

# Tunnelprojektierung



<b>1. Einleitung, Ziele</b>	<b>4</b>
<b>2. Grundlagenverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>3. Nutzung/Unterhalt/Wartung/Strassenprojektierung</b>	<b>5</b>
3.1 Nutzungsvereinbarung (Siehe auch SIA 260)	5
3.2 Unterhalt/Wartung/Ereignisdienste	5
3.3 Strassenprojektierung Vorschriften	6
3.3.1 Ausbaugeschwindigkeit	6
3.3.2 Längsneigung	6
3.3.3 Quergefälle	6
3.3.4 Minimale Horizontal- und Vertikalradien	6
3.3.5 Projektierungsraster	6
3.4 Normalprofil (Lichte Höhen und Breiten)	8
<b>4. Tunnelspezifische Grundsätze/Tunneldetails</b>	<b>10</b>
4.1 Ausbruch	10
4.1.1 Allgemeines	10
4.1.2 Ausbruchart	10
4.2. Hohlraumsicherung	10
4.2.1 Allgemeines	10
4.2.2 Spritzbeton	11
4.2.3 Felsanker	11
4.2.4 Einbaubogen	11
4.2.5 Vortriebsunterstützende Hilfsmassnahmen	12
4.3 Abdichtung	12
4.3.1 Allgemeines	12
4.3.2 Abdichtung Übertag	12
4.3.3 Abdichtung Untertag	13
4.4 Innengewölbe	14
4.4.1 Konstruktion und Baustoffe	14
4.4.2 Schalungen, Ausschalfristen	14
4.4.3 Aussparungen, Einlagen, Abschaltungen	14
4.4.4 Innengewölbe aus Spritzbeton	14
4.4.5 Zwischendecke	15
4.5 Entwässerung	15
4.5.1 Trennsystem	15
4.5.2 Bergwasserableitung	16
4.5.3 Konditionierung von Bergwässern	16
4.5.4 Betriebswasserableitung	17
4.5.5 Tunnels ohne Trennsystem	18
4.6 Löschwasserleitung	18
4.7 Hydranten	19
4.8 Kabelrohranlage für die elektromechanischen Anlagen	19

<a href="#">4.9 SOS-Nischen .....</a>	<a href="#">19</a>
<a href="#">4.10 Strassenoberbau und Beläge .....</a>	<a href="#">20</a>
<a href="#">4.10.1 Fahrbahn.....</a>	<a href="#">20</a>
<a href="#">4.10.2 Ausstellbuchten .....</a>	<a href="#">20</a>
<a href="#">4.10.3 Gehwege.....</a>	<a href="#">20</a>
<a href="#">4.10.4 Optische Leiteinrichtung.....</a>	<a href="#">20</a>
<a href="#">4.11 Vorfabrizierte Bauteile .....</a>	<a href="#">21</a>
<a href="#">4.11.1 Fertigbauteile aus Beton .....</a>	<a href="#">21</a>
<a href="#">4.11.2 Schächte .....</a>	<a href="#">21</a>
<a href="#">4.12 Betonoberflächenschutz .....</a>	<a href="#">21</a>
<a href="#">4.12.1 Tunnelanstrich.....</a>	<a href="#">21</a>
<a href="#">4.12.2 Hydrophobierung .....</a>	<a href="#">21</a>
<a href="#">4.13 Ausstellbuchten .....</a>	<a href="#">22</a>
<a href="#">4.14 Fluchtwege (u. a. Sicherheitsstollen) .....</a>	<a href="#">22</a>
<a href="#">4.15 Signalisation und Verkehrstechnik, Markierungen .....</a>	<a href="#">22</a>
<a href="#">5. Voreinschnitte/Tagbaustrecken/Tagbautunnel.....</a>	<a href="#">23</a>
<a href="#">6. Trafostationen, Lüftungszentralen.....</a>	<a href="#">23</a>
<a href="#">7. Zuständigkeiten seitens des Tiefbauamtes Graubünden .....</a>	<a href="#">24</a>
<a href="#">8. Checkliste Tunnel und Schnittstellen.....</a>	<a href="#">25</a>

## Beilagen

- Beilage 1 Nutzungsdauer
- Beilage 2 Anforderungen an Baumaterialien (Qualitäten)
- Beilage 3 Checkliste Tunnel

## Änderungen

- Version Oktober 04: Totalrevision
- Korrekturen Version Dezember 04:
  - Text Seite 13: Abkürzung resp. Präzisierungen div. kleineren Korrekturen
  - Text Seiten 16, 17: Div. kleinere redakt. Änderungen
  - Text Seite 20: Ergänzung Einsatz Deckbelag bei Verbindungsstrassen
  - Beilage 3.2 u. 3.3: Korrektur Verantwortlichkeiten
  - Beilage 3.4 u. 3.5: Korrektur Bezeichnungen und Abkürzungen

## 1. Einleitung, Ziele

Die vorliegenden Tunnelrichtlinien und die dazugehörigen Tunnelnormalien inkl. Planmustersammlung bezwecken einen einheitlichen Projektierungsstandard für die im Kanton Graubünden zu erstellenden und instand zu setzenden Tunnelbauten.

Die Richtlinien liefern kein fertiges Projekt, sondern sind im Einzelfall kritisch zu hinterfragen und den konkreten Gegebenheiten und Randbedingungen anzupassen. Sie definieren einen Standard, der sich aufgrund zahlreicher Erfahrungen entwickelt hat und der mit den übergeordneten Vorschriften des Bundes und den fachtechnischen Normen übereinstimmt.

Die Richtlinien beziehen sich auf die baulichen Bestandteile von Tunnels inkl. Lüftungszentralen und Elektrostationen (insbesondere 2-spurige Tunnels mit und ohne Zwischendecke). Sie betreffen nicht die Lüftung und die elektromechanischen Anlagen, die im **Handbuch der elektromechanischen Anlagen** (HEMA) beschrieben sind.

Mit den neuen SIA-Normen

- 197 Projektierung Tunnel, Grundlagen
- 197/2 Projektierung Tunnel, Strassentunnel
- 198 Untertagbau, Ausführung

stehen den Projektierenden und Ausführenden ausgezeichnete und detaillierte Unterlagen zur Verfügung, welche die vorliegenden Richtlinien ergänzen und komplettieren.

## 2. Grundlagenverzeichnis

- Lüftung der Strassentunnel, ASTRA- Richtlinie
- Belüftung von Sicherheits- und Querstollen von Strassentunnel; US+FZ-Richtlinie (evt. später ASTRA-Richtlinie)
- Wegleitung betreffend die Abwasserbehandlung in Tunnels, Tiefbauamt Graubünden, Mai 1992 (zur Zeit in Überarbeitung)
- Tunnelanstrich, Strassenbaulabor Graubünden, Oktober 1998
- Fachnormen von SIA, VSS etc. im Besonderen:
  - Norm SIA 196 Baulüftung im Untertagbau
  - Norm SIA 197 Projektierung Tunnel, Grundlagen
  - Norm SIA 197/2 Projektierung Tunnel, Strassentunnel
  - Norm SIA 198 Untertagbau, Ausführung
  - Empfehlung SIA 199 Erfassung des Gebirges im Untertagbau
  - Norm SIA 260 Grundlagen der Projektierung von Tragwerken
  - Norm SIA 261 Einwirkung auf Tragwerke
  - Norm SIA 262 Betonbau
  - Norm SIA 267 Geotechnik
- Handbuch für Bauausschreibungen inkl. Besondere Bestimmungen Teil 2 (BB2), Tiefbauamt Graubünden. Stand: Aktuelles Jahr

- Diverse ASTRA-Richtlinien (früher ASB), soweit diese nicht bereits durch die neuen SIA-Tunnelnormen ersetzt sind
- Diverse SNV-Normen

### **3. Nutzung/Unterhalt/Wartung/Strassenprojektierung**

#### **3.1 Nutzungsvereinbarung (Siehe auch SIA 260)**

Die Nutzungsvereinbarung ist aufgrund eines Dialogs zwischen Bauherrschaft und Projektverfasser zu erstellen. Sie umschreibt:

- allgemeine Ziele für die Nutzung des Bauwerkes
- Umfeld und Drittanforderungen
- Bedürfnisse des Betriebs und des Unterhalts
- besondere Vorgaben der Bauherrschaft
- Schutzziele<sup>1</sup> und Sonderrisiken
- Norm bezogene Bestimmungen

In der Beilage 1 sind Richtwerte für die zu wählende Nutzungsdauer der einzelnen Bauteile angegeben.

*<sup>1</sup>Schutzziel: Qualitative und quantitative Festlegung der Anforderungen an ein Tragwerk für den Fall aussergewöhnlicher Ereignisse und Bedingungen.*

#### **3.2 Unterhalt/Wartung/Ereignisdienste**

Die Wirtschaftlichkeit eines Tunnelprojektes lässt sich nicht allein aus den Investitionskosten ableiten. Vielmehr sind der Unterhalt und die Wartung der Anlage in die Überlegungen miteinzubeziehen. Grundsätzlich ist eine Neuanlage unterhaltsfreundlich zu gestalten. Dies bedeutet, dass Baustoffe und bauliche Details zur Anwendung gelangen sollen, die einen geringen Wartungsaufwand erfordern und gut (einfach) kontrollierbar, d.h. unterhaltbar sind.

Spätestens bei Inbetriebnahme eines Bauwerkes ist dem Unterhaltsdienst ein Wartungshandbuch (Entspricht dem Überwachungs- und Unterhaltsplan für die Betriebs- und Sicherheitsausrüstung) zu übergeben, das u. a. folgende Hinweise enthält:

- komplette Übersicht über Werkleitungen und Schächte
- Wartungsintervalle für Leitungen, Schächte, Behälter aller Art, speziell gefährdete Tragelemente (Zugstangen), Konditionierungsanlagen etc.
- Funktionskontrollen bei allen beweglichen Teilen wie Schieber, etc.
- Ablesungen von Messeinrichtungen mit Protokollierung, z.B. bei Kontrollankern
- Verhalten und Meldewesen bei Störfällen
- Verkehrsführung für die Schneekettenmontage resp. -demontage

Für die Ereignisdienste ist aufzuzeigen, welche Sicherheitseinrichtungen vorhanden sind (Sicherheitskonzept) und wie die Verkehrsführung im Ereignisfall erfolgen kann. Das eigentliche Rettungskonzept ist Sache der Ereignisdienste (Verkehrspolizei, Sanität, Feuerwehr, etc.).

### **3.3 Strassenprojektierung Vorschriften**

#### **3.3.1 Ausbaugeschwindigkeit**

Max. 80 km/h (gemäss Strassenprojekt)

#### **3.3.2 Längsneigung**

Die max. Neigung soll aus Lüftungstechnischen Gründen 5% nicht überschreiten. Allerdings sind bei den gebirgigen Verhältnissen im Kanton Ausnahmen bis 10% zulässig.

#### **3.3.3 Quergefälle**

Das Quergefälle soll im Minimum 2.5% und im Maximum 5% betragen. In Abhängigkeit der Horizontalaxe sind auch max. 7 % zulässig.

#### **3.3.4 Minimale Horizontal- und Vertikalradien**

Diese werden aufgrund der Parameter 3.3.1 bis 3.3.3 und der Anhaltesichtweite nach den VSS-Normen festgelegt. Dazu ist festzuhalten, dass die Bankettbreiten aufgrund der erforderlichen Anhaltesichtweiten (Gehwege) **nicht verbreitert** werden.

#### **3.3.5 Projektierungsraster**

Für die wichtigsten Elemente im Tunnel gelten die nachstehenden Standardlängen bzw. -raster (siehe nächste Seite).

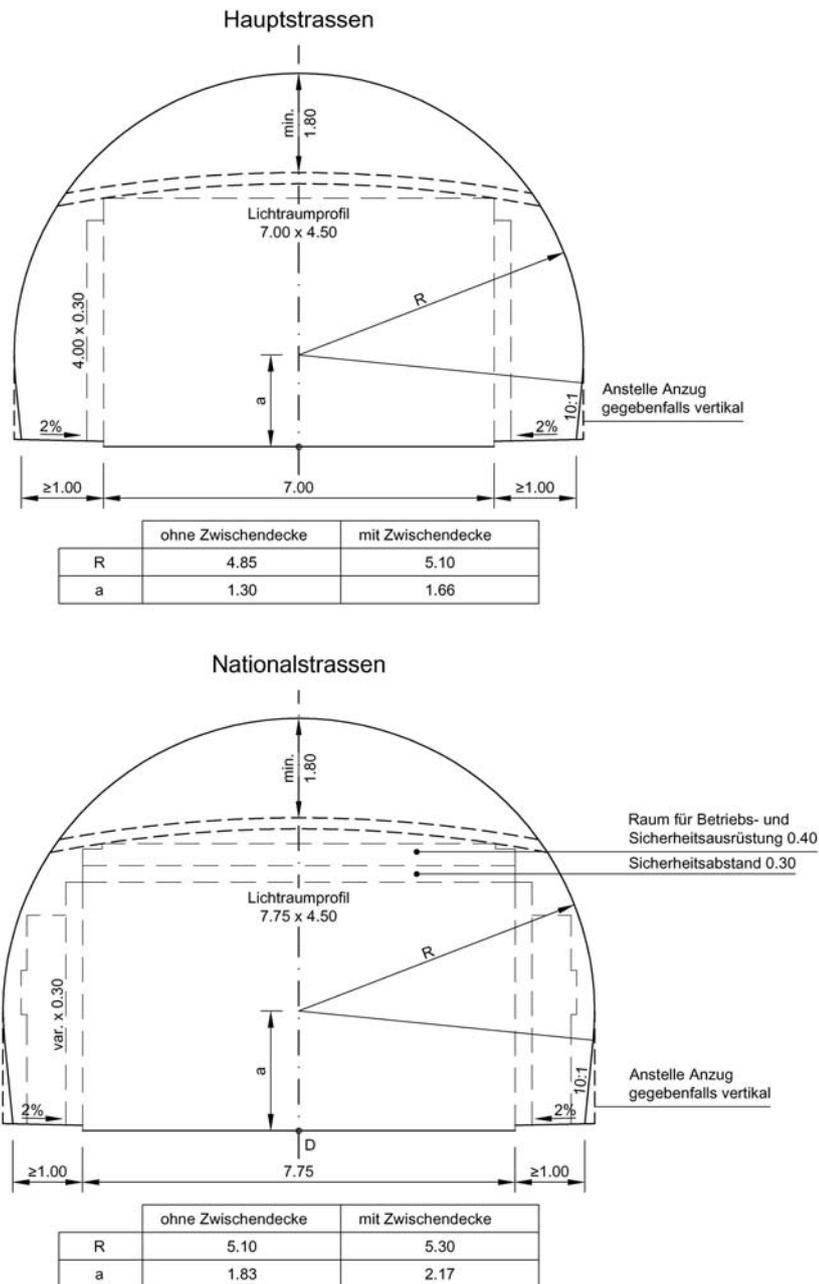
<b>Standardlängen bzw. -raster</b>	<b>Bauteil</b>
600 bis 900 m	- Versetzt angeordnete Ausstellbuchten
300 m	- Notausgänge (Fluchtwege) bei zum Tunnel parallel angeordneten Sicherheitsstollen oder Abstände gemäss ASTRA - Richtlinie
150 m	- SOS-Nischen, versetzt angeordnet, in Kurven auf Aussenseite.
150 m	- Hydranten (Die Länge der Einsatzschläuche bei Tanklöschfahrzeugen beträgt in der Regel 60 m. Deshalb sind die Abstände der Hydranten auf 150 m zu beschränken). Bei den Ausstellbuchten und Portalen ist je ein Hydrant anzuordnen.  - Absetzschächte der Bergwassersammelleitungen
ca. 100 m	- Brandabsaugklappen
50 m (- 70 m)	- syphonierte Einlauf- und Kontrollschächte des Betriebswassers <sup>2</sup> (Schmutzwasser)  - Gewölbedrainage (GD)-Nischen für die Bergwassersickerleitung am Fusse der flexiblen Abdichtung  - Kontrollschächte der Bergwassersammelleitungen (meistens im Gehweg)
10 m	- Blocklänge Innengewölbe (Nischen und Rohraufstiege sind wenn möglich innerhalb des Blockes immer gleich anzuordnen)
4.0 m	- Standardlänge der vorfabrizierten Elemente, wie Kabelblöcke
2.5 m	- Standardlänge der vorfabrizierten Elemente, wie Randsteine und Schlitzrinnen

<sup>2</sup> Betriebswasser: Wasser, das bei der Nutzung im Bauwerk anfällt:

- Meteorwasser, das in den Tunnel eingeschleppt wird
- Schmutzwasser, das beim Reinigen des Tunnels anfällt
- Löschwasser
- Flüssigkeiten, die bei Unfällen austreten

### 3.4 Normalprofil (Lichte Höhen und Breiten)

Die üblichen Abmessungen sind nachstehend dargestellt.



**Die Breiten der Gehwege** ergeben sich aufgrund der obgenannten Randbedingungen und der max. Querneigungen.

**Querneigungen** der Fahrbahn werden durch Drehen der Profilaxe um den Punkt D erzeugt. Bei Tunnels mit Zwischendecke ist die Profilaxe im Lot zu belassen und das Quergefälle durch Drehen der Fahrbahn um den Punkt D zu erzeugen. **Die Querneigung der Bankette** beträgt 2% mit Gefälle zum Fahrbahnrand.

**Abweichungen vom Sollmass** wie Toleranzen für die **Stärke der Ausbruchsicherung und der Verkleidung** (Innenring) sowie **Raum zur Aufnahme der Herstellungsgenauigkeiten** sind nach dem **Anhang I** der SIA-Norm 198 festzulegen.

**Die Versetzgenauigkeiten der Betonfertigteile wie** Randsteine und Schlitzrinnen haben +/- 2 mm in Lage und Höhe zu betragen.

Für die Verbindungsstrassen mit entsprechendem Verkehr können die Abmessungen für das Normalprofil der Hauptstrassen übernommen werden. In vielen Fällen sind jedoch reduzierte Normalprofile zu entwerfen.

## 4. Tunnelspezifische Grundsätze/Tunneldetails

### 4.1 Ausbruch

#### 4.1.1 Allgemeines

Der Ausbruch für die Bauwerke ist derart festzulegen, dass die Ausbauten gemäss den Normalprofilen ausgeführt werden können. Dabei ist auf die verschiedenen Felsqualitäten, auf mögliche Deformationen und Toleranzen (Durchschlagsgenauigkeit, Baugenauigkeit) Rücksicht zu nehmen.

#### 4.1.2 Ausbruchart

Bei der Ausbruchart wird zwischen **Vollausbruch** und **Teilausbruch** unterschieden. Vollausbruch wird vor allem für kleinere Profile (Sprengvortrieb) oder im Falle eines TBM-Vortriebes angewendet. Insbesondere beim Sprengvortrieb oder beim mechanischen Ausbruch mit Teilschnittmaschinen hat sich der Teilausbruch (Kalottenausbruch) als vorteilhaft erwiesen:

- Kein Umstellen der Ausbruchart bei schlechteren Felsverhältnissen erforderlich (heterogene, wechselhafte Gebirgsverhältnisse im Kanton)
- Infolge kleineren Lademengen ist eine geringere Auflockerung zu erwarten
- Die Felsoberfläche (Tunnellaibung) lässt sich besser beurteilen, da die Profile temporär kleinere Höhen aufweisen
- Bei kritischen Verhältnissen kann die Kalotte beim Teilausbruch noch weiter unterteilt werden.

Im Lockergestein können auch andere Ausbruchweisen gewählt werden wie „Deutsche Kernbauweise“, „Messer-Schildvortrieb“, etc.

### 4.2. Hohlräumeicherung

#### 4.2.1 Allgemeines

Die Felssicherungsmassnahmen dienen dazu, die **Sicherheit der Belegschaft** und die Stabilität des Hohlraumes zu gewährleisten. Sie haben grundsätzlich nach jedem Abschlag zu erfolgen, insbesondere das sofortige Aufbringen einer Spritzbetonschicht.

Es ist stets eine **Systemankerung** in den Ausbruchprofilen festzulegen.

Der **Umfang**, die **Art** und **Menge** der Sicherungsmittel hängt in erster Linie von der Einsatzdauer (temporär oder permanent) und den geotechnischen Randbedingungen ab. Die Felssicherungs- und Hilfsmassnahmen sind vom Projektanten in enger Absprache mit dem Geologen in einem Sicherheitskonzept (Sicherungsstypen) festzulegen.

Die **Überwachung der Hohlräumeicherung** (felsmechanische und geodätische Messungen) muss ins Sicherheitskonzept integriert werden.

Bei erwarteten Problemzonen sind **Vorauserkundungsmassnahmen** vorzusehen.

## 4.2.2 Spritzbeton

Der Spritzbeton (SB) wird im Nassverfahren aufgebracht. In Ausnahmefällen kann das Trockenverfahren eingesetzt werden. Die Qualitätsanforderungen sind in den "Vorschriften für die Ausführung von Spritzbetonarbeiten" des Tiefbauamtes Graubünden (BB2) definiert.

Als Bewehrung für den Spritzbeton kommen Stahlfasern oder Netze (z.B. K 188, K 335) zur Anwendung.

Die Stärke der Spritzbetonschalen richtet sich in erster Linie nach den statischen Erfordernissen.

## 4.2.3 Felsanker

Unter Felsanker werden gemäss SIA-Norm 198 **schlaffe** oder **angespannte** Freispiel- resp. Vollverbundanker verstanden.

Felsanker sind im Allgemeinen als temporäre Sicherungsmassnahme vorzusehen und wirken schlaff. Im Normalfall handelt es sich um gerippte Stahlanker der Qualität B500B. Das Gewinde muss aufgerollt und darf nicht geschnitten sein. Die Verankerung erfolgt zumeist mittels Kunstharzpatronen voll verklebt. Die Art und Länge der Anker richtet sich nach deren Aufgabe und ist entsprechend den Aufgaben festzulegen. Die Länge beträgt im Allgemeinen zwischen 2.5 und ca. 4 m (übliche Länge 3.0 m).

Bei Felsankern, welche als permanente Sicherung verwendet werden, handelt es sich meistens um Vollverbundanker, wobei die Befestigung des Ankers im Bohrloch in ein Bindemittel erfolgt (z.B. Injektions-, Mörtel- oder Kunstharzklebeanker).

Für **temporäre Freispielanker** (Gebrauchskraft > 200 kN) und für **permanente Freispielanker** gilt die SIA-Norm 191.

## 4.2.4 Einbaubogen

In Kombination mit Spritzbeton wurden mit der Verwendung von Gitterbögen aus Stahl positive Erfahrungen gemacht, da sich bei Gitterträgern nur geringe Spritzschatten ergeben. Beim Nassspritzverfahren, wo in kurzer Zeit wesentlich grössere Betonmengen aufgebracht werden, ist die Umhüllung des Gitterträgers unbefriedigend. Hier haben sich Walzprofile besser bewährt. Auch dort, wo die sofortige Eigen tragfähigkeit des Stahleinbaus erforderlich ist, sind HEA/HEB-Profile angebracht. Sind grosse echte Gebirgsdrücke zu erwarten, die eine gewisse zerstörungsfreie Nachgiebigkeit des Einbaus verlangen (echter Gebirgsdruck), kann die Wahl von Glockenprofilen vorteilhaft sein. Die Querschnitte der Profile richten sich nach den erforderlichen statischen Bedürfnissen (felsmechanische Berechnungen).

## 4.2.5 Vortriebsunterstützende Hilfsmassnahmen

Vortriebsunterstützende Hilfsmassnahmen können sich als vorteilhaft, bzw. sogar zwingend erweisen, wenn ein Hohlraum in zu wenig standfestem oder stark Wasser führendem Gebirge aufgefahren werden soll. Hohlräume, geringe Lagerungsdichte, grosse Blöcke oder rollige Böden, grosse Wasserzirkulation oder hohe Wasserdrücke können Gründe sein, die solche Hilfsmassnahmen nötig machen. Zu diesen zählen

- Trockenspritzbeton, z. B. Sika Shot oder gleichwertiges Produkt
- Injektionen mit Zement, Silikat, Kunststoff (PU)
- Jet - Grouting oder Injektionsrohrschirme /Mikropfahlverfahren
- Entwässerungsmassnahmen, z.B. Drainagebohrungen
- Vakuumpumpen
- Gefrierverfahren

## 4.3 Abdichtung

### 4.3.1 Allgemeines

Das Tunnelbauwerk ist gegen eindringendes Berg- und Sickerwasser abzudichten. Dies geschieht grundsätzlich mittels elastischer Kunststoff-Folien (Dichtungsbahnen), die das Bauwerk oberhalb der Gewölbefuss- Drainage vollflächig abdichten (Schirmabdichtung). Für die **drucklose Ableitung** des anfallenden Wassers haben sich **Folien aus PVC** bewährt. Das Phänomen der Alterssprödigkeit von PVC wurde bisher in den Bündner Tunnels nicht festgestellt. Bei regelmässigem Ausbruchprofil, z.B. ge-frästem Ausbruch, kommen auch Folien aus PE in Frage. Die minimale Stärke hat 2 mm im Über- und Untertagbereich zu betragen. Am Gewölbefuss ist das auf der Abdichtung anfallende Wasser mit Sickerleitungen zu entwässern. Diese Entwässerungen müssen zuverlässig unterhalten, kontrolliert und gereinigt werden können. Für diese Leitungen ist ein Mindestdurchmesser von  $D = 200$  mm zu verwenden.

Sofern sich das Bauwerk im Grundwasser befindet, bei grossem Wasserandrang oder aus Umweltschutzgründen, ist von Fall zu Fall zu prüfen, ob eine **druckhaltende Vollabdichtung** um das gesamte Profil erforderlich und möglich ist.

Bei **aggressiven Wässern** ist auf jeden Fall eine 2 mm starke Abdichtungsfolie zum Schutze des Konstruktions-Betons erforderlich (ohne Druckaufbau).

### 4.3.2 Abdichtung Übertag

Bei Tagbaustrecken wird der Tunnelquerschnitt auf der Aussenseite abgedichtet. Die Kunststoff-Dichtungsbahnen werden auf dem Betonuntergrund vollflächig verklebt. Die entsprechende Oberflächenbeschaffenheit des Betons ist in den BB2 festgelegt. Der Schutz der Abdichtung beim Hinterfüllen erfolgt mit einer Schutzmatte (Gummischrot- oder Enkadrain-Matte), die direkt an die Schutzmatte anschliessende Hinterfüllung mit einer Mindeststärke von 40 cm darf nur mit Schüttmaterial der Grösse 0 - 150 mm eingefüllt werden. Näheres ist in den BB2 spezifiziert.

### 4.3.3 Abdichtung Untertag

Neben der elastischen Abdichtung (PVC-Folie) sind je nach Wasseranfall Vliese, Enkadrain-Matten oder gleichwertige Produkte erforderlich. Die folgende Tabelle gibt dazu einen Überblick:

▪ Tunnel trocken:	Vlies 600 gr/m <sup>2</sup>	z.B. Crapteig
▪ Tunnel mit wenig Wasser:	Enkadrain TPL-1s oder gleichwertiges Produkt	z.B. Gotschna
▪ Tunnel mit regelmässigem Wasseranfall resp. hohem Versinterungspotential	Enkadrain TPL-1s Enkadrain 5020 Z (H=2-3 m) oder gleich- wertige Produkte	z.B. Flims

**Vliese oder Enkadrain-Matten** schützen die PVC-Folie vor Verletzungen und wirken gleichzeitig als Drainage für ein druckloses Ableiten des Wassers. Bevor diese verlegt werden, müssen nach Auftragen eines Spritzbeton-Finish beim Untergrund folgende Bedingungen geprüft werden:

- Ebenheit: keine Hohlräume tiefer als 20 cm unter der 2m-Latte
- Rauigkeit: keine zu grobe Körnung, höchstens Spritzbeton 0-16 mm

Beim Einsatz von **Enkadrain-Matten** besteht erhöhtes Potential für die Zusammenrückbarkeit der Matten und erfordert insbesondere im Lockergestein eine Prüfung der Bettung des Gewölbes und der Zwischendecke.

Bei starkem Wasserandrang ist der Einsatz von **Noppenfolien** abzuklären. Die hohe Steifigkeit der Noppenfolien sowie die Verletzlichkeit der Abdichtungsfolie an den Schnittkanten der Noppenfolien sind besonders zu beachten.

Sofern der **Innenring bewehrt** wird, ist eine **Schutzfolie** von 2 mm Stärke auf die Abdichtungsfolie zu verlegen. Sie soll sich von der Abdichtung farblich unterscheiden (Signalwirkung bei Beschädigungen). Bei den Blockfugen ist zum Schutze der Abdichtung eine mindestens 50 cm breite Schutzfolie auf die Abdichtungsfolie zu verlegen.

In den **Übergangsbereichen Tagbau/bergmännisch** oder bei **grossem Wasserandrang** sollen **Randfugenbänder** angebracht werden. Mit dieser Abschottung lassen sich Schadstellen besser lokalisieren.

In besonderen Fällen, z.B. zur Verhinderung der Bewässerung von Anhydritzonen, sind Abschottungen zur Unterbindung des Fliessens längs des Tunnels erforderlich. Dies erfolgt mittels Injektionen, Betonsperrriegel etc.

Bei **einschaligen Tunnelbauten** ist das anfallende Wasser mittels

- Abschlauchen
- abdeckbaren Ringfugen
- Drainagebohrungen

etc. abzuleiten.

## 4.4 Innengewölbe

Die Funktion des Innenringes besteht vornehmlich darin, die elastische Abdichtung zu stützen und die langfristige Stabilität des Tunnelhohlraumes zu gewährleisten.

### 4.4.1 Konstruktion und Baustoffe

Die Mindeststärke des Innengewölbes hat 30 cm zu betragen (siehe dazu auch die Beilage 2, „Anforderungen an Baumaterialien“).

Die Qualität des Pumpbetons hat den BB2 zu entsprechen. Sofern mit dem Betoniervorgang (Pumpen) gewährleistet werden kann, dass sich der Scheitel resp. auch die übrigen „Hohlräume“ (Überprofil beim Sprengen) vollständig verfüllen lassen, kann auf nachträgliche Scheitelinjektionen mit Stützen oder Injektionsschläuchen verzichtet werden.

Das **Innengewölbe** soll aus Gründen der Langzeitbeständigkeit wenn möglich **unbewehrt** sein. Dies gilt auch für **Ausstellbuchten** mit Stirnwänden und **Aussparungen** wie SOS-Nischen, Hydrantennischen, GD-Nischen, etc.

### 4.4.2 Schalungen, Ausschalfristen

Bei über 1000 m langen Tunnels sind in der Regel 2 Schalungen einzusetzen.

Die Ausschalfristen betragen im Allgemeinen 18 Stunden.

### 4.4.3 Aussparungen, Einlagen, Abschaltungen

Im Innenring sind diverse Aussparungen vorzusehen:

- Gewölbedrainagenischen
- SOS-Nischen
- Hydrantennischen
- Aussparungen für diverse elektromechanische Einrichtungen, wie SOS, Beleuchtung, Brandnotleuchten, Signale, TV, Ventilation etc.
- Kabelschutzrohre sind auf einen Durchmesser von 60/72 resp. 72/80 mm zu beschränken.

Kleinere und häufige Aussparungen sollen möglichst mit auf der Schalhaut aufgeschraubten Stahlschalungen hergestellt werden. Bei einem Strassenlängsgefälle von bis zu 2 % können die Abschaltungen, Wände und oben erwähnte Aussparungen im rechten Winkel zur Fahrbahn ausgeführt werden. Sofern das Gefälle über 2 % beträgt, sind diese senkrecht (lotrecht) auszubilden.

### 4.4.4 Innengewölbe aus Spritzbeton

Für Sonderquerschnitte im Untertagbau, z.B. Sicherheits- oder Fluchtstollen, Trafostationen und Verzweigungsstrecken (analog Tunnel Crap Sés), wo das Innengewölbe aus wirtschaftlichen Gründen nicht mit einem Schalwagen betoniert wird, kann dieses in Spritzbeton ausgeführt werden. Allfällige erforderliche Bewehrungsmatten im Spritzbeton können mittels Perforationsanker durch die allenfalls vorhandene Abdichtungsfolie hindurch in der Felssicherung, bzw. im Fels befestigt werden. Anstelle von Bewehrungsmatten kann der Spritzbeton gegebenenfalls mit Stahlfasern versehen werden.

#### 4.4.5 Zwischendecke

Damit bei **neuen Tunnels** die Zwischendecken „normale“ Stärken (~ 20 cm) aufweisen, dürfen die erforderlichen **Kabelschutzrohre** einen Aussendurchmesser von 50 mm nicht überschreiten. Aus konstruktiven Gründen (Schwächung des Betonquerschnittes), sind nur die notwendigsten Rohre (keine Reserverohre) - und möglichst wenig Rohre nebeneinander einzulegen.

Bei **bestehenden Zwischendecken** sind die Anschlüsse für die elektromechanischen Einrichtungen **auf Putz** zu realisieren und mittels Abdeckung (z.B. standardisierte Trapezprofile) zu schützen. Die Motoren der Brandschutzklappen können direkt ab Gewölbescheitel mittels vertikaler Stichleitung angeschlossen werden.

Zur Erhöhung der **Brandschutzsicherheit** kann die fahrraumseitige Betonüberdeckung von 4 auf 6 cm erhöht werden (siehe dazu auch die SIA Norm 262, Art. 4.3.10.5, Nachweis des Feuerwiderstandes mit Tabellen).

Erschliessung der Zwischendecke: Montageöffnungen (1 x 2 m) für die Einrichtungen oberhalb der Zwischendecke sind alle 500 m anzuordnen. In den Ausstellbuchten (alle 750m) sind Treppenaufgänge zur Erschliessung der Zwischendecke vorzusehen (Lage der Aufgänge in Fahrtrichtung gesehen zu Beginn der Buchten).

#### 4.5 Entwässerung

Die Werkleitungen in den Tunnels sind grundsätzlich unterhaltsfreundlich auszulegen. Aus diesem Grund gelten folgende Vorschriften:

- Abstand von Einlauf und Kontrollschächten sowie von Gewölbedrainagenischen  $\leq 50 - 70$  m
- keine Blindschächte (nicht zugänglich)
- Rohrmaterial: PE, innen hell beschichtet
- Rohrdurchmesser:
  - Gewölbedrainageleitungen: NW 200 mm (am Fuss der flexiblen Abdichtung)
  - Bergwassersammelleitungen in der Regel: NW 300 mm  
im Minimum: NW 200 mm

##### 4.5.1 Trennsystem

Grundsätzlich ist für die Ableitung des Betriebs- und Bergwassers ein Trennsystem vorzusehen.

Bei Instandsetzungen von bestehenden Tunnelbauten kann gemäss Entscheid des Tiefbauamtes Graubünden auf den nachträglichen Einbau eines Trennsystems verzichtet werden (Kosten/Nutzen - Betrachtungen).

## 4.5.2 Bergwasserableitung

Das Bergwasser soll möglichst unverschmutzt der Vorflut zurückgegeben werden.

Am Fusse der elastischen Abdichtung wird das Bergwasser mittels Sickerleitungen gefasst und den Gewölbedrainage (GD)- Nischen zugeleitet. Von diesen aus wird das Bergwasser den geschlossenen Bergwassersammelleitungen, welche sich in den Banketten (Gehwege) befinden, zugeführt.

Allfällig von der Sohle des Tunnels zufließendes Wasser muss mit einer separaten Sohlendrainageleitung gefasst und periodisch den Bergwassersammelleitungen zugeführt werden (gegebenenfalls Einleitung in die Betriebswassersammelleitung, sofern konstruktiv möglich).

Die Sickerrohre (Bergwassersickerleitungen- d.h. sog. GD-Leitungen sowie Sohlendrainageleitungen) sollen eine Einlauffläche von mindestens 100 cm<sup>2</sup> pro Laufmeter bei einer **Lochung** von einem Durchmesser  $\geq 20$  mm aufweisen. Bei besonders grossen Wassermengen ist eine Einlauffläche von bis zu 200 cm<sup>2</sup> pro Laufmeter zu prüfen. Die Korngrösse der Sickerpackung muss mindestens 30/50 mm betragen.

Grössere Wassereintritte sind mittels Halbschalen direkt an die Gewölbedrainageleitung (ev. Bergwasserleitung) anzuschliessen. Treten grössere Quellen (>10 l/s) auf, welche die Kapazität der Bergwasserleitung(en) übersteigen, ist eine separate, geschlossene Leitung vorzusehen.

## 4.5.3 Konditionierung von Bergwässern

Um der Sinterbildung vorzubeugen, soll das Bergwasser mit mittlerer bis starker Versinterungsneigung mit Härtestabilisatoren behandelt werden. Vorgängig muss das Bergwasser chemisch untersucht werden. Damit kann die Sintergefahr abgeschätzt und eine optimale Lösung für die Konditionierung erzielt werden.

Folgende Zusammenstellung gibt je nach Fortschritt des Projektes einen Überblick über die abzuklärenden bzw. zu treffenden Massnahmen:

Projektphase	Massnahme
Projektierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grobe chemische Analyse des Bergwassers</li> <li>• Für das <b>Rückführsystem</b> Steuergerät in SOS-Nische, Hüllrohr zwischen SOS- und Gewölbedrainage-Nische (Stromversorgung und Steuerung) sowie die Schlauchleitung auf der Sickerpackung der Gewölbedrainage einplanen</li> <li>• Im vorsorglichen Sinne den erforderlichen Raum für Dosieranlagen z.B. in Betriebs- und Lüftungszentrale berücksichtigen</li> </ul>
Submission	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rückführsystem ausschreiben (Bohrungen in GD-Schächten, Hüllrohr zwischen SOS- und GD-Nische, Lieferung und Einbau der Schlauchleitungen)</li> <li>• Während der Bauzeit jährlich zweimaliges Spülen der Drainageleitung ausschreiben</li> </ul>

- |                    |  |
|--------------------|--|
| Bauausführung      | <ul style="list-style-type: none"><li>• Zugeführtes Bergwasser detailliert chemisch untersuchen</li><li>• Je nach Bedarf temporäre, punktuelle Härtestabilisation mit Depotsteinen veranlassen</li><li>• Generell Drainageleitungen jährlich zweimal spülen (alkalisches Baustellenabwasser!)</li><li>• Rückführsystem – dort wo sinnvoll – im vorsorglichen Sinne ausführen</li></ul> |
| Vor Inbetriebnahme | <ul style="list-style-type: none"><li>• Entscheid über die endgültige Installation des Rückführsystems (Steuerung und Installation der Tauchpumpen) und der Dosieranlagen</li></ul>  |

Für die Härtestabilisation bei Neubauprojekten eignet sich das **Rückführsystem** am besten. Der Vorteil bei diesem System ist, dass die Härtestabilisation bereits beim Eintritt des Bergwassers in die Gewölbedrainage-Leitung wirkt und nicht erst beim Eintritt in die Gewölbedrainage-Schächte wie bei den herkömmlichen Systemen. Das Rückführsystem besteht aus einer fix auf der Sickerpackung der Gewölbedrainage verlegten Schlauchleitung (PE-HD) mit Löchern alle 5-10 Meter. Der Schlauch wird jeweils in die Kontrollschächte der Gewölbedrainage geführt und dort mit dem nächsten Schlauch kurzgeschlossen. Das Bergwasser läuft in die Kontrollschächte der Gewölbedrainage, von wo es durch Pumpen in die Schlauchleitungen befördert und via Dosieröffnungen in die Sickerpackung zugeführt wird.

Für die Beigabe der Härtestabilisation sind **Dosieranlagen** notwendig. Der **notwendige Raum** (min. 2,2 x 2,0 m) für eine oder mehrere solcher Anlagen (inkl. Schutzkasten, Dosiermittelbehälter, Auffangwanne, elektrischer Anschluss, Brauchwasseranschluss, etc.) sowie Schutzrohre von den Dosierstationen bis zu den Einspeischächten sind beim Tunnelprojekt im vorsorglichen Sinne einzuplanen.

Bei **Tunnelinstandsetzungen** ist das Rückführsystem nicht möglich. Der nachträgliche Einbau von Dosieranlagen kann jedoch in Betracht gezogen werden.

Ausserdem sind, wenn Versinterungstendenz und -risiko aufgrund von Wasseranalysen des Bergwassers und der hydrogeologischen Beurteilung als gross beurteilt werden, die **Sickerleitung** am Gewölbefuss und die **Sohlendrainageleitungen** vollständig **geschlossen** und **luftdicht** durch den ganzen Tunnel zu führen, damit der Sauerstoffzutritt vermindert, bzw. ein Ausgasen von CO<sub>2</sub> verhindert wird und die Chemikalienzugabe an möglichst wenigen Orten erfolgen kann. Wichtig ist eine unterbrochene, ruhige Wasserführung ohne Turbulenzen und Wirbel. Für Reinigungsöffnungen sind entfernbare Abdeckungen erforderlich. Die Bergwassersammelleitungen dienen nur als Entlastungserinne.

#### 4.5.4 Betriebswasserableitung

Meteorwasser, das durch Fahrzeuge in den Tunnel eingeschleppt wird, sowie Schmutzwasser gelangen über Schlitzrinnen in syphonisierte Kontrollschächte und von dort aus in die Betriebswassersammelleitung. Die Syphonierung in den Kontrollschächten schützt vor Gasbildung, Explosionen und Ausbreitung von brennendem Treibstoff im Tunnel.

Die direkte Einleitung des Abwassers aus der Tunnelreinigung (Betriebswasser) in einen Vorfluter ist nicht gestattet. Das Betriebswasser muss vor der Einleitung in ein Gewässer oder in gewissen Fällen auch in einer ARA behandelt werden. Dazu kommen bei Tunnels ab ca. 400 Meter Länge zwei verschiedene Verfahren in Frage:

- Stapelverfahren (Stapelanlage)
- Durchlaufverfahren (Abscheideanlage)

Bei Tunnels mit Trennsystem ist primär die Behandlung im Stapelverfahren anzustreben.

In kurzen Tunnels bis ca. 400 Meter Länge soll der Ablauf des Waschwassers zum Vorfluter am Tunnelausgang mit einer Absperrarmatur unterbunden, das Waschwasser mit einem Saugfahrzeug während der Reinigung abgesaugt und einer grösseren ARA zugeführt werden.

Für die Projektierung der Tunnelabwasserbehandlung hat das Tiefbauamt eine Wegleitung herausgegeben (Ausgabe Oktober 2004). Zudem ist die Wegleitung „Gewässerschutzmassnahmen bei der Tunnelreinigung“ vom BUWAL zu beachten.

#### 4.5.5 Tunnels ohne Trennsystem

Ältere Tunnels sind noch ohne Trennsystem ausgerüstet. Das saubere und verschmutzte Wasser wird als Mischwasser in der Regel direkt in den Vorfluter eingeleitet.

Im Normalbetrieb läuft das Mischwasser am Schwerkraftabscheider vorbei. Beim Waschen des Tunnels oder in Störfällen, ist vor dem Abscheider ein Schieber zu betätigen, damit das kontaminierte Schmutzwasser in den Schwerkraftabscheider gelangt.

#### 4.6 Löschwasserleitung

Über die Löschwasserleitung wird der Tunnel mit Wasser für den Brandfall und für die Tunnelreinigung versorgt.

Neue und insbesondere längere Tunnels sind mit einer Löschwasserleitung auszurüsten. Das TBA legt objektspezifisch fest, ob eine Löschwasserleitung vorzusehen ist. Bei Instandsetzungen entscheidet das Tiefbauamt Graubünden im Einzelfall über den Einbau einer Löschwasserleitung.

Die Leitung ist für eine Entnahmemenge von 20 l/s zu dimensionieren. Der minimale Druck darf nicht unter 6 bar absinken. Der statische Druck soll 15 bar nicht übersteigen. Ein Stetslauf ist aufgrund der Gefriergefahr zu prüfen. Im Falle der Einbindung der Löschwasserleitung in eine Ortswasserversorgung ist ein Stetslauf in jedem Fall vorzusehen.

Als **Rohrmaterial** ist Duktulguss zu verwenden (bei Kunststoffleitungen ist im speziellen dem Brandschutz besondere Aufmerksamkeit zu schenken).

Die **ingesandete Leitung** ist mit Schubsicherungen auszurüsten und darf **nicht einbetoniert** werden. Wärmedämmung und Rohrbegleitheizung sind zusammen mit weiteren Massnahmen gegen das Einfrieren der Leitung im Winter - z.B. mit Stetslauf - zu prüfen und festzulegen. Die Bettung der Leitung hat in der Regel mit Kies 4-8 mm zu erfolgen.

Aus Gründen des Korrosionsschutzes dürfen **keine elektrischen Überbrückungen** angeordnet werden.

Als Innenbeschichtung der Leitungen sind PUR- oder Zementmörtel-Auskleidungen zu verwenden. Sofern die Löschwasserleitungen auch für die **Trinkwassernutzung** verwendet werden, sind die diesbezüglichen Zertifikate zu erbringen.

Für die Unterhaltsequipen sind die Stationen im Tunnel (z.B. die Trafostationen) gegebenenfalls mit Druckwasser zu versehen.

Das **Reservoir** hat ein **Nutzvolumen** von 250 m<sup>3</sup> aufzuweisen und die Füllung hat innert 6 bis 8 Stunden zu erfolgen.

#### 4.7 Hydranten

Hydranten sind in Nischen (auf der gleichen Tunnelseite) in einem Abstand von max. 150 m in den Ausstellbuchten und am Portal anzuordnen. Es sind **Standardhydranten (Überflur)** mit 2 Schlauchanschlüssen Storz 55 und Storz 75 zu verwenden.

Farbe: **Feuerwehrrrot (RAL 3000)**.

#### 4.8 Kabelrohranlage für die elektromechanischen Anlagen

Die Elektrotrassees für die Tunnelversorgung und Transit sind möglichst voneinander getrennt auf die beiden Bankette aufzuteilen. Anzahl und Durchmesser der Hüllrohre werden im Elektroprojekt festgelegt.

Grundsätzlich wird auf die Sohle der zu erstellenden Kabelrohranlage ein Erdband nach den Angaben des Projektverfassers PV-Elektro verlegt. Die Verschweissung erfolgt mit dem Cadwell-Verfahren. Die Anlagen werden durch die Elektro-Bauleitung während der Erstellungsphase kontrolliert und geprüft. (Für die Löschwasserleitung ist keine Erdung vorzusehen, siehe Punkt 4.6!)

Anzahl und Zwischendistanz der Kabelschächte beim Transitttrassee ergeben sich aus den Bedürfnissen der Elektroinstallationsarbeiten (Kabelzug und allenfalls Kabelspleissen).

Beim tunnelinternen Elektrotrassee werden Kabelschächte grundsätzlich bei allen Kabelaufstiegen und -querungen sowie Eingängen in die Querverbindungen (Sicherheitsstollen) angeordnet.

#### 4.9 SOS-Nischen

SOS-Nischen sind mit Standard- SOS-Kästen auszurüsten. Diese enthalten:

- SOS Telefon/Alarmknöpfe für Unfall/Panne/Feuer
- 2 Hand-Feuerlöscher

Sie sind beleuchtet und an die USV (Unterbruchlose Stromversorgung)- Anlage angeschlossen. Die SOS-Nischen sind im Abstand von 150 m wechselseitig anzuordnen. In engen Kurven sind sie aus Sichtgründen auf der Kurvenaussenseite zu platzieren. Die Abmessungen sind in der SIA- Norm 197/2 dargestellt. Die SOS-Nischen werden nicht separat belüftet.

Bei **Tunnelerneuerungen** können im Innenring eingelassene Kästen ausgeführt werden, welche mit den obgenannten Ausstattungen ausgerüstet sind.

## 4.10 Strassenoberbau und Beläge

### 4.10.1 Fahrbahn

Für National- wie Kantonsstrassen ist der Fahrbahnaufbau standardmässig wie folgt festgelegt:

- Ausgleichsbeton
- 10 cm Sohlenbeton auf dem Fels (Fahrpiste)
- 13 cm ungebundene Sickerschicht, Sickerkies 8/32
- Geotextil mit Trennfunktion
- 26 cm Kiessand I (Foundation)
- 15 cm Walzasphalt (Hauptstrassen), bzw.  
18 cm (Nationalstrassen) aus AC T / AC B für Trag- und Binderschicht sowie 4 cm Hot Rolled-Asphalt (HRA) als Verschleisschicht (**Belaggesamstärke Hauptstrassen: 19 cm; Nationalstrassen 22 cm**)

Bei Strassentunnels in **lärmempfindlichen Gebieten** sowie für **Tunnels von Verbindungsstrassen** ist anstelle einer HRA- Verschleisschicht die Verwendung eines 3 cm starken Deckbelages AC 8 zu empfehlen resp. zu prüfen. Dabei bleibt die oben erwähnte Gesamtstärke des Belages von 19 resp. 22 cm unverändert.

### 4.10.2 Ausstellbuchten

- Analoger Aufbau bis und mit Foundation
- Belag analoger Aufbau Fahrbahn, wobei als Verschleisschicht 4 cm AC 11 / 3 cm AC 8 auszuführen ist
- Wasserstein als Fahrbahnabschluss

### 4.10.3 Gehwege

- Gehwegbeton 8-10 cm, Betonqualität gem. BB2 (unbewehrte Tunnelinnenringe), als Abdeckung der Werkleitungen und gleichzeitig tragfähige Unterlage für den Belag
- 3 cm Gussasphalt 8 TS als wasserdichter Belag. Die Anschlüsse an den Randstein und ans Gewölbe erfolgen mit einer Fugenvergussmasse

### 4.10.4 Optische Leiteinrichtung

In den Nationalstrassentunnels ist gemäss Weisung des ASTRA eine optische Leiteinrichtung auf den Gehwegen zu installieren. In den Hauptstrassentunnels ist die Leiteinrichtung bei längeren Tunnels, d.h. ab 1000 m und bei Tunnels mit stark gekrümmter Linienführung ab ca. 500 m vorzusehen.

Als System ist das sog. **Induktive System** zu wählen (siehe auch die entsprechende TBA-Richtlinie: „Bauspezifische Normalien für die optische Leiteinrichtung“).

Das Speisekabel für den Betrieb der Leuchtdioden ist im Randstein- oder Schlitzrinnenkopf anzuordnen. Die nachträglich vor Ort gefräste Nut mit 15 mm Breite und mindestens 25 mm Tiefe wird nach dem Verlegen des Kabels mit Epoxy-Kleber verfüllt (z.B. Sikadur-33 oder gleichwertiges Produkt).

Bei Installation einer optischen Leiteinrichtung ist auf den Farbanstrich (Weiss / Schwarz) des Randsteines zu verzichten.

## 4.11 Vorfabrizierte Bauteile

### 4.11.1 Fertigbauteile aus Beton

Die Verwendung von standardisierten, z.T. vorgefertigten Bauteilen hat sich bei verschiedenen Tunnelbauten im Kanton Graubünden bewährt. Neben der projektmässigen Vereinfachung ergeben sich auch für den Tunnelunterhalt Vorteile durch die Vereinheitlichung.

Als standardisierte Bauteile werden insbesondere verwendet und sind in den Tunnelnormalien enthalten:

- Randsteine
- Schlitzrinnen mit dazugehörigen Syphonschächten
- Kabelblöcke
- Gewölbedrainage (GD) und Elektroschächte

Es gelten die Qualitätsvorschriften gemäss BB2.

### 4.11.2 Schächte

Schächte sind möglichst ausserhalb der Fahrbahn anzuordnen. Aus Gründen des Unterhaltes sind wo möglich runde Abdeckungen zu verwenden (min. Durchmesser 80 cm).

Die Abdeckungen bestehen im Allgemeinen aus duktilem Guss. Auch hier wird die Verwendung einer standardisierten Modellpalette angestrebt. Die üblicherweise zur Anwendung gelangenden Typen sind ebenfalls den Tunnelnormalien zu entnehmen resp. der Planmustersammlung, Kapitel 50).

Traglasten der Deckel: Diese haben zu betragen im Bereich

- des Bankettes 5 to ( 50 kN), ev. 10 to (100 kN),
- der Fahrbahn 10 to (100 kN)

## 4.12 Betonoberflächenschutz

### 4.12.1 Tunnelanstrich

Wichtig ist die Anwendung eines eigentlichen **Schutzsystems**, das sämtliche Vorarbeiten am Beton und die Nachbehandlungen miteinschliesst. Nur so kann gewährleistet werden, dass die zahlreichen, z.T. sich konkurrenzierenden Anforderungen erreicht werden können. Hier sei im Besonderen auf die „Qualitätsvorschriften für Tunnelanstriche“ in den BB2 verwiesen.

Die Helligkeit des Anstrichs hat **RAL 1013 (Perlweiss)** zu entsprechen.

Die **Notausgänge** sind um die Türen ca. einen Meter breit grün einzufärben (**RAL 6029**)

### 4.12.2 Hydrophobierung

Auf den ersten 300 m ab Tunnelportal ist die Zwischendecke auf der Unterseite zu hydrophobieren.

#### 4.13 Ausstellbuchten

Ausstellbuchten sind alle 600 bis 900 m anzuordnen, falls der Tunnel eine Länge von 1,5 km überschreitet. Sie sind versetzt zu erstellen.

Folgende minimale Abmessungen sind gemäss SIA Norm 197/2 einzuhalten:

- Spurbreite 3 m
- Lichte Höhe 4.50 m
- Länge 40 bis 50 m, (ohne Berücksichtigung zusätzlicher Bauten wie Treppenhäuser resp. Elektrostationen)

Das Bankett ist entsprechend dem Normalprofil des Tunnels in der Ausstellbucht durchzuziehen.

#### 4.14 Fluchtwege (u. a. Sicherheitsstollen)

Fluchtwege aus dem Fahrraum sind gemäss SIA Norm 197/2 anzuordnen. Der maximale Abstand der Notausgänge ist gemäss der ASTRA-Richtlinie „Lüftung der Strassentunnel“ zu bestimmen.

In der Regel sind die Fluchtwege lediglich begehbar und rollstuhlgängig (Bankettabsenkung) auszubilden.

Wenn ohne wesentlichen Mehraufwand realisierbar oder wenn der Stollenquerschnitt aus Gründen der Bauausführung grösser gewählt wird, kann der Fluchtstollen für Fahrzeuge bis 3.5 t befahrbar ausgestaltet werden. In diesem Fall sind die lichten Masse mit  $B = 2.8$  m und  $H = 2.8$  m festzulegen.

Als Abschlüsse gegen den Fahrraum sind Schiebetüren (Überdruck) vorzusehen (1.25x 2.50 m). Die Abschlüsse sind nicht auf Explosionsdruck zu bemessen, es sei denn, dass diese Bestandteil eines gegen Explosionen zu sichernden Systems sind (Tunnel San Bernardino). Bezüglich Brandschutz müssen die Abschlüsse einen Feuerwiderstand von T30 erfüllen.

#### 4.15 Signalisation und Verkehrstechnik, Markierungen

Die Signalisation und Verkehrsüberwachung von Tunnelbauten wird durch das Tiefbauamt Graubünden projektiert. Die entsprechenden Vorgaben sind bei der Projektbearbeitung zu berücksichtigen.

**Sicherheitslinien:** Diese sind in den National- und Hauptstrassentunnels als Doppellinien auszubilden. Dabei sollen in der Mitte der Doppellinien sog. reflektierende Leuchtnägel aufgeklebt werden.

**Nummerierungen Brandnotleuchten:** Diese sind durchzunummerieren, um den Ereignisdiensten in Notfällen eine eindeutige Orientierung zu gewährleisten.

## 5. Voreinschnitte/Tagbaustrecken/Tagbautunnel

Die **Voreinschnitte** sind bezüglich den geologisch – geotechnischen Abklärungen analog zu behandeln wie die Tunnelbauwerke (Sondierschlitze, Bohrungen). Die Dimensionierung der Baugrubensicherungen hat auf Baugrundmodellen zu erfolgen, welche die Baugrundverhältnisse möglichst realitätsbezogen berücksichtigen.

Den Schnittstellen mit den Untertagebauwerken wie Bauphasen, Sicherung des bergmännischen Portals etc. ist die gebührende Beachtung zu schenken.

Die **Tagbautunnels** resp. die Tagbaustrecken haben denselben Projektierungsgrundsätzen zu entsprechen wie die bergmännischen Tunnels. Dabei sind die nachstehenden Punkte zu beachten:

- Übergang Tagbau/Untertagbau: Abdichtungsdetails (Abschotten)
- statische Dimensionierung: Alle Erddrücke, gegebenenfalls Steinschlag berücksichtigen
- keine minimalen Gewölbestärken (Dauerhaftigkeit)
- sofern möglich keine Profilwechsel bezüglich bergmännischem Querschnitt
- die Betonkonstruktionen sind mit einer elastischen Folie abzudichten, wobei die Folie vollflächig zu verkleben ist (Vermeiden der Hinterläufigkeit). Dabei ist auch der Meteor- und Sickerwasserableitung die erforderliche Beachtung zu schenken.
- Lärmschutz: Sofern die Bauwerke in lärmempfindliche Zonen zu liegen kommen, sind die Portalzonen inkl. gegebenenfalls Teile der bergmännischen Abschnitte mittels lärmabsorbierenden Elementen zu verkleiden (ev. Verwendung von lärmarmen Belägen) .

Die **Gestaltung der Portale** soll nach möglichst einfachen Konzepten erfolgen, welche Rücksicht auf benachbarte Bauwerke eines Strassenzugs nimmt.

## 6. Trafostationen, Lüftungszentralen

Auch hier gelten die **gleichen Projektierungsgrundsätze** wie für die Tunnelbauwerke.

Insbesondere ist darauf zu achten, dass die Bauwerke gegen eindringendes **Bergwie Meteorwasser** abgedichtet werden.

Bei der **Anordnung der Axialventilatoren** ist darauf zu achten, dass diese nicht über der Fahrbahn zu liegen kommen (Brandfall).

Bezüglich **Innenausbau** (Abschlüsse, Raumbelüftung, Anstrich und Farbgebung, Mauerwerk, etc.) wird auf das Handbuch der elektromechanischen Anlagen (HEMA) verwiesen.

Die **Zugänge (Zufahrten)** zu den oben erwähnten Bauwerken sind so festzulegen, dass der erforderliche Raum für die Montage der elektromechanischen Einrichtungen zur Verfügung steht. Für die normalen Unterhaltsarbeiten sind die Zugänge und Zufahrten bedarfsgerecht auszubilden, wobei auch die erforderlichen Abstell- resp. Ausstellplätze zur Verfügung zu stellen sind.

## 7. Zuständigkeiten seitens des Tiefbauamtes Graubünden

Thema	Zuständigkeiten* seitens des Tiefbau- amtes Graubünden:
- Geologie/Grundbau	Kunstabauten/Strassen- baulabor
- Ausbruchs- und Felssicherungsverfahren	Projektierung/Oberbau- leitung
- Strassenprojektierungsvorschriften	Projektierung
- Voreinschnitte/Tagbaustrecken	Kunstabauten/Projektierung
- Tunnelquerschnitte	Projektierung
- Tunnelstatik	Projektierung
- Entwässerung	Projektierung
- Bergwasserproblematik (Versinterungen)	Strassenbaulabor
- Löschwasserleitung	Projektierung
- Abdichtungen Übertag	Kunstabauten
- Abdichtungen Untertag	Projektierung
- Elektroanlagen	Elektromechanik
- Tunnellüftung	Elektromechanik
- SOS-Nischen	Elektromechanik
- Sicherheitsanlage	Elektromechanik/Signa- lisation und Verkehrs- technik
- Signalisation	Signalisation und Ver- kehrstechnik
- Militärische Aspekte	Projektierung
- Trafostationen/Zentralen	Elektromechanik/Projekt.
- Schachtabdeckungen	Projektierung
- Standardbauteile und vorgefertigte Bauteile	Projektierung
- Beläge	Oberbauleitung
- Wartungshandbuch	Projektierung/Strassen- erhaltung/Elektromech.
- Prüfung Submissionsunterlagen	Oberbauleitung

\* Sofern eine externe Gesamtprojektleitung (GPL) bei der Projektabwicklung eingesetzt wird, kann auch die GPL anstelle des Tiefbauamtes für diverse Bereiche zuständig sein. In diesem Fall sind die Zuständigkeiten vorgängig festzulegen. Dabei hat die GPL auch die Meinung der Fachspezialisten des TBA einzuholen.

## **8. Checkliste Tunnel und Schnittstellen**

Auf den Beilagen 3.1 - 3.5 ist die Fachverantwortung für die verschiedenen Tunnelbauteile als Checkliste aufgeführt. Die Listen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sie sind jedoch ein wertvolles Hilfsmittel zur Festlegung der Schnittstellen und Zuständigkeiten der verschiedenen Projektanten.

Je nach Projektorganisation können die Verantwortlichkeiten anders als in den nachstehenden Tabellen festgelegt werden.