sup>2</sup> G3	Gebirgslast ohne Auftrieb <sup>10</sup> / Carico della roccia in condizione asciutte <sup>10</sup> G5	Gebirgslast mit Auftrieb <sup>10</sup> / Carico della roccia in presenza di acqua <sup>10</sup> G5	Kriechen und Schwinden / Ritiro e rilassamento G6	Quelldruck <sup>1</sup> / Swelling <sup>1</sup> G7	Wasserdruck / Carico idraulico <sup>1,9,11</sup> G4	Ringspalt- verpressung / iniezione di riempimento <sup>8</sup> B4	Transport und Lagerung / trasporto e stoccaggio B1 / B3	Einbau (Pressen- kräfte) / installazione B2	Rückstellkraft des Dichtprofils / Verifica delle guarnizioni B1	teilgebetteter Zustand / Verifica degli anelli già installati e non ancora iniettati B5	Temperatur (Sommer) / Temperatura (estate) Q1	Temperatur (Winter) / Temperatura (inverno) Q1	Verkehrslast (Zugfahrt) / Carico ferroviario Q2	Erdbeben / Sismi E1	Anprall / Impatto A2	Brand / Fuoco A3	Ausfall Koppel- stelle / Rottura del giunto di contatto A4	Druck infolge Zugfahrt / Carico aerodinamico (pressione) A1	Sog infolge Zugfahrt / Carico aerodinamico (aspirazione) A1
Innenschale aus Ortbeton / Rivestimento definitivo gettato in opera	druckentlastet / Sistema drenato	1	1,35																				
			1,00																				
		2	1,35					1,00															
			1,00					1,00															
		3	1,35		1,00																		
			1,00		1,00																		
		4	1,35		1,00			1,00															
			1,00		1,00			1,00															
		5	1,35		1,00	1,35																	
			1,00		1,00	1,00																	
		6	1,35		1,00	1,35		1,00															
			1,00		1,00	1,00		1,00															
		7	1,35		1,00	1,35			1,35														
			1,00		1,00	1,00			1,00														
		8	1,35		1,00	1,35		1,00	1,35														
			1,00		1,00	1,00		1,00	1,00														
		9	1,35		1,00				1,35														
			1,00		1,00				1,00														
		10	1,35		1,00			1,00	1,35														
			1,00		1,00			1,00	1,00														
		11	1,00		1,00	1,00												1,00					
		12	1,00		1,00	1,00		1,00										1,00					
		13	1,00		1,00	1,00			1,00									1,00					
		14	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00									1,00					
		15	1,00		1,00	1,00															1,00		
		16	1,00		1,00	1,00		1,00													1,00		
		17	1,00		1,00	1,00			1,00												1,00		
		18	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00												1,00		
	Bauphase / Fasi di costruzione	19	1,35							1,35													
			1,00							1,00													
		20	1,35								1,35 <sup>6</sup>												
			1,00								1,00 <sup>6</sup>												
		21	1,35									1,10 <sup>7</sup>											
			1,00									1,00											
	druckdicht <sup>4</sup> / Sistema a tenuta <sup>4</sup>	22	1,35										1,50										
		23	1,35											1,00									
		24	1,35	1,35	1,00				1,35														
			1,00	1,00	1,00				1,00														
		25	1,35	1,35	1,00			1,00	1,35 / 1,00 <sup>3</sup>														
			1,00	1,00	1,00			1,00	1,00														
		26	1,35	1,35	1,00		1,35		1,35														
			1,00	1,00	1,00		1,00		1,00														
		27	1,35	1,35	1,00		1,35	1,00	1,35 / 1,00 <sup>3</sup>														
			1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00														
		28	1,00	1,00	1,00		1,00		1,00									1,00					
		29	1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00									1,00					
		30	1,00	1,00	1,00		1,00		1,00												1,00		
		31	1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00												1,00		

1. Wasserdruck und Quelldruck werden nicht gleichzeitig berücksichtigt. Der höhere Wert ist maßgebend. / Carico idraulico e rigonfiamento non possono sommarsi. Il valore superiore è decisivo.

2. Günstige Einwirkung / effetto favorevole

3. bei günstiger Einwirkung / in caso di azione favorevole

4. Wenn sichergestellt werden kann, dass während der Lebensdauer des Projektes der Wasserspiegel nicht abgesenkt wird, können die Einwirkungskombinationen 11 - 18 für den Nachweis der druckdichten Regelquerschnitte entfallen. / Se si garantisce che per tutta la durata del progetto il livello di falda non si abbasserà si possono tralasciare le combinazioni di azione 11 - 18 per la prova delle sezioni a tenuta

5. Während der Bauphase brauchen die Lasten aus aussergewöhnlichen Einwirkungen nicht berücksichtigt zu werden. / Durante la fase costruttiva non si considerano carichi straordinari

6. Der Einsatz von Vakuumentoren kann eine Beschränkung auf wkal << 0,2mm oder einen rissefreien Zustand (Zustand I) erfordern. / La limitazione dell'apertura delle fessure (condizione I) o il contenimento entro 0,2mm può essere necessario soprattutto nel caso di mobilitazione con eretori con sistema tipo vacuum.

7. Aufgrund der Steuerkontrolle der Pressenkräfte (hydraulische Druckbegrenzung) kann in Abstimmung mit dem AG ein reduzierter Teilsicherheitsbeiwert angesetzt werden. / Tenuto conto della precisa regolazione delle forze nel sistema idraulico è possibile applicare un Fattore di sicurezza minore, in accordo con la Committenza.

8. Die Gebirgslast und der einwirkende Verpressdruck brauchen nicht gleichzeitig berücksichtigt zu werden. Der höhere Wert ist maßgebend. / Il carico di montagna e la pressione per l'iniezione di intasamento non si sommano. Il valore più alto sarà quello dimensionante.

9. Bei günstiger Einwirkung ist der Teilsicherheitsfaktor mit 1,0 zu berücksichtigen. / In caso di azione favorevole si considera il coefficiente parziale di sicurezza con 1,0

10. Für die Gebirgslasten kann je nach geotechnischen Verhältnissen die Definition von Regellastfällen (mit herkömmlichen Sicherheitsbeiwerten gem. Tabelle) und darüber hinaus von Grenzfallebetrachtungen (mit reduzierten Teilsicherheiten) zweckmäßig sein. / Per il carico di montagna possono essere definite condizioni di carico convenzionali da controllarsi con i valori proposti in tabella e condizioni di carico straordinarie da verificarsi con fattori di amplificazione ridotti

11. Der Wasserdruck ist bei druckentlasteten (drainierten) Regelquerschnitten mit Sohlgewölbe bis in Höhe der Ulmenlängsdrainage zu berücksichtigen. / Il carico idraulico in sezioni con arco rovescio drenate si considera fino alla quota del drenaggio laterale

ULS / SLU  
SLS / SLE