



Rhätische Bahn
Ferrovia retica Viafier retica

Linie: Arosa - Davos
Strecke: Litzirüti - Davos

Neubau Arosatunnel
Km 0.000 bis 8.880

Vorprojekt

Technischer Bericht

Externes Büro:  AMBERG ENGINEERING Amberg Engineering AG Ringstrasse 18 7007 Chur	Datum		Gezeichnet	Geprüft	Dateiname	20101126_TB.doc
	26. Nov. 2010		P.Juch	P. Wenger	Bezug zu	
	A				Format	A4 / A3
	B				Massstab	
	C				Taks Nr.	
	D				Plan Nr. AE	N083.06
	E				Plan Nr. RhB:	Blatt-Nr.:
Infrastruktur Kunstbauten 7002 Chur	F					

Inhalt	Seite
1. Ausgangslage, Auftrag	4
1.1. Ausgangslage	4
1.2. Auftrag	4
1.3. Grundlagen, Perimeter	4
1.3.1. Normenbezogene Projektgrundlagen	4
1.3.2. Projektspezifische Projektgrundlagen	4
1.3.3. Perimeter	5
1.4. Bestehende Bahnanlage	5
1.5. Betriebskonzept (Zusammenfassung VII)	5
1.6. Sicherheitskonzept	5
1.7. Variantenstudium Linienführung	6
2. Projektbeschrieb	8
2.1. Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie (Auszug aus VI)	8
2.2. Trassierung	9
2.2.1. Horizontale Linienführung	10
2.2.2. Vertikale Linienführung	10
2.3. Tunnelanlage	10
2.3.1. Normalprofile	10
2.3.2. Untertagbau	11
2.3.3. Tagbaustrecken	12
2.3.4. Weitere Bauwerke	12
2.4. Sicherheitsstollen und Querverbindungen	12
2.4.1. Normalprofile	12
2.4.2. Sicherungstypen	13
2.5. Entwässerungskonzept	14
2.6. Brücken / Dämme	14
2.7. Bahntechnik	15
2.8. Betriebs- und Sicherheitsanlagen (BSA)	15
2.8.1. Elektrotechnische Anlagen	15
2.8.2. Sicherheitsanlagen	16
2.9. Schutzeinrichtungen gegen Naturgefahren	17
2.10. Landerwerb	17
2.10.1. Bereich Litzirüti	17
2.10.2. Bereich Frauenkirch	18
3. Realisierung	19
3.1. Bauablauf	19
3.1.1. Linie Arosa-Davos	19
3.1.2. Sicherheitsstollen	19
3.1.3. Arosatunnel	19
3.2. Vortriebskonzept	19
3.2.1. Vortriebsverfahren Sicherheitsstollen	19
3.2.2. Vortriebsverfahren Arosatunnel	20
3.3. Materialbewirtschaftungskonzept	21

3.4.	Termine	22
3.4.1.	Projektierung	22
3.4.2.	Realisierung	22
4.	Umwelt	25
4.1.	Immissionen	25
4.2.	Gewässer	25
4.3.	Naturschutz	25
5.	Kosten	26
6.	Beurteilung	27
6.1.	Chancen und Risiken	27
6.1.1.	Geologie	27
6.1.2.	Karstereignis	27
6.1.3.	Länge Lockergesteinsabschnitte	27
6.1.4.	Querverbindungen	27
6.1.5.	Vortrieb Bahntunnel mit TBM	28

Anhang:

- Anhang 1: Verteilung Sicherungstypen
- Anhang 2: Bauprogramm

1. Ausgangslage, Auftrag

1.1. Ausgangslage

Der vorliegende Bericht behandelt ausschliesslich die im Variantenstudium als Bestvariante ausgeschiedene Variante C1.

Auf das Variantenstudium wird nicht weiter eingegangen, die diesbezüglichen Details sind dem Bericht N083.02 "Zwischenbericht Varianten Linienführung" vom 21.06.2010 der Amberg Engineering AG, zu entnehmen.

1.2. Auftrag

Die Amberg Engineering AG wurde am 06.04.2010 von der Rhätischen Bahn mit der Erarbeitung des Variantenstudiums, des Sicherheitskonzeptes und des Vorprojektes Arosatunnel beauftragt.

Der Detaillierungsgrad und die Bearbeitungstiefe für das Vorprojekt sind auf Grund der Vorgaben des Auftraggebers generell etwas tiefer als üblich angesetzt.

1.3. Grundlagen, Perimeter

1.3.1. Normenbezogene Projektgrundlagen

Grundsätzlich sind die gültigen Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien einzuhalten. Neben den Gesetzen und Verordnungen gelten im Speziellen die:

- Normen und Empfehlungen des Schweizerischen Ingenieur und Architektenvereins (SIA)
 - SIA 260 (2003) Grundlagen der Projektierung von Tragwerken
 - SIA 261 (2003) Einwirkungen auf Tragwerke
 - SIA 261/1 (2003) Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen
 - SIA 262 (2003) Betonbau
 - SIA 262/1 (2003) Betonbau – Ergänzende Festlegungen
 - SIA 267 (2003) Geotechnik
 - SIA 267/1 (2003) Geotechnik – Ergänzende Festlegungen
 - SIA 272 (2009) Abdichtungen und Entwässerungen von Bauten unter Terrain und im Untertagebau
 - SIA 197/1 (2004) Projektierung Tunnel - Bahntunnel
- Die Regelwerke und Richtlinien der Bahnen
 - Regelwerk Technik Eisenbahn R RTE 20012: Lichtraumprofil Normalspur und Meter-spur
 - AB - EBV: Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung

1.3.2. Projektspezifische Projektgrundlagen

- Weisungen für die Projektierung von Kunstbauten der Rhätischen Bahn, (2010) I.
- Nutzungsvereinbarung N083.01 vom 26.11.2010, Amberg Engineering AG II.

- Zwischenbericht N083.02 Variantenstudium Linienführung vom 24. Juni 2010, Amberg Engineering AG III.
- Bericht 5382-2, Vorprojekt Arosatunnel, Geologie, Geotechnik, Hydrologie vom 15. September 2010, Dr. M. Kobel und Partner AG IV.
- Bericht Sicherheitskonzept N083.04 vom 26.11.2010, Amberg Engineering AG V.
- Kostenschätzung N083.07 vom 26.11.2010, Amberg Engineering AG VI.

1.3.3. Perimeter

Das Vorprojekt Arosatunnel behandelt die baulichen und betrieblichen Aspekte der neuen Bahnverbindung ab den Anschüssen an die bestehenden Linien im Schanfigg und im Landwassertal.

Der Projektperimeter für die Bearbeitung durch den Auftragnehmer Amberg Engineering AG kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Erarbeiten Vorprojekt für den Arosatunnel
- Integration der von Dritten bereitgestellten Unterlagen und Angaben ins Vorprojektdossier.
- Von Dritten werden Angaben zu folgenden Aspekten geliefert
 - Betriebskonzept [RhB] VII.
 - Angaben zu den Brückenbauwerken [RhB]
 - Angaben zur den bahntechnischen Einrichtungen [RhB]
 - Angaben zu Geologie und Hydrologie [BTG] IV

1.4. Bestehende Bahnanlage

Der Arosatunnel stellt eine neue Verbindung zwischen den bestehenden Linien Chur – Arosa und Davos – Tiefencastel her. Beide Linien sind als einspurige Schmalspurstrecken ausgelegt. Der Anschluss an die Linie Chur – Arosa erfolgt im Bereich des Bahnhofs Litzirüti auf einem Abschnitt mit nur sehr geringem Längsgefälle. Im Landwassertal ist der Anschluss an die Stammlinie zwischen den Bahnhöfen resp. Haltestellen Frauenkirch und Davos-Platz vorgesehen, ebenfalls auf einem Streckenabschnitt mit sehr geringem Längsgefälle.

1.5. Betriebskonzept (Zusammenfassung VII)

Zwischen Davos-Platz und Arosa wird durch den Arosatunnel ein "Pendelbetrieb" im Halbstundentakt eingeführt. Dazu sind zwei Zugkompositionen erforderlich. Die beiden Kompositionen kreuzen jeweils im Arosatunnel in den dazu vorgesehenen Doppelspur-Abschnitten. Die Fahrzeit beträgt in beide Richtungen ca. 20 Minuten. Die mittlere Fahrgeschwindigkeit beträgt zwischen Arosa und Litzirüti etwa 30 km/h und zwischen Litzirüti und Davos Platz 65 km/h.

Weitere Details können der Dossier-Beilage VII "Betriebskonzept" entnommen werden.

1.6. Sicherheitskonzept

Die Aspekte im Zusammenhang mit der Betriebssicherheit der neuen Bahnverbindung durch den Arosatunnel sind im Sicherheitsbericht abgehandelt. So sind dort in Kapitel 5 "Notwendige Massnahmen" die folgenden Aspekte enthalten:

- 5.1 Bauliche Massnahmen
- 5.2 Betriebs- und Sicherheitsausrüstung

5.3 Rollmaterial

5.4 Betriebliche Massnahmen

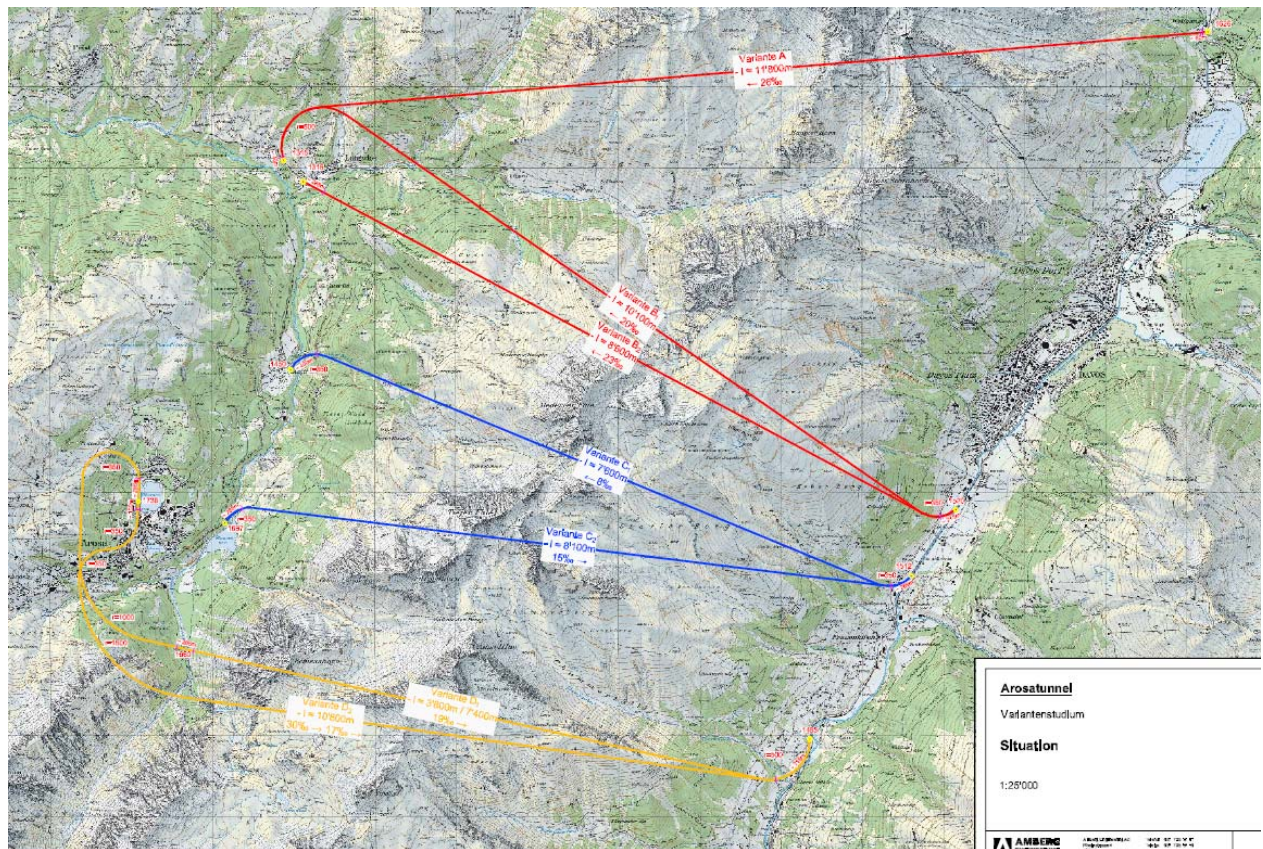
5.5 Organisatorische Massnahmen

An dieser Stelle werden lediglich die wesentlichen Anforderungen mit Auswirkungen auf die baulichen Anlagen gemäss Kapitel 5.1 Bauliche Massnahmen zusammengefasst wiedergegeben.

- **Sicherheitsstollen**
Ein Flucht- und Rettungsstollen ist beim Arosatunnel notwendig.
Der Flucht- und Rettungsstollen ist als geschützter Bereich zu betrachten. Das Eindringen von Brand- und Rauchgasen in den Stollen ist möglichst zu verhindern und zeitlich zu begrenzen.
Der Rettungsstollen muss von aussen zugänglich sein, weshalb bei beiden Portalen vom Tunnel unabhängige Ausgänge ins Freie vorzusehen sind.
- **Notausgänge**
Vom Bahntunnel führen Querschläge im Abstand von maximal 500 m in den SISTO. Diese weisen Minimalabmessungen von 2.00 m Breite x 2.20 m Höhe (Türen mind. 1.00 m x 2.00 m) auf.
- **Fluchtwege**
Als Fluchtweg dient der Randweg. Das Lichtraumprofil des Fluchtwegs soll mindestens 1.00 m breit und 2.20 m hoch und hindernisfrei sein. Eingleisige Tunnel müssen mindestens auf einer Seite einen Fluchtweg aufweisen (möglichst auf Kurvenaussenseite, ohne Seitenwechsel). Im Bereich der Kreuzungsstellen sind Fluchtwege jeweils auf beiden Seiten anzuordnen.
Jeder Fluchtweg ist mit einem Handlauf und einer Notbeleuchtung sowie einer Fluchtwegbeschilderung zu versehen.
Im Bereich der zweigleisigen Kreuzungsstellen (ca. 500 m lang) sind vor den Notausgängen mindestens 5.0 m breite und dazwischen zwei mindestens 3.0 m breite Gleisquerungen des Fluchtweges einzurichten.
- **Schutznischen für das Personal**
Personenschutznischen gemäss AB-EBV sind umzusetzen, da Störungsdienst und Unterhalt nicht ausserhalb der Betriebszeiten erfolgen.
- **Entwässerung**
Zur Minderung von Explosionsrisiken in der Entwässerungsleitung beim Einlaufen von leicht entzündlichen Flüssigkeiten (insbesondere bei einem Gefahrgutunfall) sind siphonierte Einläufe notwendig.
Vor dem Einlauf in den Vorfluter sind ausserhalb des Tunnels ein Ölabscheider und eine geeignete Rückhaltevorrichtung (Stapelbecken) vorzusehen.
- **Zugänge zu den Portalen**
Bei den SISTO-Portalen ist ein Rettungsplatz als Sammelplatz für evakuierte Personen und ein Aufstellungsraum für Rettungskräfte einzurichten.
Schwere Einsatzfahrzeuge müssen zu den Tunnelportalen resp. zu den Gleisen zufahren und wenden können.

1.7. Variantenstudium Linienführung

Im Vorlauf zum Vorprojekt wurde ein Variantenstudium zur Wahl der Linienführung der neuen Bahnverbindung zwischen Arosa und Davos erarbeitet. Dabei wurden die folgenden Linienführungsvarianten untersucht:

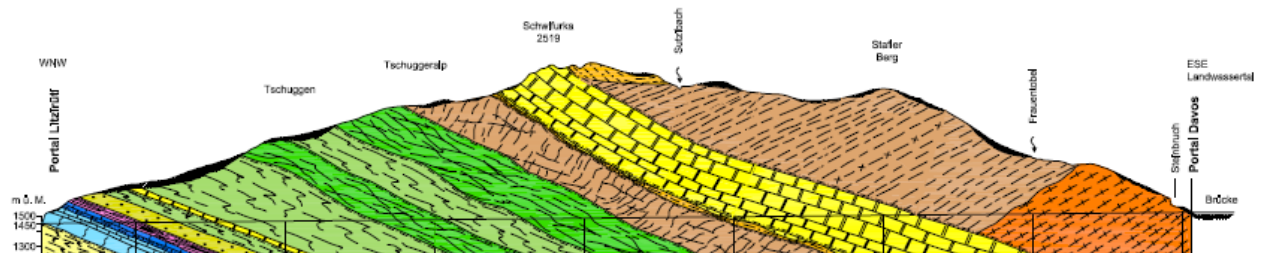


- Variante A zwischen Langwies und Wolfgang
- Varianten B zwischen Langwies und Davos-Brüch mit
 Variante B1: Langwies – Brüch (ohne Richtungswechsel in Langwies)
 Variante B2: Langwies – Brüch (mit Richtungswechsel in Langwies)
- Varianten C zwischen Litzirüti / Arosa und Frauenkirch mit
 Variante C1: Litzirüti – Frauenkirch
 Variante C2: Arosa - Frauenkirch
- Varianten D zwischen Arosa und Glaris mit
 Variante D1: Arosa – Davos-Glaris (2 Tunnel)
 Variante D2: Arosa – Davos-Glaris (1 langer Tunnel)

Die Evaluation der Varianten hat die Variante C1 Litzirüti – Frauenkirch als Bestvariante ergeben. Diese Variante ist Bestandteil des vorliegenden Vorprojektes.

2. Projektbeschreibung

2.1. Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie (Auszug aus IV)



Geologie, Geotechnik, Hydrologie sind im Bericht Nr. 5382-2 vom 15. September 2010 des Büros Dr. M. Kobel + Partner beschrieben. An dieser Stelle wird das Kapitel 7 "Zusammenfassung" wiedergegeben.

Der Arosatunnel führt vorwiegend durch Sedimente und serpentinisierte Peridotite, in geringerem Ausmass durch Kristallin. Für die einzelnen Gesteinstypen werden die folgenden mutmasslichen Streckenlängen prognostiziert:

530 m	Kalke (Sulzfluhkalk, Aptychenkalk)
1860 m	Schiefer, d.h. Flyschschiefer der Aroser Schuppenzone (Schiefer und Kalke, z.T. Mélange) und schiefriger Radiolarit
240 m	Spilit
1120 m	Serpentinit
50 m	Gips/Anhydrit, Dolomit/Gips Gemenge (Rauhwacke) Raibler Schichten
1370 m	Dolomit
1270 m	Kristallin vorwiegend Paragneise
1220 m	Kristallin, Muskovit-Granitgneis
20 m	Lockergestein

Rund 30% des Vortriebes wird in schieferigen bis plattigen Sedimenten, 15% in zersicherten Serpentinitten, 20% in grob gebankten bis ungebankten der Rest in plattigen bis gebankten Gesteinen erfolgen. Die Schichtflächen der Sedimente streichen vorwiegend stumpfwinklig bis quer zum Tunnel und fallen mit 20 – 40° flach gegen Südosten, d.h. Richtung Portal Davos ein. Im Kristallin streut die Lage der Schieferungsflächen stark, wobei ein Einfallen Richtung Arosa vorherrscht. Es werden mindestens 8 relevante Störungen erwartet.

Geotechnisch schwierige Strecken (Serpentinit, Raibler Schichten, tektonisierte Gneise der Silvretta-Basis) werden rund 20% der Tunnellänge ausmachen. Ein standfestes Verhalten ist im Sulzfluhkalk und im Hauptdolomit, d.h. auf nicht ganz 25% der Tunnellänge zu erwarten. Auf der restlichen Strecke ist mit nachbrüchigem bis gebrächem, örtlich auch druckhaftem Gebirge zu rechnen. Etwas günstiger verhält sich der Muskovit-Granitgneis im Silvretta-Kristallin mit seinem Anteil an der Tunnellänge von rund 15%.

Voraussichtlich wird sich etwa die Hälfte des Ausbruchsmaterials für eine Aufbereitung zu Betonzuschlagstoffen eignen.

Im Serpentinit erfordert das Gefährdungsbild Asbest eine Überwachung der Konzentration an lungengängigen Fasern in der Tunnelluft und einen Massnahmenplan.

Das Tunnelportal auf Arosa Seite setzt direkt im standfesten Sulzfluhkalk an. Der Sicherheitsstollen hat ca. 40 – 75 m Lockergestein zu durchhörtern. Beim Portal auf der Landwasserseite sind mit dem Tunnel und dem Sicherheitsstollen rund 20 – 30 m Lockergestein zu bewältigen.

Die mutmassliche Bergwassermenge wird auf 20 – 70 l/s geschätzt, wobei die Ableitung vorsichtigerweise auf 150 l/s dimensioniert werden sollte. Falls wider Erwarten im Sulzfluhkalk oder in den Raibler Schichten ein Karstsystem angefahren würde, könnten aus diesem auch mehrere 100 l/s ausfliessen. Die Eintretenswahrscheinlichkeit eines solchen Ereignisses ist aber sehr klein. Im Allgemeinen ist das Wasser in den Sedimenten mittelhart bis hart, im Kristallin sowie in den Ophioliten leicht alkalisch und weich bis sehr weich. Örtlich wird der Sulfatgehalt im Bereich von Gipsvorkommen hoch und damit betonaggressiv sein.

Die Fels- und Bergwassertemperaturen werden voraussichtlich 20 – 30°C nicht überschreiten.

Bezüglich der prognostizierten Gesteine und ihrer Ausbildung sind kaum Überraschungen zu erwarten, Mit einer grösseren Unsicherheit und einer entsprechenden Streubreite ist die Lage der Gesteinsgrenzen behaftet, einerseits wegen des spitzen Schnittwinkels, andererseits wegen dem linsenartigen Vorkommen des Serpentinits. Daraus ergibt sich eine gewisse Unsicherheit bezüglich der Ausdehnung der geotechnisch schwierigen Zonen. Aus diesem Grunde wäre es wünschenswert, wenn der Ausbruch des vorgesehenen Sicherheitsstollens dem Tunnelvortrieb genügend weit vorausseilen würde.

Im Rahmen eines Bauprojektes sind zudem die Verbreitung (Kartierung) und die Petrographie der im Tunnelbereich zu erwartenden Gesteine und das Gesteinsgefüge systematisch zu erfassen, ein Quellenkataster zu erheben, evtl. Felskennwerte zu bestimmen und Detailabklärungen im Bereich der beiden Tunnelportale durchzuführen.

2.2. Trassierung



2.2.1. Horizontale Linienführung

Die insgesamt 8.9 km lange neue Bahnstrecke verläuft weitgehend gerade. Einzig bei den Portalen wird für den Anschluss an die bestehenden Trassen ein gekrümmter Verlauf erforderlich. Auf Seite Litzirüti ist ein Radius von 400 m vorgesehen und auf Seite Frauenkirch ein solcher mit 500 m. Der eigentliche Anschluss an die bestehenden Linien erfolgt mit 70 resp. 350 m Radien.

Der Sicherheitsstollen verläuft in einem Achsabstand von 30 m weitgehend parallel zum Tunnel. Einzig auf der Seite Litzirüti wird eine separate Trasse gesucht, welche ein Minimalradius von 300 m aufweist.

2.2.2. Vertikale Linienführung

Die vertikale Linienführung des Arosatunnels weist 3 Wechsel des Längengefälles auf. Nach dem Bahnhof Litzirüti (1'451.6 m ü.M.) ist auf der offenen Strecke ein geringes Gefälle von 3 Promille bis zum Tunnelportal (1'450.0 m ü.M.) vorhanden. Nach dem Portal steigt das Trasse auf der gesamten Tunnellänge bis nach zum Portal Frauenkirch mit 10 Promille an. Ab dem höchsten Punkt der Trasse von 1'525.0 m ü.M. fällt das Gleis zuerst mit 10 Promille (im Bereich der Brücke) und dann mit 13 Promillen gegen den Anschluss ans bestehende Gleis (1'515.0 m ü.M.) hin ab.

Die topografischen Verhältnisse sind auf Seite Schanfigg derart, dass das Tal zwischen Tunnelportal und Bahnhof Litzirüti mit einem etwa 375 m langen und bis zu 49 m hohen Viadukt überquert werden muss.

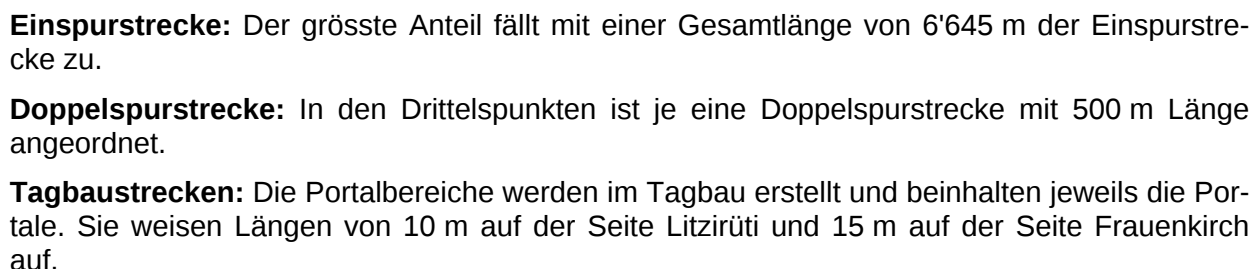
Auf der Landwasserseite werden die Kantonsstrasse, das Landwasser und die bestehende RhB-Linie mit einer etwa 305 m langen Brücke überquert. Der folgende offene Streckenabschnitt liegt auf einem neu zu schüttenden Damm.

Der Sicherheitsstollen folgt auch im Längenprofil generell dem Arosatunnel. Dabei liegt er aus Gründen der Entwässerung etwas tiefer als der Tunnel. Im Bereich Litzirüti weist der SISTO eine Steigung von 25 Promille auf. Ausgehend vom Portal des SISTO, welches mit einer Höhe von 1'415.0 m ü.M. wenig über dem Talboden liegt, steigt der SISTO konstant an, bis er etwa bei Km 2.3 die normale Höhenlage gegenüber dem Arosatunnel erreicht. Im Bereich dieser Steigung ist der Abstand zwischen SISTO und Tunnel vergrössert, damit der vorhandene Höhenunterschied mittels Treppen überwunden werden kann.

2.3. Tunnelanlage

2.3.1. Normalprofile

Die Tunnelanlage weist drei Normalprofile auf. Bei der Entwicklung der Normalprofile wurden die Rahmenbedingungen Lichtraumprofil, Entwässerung, Ausbruchquerschnitt, Tragwirkung und Bauausführung berücksichtigt.



Das Tunnelbauwerk wirkt als Gewölbetragswerk. Die bei der Erstellung des Hohlraumes auftretenden Kräfte werden primär durch Spannungsumlagerungen im Gebirge abgetragen. Die verbleibenden, auf die Tunnelschale einwirkenden Kräfte werden im gewölbten Tragwerk aufgenommen und über die Bettung in den Baugrund abgegeben. Das Gewölbe wird in einschaliger Spritzbetonbauweise ausgeführt (Ausbruchsicherung und Verkleidung). Dabei werden Spritzbeton, GFK-Anker, Bewehrungsnetze, Einbaustahl in Form von Gitterträgern und Walzprofilen eingesetzt.

Die Ausbruchsicherung ist auf Grund der prognostizierten geologischen und hydrologischen Verhältnisse ausgeführt. Dazu wurden Sicherungsklassen festgelegt, welche auf der Grundlage von SIA 118/198 basieren. Für jeden geotechnischen Abschnitt der Untertagbaustrecke (vgl. IV) wurde die Verteilung der Sicherungsklassen in Absprache mit dem Geologen ermittelt.

A pie chart illustrating the distribution of SK categories. The chart is divided into four segments: a large pink segment for SK3 (54%), a blue segment for SK4 (17%), a yellow segment for SK2 (17%), and a light blue segment for SK5 (12%).

SK Category	Percentage
SK3	54%
SK4	17%
SK2	17%
SK5	12%

Die Verkleidung wird ebenfalls in Spritzbetonbauweise ausgeführt. Hier gelangen systematisch mindestens 15 cm Spritzbeton und 1 Lage Bewehrungsnetz sowie GFK-Anker zum Einsatz. Diese Massnahmen können abschnittsweise je nach geotechnischen Bedürfnissen durch zusätzlichen Spritzbeton, GFK-Anker oder eine 2. Bewehrungslage verstärkt werden.

Das anfallende Bergwasser wird mittels Halbschalen und dichtendem Spritzmörtel vom Hohlraum fern gehalten. Auf eine druckhaltende Abdichtung muss auf Grund der hohen Wasserdrücke verzichtet werden, da diese technisch nicht beherrschbar sind. Die Abdichtungsmassnahmen werden bei Bedarf im Vortrieb, systematisch aber vor der Verkleidung auf die Sicherung aufgebracht. Das in den Halbschalen gesammelte Wasser wird über Leitungen auf dem Solenbeton den beiden Entwässerungskanälen zugeführt.

Für den Lockergesteinsvortrieb ist der Einbau eines Rohrschirms vorgesehen. Der Lockergesteinsvortrieb erfolgt im Kalotten-Strossenvortrieb (Ausbruchart B) und es ist der Einbau von Stahlprofilen mit dazwischenliegenden Schalungsgittern projektiert. Ein Lockergesteinsvortrieb ist nur auf der Seite Frauenkirch nötig. Er beschränkt sich voraussichtlich auf eine Länge von 10 m, weshalb hier maximal 2 Rohrschirmetappen erforderlich sein werden.

2.3.3. Tagbaustrecken

Die Tagbaustrecken werden in den Portalbereichen erstellt, wo die Überdeckung für den bergmännischen Vortrieb zu klein ist.

Auf der Seite Litzirüti, wo die Felsoberfläche steil ansteht, wird nur ein kleiner Voreinschnitt nötig. Der Tagbau beschränkt sich hier auf das Portalbauwerk, wobei dieses als Steinschlag-schutzmassnahme um ca. 10 m vorgezogen wird. Die Ortbetonkonstruktion ist flächig auf Fels gelagert und schliesst stirnseitig senkrecht an die bearbeitete Felsoberfläche an.

Auf der Seite Frauenkirch wird der Voreinschnitt ca. 15 m lang. Die Böschungen müssen mittels Bodenvernagelung gesichert werden. Die Ortbetonkonstruktion, ebenfalls 15 m lang, ist hier auf Lockermaterial gelagert. Die Überdeckung beim Übergang zum bergmännischen Tunnel beträgt ca. 6 m.

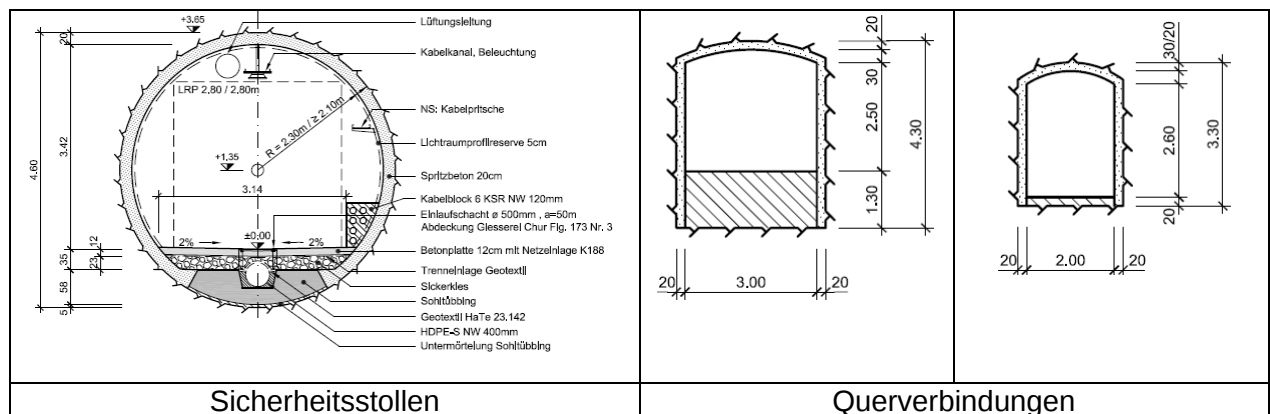
2.3.4. Weitere Bauwerke

Für den Bahntunnel sind bei beiden Portalen je ein Dienstgebäude eingerechnet. In den Dienstgebäuden werden die nötigen Betriebs- und Sicherheitsanlagen untergebracht, welche nicht im Tunnel platziert werden. Die beiden Bauwerke sind in den kommenden Projektphasen zu projektieren und dabei ist dann auch deren Standort festzulegen.

2.4. Sicherheitsstollen und Querverbindungen

2.4.1. Normalprofile

Bei der Entwicklung der Normalprofile wurden die Rahmenbedingungen Lichtraumprofil, Entwässerung, Ausbruchquerschnitt, Tragwirkung und Bauausführung berücksichtigt.



Sicherheitsstollen: Der bergmännisch vorgetriebene Stollen hat eine Gesamtlänge von 7'752 m. In den Portalzonen wird analog zum Bahntunnel je eine Tagbaute von 15.0 m Länge erstellt. Diese Ort betonkonstruktion umschliesst das Lichtraumprofil sowie den Kabelblock und die Kabelpritsche.

Querverbindungen: Alle Querverbindungen weisen zwei Normalprofile auf. Das minimale Normalprofil misst $b \times h = 2.0 \times 2.5$ m. Unmittelbar an den Bahntunnel anschliessend wird die Breite auf 3.0 m vergrössert, damit ein "Stauration" entsteht, welcher im Ereignisfall von älteren oder körperlich behinderten Personen genutzt werden kann.

2.4.2. Sicherungstypen

Der Sicherheitsstollen und die Querverbindungen sind in einschaliger Spritzbetonweise projektiert. Als Ausbruchsicherung sind der Geologie angepasste Sicherungsmittel eingerechnet.

Das untertägige Stollenbauwerk wirkt als Gewölbetragswerk. Das Gewölbe ist einschalig ausgebildet (Ausbruchsicherung und Verkleidung). Neben dem Spritzbeton werden GFK-Anker und Bewehrungsnetze eingesetzt. In speziell ungünstigen Gebirgsverhältnissen gelangt Einbaustahl in Form von Linarplates zu Einsatz.

Die Ausführungen zu den Sicherungstypen und Sicherungsklassen in Kapitel 2.3.2 gelten auch für den Sicherheitsstollen. Die Sicherungstypen für den Sicherheitsstollen sind auf Plan N083.023 ersichtlich. Sie berücksichtigen den TBM-Vortrieb und die zu erwartenden geologischen Umstände.

Die Verkleidung wird ebenfalls in Spritzbetonbauweise ausgeführt. Hier gelangen systematisch mindestens 10 cm Spritzbeton und 1 Lage Bewehrungsnetz zum Einsatz. Diese Massnahmen können abschnittsweise je nach geotechnischen Bedürfnissen durch zusätzlichen Spritzbeton, GFK-Anker oder eine 2. Bewehrungslage verstärkt werden.

Das anfallende Bergwasser wird mittels Halbschalen und dichtendem Spritzmörtel vom Hohlraum fern gehalten. Die Abdichtungsmassnahmen werden bei Bedarf im Vortrieb, systematisch aber vor der Verkleidung auf die Sicherung aufgebracht. Das in den Halbschalen gesammelte Wasser wird in der Regel die Sickerschicht der Sohle oder bei grösserem Wasseranfall direkt in die Entwässerungsleitung eingeleitet.

Sowohl auf Seite Litzirüti (Länge 50 m) wie Frauenkirch (Länge 10 m) sind Vortriebe im Lockergestein erforderlich. Diese werden konventionell im Schutze von Rohrschirmen ausgeführt. Der Lockergesteinsvortrieb erfolgt im Vollausschub (Ausbruchart A) und es ist der Einbau von

Stahlprofilen mit dazwischen liegenden Schalungsgittern projektiert. Das Profil ist auf der Seite Litzirüti vergrössert, damit die TBM durch die Lockergesteinsstrecke zur Startröhre am Beginn der Felsstrecke vorgeschoben werden kann.

2.5. Entwässerungskonzept

In Tunnel und Stollen ist ein Mischwassersystem geplant. Dieses Mischwasser wird primär durch den SISTO abgeleitet. Das Wasser aus dem Tunnel wird jeweils bei den Querverbindungen siphoniert in den SISTO übergeleitet.

Das Wasser fliesst entsprechend dem Längsgefälle zum SISTO-Portal Litzirüti.

Der Tunnel weist beidseitig Einlaufrinnen mit Abdeckung auf. Kontrollschächte sind alle 50 m angeordnet, wobei jeder 2. Schacht als Spülschacht mit Schlammsack (alle 100 m) ausgerüstet ist. Die Rinnen und Schächte sind in vorfabriziertem, bewehrtem Beton oder bei Vorhandensein von aggressivem Bergwasser in Polymerbeton ausgebildet.

Der SISTO wird im Bauzustand mittels Rinne im Sohlübbing entwässert. Im Betriebszustand leitet eine Kunststoff-Sickerleitung das Mischwasser zum Portal Litzirüti. Auf Grund des prognostizierten Bergwasseranfalls von 150 l/s ist eine Leitung mit Nennweite 400 mm erforderlich (Kapazität 190 l/s bei $J_s = 10\%$). Der definitive Durchmesser wird auf Grund der effektiv vorhandenen Wassermenge festgelegt. Kontroll- und Spülschächte sind alle 50 m angeordnet. Gemäss hydrologischer Prognose ist vor allem auf den ersten 400 Metern im Arosatunnel ab Portal Litzirüti mit Karstwasserzutritten zu rechnen. Dieser Abschnitt des Tunnels wird nicht durch den SISTO entwässert und das anfallende Wasser muss hier über die beiden Entwässerungsrinnen zum Portal abgeleitet werden.

Vor der Einleitung in die Plessur sind eine Abwasserbehandlung und ein Retentionsvolumen vorzusehen. Die Anlagen sind im Bereich des geplanten Sammelplatzes unterhalb des SISTO-Portals vorzusehen. Zum heutigen Zeitpunkt gehen wir davon aus, dass eine anschliessende Einleitung in die Plessur möglich ist. Die Anlagen sind in einer nächsten Projektphase zu planen und es ist dabei abzuklären, mit welchen Mischverhältnissen (Mengen, Temperatur, Chemismus) zu rechnen ist und ob eine Versickerung ins Auge gefasst werden muss.

2.6. Brücken / Dämme

Das Projekt sieht beidseitig vor den Tunnelportalen eine Brücke vor. Da diese Brücken als Baustellenerschliessung gebraucht werden weisen sie eine Breite von je 6.5 m auf.

Auf der Seite Litzirüti wird der Viadukt rund 375 m lang und bis 50 m hoch. Er verbindet das Portal mit dem Anschluss an den Bahnhof Litzirüti und überquert dabei die Plessur und die Zufahrt zum SISTO-Portal.

Auf der Seite Frauenkirch ist die Brücke ca. 305 m lang und bis 12 m hoch. Sie schliesst direkt am Portal an, überquert die Kantonsstrasse, das Landwasser und die bestehende RhB Trasse und geht schliesslich in die bestehende Böschung nördlich der OBT Oberrrauch AG über.

Die verbleibende Höhendifferenz zum Anschluss an die bestehende RhB Trasse wird mit einem neu geschütteten Damm überwunden. Dieser weist eine maximale Schütthöhe von 8 m auf und gleicht sich dann mittels 13% Gefälle dem Anschlusspunkt an. Das Schüttvolumen des Damms beträgt ca. 30'000 m³.

2.7. Bahntechnik

Die neue Bahnverbindung wird auf der gesamten Länge mit Schotteroberbau versehen. Dabei werden im Hinblick auf eine maschinelle Reinigung die entsprechenden Minimalabmessungen des Schotteroberbaus berücksichtigt. Für die Gleisanlage sind die normalen Schwellen und Schienen vorgesehen. Bei den Anschlüssen an die bestehenden Linien und beidseitig der beiden Kreuzungsstationen sind Weichen erforderlich. Die Typen sind in der nächsten Projektphase festzulegen. Dasselbe gilt für die Gleisanlage im Bereich des Bahnhofs Litzirüti.

Die Bahnverbindung wird elektrifiziert ausgeführt. Auf der offenen Strecke sind die normalen Fahrleitungen und Masten eingerechnet. Im Tunnel werden die Ausleger wie im Vereinatunnel im Gewölbe verankert.

Für die bahntechnischen Einrichtungen (Signale, Weichen, etc.) benötigten Kabel stehen die beidseitig der Trasse vorhandenen Kabelrohranlagen und der Oberflächenkabelkanal zur Verfügung. Die Verbindungen ins Gewölbe erfolgen über Kabelschächte im Bankett und anschliessenden Aufputz-Rohrverbindungen.

Die nötigen Schaltschränke für die Bahntechnik sind in den Querverbindungen zum SISTO platziert. Der Platzbedarf ist in der nächsten Projektphase definitiv festzulegen.

2.8. Betriebs- und Sicherheitsanlagen (BSA)

2.8.1. Elektrotechnische Anlagen

Als Elektrotechnische Anlagen gelten Energieversorgung, Beleuchtung, Überwachungsanlagen, Kommunikations- und Leittechnik, sowie Kabelanlagen. Die Anlagen sind im Rahmen des Vorprojektes nicht detailliert geplant. Es sind die nötigen Anlagen und Einrichtungen gemäss dem aktuellen Stand der Technik bei der RhB vorgesehen und kostenmässig eingerechnet.

Energieversorgung

Hier ist der externe Anschluss der Energieversorgung für den Betrieb der neuen Bahnanlage bei beiden Portalen sicherzustellen. Die dazu nötigen Anlagen sind in den neuen Dienstgebäuden untergebracht. Ab diesen Anlagen wird dann die Versorgung der Anlagen im Tunnel und im SISTO über die neuen Kabelrohranlagen ausgeführt.

Beleuchtung

Im Tunnel werden für den Betrieb nur die Weichenbereiche beleuchtet. Diese werden bei Bedarf (Unterhalt) eingeschaltet. Im SISTO ist eine minimale, durchgehende Beleuchtung geplant, welche bei Betreten (Unterhalt oder Ereignisfall) des Stollens eingeschaltet wird. Die offenen Strecken sind nicht beleuchtet.

Überwachungsanlagen

Bei den Überwachungsanlagen sind die Weichen beim Anschluss an die Stammlinien und in den Kreuzungsstationen enthalten. Dazu gehört auch die nötige Anpassung in den bestehenden Stellwerken. Im Fluchtstollen werden die Fluchttüren beim Ausgang vom Tunnel in die Querverbindungen sowie die Schleusen bei beiden SISTO-Portalen überwacht.

2.8.2. Sicherheitsanlagen

Die Sicherheitsplanung ist detailliert im Sicherheitsbericht V behandelt. Nachfolgend wird lediglich eine Zusammenfassung der wichtigsten Sicherheitsaspekte und der zugehörigen Sicherheitsanlagen wieder gegeben.

Sicherheitskonzept

Das Sicherheitskonzept basiert auf der Selbstrettung der Tunnelbenutzer. Zudem soll der effiziente Einsatz der Ereignisdienste ermöglicht werden und das Risiko einer Umweltschädigung durch ein Ereignis im Arosatunnel möglichst minimiert werden.

Bauliche Massnahmen für die Sicherheit

- Sicherheitsstollen: Paralleler SISTO als Flucht- und Rettungsstollen im Regelabstand zum Tunnel von 30 m. in den Portalbereichen Litzirüti und Frauenkirch sind vom Tunnel getrennte Ausgänge an die Oberfläche vorhanden.
- Notausgänge: Vom Bahntunnel führen Querschläge im Abstand von maximal 500 m in den gesicherten Bereich Querverbindung / SISTO.
- Fluchtwege im Einspurtunnel: Als Fluchtweg dient der Randweg mit einer Breite von 1.20 m. Auf der gegenüberliegenden Seite ist ein Fluchtweg mit 1.00 m Breite vorhanden
- Fluchtwege im Doppelspurtunnel: In den Kreuzungsstellen mit 2 Gleisen sind beidseits Randwege mit 1.20 m Breite als Fluchtwege angeordnet. Zudem sind vor den Notausgängen 5.0 m breite und dazwischen 2 weitere, 3.0 m breite Gleisquerungen des Fluchtweges über beide Gleise eingerichtet.
- Schutznischen: Im Abstand von 50 m werden Personenschutznischen zum Schutz des Unterhaltspersonals bzw. des Störungsdienstes platziert (erste Nische höchstens 25 m ab Portal). Im Einspurtunnel werden die Nischen auf Seite Randweg und im Doppelspurtunnel beidseitig angeordnet. Die Personenschutznischen sind in Planbeilage N083.020 dargestellt.
- Zugänge zu den Portalen: Bei den Portalen ist ein Rettungsplatz als Sammelplatz für evakuierte Personen und ein Aufstellungsraum für Rettungskräfte einzurichten.

Sicherheitsausrüstung

Zur Gewährleistung der Sicherheit der neuen Tunnelanlage sind verschiedene Ausrüstungen erforderlich. Die wichtigsten Komponenten sind

- Überdrucklüftung im SISTO damit keine Rauchgase in den geschützten Bereich eindringen können. Der Überdruck wird an den Portalen mittels Ventilatoren erzeugt und durch Schleusen an den Eingängen gewährleistet.
- Notausgänge: Die Querverbindungen in den SISTO sind bei den Notausgängen aus dem Tunnel mittels Türen dicht abgeschlossen. Die Notausgänge sind mit einem grünen Anstrich, einer permanenten Ausleuchtung sowie mit Hinweisleuchten und Fluchtwegschildern versehen.
- Handlauf: Der Fluchtweg ist mit einem Handlauf ausgerüstet.
- Notbeleuchtung: Auf Seite Handlauf wird der Fluchtweg mit einer Notbeleuchtung sowie einer Fluchwegbeschilderung ausgerüstet. Alle 50 m ist eine Einschaltmöglichkeit vorhanden.
- Kommunikationseinrichtung: Im SISTO sind Funk- oder Telefonverbindungen einzurichten, welche den Kontakt zur Aussenstelle sichern.
- Löschwasserbezug: An beiden Portalen sind Löschwasserbezugsorte und Löscheinrichtungen (Hydranten) einzurichten.

- **Lösch- und Rettungszug:**
Für die Intervention im Tunnel ist der Einsatz eines Lösch- und Rettungszuges sowie schienengängige Feuerwehreinsatzfahrzeuge vorgesehen, wie sie bereits im Vereinatunnel im Einsatz ist.
- **Brandmelde- und Löscheinrichtungen:** Es ist vorgeschlagen, dass in Reisezügen sowie in Triebfahrzeugen und Lokomotiven moderne Brandmeldeeinrichtungen und Löscheinrichtungen (im Passagierbereich Wassernebelsprühanlagen) installiert werden. Diese Komponenten stellen eine rasche Branderkennung und Brandbekämpfung sicher. Auf Löschwasser-einrichtungen im Tunnel selbst kann damit verzichtet werden.

2.9. Schutzeinrichtungen gegen Naturgefahren

Die Portale und die offenen Strecken auf Seite Frauenkirch liegen nicht in Zonen wo Naturgefahren ausgeschieden sind.

Auf der Seite Litzirüti ist das Portal des Arosatunnels aber gemäss geologischem Bericht durch Stein- und Blockschlag als seltenes Ereignis gefährdet. Unterhalb des künftigen Tunnelportals ist bereits die Kantonsstrasse durch Steinschlagnetze geschützt. Das neue Tunnelportal liegt unmittelbar unterhalb eines Felsbandes, aus welchem sich Steine und Blöcke lösen können. Zurzeit geht man davon aus, dass das Portalbauwerk etwa 15 m aus dem Gelände vorgezogen wird und über dem Portal Steinschlag-Schutzmassnahmen (zum Schutz des Portals und der anschliessenden Viaduktes) getroffen werden müssen. Die Länge des Portalbauwerkes und die Platzierung von Netzen und anderen Sicherungsmitteln sind in einer nächsten Projektphase durch eine spezielle Studie zu ermitteln.

Das SISTO-Portal ist ebenfalls mittels Steinschlagschutznetzen zu sichern.

2.10. Landerwerb

2.10.1. Bereich Litzirüti

Definitiver Landerwerb

Im Bereich Litzirüti muss für die Portale und die offenen Strecken des Bahntrasses und des Sicherheitsstollens Land erworben werden.

Für den Tunnel wird dazu ein Bereich von 10 m um das Portal und die Widerlager und Stützen des Viadukts angenommen. Im Bahnhofsbereich wird eine zusätzliche Fläche von etwa 500 m² benötigt. Insgesamt wird eine Fläche von 1'000 m² angenommen.

Beim Sicherheitsstollen wird 10 m rund um das Portalbauwerk und für die Zufahrt eine zu erwerbende Fläche erhoben. Zudem wird der Bereich für den Sammelplatz und die Wasserbehandlungs- und Rückhalteanlagen eine Fläche von 1'000 m² angenommen. Die Erschliessungsstrasse ab der Kantonsstrasse bis zum Sammelplatz wird nicht in die zu erwerbende Fläche eingerechnet. Insgesamt sind damit etwa 2'500 m² zu erwerben.

Temporäre Beanspruchung

Für den Bau des Tunnels und des SISTO sind zusätzliche Flächen zur temporären Benützung während dem Bau erforderlich. Für den Materialumschlag während dem Tunnelvortrieb sind im Bereich südlich des Bahnhofs Litzirüti etwa 2'000 m² für Baugleis, Zwischendeponie des Ausbruchmaterials, Werkstatt und Betonanlage, Materiallager sowie Flächen für den Umlad von der Baubahn auf die RhB oder die Strasse erforderlich. Zusätzlich sind etwa 500 m² für Büros, Kantine und Schlafbaracken vorzusehen. Diese können beim Bahnhof oder im Bereich des

SISTO-Portals angeordnet werden. Die Abwasserbehandlungsanlagen für das Bauabwasser werden auf den Talboden im Bereich des späteren Sammelplatzes platziert.

Während dem Vortrieb und Ausbau des SISTO wird im Bereich des künftigen Sammelplatzes eine Fläche von etwa 2'500 m² benötigt. Hier sind sämtliche Baustelleneinrichtungen, das Zwischenlager für den Ausbruch, die Materiallager, etc. vorgesehen.

Für den Bau des Viaduktes wird durchgehend ein Streifen von etwa 30 m Breite als temporär zu beanspruchende Fläche veranschlagt. Weitere Flächen sind im Bereich der beiden Portale eingerechnet.

Im Weiteren werden Flächen für das Zwischenlagern von Ober- und Unterboden benötigt.

Insgesamt werden Flächen im Umfang von ca. 25'000 m² temporär beansprucht.

2.10.2. Bereich Frauenkirch

Definitiver Landerwerb

Für die offene Strecke der neuen Bahnlinie und die beiden Portale inkl. deren Erschliessung muss definitiv Land erworben werden. Für die neue Bahntrasse werden dabei der gesamte Damm und 10 m rund um das Portal und die Widerlager und Pfeiler der Brücke eingerechnet. Beim SISTO-Portal wird ebenfalls ein Bereich von 10 m rund um die Portalstation erhoben. Zudem werden die beiden Erschliessungsstrassen sowie 300 m² für einen Sammelplatz eingerechnet. Es ergibt sich eine gesamte Fläche von etwa 14'000 m².

Temporäre Beanspruchung

Für den Bau des Tunnels und des SISTO sind zusätzliche Flächen zur temporären Benützung während dem Bau erforderlich. Dazu wird auf der Ostseite des Landwassers eine Fläche von 5'000 m² benötigt. Auf dieser Fläche werden der Materialumschlag für den Tunnelvortrieb zwischen Baubahn und RhB und/oder der Strasse bewerkstelligt, das Ausbruchmaterial zwischengelagert sowie sämtliche Baustelleneinrichtungen wie Werkstatt, Betonanlage, Baracken, Materiallager oder Bauwasserbehandlung platziert.

Für den Bau des Voreinschnittes und den Vortrieb der Lockergesteinsstrecke SISTO wird eine zusätzliche Fläche von etwa 500 m² benötigt. Hier sind nur die Zwischenlager- und Abstellflächen, die Vortriebs- und Sicherungsgeräte sowie einfache Unterkunfts-Werkstattwagen zu installieren.

Im Weiteren werden Flächen für die Zwischenlagerung von Ober- und Unterboden benötigt.

Insgesamt werden damit Flächen von ca. 15'000 m² temporär beansprucht.

3. Realisierung

3.1. Bauablauf

3.1.1. Linie Arosa-Davos

Der Bau der Linie Arosa-Davos ist in 5 Hauptphasen vorgesehen.

Phase 1: Vortrieb SISTO

Phase 2: Bau Viadukt Litzirüti und Brücke Frauenkirch

Phase 3: Vortrieb Arosatunnel

Phase 4: Ausbau Arosatunnel und SISTO

Phase 5: Bahntechnische Ausrüstungen und BSA Einrichtungen Tunnel und Stollen

3.1.2. Sicherheitsstollen

Die geologische, geotechnische und hydrologische Prognose basiert auf geologischen Karten, Aufnahmen vor Ort und Erfahrungen aus der weiteren Umgebung in gleichen Formationen. Erfahrungen aus der näheren Umgebung liegen nicht vor. Insgesamt bestehen damit doch nicht unerhebliche Risiken in Bezug auf die tatsächlich anzutreffenden Verhältnisse. Auf Grund dieses Umstandes soll der Sicherheitsstollen zur Vorauserkundung genutzt werden.

3.1.3. Arosatunnel

Sobald der SISTO vorgetrieben ist, sind die geologischen Risiken weitgehend eliminiert. Um die Erkenntnisse auch in der Realisierung des Bahntunnels einfließen zu lassen, kann der Bahntunnel erst etwas zeitlich versetzt ausgeschrieben und gebaut werden. Diese Zeit kann genutzt werden, um die Angriffstellen der Tunnelvortriebe zu erschliessen. Dazu sind der Viadukt auf Seite Litzirüti und die Brücke Frauenkirch zu erstellen. Für den Vortrieb des Arosatunnels kann der SISTO als Entwässerungsstollen und allenfalls für vorauseilende Bauhilfsmassnahmen genutzt werden.

3.2. Vortriebskonzept

3.2.1. Vortriebsverfahren Sicherheitsstollen

Der Sicherheitsstollen weist mit einem Ausbruchdurchmesser von etwa 4.6 m eine günstige Grösse für einen TBM-Vortrieb auf. Zum einen ist der Durchmesser gering und damit auch in ungünstigen Felsverhältnissen überschaubar und zum anderen ist der Durchmesser gross genug, um mit vernünftigem Aufwand Sicherungsmittel auch direkt hinter dem Schneidrad einzubauen. Auf Grund der geologischen Prognose gehen wir davon aus, dass ein namhafter Teil der gesamten Tunnelstrecke mit moderaten Sicherungsmitteln im Vortriebsbereich L1 aufgeföhren werden kann (vgl. Kapitel 2.4.2). Damit drängt sich eine offene Grippermaschine auf, welche allerdings hinsichtlich des Einbaus der Sicherung auf die geologischen Verhältnisse angepasst werden muss. So ist aus aktueller Beurteilung des Gebirgsverhaltens darauf zu ach-

ten, dass ein leistungsfähiger Erektor/Einbauhilfe für Stahleinbau und Anker unmittelbar hinter dem Bohrkopf zwingend vorhanden ist.

Das anfallende Ausbruchmaterial wird vollständig in Litzirüti auf die Bahn verladen, nach Untervaz transportiert und dort abgelagert.

Um die Vortriebszeit möglichst kurz zu halten, weist ein TBM-Vortrieb gegenüber einem konventionellen Vortrieb Vorteile auf. Damit ein maschineller Vortrieb auch als Leistungsvortrieb betrieben werden kann, muss die Ver- und Entsorgung reibungslos funktionieren. Dies ist bei den vorhandenen Gefällsverhältnissen gewährleistet, da mit dem Maximalgefälle von 25% ein Gleisbetrieb möglich ist.

Um die Risiken im Zusammenhang mit dem Wasseranfall möglichst zu eliminieren resp. zu minimieren ist ein steigender Vortrieb von Litzirüti nach Frauenkirch auf der gesamten Länge vorgesehen.

Beim Portal SISTO Litzirüti ist der Fels mit Lockermaterial in Form von Gehängeschutt (mit Steinen und Blöcken durchsetzt) überdeckt. Die Prognose lautet auf 40 bis 75 m Lockergesteinsstrecke. Im Vorprojekt gehen wir von einem 15 m langen Voreinschnitt (ca. 10 m hoch) und einer LM-Strecke von 60 m Länge aus.

Der Voreinschnitt wird mit einer Ankerwand gesichert. Er wird als (im Grundriss) U-förmiger Einschnitt etwa in der Falllinie in den Hang platziert. Die Wände werden min. mit einer Neigung von 5:1 ohne Zwischenbermen erstellt. Die Breite des Voreinschnittes beträgt etwa 7.0 m. Damit finden die Tagbauten für die Portalstation mit Lüftung und Schleuse ausreichend Platz.

Der Lockergesteinsvortrieb erfolgt im Schutze eines doppelten Rohrschirms mit einem ausreichend grossen Querschnitt, welcher den späteren Antransport der TBM zur Startröhre am Beginn der Felsstrecke erlaubt. Am Ende der LM-Strecke wird der Vortrieb mittels Sprengen noch etwa 10 m in den Fels vorgetrieben. In diesem Bereich wird auch die Startröhre erstellt.

Beim Portal SISTO Frauenkirch ist eine Lockergesteinsstrecke von rund 20 m Länge prognostiziert. Hier besteht das LM vorwiegend aus kohäsionslosem Abraum des Steinbruchbetriebes. Für das Vorprojekt werden hier 15 m Voreinschnitt und 10 m LM-Vortrieb abgesetzt. Für den Voreinschnitt und den LM-Vortrieb gelten dieselben Anmerkungen wie für diejenigen auf Seite Litzirüti.

3.2.2. Vortriebsverfahren Arosatunnel

Für den Arosatunnel ist ein zweiseitiger Angriff vorgesehen. Auf Grund der geotechnischen Verhältnisse, der grossen Überdeckung, der Profilgrösse und dem Vorhandensein von zwei 500 m langen Doppelspurstrecken wird ein Sprengvortrieb als adäquates Vortriebsverfahren für den Tunnel angesehen. Durch die Anordnung von 2 Vortrieben kann der Nachteil der geringeren Vortriebsleistung von Sprengvortrieben gegenüber maschinellen Vortrieben weitgehend kompensiert werden. Auf Grund der geologischen Verhältnisse und der Termsituation werden für den Vortrieb Litzirüti eine Abschnittslänge von 3'000 m und für den Vortrieb Frauenkirch von 4'645 m angesetzt (Total 7'645 m).

Von Seite Litzirüti kann der Tunnel steigend vorgetrieben werden. Das erleichtert den Vortrieb in den erwarteten schwierigen Gebirgsabschnitten des Serpentin. Gleichzeitig sind damit die Bedingungen geschaffen, dass die Tunnelsohle möglichst vor einem Wassereintrag geschützt werden kann. Der fallende Vortrieb von Frauenkirch erfolgt weitgehend in kristallinem Gebirge. Das anfallenden Berg- und Betriebswassers wird durch den SISTO abgeleitet und dazu über max. 500 Tunnelmeter bis zur jeweils letzten Querverbindung gepumpt.

Vorgängig zum Vortrieb sind die beiden Tunnelportale zu erschliessen. Für den Tunnelvortrieb müssen beide Brücken fertig gestellt und tragfähig sein. Das Tunnelportal Frauenkirch wird zusätzlich auch über eine neu zu erstellende Zufahrtsstrasse direkt von der Kantonsstrasse erschlossen.

Der Arosatunnel ist mit seiner Hufeisenform hinsichtlich der Rahmenbedingungen Lichtraumprofil, Entwässerung, Tragwirkung und Sprengvortrieb optimiert. Die lichte Höhe und die max. Breite von 7.5 m lassen für die Einspurstrecke in allen geologischen Abschnitten den Vollausbuch zu. Die Doppelspurstrecken mit einer Höhe von 8 m und einer Breite von 11 m sind zu 50% als Kalotten-/Strossenvortrieb (Seite Litzirüti) und 50% im Vollprofil (Seite Frauenkirch) projektiert. Auf Grund der geologischen Prognose gehen wir davon aus, dass ca. 70% der gesamten Tunnelstrecke in der Sicherungskategorie 2 und 3, d.h. ohne Stahleinbau, vorgetrieben werden kann (vgl. Kapitel 2.3.2).

Das anfallende Ausbruchmaterial wird in Litzirüti auf die Bahn verladen, nach Untervaz transportiert und dort abgelagert und in Frauenkirch per Strasse zur Deponie geführt.

Die Ver- und Entsorgung der beiden Vortriebe mit Gleisbetrieb ist bei den vorhandenen Gefällsverhältnissen von 100% gewährleistet.

Beim Portal Litzirüti ist der Fels anstehend. Das Projekt sieht einen minimalen Voreinschnitt für den Einbau des Tagbaus (vgl. Kapitel 2.3.3) vor.

Der Voreinschnitt wird auf der Seite Frauenkirch mit einer Ankerwand gesichert. Er wird als (im Grundriss) U-förmiger Einschnitt in der Falllinie in den Hang platziert. Die Wände werden mit einer Neigung von 5:1 ohne Zwischenbermen erstellt. Die Breite des Voreinschnittes beträgt etwa 11.0 m, die max. Höhe misst rund 13 m. Der Lockergesteinsvortrieb erfolgt im Schutze eines doppelten Rohrschirms und geht nach 10 m in Sprengvortrieb über.

3.3. Materialbewirtschaftungskonzept

Genauere mengenmässige Bilanzen und detaillierte Vorgaben für die Materialflüsse der Ausbruch- und Aushubmaterialien und deren allfälligen Wiederverwendung können erst nach weiteren geologischen Abklärungen erstellt werden. Diese Angaben sind dann als Grundlage für die Ausschreibung der Bauarbeiten unerlässlich. Im Folgenden werden die Grundsätze und das Konzept der Materialbewirtschaftung unter Berücksichtigung der heutigen Praxis und der wirtschaftlichen Verhältnismässigkeit beschrieben.

Zur Schonung von natürlichen Ressourcen und zur Vermeidung von unnötigen Transporten wird angestrebt – soweit dies technisch machbar und wirtschaftlich sinnvoll ist – das anfallende Aushub- und Ausbruchmaterial auf der Baustelle wieder zu verwenden. Insgesamt dürften bis zu 40% des Ausbruchmaterials aufbereitungswürdig sein.

Die Materialbewirtschaftung sieht folgendes Konzept vor:

- Ausbruchmaterial aus Kalkformationen, Hauptdolomit und Muskovit-Granitgneis zur Aufbereitung und Wiederverwendung im Projekt als Foundations- und Sickerschicht; Zwischendeponie erforderlich.
- Ausbruchmaterial aus Muskovit-Granitgneis als Betonzuschlagstoffe mit Verkauf an Kies-/Betonwerk (Eignung ist laufend zu prüfen).
- Aushub- und Ausbruchmaterial aus Aroser Schuppenzone und Gehängeschutt zur Wiederverwendung im Projekt als Hinter- und Überschüttung der Portalbauwerke sowie als Dammschüttung und Geländegestaltung; Zwischendeponie erforderlich, sofern dieses nicht direkt eingebaut werden kann.

- Aushub- und Ausbruchmaterial aus Aroser Schuppenzone und Serpentine in Deponie (nicht wieder verwertbares Überschussmaterial).
- Ober- und Unterboden zur Wiederverwendung im Projekt; Zwischendeponie erforderlich.

Im Projekt sind der Transport ab Litzirüti bis Untervaz und die Deponie von 330'000 m³ Ausbruchmaterial durch die RhB vorgesehen. Der Rest, rund 260'000 m³ wird ab Frauenkirch per LKW zur Aufbereitung oder Enddeponie transportiert.

Neben dem Ausbruchmaterial fallen verschiedene Arten von mineralischen und anderen Bauabfällen an. Erfahrungsgemäss handelt es sich dabei um Folgendes:

- verschlammtes Ausbruchmaterial aus der Sohle
- verschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial, z.B. Injektionsgut
- Rückbaumaterialien und Inertstoffe, z.B. Belag, Betonabbruch, Bauschutt etc.
- Material aus Schlammabsetzbecken und Pumpensämpfen
- Sonderabfälle wie Inhalt aus Ölabscheider, Altöle, alte Filter etc.
- Bauabfälle wie Holz, Metall, Kunststoffe, etc.
- Abfall aus Kantine, Magazin etc
- Kehricht

Alle oben genannten Materialien und weitere werden gemäss der Technischen Verordnung über Abfälle (TVA) entsorgt.

3.4. Termine

3.4.1. Projektierung

Für die weitere Projektierung werden keine Terminangaben gemacht, da das weitere Programm noch unbekannt ist.

Rein qualitativ kann angemerkt werden, dass bis zur Realisierung die folgenden Projektierungsschritte anstehen:

- Erstellen aktualisiertes Vorprojekt
- Projektgenehmigung durch BAV
- Erstellen Bauprojekt
- Öffentliche Auflage des Projektes
- Ausschreibung der verschiedenen Bau- und BSA-Lose

3.4.2. Realisierung

Alle wichtigen Bauphasen sind im Balkenbauprogramm im Anhang dieses Berichts dargestellt.

Das vorliegende Projekt weist eine Gesamtbauzeit von 12 Jahren auf. Dabei wurde für jedes Jahr eine Winterpause im Monat Januar berücksichtigt.

Die Gesamtbauzeit ergibt sich aus den folgenden wichtigsten Tätigkeiten (ohne Werte in Klammern):

– Bauvorbereitung SISTO	2 Monate
– Voreinschnitt Seite Litzirüti und LM-Vortrieb	7 Monate
– TBM-Vortrieb SISTO	37 Monate
– Bau Viadukt Litzirüti (inkl. Voreinschnitt Tunnel)	22 Monate
– Vortrieb Tunnel von Seite Litzirüti	42 Monate
– Vortrieb Tunnel von Seite Frauenkirch	(35 Monate)
– Verkleidung und Innenausbau Tunnel	19 Monate
– Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen	9 Monate
– Bahntechnische Einrichtungen	9 Monate
– Funktionskontrolle und Testfahrten	3 Monate
– Total Bauzeit	ca. 150 Monate

Die Gesamtbauzeit wird vor allem durch den Tunnelbau bestimmt. Die Bauzeit des Tunnels basiert auf den folgenden Leistungen und Annahmen:

- 3-Schichtbetrieb während 7 Tagen pro Woche für den TBM und Sprengvortrieb, inkl. einer Wartungsschicht pro Tag
- 2-Schichtbetrieb während 5 Tagen pro Woche für den Lockergesteinsvortrieb und den Ausbau von Tunnel und Stollen
- Vortriebsleistung im LM SISTO von 0.5 m pro Arbeitstag
- Vortriebsleistung im TBM-Vortrieb 0.75 m bis 18 m pro Arbeitstag (je nach Sicherungsklasse)
- Vortriebsleistungen in konventionellen Vortrieben der Einspurtstrecken von 0.5 m pro Arbeitstag (LM-Vortrieb) und 1 m bis 8 m pro Arbeitstag (je nach Sicherungsklasse im Fels)
- Vortriebsleistungen in konventionellen Vortrieben der Doppelspurtstrecken im Vollvortrieb 1 m bis 8 m pro Arbeitstag (je nach Sicherungsklasse im Fels)
- Vortriebsleistungen in konventionellen Vortrieben der Doppelspurtstrecken in Vortriebsklasse B 0.75 m bis 5 m pro Arbeitstag (je nach Sicherungsklasse im Fels)
- Einbau der Verkleidung und des Innenausbaus nach Beendigung der Vortriebsarbeiten mit einer mittleren Leistung von 9 m pro Arbeitstag
- Die elektromechanischen Einrichtungen werden teilweise parallel zum Tunnelinnenausbau ausgeführt und überdauern diese um 6 Monate
- Nach Beendigung aller Bauarbeiten und elektromechanischen Einrichtungen im Tunnel erfolgen der Gleisbau und anschliessend die Montage der Fahrleitung. Für diese Arbeiten sind insgesamt 9 Monate programmiert
- Zum Abschluss erfolgt die Funktionskontrolle der elektromechanischen Einrichtungen und der Fahrleitung sowie Testfahrten im Tunnel (3 Monate)

Falls die oben aufgelisteten Arbeitsgattungen teilweise gleichzeitig ausgeführt werden – was allerdings unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit nur bedingt sinnvoll ist – kann die Bau-

zeit verkürzt werden. Wenn eine Beschleunigung nicht zwingend nötig ist, sind im Tunnelbau diese Arbeiten jedoch möglichst zu entkoppeln.

Die Bauarbeiten der offenen Strecken (ohne Brücken) sowie der Anschlüsse können parallel zum Tunnelbau erstellt werden und liegen nicht auf dem zeitkritischen Weg.

4. Umwelt

4.1. Immissionen

Die Installationsflächen beidseitig des Tunnels sind betreffend Bauimmissionen wenig kritisch. Begrenzt betroffen sind die zwei Wohnhäuser auf den Parzellen 5580 und 5502, welche ca. 40 m südlich des Portals in Frauenkirch stehen. Im Weiteren verursacht die Baupiste ab der Kantonsstrasse bis zum Tunnelportal Frauenkirch Bauimmissionen beim Bauernhof auf Parzelle 6340.

Die Baupisten ab der Kantonsstrasse zu den Portalen sowie die wichtigen internen Transportpisten werden mit einem Belag versehen. Die regelmässige Trocken- und Nassreinigung dieser Flächen zur Bekämpfung des Staubs wird der Unternehmung als zwingend und regelmässig auszuführende Arbeit vorgeschrieben, ebenso die Installation und der Betrieb einer wirkungsvollen Radwaschanlage, welche von allen LKW vor der Ausfahrt auf die Kantonstrasse zu passieren ist.

Es wird den Unternehmungen vorgeschrieben, für die Transporte und den Baubetrieb nur Fahrzeuge, Maschinen und Geräte einzusetzen, welche dem heutigen technischen Standard entsprechen und die Richtlinien des BAFU einhalten. Die Anforderungen an die Geräte sind in der Hauptuntersuchung des UVB festzulegen.

Mit Ausnahme von Schallschutzmassnahmen bei der Baulüftung sind keine weiteren Lärmschutzmassnahmen während der Bauausführung vorgesehen.

Der Sprengvortrieb im Tunnel verursacht Erschütterungen. Voraussichtlich sind keine Massnahmen beim Vortrieb wie eine Begrenzung der Lademengen erforderlich.

4.2. Gewässer

Es besteht das Risiko, dass mit dem Tunnelbau Karstwasser angefahren wird. Das anfallende Karstwasser wird durch den Sicherheitsstollen abgeleitet oder der durch den Tunnel oder Stollen unterbrochene Karstgang wird, sofern technisch möglich, mit einem "Kurzschluss" wieder verbunden, so dass das Karstwasser weiterhin im Berg zirkuliert. Das im Tunnel und Sicherheitsstollen anfallende Berg- und Karstwasser kann voraussichtlich ohne Auflagen in die Plessur eingeleitet werden.

4.3. Naturschutz

Das Projekt tangiert keine Naturschutzzonen.

5. Kosten

Die Investitionen für das Projekt Arosatunnel werden auf die nachstehenden Kosten geschätzt:

Rohbau	CHF	328'500'000
Bahntechnik*	CHF	17'400'000
Betriebs- und Sicherheitsanlagen (BSA)*	CHF	22'300'000
Landerwerb	CHF	2'000'000
Projektleitung, Planung und Bauleitung, Drittkosten	CHF	48'700'000
Diverses, Unvorhergesehenes	<u>CHF</u>	<u>61'100'000</u>
Total Investitionskosten (ohne MwSt.)	CHF	480'000'000
Total Investitionskosten (mit 7.6% MwSt.)	CHF	516'500'000

Details zur Kostenschätzung sind in der Beilage N083.07 Kostenschätzung enthalten.

*Die Aufteilung der beiden Positionen Bahntechnik und BSA weichen gegenüber dem Typenblatt ab. Die Summen stimmen mit 39'700'000 jedoch überein.

6. Beurteilung

6.1. Chancen und Risiken

6.1.1. Geologie

Im geologischen Bericht sind in Kapitel 6 notwendige und ergänzende Untersuchungen aufgelistet.

Den geologischen Risiken soll durch die Vorauserkundung mit Hilfe des Sicherheitsstollens begegnet werden. Die auf Grund der grossen Überlagerungshöhe langen Sondierbohrungen würden nur sehr begrenzte Informationen liefern.

Das Vorprojekt und die Kostenschätzung basieren auf der geologischen Prognose. Dabei sind keine Kosten für veränderte Abschnittsgrenzen gemäss dem Geologischen Längenprofil eingerechnet.

6.1.2. Karstereignis

Unsicherheiten bestehen in der Vorhersage des Karstwasseranfalls. Der Karstwasseranfall kann auch durch weitere geologische Erkundungen nicht wesentlich genauer prognostiziert werden. Für die Massnahmen infolge Karstwasser wird ein Ereignis mit bis zu 190 l/s (im Betrieb) angenommen. Für den Bauzustand ist das Risiko in der Position *Diverses, Unvorhergesehenes* (15% der Investitionskosten) enthalten.

6.1.3. Länge Lockergesteinsabschnitte

Bei der Wahl der Portalstandorte wurde die Länge der Lockergesteinsabschnitte stark gewichtet. Da keine Sondierungen oder Bohrungen durchgeführt wurden, musste der Geologe die Länge dieser Abschnitte extrapolieren, resp. abschätzen. Einzig beim Tunnelportal Litzirüti ist die Situation mit dem anstehenden Fels offensichtlich. Auf der Seite Frauenkirch ist die Lockergesteinsstrecke bei beiden Portalen mit 10 m relativ gering und daher für Chancen und Risiken nicht relevant. Für die projektierte Linienführung des SISTO ist auf der Seite Litzirüti die Lockergesteinsstrecke mit 50 m prognostiziert. Hier wird es sich lohnen in einer späteren Phase Sondierbohrungen durchzuführen und allenfalls die Linienführung anzupassen. Die Standortwahl dieses Portals hat auch massgebenden Einfluss auf die Chance in Kap.6.1.4.

6.1.4. Querverbindungen

Die Querverbindungen 1 bis 4 weisen grosse Höhendifferenzen auf. Bei der Wahl der Portalstandorte für Tunnel und SISTO wurden Kriterien wie die Länge der Lockergesteinsstrecke, das Entwässerungskonzept, die Bauerschliessung und die Zugänglichkeit mit Fahrzeugen ein grosses Gewicht zugeteilt. Als Folge davon muss die Höhendifferenz in den Querverbindungen 1 bis 4 mit Treppen überwunden werden. Entsprechend steil sind auch die Schrägschächte vorzutreiben. Insgesamt sind damit vergleichsweise hohen Kosten verbunden. In der nächsten Projektphase sollte die Situation überprüft werden.

6.1.5. Vortrieb Bahntunnel mit TBM

Das Vortriebskonzept basiert auf der geologischen Prognose des Vorprojektes. Gemäss dieser Prognose ist im Bereich der Aroser Schuppenzone mit mittleren bis ungünstigen Verhältnissen zu rechnen, was sich auch in der Verteilung der Sicherungstypen niederschlägt. Sollte sich die Geologie auf diesem etwa 3.44 km langen Tunnelabschnitt günstiger als erwartet präsentieren, so ist auch für den Bahntunnel ein Vortrieb mit Tunnelbohrmaschine zu prüfen. Dies auch auf Grund der Tatsache, dass die übrigen tektonischen Einheiten für einen TBM Vortrieb geeignet sind. Das vorgeschlagene Vortriebskonzept mit dem vorgezogenen Vortrieb des Sicherheitsstollens zur geologischen Erkundung lässt es zusammen mit dem vorgesehenen Bauprogramm zu, dass die detaillierten geologischen Erkenntnisse aus dem Erkundungsstollen (SISTO) bei der Ausschreibung des Bahntunnels noch einfließen können. Der beauftragte PV hat demnach genügend Zeit, die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit der TBM Variante für den Bahntunnel abzuklären und das Projekt entsprechend anzupassen.

Auf Grund der bisherigen Erfahrungen mit dem Serpentin in der Aroser Schuppenzone ist die hier angesprochene Option nur dann sinnvoller Weise zu prüfen, falls der Anteil an Serpentin wesentlich geringer ist, als prognostiziert.

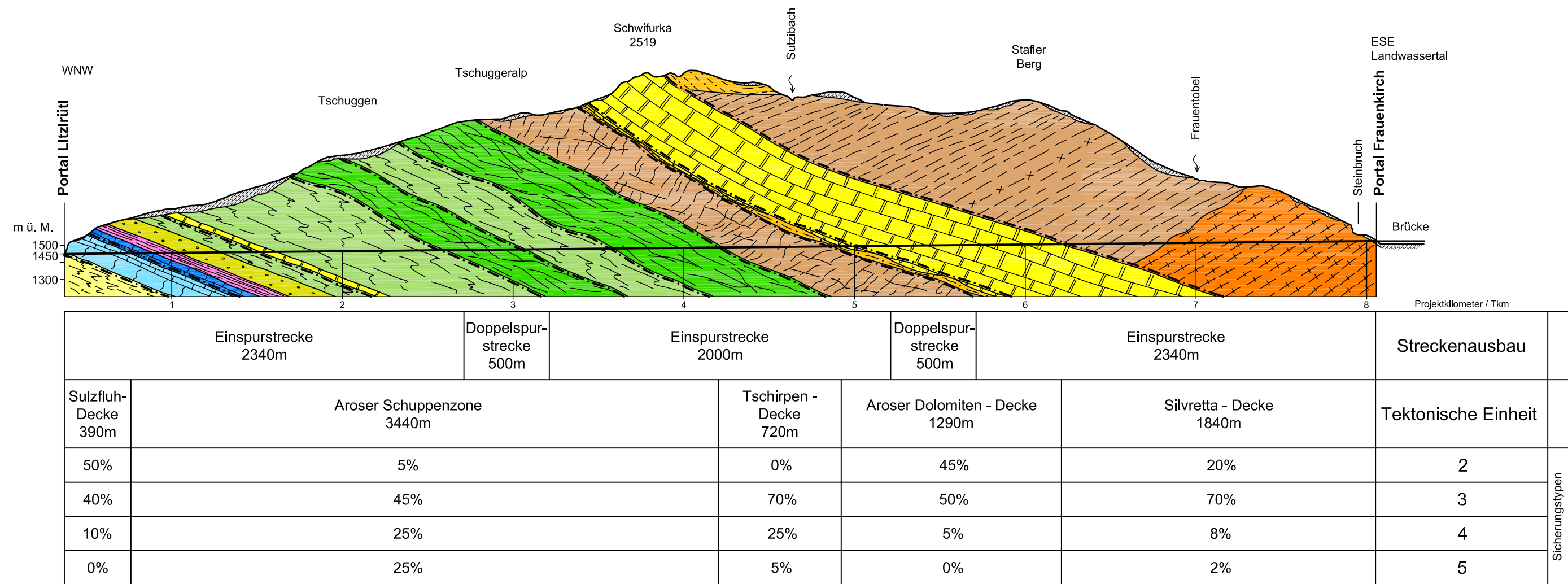
Der Projektverfasser
Amberg Engineering AG

Peter Wenger
Projektleiter

Patrick Juch
Projektleiter Stv.

Anhang 1: Verteilung Sicherungstypen

M 1:25'000



[illegible]