tunnel

SONDER AUSGABE

Offizielles Organ der STUVA · Official Journal of the STUVA

2011

Sachstandsbericht 2011
„Sanierung von Eisenbahntunneln“

STUVA-Arbeitskreis
„Tunnelsanierung“

bauverlag
Wir geben Ideen Raum

Erstellung	STUVA-Arbeitskreis „Tunnelsanierung“
Herausgeber	Deutsche Bahn AG, Frankfurt am Main/D
	Österreichische Bundesbahnen AG, Wien/A
	Schweizerische Bundesbahnen AG, Bern/CH
	Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V. – STUVA, Köln/D
Schriftleiter	Prof. Dr.-Ing. Alfred Haack, STUVA
Copyright	© 2011. Bauverlag BV GmbH, Gütersloh/D.
	Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.
Herstellung/Konzeption	Bauverlag BV GmbH, Gütersloh/D
Druckvorstufe	Mohn media Mohndruck GmbH, Gütersloh/D
Druck	Druckerei Merkur, Detmold/D
Erscheinungsdatum	Dezember 2011

Sachstandsbericht 2011
„Sanierung von Eisenbahntunneln“

Erstellt vom STUVA-Arbeitskreis „Tunnelsanierung“

Herausgeber:
Deutsche Bahn AG, Frankfurt/Main
Österreichische Bundesbahnen AG, Wien
Schweizerische Bundesbahnen AG, Bern
Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V. – STUVA, Köln

Schriftleiter:
Prof. Dr.-Ing. Alfred Haack, STUVA

1. Dezember 2011

Mitglieder des STUVA-Arbeitskreises „Sanierung von Eisenbahntunneln“

Moderation/Forschung
Prof. Dr.-Ing. Alfred Haack, STUVA e.V., Köln (D)

DB
Dipl.-Ing. Stefan Simon, DB ProjektBau GmbH, Frankfurt/Main (D)
Dipl.-Ing. (FH) Torsten West, DB Netz AG, Frankfurt/Main (D)

ÖBB
Dipl.-Ing. Christian Draschitz, ÖBB-Infrastruktur AG, Bludenz (A)
Dipl.-Ing. Josef Koinig, ÖBB-Infrastruktur AG, Wien (A)
Dipl.-Ing., Dr. mont. Helmut Steiner, ÖBB-Infrastruktur AG, Graz (A)

SBB
Dipl.-Ing. (ETH) Jan Dirk Chabot, SBB Infrastruktur, Bern (CH)
Dipl.-Ing. (FH) Gabriele Pagliari, SBB Infrastruktur, Olten (CH)

Maschinen-Hersteller
Dipl.-Ing. (FH) Volker Breuning, Herrenknecht AG, Schwanau (D)
Dipl.-Ing. (FH) Thomas Edelmann, Herrenknecht AG, Schwanau (D)
Dipl.-Ing. Helmut Heisterkamp, GTA, Hamminkeln (D)
Dipl.-Ing. Josef Heßling, GTA, Hamminkeln (D)
Dipl.-Ing. Günther Saelhoff, GTA, Hamminkeln (D)

Bauausführung
Dipl.-Ing. Klaus W. Preißinger, kpconsult, Hohenthann (D)

Planer/Gutachter
Dipl. Bauing. (ETH) Rolf Gabriel, IUB Ingenieur-Unternehmung AG, Bern (CH)
Dipl.-Ing. Michael Schlebusch, gbm, Limburg (D)

Fahrleitungstechnik
Dipl. El. Ing. (ETH) Urs Wili, Furrer + Frey AG, Bern (CH)

Herausgeber:

DB NETZE

www.db.de

ÖBB Infrastruktur

www.oebb.at

SBB CFF FFS

www.sbb.ch

STUVA

www.stuva.de

Mitwirkende:

Furrer+Frey® baut Fahrleitungen

www.furrerfrey.ch

gbm

www.gbm-baugrundinstitut.de

GTA® Maschinensysteme GmbH

www.gta-maschinensysteme.de

HERRENKNECHT Tunnelvortriebstechnik

www.herrenknecht.de

IUB INGENIEUR-UNTERNEHMUNG AG

www.iub-bern.ch

kpconsult

Inhalt

1 Einführung und Zielsetzung ... 7
1.1 Vorgeschichte ... 7
1.2 Arbeitskreis „Tunnelsanierung“ ... 10
1.3 Hintergrund und Ziele des Arbeitskreises ... 10

2 Rahmenbedingungen aus Sicht des Betreibers ... 12
2.1 Ausgangslage ... 12
2.2 Vorschriften ... 12
2.3 Betriebliche Rahmenbedingungen ... 13
2.4 Technische Rahmenbedingungen ... 13
2.4.1 Allgemeines ... 13
2.4.2 Geschichtliche Entwicklungen des Lichtraumprofils ... 14
2.4.3 Lichtraumprofil – Allgemeine Begriffe ... 15
2.4.4 Berechnung des Lichtraumes ... 16
2.4.5 Internationale Lichtraum-Begrenzungslinien ... 17
2.4.6 Nationale Lichtraum-Begrenzungslinien ... 18
2.4.7 Lichtraumprofile der Deutschen Bahn AG (DB) (Stand 2010) ... 18
2.4.8 Lichtraumprofile der Österreichischen Bundesbahnen AG (ÖBB) (Stand 2010) ... 21
2.4.9 Lichtraumprofile der Schweizerischen Bundesbahnen AG (SBB) (Stand 2010) ... 22
2.4.10 Grafische und tabellarische Gegenüberstellung der Lichtraumprofile ... 24
2.5 Fazit ... 29

3 Planungsgrundsätze zur Regelung der Schnittstelle zwischen Bauherrn und Planer ... 30
3.1 Grundlegende Regelwerke ... 30
3.2 Bahntunnel im Allgemeinen ... 30
3.2.1 Grundsätze ... 30
3.2.2 Inhalte des Planungsprozesses ... 30
3.3 Bahntunnel im Speziellen ... 31
3.3.1 Grundsätze ... 31
3.3.2 Linienführung ... 32
3.3.3 Tunnelquerschnitt ... 32
3.3.4 Ausbau ... 33
3.3.5 Abgrenzung ... 33

4 Handlungshilfe für Planung und Ausschreibung ... 34
4.1 Vorbemerkung ... 34
4.2 Behördenverfahren ... 34
4.2.1 Planrechtsverfahren für Eisenbahninfrastrukturmaßnahmen in Deutschland ... 34
4.2.2 Eisenbahnrechtliches Baugenehmigungsverfahren in Österreich ... 35
4.2.3 Planrechtsverfahren bei der SBB ... 37
4.3 Handlungshilfen betreffend Erkundung, Planung und Ausschreibung ... 38
4.3.1 Einleitung ... 38
4.3.2 Erkundung ... 38
4.3.3 Planung ... 39
4.3.3.1 Vorbemerkung ... 39
4.3.3.2 Vorbereitung der Planung ... 39
4.3.3.3 Ingenieurplanung Tunnelerneuerung ... 40
4.3.3.4 Ingenieurplanung Tunnelsanierung „Gewölbe“ ... 41
4.3.3.5 Ingenieurplanung Tunnelsanierung „Fahrbahn“ ... 44

4.3.3.6 Ingenieurplanung Tunnelsanierung „Sicherheitseinrichtungen" ... 45
4.3.3.7 Ingenieurplanung Tunnelsanierung „Bahntechnik/Bahnausrüstung" ... 46
4.3.4 Ausschreibung von Bauleistungen ... 46
4.3.4.1 Vorbemerkung ... 46
4.3.4.2 Ausschreibung Tunnelerneuerung ... 46
4.3.4.3 Ausschreibung Tunnelsanierung „Gewölbe" ... 47
4.3.4.4 Ausschreibung Tunnelsanierung „Fahrbahn" ... 49
4.3.4.5 Ausschreibung Tunnelsanierung „Sicherheitseinrichtungen" ... 50
4.3.4.6 Ausschreibung Tunnelsanierung „Bahntechnik/Bahnausrüstung" ... 50

5 Bauverfahren und -methoden sowie Erfahrungen und Projektbeispiele zur Sanierung und Erneuerung von Eisenbahntunneln ... 52
5.1 Vorbemerkungen ... 52
5.2 Mögliche Bauverfahren/-methoden bei Vollsperrung von Tunneln ... 54
5.2.1 Sohlerneuerung – Eingleisig (Tunnel Stutzeck-Axenberg, CH) ... 54
5.2.2 Gewölbeeinbau und Sohlausbau – Eingleisig (Alter Loreley & Rossstein Tunnel, D) ... 54
5.2.3 Sohlausbau und Feste Fahrbahn – Eingleisig (Alter Buschtunnel, D) ... 55
5.2.4 Verwendung einer Schutzeinhausung – Zweigleisig (Tunnel Strood & Higham, UK) ... 57
5.3 Mögliche Bauverfahren/-methoden bei Teilsperrung von Tunneln ... 58
5.3.1 Vorbemerkungen ... 58
5.3.2 Einbau Sohlgewölbe – Eingleisig (Büdesheimer Tunnel, D) ... 58
5.3.3 Tunnel-im-Tunnel Methode – Zweigleisig (Mausenmühlen & Jähroder Tunnel, D) ... 58
5.3.3.1 Projektbeschreibung ... 58
5.3.3.2 Anwendbarkeit Tunnel-im-Tunnel Methode ... 59
5.3.3.3 Beschreibung der Problemstellung/Erfahrung aus der Praxis ... 59
5.3.4 Bauzug – Zweigleisig (Tunnel Gummambs, D) ... 62
5.3.5 Spritzbetoninnenschale in Rippenbauweise – Zweigleisig (Berghautunnel, D) ... 62
5.3.6 Wechselseitige Sohlerneuerung – Zweigleisig (Hauenstein Tunnel, CH) ... 64
5.3.7 Gewölbe- und Sohlerneuerung – Zwei(Ein)gleisig (Klein-Winternheimer Tunnel, D) ... 65
5.3.8 Wechselseitige Gewölbeerneuerung und Sohlaushub – Zweigleisig (Problemstellungen bei Tunnelinstandsetzungen/-erneuerungen aus der Praxis in Österreich anhand Arlbergtunnel und Tauerntunnel) ... 65
5.3.8.1 Sicherheitstechnische Nachrüstung Arlbergtunnel – Beschreibung ... 65
5.3.8.2 Sicherheitstechnische Nachrüstung Arlbergtunnel – Betriebliche und sicherheitstechnische Randbedingungen ... 67
5.3.8.3 Sicherheitstechnische Nachrüstung Arlbergtunnel – Probleme und Lösungen ... 67
5.3.8.4 Tauerntunnel ... 69
5.3.9 Allgemeine Problemstellungen bei Tunnelinstandsetzungen/-erneuerungen aus der Praxis verschiedener Projekte in der Schweiz ... 75
5.3.9.1 Beeinflussung Entwässerung und Entwässerungskonzept durch Tunnelsanierung ... 75
5.3.9.2 Fallbeispiele Tunnelentwässerung ... 77
5.3.9.3 Dauerhaftigkeit von Instandsetzungsmaßnahmen ... 77
5.3.9.4 Arbeiten in Intervallen unter Gleissperrungen ... 78
5.4 Projektübersicht unterschiedlicher Baumaßnahmen ... 79

6 Entwicklung von technischen Ansätzen geeigneter Verfahren zur Sanierung und Erneuerung von Eisenbahntunneln ... 81
6.1 Vorbemerkung ... 81
6.2 Gewölbearbeiten ... 81
6.2.1 Gewölbesicherung ... 81
6.2.2 Gewölbesanierung und lokale Aufweitung ... 82
6.2.3 Gewölbeabtrag ... 83
6.2.4 Tunnelaufweitung mit Tunnelerweiterungsportal (Tunnel-im-Tunnel System) ... 85
6.2.4.1 Felsausbruch mit Abspaltverfahren ohne Tunnelsperrungen ... 85

6.2.4.2 Geschildeter Vortrieb und Tübbingausbau ohne Tunnelsperrungen ... 86
6.2.4.3 Felsausbruch durch Fräsen oder alternative Schneidtechniken ... 86
6.2.4.4 Logistik ... 86
6.2.4.5 Tunnel-im-Tunnel-System bei eingleisigen und elektrifizierten Strecken ... 86
6.2.5 Gewölbeausbau ... 88
6.3 Sohlarbeiten ... 89
6.3.1 Gewölbesicherung ... 89
6.3.2 Sohlabsenkung ohne Sohlschluss ... 89
6.3.3 Sohlabsenkung mit Sohlschluss ... 90
6.4 Abbautechniken für Felsausbruch/-abtrag ... 91
6.5 Baugrundsicherung bei Tunnelaufweitung im Lockergestein ... 92

7 Zukünftiger Sanierungs- und Erneuerungsbedarf ... 93
7.1 Vorbemerkung ... 93
7.2 Deutsche Bahn AG (DB) ... 94
7.3 Österreichische Bundesbahnen AG (ÖBB) ... 96
7.4 Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB) ... 103

8 Anhänge ... 106
8.1 Abkürzungen ... 107
8.2 Literaturhinweise ... 112
8.2.1 Zu Kapitel 1: Einführung und Zielsetzung ... 112
8.2.2 Zu Kapitel 2: Rahmenbedingungen aus Sicht des Betreibers ... 112
8.2.3 Zu Kapitel 3: Planungsgrundsätze zur Regelung der Schnittstelle zwischen Bauherrn und Planer ... 113
8.2.3.1 DB ... 113
8.2.3.2 ÖBB ... 113
8.2.3.3 SBB ... 113
8.2.4 Zu Kapitel 4: Handlungshilfen für Planung und Ausschreibung ... 113
8.2.5 Zu Kapitel 5: Bauverfahren und -methoden sowie Erfahrungen und Projektbeispiele zur Sanierung und Erneuerung von Eisenbahntunneln ... 113
8.2.6 Zu Kapitel 6: Entwicklung von technischen Ansätzen geeigneter Verfahren zur Sanierung und Erneuerung von Eisenbahntunneln ... 114
8.2.7 Zu Kapitel 7: Zukünftiger Sanierungs- und Erneuerungsbedarf ... 114
8.2.8 Zu Kapitel 8: Anhänge ... 114
8.3 Referenzprojekte, Projektsteckbriefe ... 115
8.3.1 Alter Buschtunnel (D) ... 115
8.3.2 Büdesheimer (D) ... 116
8.3.3 Ennericher (D) ... 117
8.3.4 Gummambs (D) ... 118
8.3.5 Jähroder/Mausenmühlen (D) ... 119
8.3.6 Klein-Winternheimer (D) ... 120
8.3.7 Nittel (D) ... 121
8.3.8 Weinsberger (D) ... 122
8.3.9 Arlberg (A) ... 123
8.3.10 Tauerntunnel (A) ... 124
8.3.11 Axentunnel (CH) ... 125
8.3.12 Grenchenberg (CH) ... 126
8.3.13 Hauenstein-Basistunnel (CH) ... 127
8.3.14 Zimmeregg (CH) ... 128

Titelbild

Erneuerung des Frauenberger Tunnels auf der DB-Strecke Bingen – Saarbrücken bei Idar-Oberstein im Jahr 2011 (Quelle: DB ProjektBau GmbH)

1 Einführung und Zielsetzung

A. Haack

1.1 Vorgeschichte 7
1.2 Arbeitskreis „Tunnelsanierung" 10
1.3 Hintergrund und Ziele des Arbeitskreises 10

1.1 Vorgeschichte

Der Verkehrsbau begann in Deutschland, Österreich und der Schweiz, aber auch in anderen europäischen Ländern etwa zur gleichen Zeit, nämlich Ende des ersten Drittels im 19. Jahrhundert in Verbindung mit der zunehmenden Industrialisierung.

In Deutschland setzten erste diesbezügliche Baumaßnahmen 1837 ein. Es waren 3 Eisenbahntunnel auf der Strecke Köln – Aachen: der 1.620 m lange Königsdorfer Tunnel bei Groß-Königsdorf, der Ichenberger Tunnel bei Eschweiler und der Nirmer Tunnel bei Eilendorf. Alle 3 Tunnel wurden bereits im Jahre 1841 in Betrieb genommen. Sie sind heute aufgeschlitzt bzw. durch Neubauten ersetzt. Der älteste noch in Betrieb befindliche Bahntunnel in Deutschland ist der 1843 eröffnete Buschtunnel bei Aachen.

In den folgenden Jahrzehnten schloss sich in Deutschland eine rege Tunnelbautätigkeit für die Eisenbahn an. Zur Anwendung gelangten dabei die bekannten Bauweisen mit intensivem Holzeinsatz für den temporären Verbau. Im Jahre 1850 waren bereits 21 Tunnel in Betrieb. 1860 waren es 68 und bis zum Jahre 1870 stieg die Zahl der Eisenbahntunnel auf 138. In dem darauf folgenden Jahrzehnt bis 1880 wurden allein 157 weitere Tunnel mit zusammen fast 65 km Länge fertig gestellt. Damit war der Höhepunkt des damaligen Eisenbahntunnelbaus in Deutschland erreicht. Insgesamt waren im Jahre 1880 rd. 300 Tunnel mit einer Länge von 114 km in Betrieb. Das ist sowohl der Zahl als auch der Länge nach etwa die Hälfte des Bestandes an Eisenbahntunneln in Deutschland vor Inbetriebnahme der Schnellfahrstrecken Hannover – Würzburg und Mannheim – Stuttgart im Jahre 1991. In den darauffolgenden 3 Jahrzehnten bis zum Ausbruch des Ersten Weltkrieges wurden insgesamt weitere 150 Tunnel dem Verkehr übergeben [1.1].

Bedingt durch die beiden Weltkriege kam der Verkehrstunnelbau in Deutschland über längere Zeit völlig zum Erliegen. Er wurde erst in den Jahren 1950 bis 1960 wieder aufgenommen und zwar zunächst im Zusammenhang mit der Elektrifizierung älterer Bahnstrecken, u.a. entlang des Mittelrheins. Der Neubau von Eisenbahntunneln für den Fernverkehr begann in großem Stil dann erst etwa 1980 mit den Bauarbeiten für die Schnellfahrstrecken Hannover – Würzburg und Mannheim – Stuttgart. Diese Maßnahmen wurden 1991 abgeschlossen und beide Strecken mit Aufnahme des ICE-Betriebs im gleichen Jahr in Betrieb genommen. Im Zuge dieser beiden Neubaustrecken beläuft sich der Tunnelanteil aus Gründen der Hochgeschwindigkeitstrassierung, nicht zuletzt aber auch aus ökologischen Gründen, auf etwa 30 bis 35 %. Es wurden insgesamt 87 zweigleisige Tunnel mit einer Gesamtlänge von rd. 150 km errichtet.

Der einzige Wasserstraßentunnel in Deutschland stammt ebenfalls wie die ersten Eisenbahntunnel aus der Zeit der frühen Industrialisierung. Adolph Herzog zu Nassau ließ zur Umfahrung der engen Lahnschleife in Weilburg mit ihren 2 Wehren zwischen 1844 und 1847 einen 195 m langen Tunnel bauen. Dieser Tunnel verlor seine wirtschaftliche Bedeutung vor allem für den Eisenerztransport aus dem Siegerland über die Flüsse Lahn und Rhein zu den Hochöfen im Ruhrgebiet bereits 15 Jahre später mit dem Bau der Lahntalbahn. Heute dient der Tunnel dem Wassersport (**Bild 1.1**).

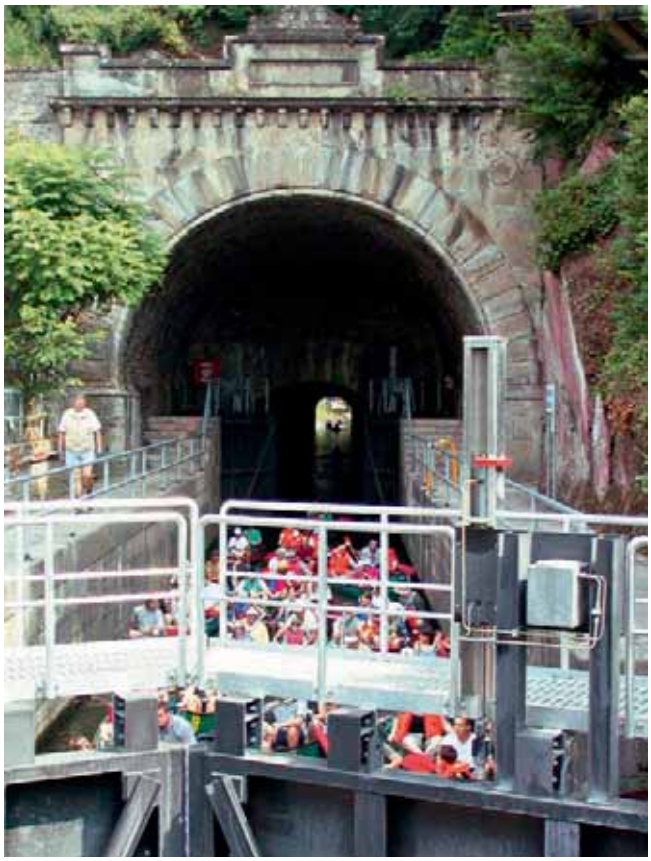


Bild 1.1: Schifffahrtstunnel Weilburg/Lahn in Deutschland (Quelle: STUVA)

Art der Tunnelnutzung	Gesamtlänge [km]	Älteste Inbetriebnahme
U-, Stadt- und S-Bahn	660	1902 in Berlin
Fernbahn	490	1841 Strecke Köln – Aachen
Straße	250	1834 Tunnel Altenahr
Insgesamt	1.400	

Tabelle 1.1: In Betrieb befindliche Verkehrstunnel in Deutschland (Stand: 2011; Quelle: STUVA)

Art der Tunnelnutzung	Anzahl	Gesamtlänge [km]	Älteste Inbetriebnahme
U- und Stadtbahn		46	1888 Stadtbahn Wien/ 1976 U-Bahnlinie 1 Wien
Fernbahn	242	144	1841 Südbahn (Gumpoldskirchner Tunnel)
Straße	258	519	1765 Sigmundstor (Salzburg)
Bergbahnen	16	15	1893 Schafbergbahn (Schafbergspitze)
Insgesamt		724	

Tabelle 1.2: In Betrieb befindliche Verkehrstunnel in Österreich (Stand 2011; Quelle: ÖBB)

Der U-Bahnbau begann in Deutschland Anfang des 20. Jahrhunderts. Berlin eröffnete das erste Teilstück vom Stralauer Tor im Osten der Stadt bis zum Potsdamer Platz im Zentrum im Jahre 1902. Heute weist das Netz einschließlich einiger Hochstrecken insgesamt 144 km mit 170 Haltestellen auf, davon 156 unterirdisch. Hamburg folgte im Jahre 1912 mit der Eröffnung der Ringstrecke Barmbeck – Rathaus. Seit den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts wurden/werden in großem Umfang in 19 Städten Deutschlands U-, Stadt- und S-Bahnen jeweils mit größeren unterirdischen Streckenabschnitten gebaut.

Der älteste Straßentunnel in Deutschland befindet sich in Altenahr mit einer Länge von ca. 60 m. Er wurde in den Jahren 1832 bis 1834 erbaut. Lange Zeit, nämlich bis 1864 war er der einzige Straßentunnel in Preußen. Überhaupt spielte der Straßentunnelbau in Deutschland bis in die 70er Jahre des 20. Jahrhunderts keine große Rolle. Erst von da an wurden im Zuge von Beschleunigungs- und Umweltschutzmaßnahmen größere Ortsumfahrungen, Stadtautobahnen und Landschaftsschutztunnel gebaut.

Die Gesamtsituation des Tunnelbaus in Deutschland spiegelt sich in den seit mehr als 30 Jahren erstellten jährlichen Tunnelbaustatistiken der STUVA [1.2] wieder. Danach waren 2011 in Deutschland etwa 1.400 km Verkehrstunnel in Betrieb (**Tabelle 1.1**) [1.3]. Diese Strecke entspricht in etwa der Entfernung von Hamburg nach Stuttgart und zurück.

Weitere knapp 550 km Verkehrstunnel befinden sich derzeit in Deutschland im Bau oder in der Planung. Sie werden unter der Voraussetzung einer gesicherten Finanzierung mittelfristig, d.h. innerhalb der kommenden 10 bis 15 (20) Jahre erstellt.

Der älteste Eisenbahntunnel in Österreich (**Tabelle 1.2**) stammt aus dem Jahre 1841 und liegt an der Südbahn bei Gumpoldskirchen. Im Jahr 1888 wurde der erste Teilabschnitt der Wiener U-Bahn eröffnet und im Jahr 1893 folgte der erste Tunnel für eine Bergbahn. Der älteste Straßentunnel von 1765 ist das Sigmundstor mit einer Länge von 131 m in Salzburg.

Auch in Österreich sind zahlreiche weitere Tunnel im Bau oder in der Planung. Dazu gehören allein ca. 350 km Fernbahntunnel einschließlich des Brenner Basistunnels mit einer Gesamtauffahrlänge von ca. 110 km.

In der Schweiz wurde der 1847 eröffnete Bahntunnel in Baden 1960 umgewidmet und zu einem Straßentunnel aufgeweitet. Damit sind die beiden 1855 eröffneten Tunnel du Mormont bei Eclépens die ältesten noch in Betrieb befindlichen Tunnel der Schweiz. 2010 wurden diese beiden Tunnel mit parallelen eingleisigen Tunneln ergänzt und die Bestandstunnel umgebaut (**Bild 1.2**).

Bild 1.2: Tunnel du Mormont bei Eclépens in der Schweiz. Links auf einem Gleis umgebauter Tunnel von 1856, daneben Neubautunnel von 2010 (Quelle: SBB)

Der 1858 eröffnete rund 2,4 km lange Oberer Hauensteintunnel war seinerzeit der längste Tunnel des Kontinents. Sein Bau begann ab den Portalen und von 3 Zwischenangriffen aus. 1882 erfolgte die Eröffnung des 15 km langen Gotthardtunnels und 1906/1922 des 19,8 km langen Simplontunnels (als „moderner" zweiröhriger Tunnel, von Anfang an elektrifiziert). 2007 wurde der 34,6 km lange Lötschberg-Basistunnel eröffnet. 2016 erfolgt die Inbetriebnahme des 2 x 57 km langen Gotthard-Basistunnel sowie 3 Jahre später des 2 x 15,4 km langen Ceneri-Basistunnels.

In der Schweiz waren bis 1900 insgesamt 218 Bahntunnel erstellt (**Tabelle 1.3**). Auch in den darauffolgenden Jahrzehnten konnten weitere Bahntunnel im Zuge von Netzausbauten, aber auch aus Neubau in Betrieb genommen werden. Der Schwerpunkt lag 1920 bis 1960 beim Bau von Wasserstollen, von 1960 bis heute beim Bau von Straßentunneln. Ab 2000 konnten mit der Neubaustrecke (NBS) Olten – Bern im Rahmen des Programms „Bahn 2000" und weiteren Streckenneubauten rund 20 Bahntunnel in Betrieb genommen werden. Von 2012 bis 2020 wird sich die heutige Tunnellänge bei den SBB von aktuell 253 km auf 413 km erhöhen und bezogen auf alle Bahntunnel in der Schweiz von 550 km auf rund 730 km.

In der Schweiz befinden sich derzeit ca. 102 km Verkehrstunneln im Bau oder in der Planung.

Allgemein unterliegen Verkehrstunnel für Schiene und Straße in Deutschland ebenso wie in Österreich und der Schweiz aus Gründen der Bestands- und Verfügbarkeitssicherung, aber auch zur Gewährleistung der allgemeinen Verkehrssicherheit in regelmäßigen Zeitabständen einer genau festgelegten Inspektion. Wenn dabei die Inspektion zu dem Ergebnis führt, dass Teile des Tunnelausbaus instandgesetzt werden müssen, geht es vor allem darum, den Betrieb möglichst wenig zu stören und nur in Ausnahmefällen voll einzustellen. Das gilt für Eisenbahn-, U-, S- und Stadtbahntunnel gleichermaßen wie für Straßentunnel. Ein solcher Fall setzt entsprechend entwickelte Verfahren und Werkstoffe voraus.

Schon kurz nach Eröffnung des Hauenstein-Basistunnels in der Schweiz 1916 mussten erste Instandsetzungsarbeiten infolge Deformationen aus Gebirgs- bzw. Quelldruck erfolgen. Auch sind Tunnelsohlen und -gewölbe jahrzehntelang Umwelteinflüssen ausgesetzt bzw. stehen in Kontakt zu aggressiven Bergwässern. Damit können die Baumaterialien ihre Festigkeit einbüßen und die Tragsicherheit des Gewölbes kann reduziert werden. Instandsetzungen dienen letztendlich der Betriebssicherheit eines Tunnels.

Art der Tunnelnutzung	Gesamtlänge [km]	Älteste Inbetriebnahme
Fernbahn	550	1847 Strecke Baden – Zürich
Straße	330	1708 Urnerloch (64 m), Gotthardpass
Bergbahn		1912 Jungfrautunnel (7.202 m), Top of Europe
Insgesamt	880	

Tabelle 1.3: In Betrieb befindliche Verkehrstunnel in der Schweiz (Stand 2011; Quelle: SBB)

Bild 1.3: Verfahrbare Einhausung für die Grundsanierung und Profilerweiterung des Mausenmühlen Tunnels, Nahestrecke Bingen – Saarbrücken, Deutschland (Quelle: GTA, Hamminkeln)

Ein besonders interessantes Beispiel aus jüngerer Zeit wird im Zusammenhang mit der Grundsanierung und Profilaufweitung der beiden Eisenbahntunnel Jähroder und Mausenmühlen beschrieben [1.4]. Die zunehmende Verschlechterung der Tunnelinnenschale machte die Erneuerung der Tunnel erforderlich. Beide Tunnel wurden im Zuge der Nahe-Bahnlinie Bingen – Saarbrücken in den Jahren 1858 bis 1860 errichtet und weisen eine Länge von 130 bzw. 149 m auf.

Das neue Tunnelsanierungsverfahren besteht aus einer stationären Einhausung im Bereich der Portale und einer im Inneren des Tunnels hydraulisch verschiebbaren Einhausung. Letztere wird vor dem Tunnelportal montiert und dann in den Tunnel hineingeschoben. Sie ermöglicht den Abbruch des alten Mauerwerks und den gleichzeitigen Aufbau der neuen, im Lichtraumprofil erweiterten Tunnelschale. Während dieser Arbeiten konnten Züge mit reduzierter Geschwindigkeit ungehindert unterhalb der Arbeitsplattform hindurch fahren (**Bild 1.3**). Der Prototyp dieser neuen sogenannten „Tunnel-im-Tunnel Methode" (TiT) war rd. 20 m lang. Der auf der Arbeitsplattform befindliche Abbauarm wurde für die Querschnittserweiterung genutzt. Mit seiner Hilfe wurde das ursprüngliche Ziegelmauerwerk des Jähroder bzw. des Mausenmühlen Tunnels durch Meißeln oder Baggern entfernt. Der Baufortschritt betrug bis zu 4 m pro Tag. Hinter dem alten Tunnelgewölbe war das Felsgestein stellenweise so hart, dass größtenteils gesprengt werden musste.

Mittels einer aufgrund der Erfahrungen vom Jähroder und Mausenmühlen Tunnel weiterentwickelten Tunnelvortriebsportal werden zur Zeit (2011/12) ebenfalls auf der Nahestrecke der 406 m lange Frauenberger Tunnel und der 226 m lange Kupferheck Tunnel erneuert und im Profil erweitert (**Bild 1.4**) [1.5].

Auf eine optimierte Sanierungstechnologie zielte auch das europäische Forschungsprojekt TUNCONSTRUCT [1.6] ab. Bei einer Laufzeit von 4 Jahren begannen die Arbeiten im September 2005. Die Koordination hatte die Technische Universität Graz, Institut für Baustatik, übernommen. Insgesamt waren neben der STUVA 40 weitere Forschungsinstitute und Firmen eingebunden. Unter anderem ging es bei diesem 2009 abgeschlossenen Vorhaben um die

Bild 1.4: Weiter optimierte verfahrbare Einhausung der Firma GTA, Hamminkeln, für die Grundsanierung und Profilerweiterung des Tunnels Hollrich auf der Lahnstrecke Wetzlar-Niederlahnstein bei Nassau (Quelle: STUVA)

Verbesserung der Sanierungstechnologien und um die Entwicklung dazu geeigneter Werkstoffe und Reparaturverfahren. Angestrebt war die Definition von Grenz- und Schwellenwerten als Hinweise auf das Erfordernis von Sanierungsmaßnahmen, deren zeitliche Fälligkeit und deren arbeitsmäßigen Umfang. Eine neu zu schaffende Datenbank sollte überdies Auskunft über die mit bestimmten Verfahren und Baustoffen gewonnenen Erfahrungen geben.

Eine Vielzahl der Verkehrstunnel in Europa weist – wie zuvor ausgeführt – inzwischen eine Nutzungsdauer von etwa 150 Jahren und mehr auf. Dieser Sachverhalt lässt erwarten, dass sich im Laufe der kommenden Jahre die Tunnelbauaktivitäten mehr und mehr vom Neubau auf Instandhaltungs- und Instandsetzungsarbeiten verlagern werden. Beide Aspekte, der Tunnelneubau und die zunehmend erforderlichen Aufwendungen für Instandhaltung und Grundsanierung, erfordern Weiterentwicklungen und technologische Verbesserungen. Die nachstehenden Kapitel geben diesbezüglich zahlreiche Hinweise. Sie tragen letztlich dazu bei, die weitreichenden technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Chancen der unterirdischen Verkehrsinfrastruktur für die Schiene und Straße länger und somit besser zu nutzen. Stets muss dabei auch beachtet werden [1.7], dass die heute getroffenen Maßnahmen den nachfolgenden Generationen nicht die Chance zu einem unbeschwerten, in wirtschaftlicher und technischer Hinsicht frei gestaltbaren Handeln verbauen.

Vor allem bei den alten Eisenbahntunneln in Deutschland, Österreich und der Schweiz stehen in beachtlichem Maße Teil- und Vollsanierungen an. Diese Maßnahmen erfordern in der Regel ganz besondere organisatorische und logistische Überlegungen, insbesondere wenn sie bei laufendem Bahnbetrieb durchzuführen sind.

1.2 Arbeitskreis „Tunnelsanierung“

Die zunehmend aktuelle Aufgabe der Sanierung und Instandsetzung alter Verkehrstunnel stellt hohe ingenieurtechnische Anforderungen. Um hier Entwicklungsimpulse und Leitideen zu geben, hat sich unter der Leitung der STUVA ein Arbeitskreis „Tunnelsanierung“ formiert und Anfang 2010 seine Arbeit aufgenommen.

Dem Arbeitskreis gehörten Vertreter der großen Bahnbetreiber in Deutschland, Österreich und der Schweiz, Experten aus der Maschinenbau-, der Bau- und der Bahnindustrie sowie aus dem Forschungs- und Planungsbereich an.

Moderation/Forschung
Prof. Dr.-Ing. Alfred Haack, STUVA e.V., Köln (D)

DB
Dipl.-Ing. Stefan Simon, DB ProjektBau GmbH, Frankfurt/Main (D)
Dipl.-Ing. (FH) Torsten West, DB Netz AG, Frankfurt/Main (D)

ÖBB
Dipl.-Ing. Christian Draschitz, ÖBB-Infrastruktur AG, Bludenz (A)
Dipl.-Ing. Josef Koinig, ÖBB-Infrastruktur AG, Wien (A)
Dipl.-Ing., Dr. mont. Helmut Steiner, ÖBB-Infrastruktur AG, Graz (A)

SBB
Dipl.-Ing. (ETH) Jan Dirk Chabot, SBB Infrastruktur, Bern (CH)
Dipl.-Ing. (FH) Gabriele Pagliari, SBB Infrastruktur, Olten (CH)

Maschinen-Hersteller
Dipl.-Ing. (FH) Volker Breuning, Herrenknecht AG, Schwanau (D)
Dipl.-Ing. (FH) Thomas Edelmann, Herrenknecht AG, Schwanau (D)
Dipl.-Ing. Helmut Heisterkamp, GTA, Hamminkeln (D)
Dipl.-Ing. Josef Heßling, GTA, Hamminkeln (D)
Dipl.-Ing. Günther Saelhoff, GTA, Hamminkeln (D)

Bauausführung
Dipl.-Ing. Klaus W. Preißinger, kpconsult, Hohenthann (D)

Planer/Gutachter
Dipl. Bauing. (ETH) Rolf Gabriel, IUB Ingenieur-Unternehmung AG, Bern (CH)
Dipl.-Ing. Michael Schlebusch, gbm, Limburg (D)

Fahrleitungstechnik
Dipl. El. Ing. (ETH) Urs Wili, Furrer + Frey AG, Bern (CH)

1.3 Hintergrund und Ziele des Arbeitskreises

Ausgehend von der in Kapitel 1.1 dargestellten Vorgeschichte führten letztendlich folgende Überlegungen und Hintergründe zur Bildung des Arbeitskreises „Tunnelsanierung“:

- Allein in Deutschland steht nach jüngsten statistischen Erhebungen der STUVA [1.2] die bereits erwähnte Grundsanierung bzw. Profilerweiterung von gut 20 km Eisenbahntunneln an.
- Bei der Durchführung der ersten Projekte zur Profilaufweitung alter Bahntunnel nach der TiT Methode (Mausenmühlen Tunnel und Jähroder Tunnel im Zuge der Nahe-Bahnlinie Bingen – Saarbrücken) unter rollendem Bahnverkehr wurden weitere Optimierungsmöglichkeiten erkannt und davon ausgehend weiter verfolgt.

- Die dabei gewonnenen Erfahrungen sollten als Basis weiterer Verbesserungen analysiert und näher untersucht werden, um einerseits einen hohen Mechanisierungsgrad bei den Sanierungsarbeiten zu schaffen und andererseits Planer und Industrie auf Art und Umfang des erwarteten Tunnelsanierungsbedarfs vorzubereiten.
- Um dies zu gewährleisten beteiligten sich die bei den 2 zuvor genannten Projekten bei Bau und Planung involvierten Firmen an den Beratungen und technischen Diskussionen.
- Aus verschiedenen Anfragen und intensiven verfahrenstechnischen Erwägungen wurde schließlich deutlich, dass die bei beiden Projekten zum Einsatz gelangte TiT Methodik auch außerhalb Deutschlands Anwendung finden könnte.
- Aus diesem Grund sind neben der DB auch die entsprechenden Bahngesellschaften aus Österreich und der Schweiz mit einem sicherlich ebenfalls recht hohen Bedarf an Tunnelsanierungen in die Arbeit des Arbeitskreises einbezogen worden.
- In der Schweiz wurden bei den SBB die Tunnelsanierungen der nächsten 10 Jahre in einem Tunnelkonzept (TK II) zusammengelegt und vom Verwaltungsrat SBB genehmigt. Dies vereinfacht die Bewilligungen sowie Finanzierung der Projekte und begünstigt das Clustering mehrerer Tunnelobjekte entlang der gleichen Strecke. Insgesamt sind 86 km zur Sanierung vorgesehen, dies im Umfang von vereinzelten Maßnahmen am Gewölbe bis zu tiefgreifender Erneuerung der Struktur und bis zum Neubau eines Tunnels mit Optimierung der Linienführung. Bei den Privatbahnen stehen ebenfalls Instandsetzungen bzw. sicherheitstechnische Nachrüstungen an. Als Beispiel sei der vorgesehene Neubau des Albulatunnels der Rhätischen Bahn RhB erwähnt, worin der bestehende Tunnel noch als Fluchtstollen genutzt werden kann
- Die letztlich im Arbeitskreis erarbeiteten und zusammengestellten Erfahrungen und Empfehlungen dürften später ohne Zweifel auch in anderen, zurzeit nicht beteiligten Ländern wie z.B. in Frankreich, Großbritannien, Italien und Spanien sowie durch weitere Tunnelbetreiber nutzbar sein.

Eines der wesentlichen Ziele des Arbeitskreises bestand darin, in nicht viel mehr als 1 Jahr ein Papier zu verfassen, welches sich zunächst auf den Bahnbereich konzentriert und als Handbuch dienen kann. Es richtet sich in erster Linie an folgende Personengruppen:

- Bauherren zur Kostenoptimierung und zugleich zur Erhöhung der Sicherheit bei der Ausführung der Sanierungsarbeiten.
- Bauherren/Planer zur gemeinsamen Definition bzw. Vereinbarung der künftigen Nutzung sowie der Projektbasis des jeweiligen Tunnelbauwerks.
- Entwurfsersteller/Planungsbüros als Handlungshilfe bei Ausschreibung und Spezifikation der Arbeiten zur Tunnelsanierung und –erneuerung.
- Maschinenhersteller als eine Art Pflichtenheft.

Weitere Ziele umfassen nachstehende Aspekte:

- Definition der Rahmenbedingungen bei Tunnelsanierungen bzw. Tunnelerneuerungen
  a) für das Arbeiten unter rollendem, u.U. eingeschränktem Bahnbetrieb mit oder ohne Oberleitung zur Energieversorgung
  b) für das Arbeiten ohne Bahnbetrieb, d.h. bei temporärer oder durchlaufender Vollsperrung mit oder ohne Erfordernis einer Profilaufweitung mit ggf. notwendigem Sohlgewölbe
- Beschreibung unterschiedlicher, häufig wiederkehrender Problemstellungen wie
  a) Anforderungen und Rahmenbedingungen bei der Tunnelsanierung bzw. -erneuerung je nach Art des Ausbaumaterials im Bestand (Naturstein, Ziegelstein, freistehendes Gebirge, Beton)
  b) Sohlgewölbe vorhanden, aber erneuerungsbedürftig
  c) Sohlgewölbe nicht vorhanden, aber erforderlich
  d) Anzahl der Gleise im Tunnel bei bisherigem Normalbetrieb und Mindesterfordernis bei Sanierung unter rollendem Bahnbetrieb
  e) Art und Standsicherheit des umgebenden Gebirges
  f) Bauwerkszustand
  g) Tunnellänge
  h) Sicherheitsanforderungen während der Baumaßnahme.
- Prüfung der grundsätzlichen Möglichkeiten zur Entwicklung eines einheitlichen Verfahrens für alle beteiligten Länder
- Ausarbeitung von Optimierungshilfen für zukünftige Projekte
- Aufzeigen von Lösungen für die Projektumsetzung
  a) Auf Seiten des Bauherrn in Richtung Kostenreduzierung durch Standardisierung und Industrialisierung
  b) Auf Seiten des Entwurfsherstellers und Planers bezüglich einheitlicher Vorgaben für die Ausschreibung von technisch realisierbaren Verfahrensweisen
  c) Auf Seiten der ausführenden Bauunternehmungen als Grundlage für eine sichere Kalkulationsbasis, einen optimierten Bauablauf und eine Kostenoptimierung
  d) Auf Seiten der Zulieferer und Maschinenhersteller als Anreiz zu Innovationen für projektspezifische Lösungen, als Hilfe zu einer realistischen Risikoabschätzung und Grundlage für eine sichere Umsetzung von Evolutionsschritten.
- Definition von zukünftigen technischen Erfordernissen bei längeren und geotechnisch unterschiedlichen Tunnelprojekten.
- Erstellung einer Übersicht zu beachtender Regelungen in den 3 involvierten Ländern.

In den folgenden Kapiteln werden die vorstehend beschriebenen Ziele im Einzelnen abgearbeitet. Leser und Nutzer der im Ergebnis zusammengestellten Erfahrungen, Anregungen und Empfehlungen sind ausdrücklich eingeladen, aufgrund eigener Erfahrungen abweichende Erkenntnisse und Auffassungen mitzuteilen, auf etwaige festgestellte Fehler hinzuweisen und generell ihre Meinung zu der hiermit vorgelegten Ausarbeitung mitzuteilen. Dies ermöglicht eine Optimierung des Papiers bei einer künftigen Überarbeitung sowie bei der sinngemäßen Übertragung auf andere Länder bzw. auch auf den Bereich von Straßentunneln.

2 Rahmenbedingungen aus Sicht des Betreibers

C. Draschitz, G. Pagliari, S. Simon, H. Steiner, U. Wili

2.1 Ausgangslage ... 12
2.2 Vorschriften ... 12
2.3 Betriebliche Rahmenbedingungen ... 13
2.4 Technische Rahmenbedingungen ... 13
2.4.1 Allgemeines ... 13
2.4.2 Geschichtliche Entwicklungen des Lichtraumprofils ... 14
2.4.3 Lichtraumprofil – Allgemeine Begriffe ... 15
2.4.4 Berechnung des Lichtraumes ... 16
2.4.5 Internationale Lichtraum-Begrenzungslinien ... 17
2.4.6 Nationale Lichtraum-Begrenzungslinien ... 18
2.4.7 Lichtraumprofile der Deutschen Bahn AG (DB) (Stand 2010) ... 18
2.4.8 Lichtraumprofile der Österreichischen Bundesbahnen AG (ÖBB) (Stand 2010) ... 21
2.4.9 Lichtraumprofile der Schweizerischen Bundesbahnen AG (SBB) (Stand 2010) ... 22
2.4.10 Grafische und tabellarische Gegenüberstellung der Lichtraumprofile ... 24
2.5 Fazit ... 29

2.1 Ausgangslage

Für die Erarbeitung von neuen Sanierungsmethoden bei Bahntunneln werden im Folgenden die Rahmenbedingungen der drei Bahnbetreiber DB, ÖBB und SBB miteinander verglichen. In der vorliegenden Betrachtung werden überwiegend ältere Tunnelobjekte berücksichtigt, die entweder unbekleidet/unausgekleidet sind oder ein gemauertes Gewölbe haben. Die neueren Tunnelobjekte mit Stahlbeton-Tübbingauskleidungen oder Ortbetongewölbe weisen keine vergleichbaren Mängel auf und sind deshalb nicht Bestandteil dieser Betrachtung.

Der Vergleich der unbekleideten bzw. gemauerten Tunnelobjekte der verschiedenen Bahnunternehmungen zeigt, dass die Mängel bei allen drei grundsätzlich denselben Charakter aufweisen. Dabei handelt es sich insbesondere um folgende Mängel:

- Profilprobleme im Wagen- und Fahrleitungsbereich
- Anzeichen für zeitnah bevorstehende Stabilitätsprobleme
- Schadhaftes Mauerwerk
- Nassstellen im Gewölbebereich
- Zersetzung des Betons infolge aggressiver Bergwasservorkommen.

Der direkte Vergleich der verschiedenen Bahnen zeigt, dass die Objekte der DB gegenüber denen der ÖBB bzw. der SBB für Sanierungsarbeiten wesentliche Vorteile aufweisen:

- Eine große Anzahl von Tunnelbauwerken liegt auf Strecken mit geringer bis mittlerer Auslastung, wodurch mehr Möglichkeiten für baubetriebliche Einschränkungen existieren.
- Etwa 40 % der Tunnelbauwerke liegen auf nicht elektrifizierten Strecken.
- Bei der Mehrheit der Objekte handelt es sich um kurze Tunnel mit geringer Überdeckung.

2.2 Vorschriften

In allen drei Ländern gibt es Aufsichtsbehörden, welche die Umsetzung der gesetzlichen Vorschriften und Normen überwachen. Die Tunnel werden erneuert/saniert, um die Betriebssicherheit und die Gebrauchstauglichkeit zu gewährleisten.

Der wesentliche Unterschied der deutschen Aufsichtsbehörde zu den Aufsichtsbehörden in Österreich und der Schweiz besteht darin, dass sie in Deutschland bei umfänglichen Erneuerungen weitestgehend auf die Anwendung der geltenden Normen und Regelwerke auch für alte Objekte besteht. In Österreich und der Schweiz hingegen werden bei alten Objekten, in denen eine Teilinstandsetzung erforderlich ist, auch Ausnahmebewilligungen für die Beibehaltung der bestehenden Situation erteilt. Eine Ausnahmebewilligung bedingt jedoch, dass im betroffenen Tunnel keine wesentliche Nutzungsänderung vorgesehen ist. Demgegenüber ergibt sich in Deutschland mit der zwingenden Einhaltung der jeweils gültigen Norm in der Regel ein wesentlich höherer Kostenaufwand für einen Tunnelneubau bzw. für eine Tunnelerneuerung.

Die erforderlichen Genehmigungsverfahren werden in Kapitel 4.2 noch etwas näher erläutert.

2.3 Betriebliche Rahmenbedingungen

Je nach Streckenauslastung können Betriebsintervalle von wenigen Stunden/Nacht bis mehreren Wochen gewährt werden. Auf stark befahrenen Strecken müssen die erforderlichen Gleissperrungen frühzeitig angekündigt werden. Die Einhaltung des Fahrplans ist teilweise nur mit provisorischen Bauweichen möglich. Die entsprechenden Abklärungen müssen in der Regel mindestens zwei Jahre vor Baubeginn erfolgen.

Langsamfahrten auf dem Nachbargleis sind in den meisten Fällen möglich. Bauprovisorien wie z. B. Schutztunnel sind für den internationalen Bahnverkehr auf eine Geschwindigkeit von mindestens 100 km/h zu dimensionieren.

Zum Vergleich sind in **Tabelle 2.1** verschiedene maßgebliche Richtgrößen der drei Bahnbetriebe DB, ÖBB und SBB zusammengestellt. Die Richtgrößen sind streckenabhängig und unverbindlich.

2.4 Technische Rahmenbedingungen

2.4.1 Allgemeines

In allen drei Ländern werden nur Lösungen zugelassen, welche ein sehr geringes Risiko für den Bahnbetrieb aufweisen. Schutztunnel sind laufend zu überwachen. Einragungen in das Lichtraumprofil sind nicht zulässig bzw. nach Beantragung und Freigabe nur in geringem Umfang möglich. Der zulässige Gleisabstand ist geschwindigkeitsabhängig. Sprengungen im Tunnel sind – soweit möglich – zu vermeiden und können nur unter – zumindest zeitweiliger – Totalsperrung erfolgen.

Zum Vergleich der verschiedenen Bahnbetriebe DB, ÖBB und SBB folgen in **Tabelle 2.2** noch weitere Richtgrößen.

Bei Sanierungsmaßnahmen unter Betrieb ist in der Regel sicherzustellen, dass die vor Baubeginn zugelassenen Fahrzeuge auch während der Bauphase ungehindert verkehren können. Gegebenenfalls sind dazu Überhöhung, Gleislage und Fahrgeschwindigkeit anzupassen, so dass temporäre Einschränkungen des Lichtraumprofils zeitweilige Einbauten oder den Einsatz von Tunnelvortriebsportalen überhaupt erst ermöglichen.

Damit außerhalb des Schutztunnels gearbeitet werden kann, ist ein größeres Tunnelprofil auszubrechen. Unter Umständen kann es größer sein als für das künftig angestrebte Lichtraumprofil nötig. In diesem Fall bietet das Aufrechterhalten des weitestgehend ungestörten Betriebs wirtschaftliche Vorteile.

Voraussetzung für die Auswahl eines geeigneten Sanierungs- bzw. Erneuerungsverfahrens zur Ertüchtigung bzw. zum Ersatz eines älteren Tunnelbauwerks ist die Kenntnis der betrieblich-technischen Rahmenbedingungen, die sich aus der geplanten künftigen Nutzung des Bauwerks ergeben. Neben den wichtigsten Trassierungsmerkmalen, der u.U. geänderten Entwurfsgeschwindigkeit, der prognostizierten Verkehrsdichte und daraus abgeleitet der erforderlichen Leistungsfähigkeit des sanierten Tunnelbauwerks bestimmen vor allem die jeweils gültigen Lichtraumprofile die technischen Rahmenbedingungen. Dies gilt für den Schienen- und den Straßenverkehr gleichermaßen. Erst die aus den genannten Parametern resultierenden Planungseckpunkte lassen erkennen, ob eine Profilerweiterung z. B. im Schienenbereich aufgrund einer Umstellung vom Dieselbetrieb auf elektrischen Fahrbetrieb oder auch nur einen Mischbetrieb, aufgrund statischer Erwägungen wegen der Erfordernis eines zu ergänzenden Sohlgewölbes oder aufgrund einer deutlich erhöhten Entwurfsgeschwindigkeit vonnöten ist. Erst nach Festlegung dieser Planungsgrundlagen können Überlegungen zur bestmöglichen Sanierungsmethodik, zur gerätetechnischen und maschinellen Ausstattung der Baustelle sowie zur zeitlichen und logistischen Abwicklung der Maßnahme angestellt werden.

Vor dem aufgezeigten Hintergrund sind im nachfolgenden Kapitel 2.4.4 zunächst die aus europäischer Sicht maßgeblichen Lichtraumprofile [2.5] beschrieben und anschließend in den Kapiteln 2.4.7 bis 2.4.9 Einzelheiten bezüglich der Standardlichtraumprofile bei den drei Bahngesellschaften DB, ÖBB und SBB zusammengestellt. Es folgt dann im Kapitel 2.4.10 eine Gegenüberstellung der maßgeblichen Lichtraumprofile in Form eines grafisch dargestellten, gewissermaßen umhüllenden Lichtraumprofils differenziert nach den drei Bahngesellschaften und tabellarisch mit Angabe der wichtigsten

	DB	ÖBB	SBB
Betrieb	Sämtliche Angaben sind streckenabhängig zu sehen		
Verkehrszahlen [Züge/Tag]	bis 300	117 alle Netze, Zahl 2008 / 151 Prognose 2025	bis 400 durchschnittlich 200
Geschwindigkeiten [km/h]	bis 160 (ohne HGV)	50 bis 160	80 bis 200
Langsamfahrten [km/h]	60 ggf. bis 80	40 bis 100	80
Anzahl Gleise (mehrheitlich)	2	2	2
Nachtintervalle mit Einspur [h]	streckenabhängig, von 1 bis 6 pro Tag	4 bis 6	4 bis 8
Totalsperrung [h]	0 bis 6	bei Umleitung: 3 Nächte/Monat; sonst 3 Tage/Jahr	2 bis 6
durchgehender Einspurintervall	soweit betrieblich möglich, muss dies mit ca. 3 Jahren Vorlauf angemeldet werden	nur in Ausnahmefällen (z. B. Einbau feste Fahrbahn)	x Monate nach frühzeitiger Ankündigung
Provisorische Spurwechsel für Bauzustand	je nach Verkehrslage erforderlich	Überleitstellen vorhanden	je nach Verkehrslage erforderlich

Tabelle 2.1: Maßgebliche Richtgrößen bei der DB, ÖBB und SBB

		DB	ÖBB	SBB
Technische Ausrüstung				
Fahrleitung (Anteil am Gesamtnetz)		Die Tunnel der Regionalnetze sind normalerweise nicht mit Oberleitung ausgerüstet. Anzahl der elektrifizierten Tunnel ca. 60 %	100 %	100 %
Gleisabstand in Tunneln				
bestehende Tunnel mit Ausnahmebewilligung [m]		–	–	> 3,50m
bestehende Tunnel [m]		3,50 (i.d.R. Alttunnel)	3,49 bis 3,70	3,60
soll bis 160 km/h [m]		4,00	4,20 (künftig 4,00)	3,80
soll bis 250 km/h [m]		Gleisabstand bis 230 km/h ist 4,00 m Alttunnel sind nicht HGV tauglich, bzw. HGV nur auf Neubaustrecken; siehe Einschränkung!	4,70	4,20
Tunnelgeometrie				
Lichtraumprofile		Regellichtraum gemäß EBO	Regellichtraum gem. DV B51, ZOV7; für Neubauten ERL gem. HL-RL 2002; Bezugslinie für Schienenfahrzeuge gem. Eisenbahnarbeitnehmerlnnenschutzverordnung	Regelprofil EBV2 und 3 Sonderwerte für bestehende Tunnel
Typische Tunnelprofile		Maulquerschnitt ohne Sohle	Hufeisenprofil	Hufeisenprofil
Tunnelstatistik (Anzahl und Gesamtlänge)				
bergmännische Tunnel vor 1980 [Stck/km]		382/149,2	190/80,4	275/252
Tunnelbauwerke mit Natursteinmauerwerk oder unverkleidete [Stck/km]	1-spurig	110/32,1	143/45,1	137/108
	2-spurig	272/117,1	47/35,3	80/57
Tunnellängen [m]		bis 4200 (bis 1980 ohne HGV)	Zwischen 14 und 10.650	bis 19.981
Inbetriebnahme [Jahr]		ab 1841 bis 1980	1841 bis 1909	ab 1853
Durchschnitsalter [Jahre]		> 100	142	100
Anzahl Gleise	vorwiegend	2, bereichweise auch 1	2	2
Ausbau	vorwiegend	Natursteinmauerwerk/ Ziegelmauerwerk	100 % Natursteinmauerwerk	100 % Natursteinmauerwerk ca. 1940 bis ca. 1955: Paramente Beton, nur First Betonsteine

Tabelle 2.2: Weitere Richtgrößen bei der DB, ÖBB und SBB zu Tabelle 2.1

betrieblichen und geometrischen Kenndaten. Die tabellarische Übersicht enthält auch statistische Angaben zum jeweiligen Bestand an älteren Tunneln in den drei betrachteten Ländern.

Im Kapitel 2.5 sind die technischen und betrieblichen Rahmenbedingungen aus Sicht des Bahnbetreibers zusammengefasst.

2.4.2 Geschichtliche Entwicklungen des Lichtraumprofils

Der Schweizerische Bundesrat lud im Oktober 1882 die Regierungen von Deutschland, Österreich-Ungarn, Frankreich und Italien ein, Einverständnis über die Festsetzungen von Normen für die Erleichterungen des Übergangs von Rollmaterial auf den Netzen der mitteleuropäischen Eisenbahnen zu erzielen. Am 1. April 1887 traten dann die Bestimmungen der technischen Einheit (TE) im Eisenbahnwesen in Kraft. Dieser Staatsvertrag zwischen den vorgenannten Staaten, dem später weitere Länder beitraten, spezifizierte erstmals einheitliche technische Mindestvoraussetzungen für den internationalen, grenzüberschreitenden Eisenbahnverkehr (z. B. Spurweite, Maße der Kupplungen, des Radstandes, usw.). Nach weiterer jahrzehntelanger Arbeit wurde dann im Jahr 1913 die sogenannte Begrenzungslinie für Wagen von Seiten der TE eingeführt. 1922 wurde der internationale Eisenbahnverband UIC (Union Internationale des Chemins de Fer) gegründet, dem heutzutage ca. 160 Bahnen angehören. Nicht alle diese Bahnen stammen aus Ländern, die auch der TE angehören. Die Regelungen der TE wurden mehrfach überarbeitet und z. B. in Deutschland in die Eisenbahn-Bau und Betriebsordnung (EBO) übernommen. In der Schweiz wurden sie durch die vom schweizerischen Bundesrat am 16. Dezember 1938 beschlossene „Verordnung betreffend die technische Einheit im Eisenbahnwesen - 742.141.3", mit Wirkung vom 1. Januar 1939 eingeführt. Das Ergebnis ist in **Bild 2.1** wiedergeben.

Durch die allgemeine rasche Entwicklung im Eisenbahnwesen von Dampf auf Diesel und schlussendlich auf elektrische Zugförderung kam es zu einem schnellen Anstieg des grenzüberschreitenden Verkehrs und damit einhergehend auch zu einer Verschiebung der Punkte, auf die spezielles Augenmerk zu legen war.

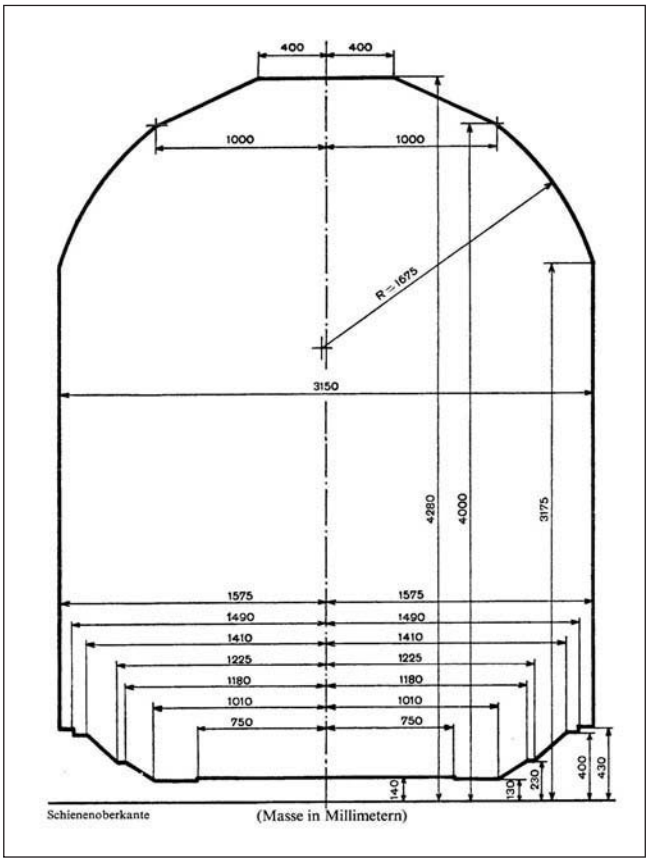


Bild 2.1: Verordnung betreffend die Technische Einheit im Eisenbahnwesen – 742.141.3 – Anlage A/Begrenzungslinie der Transitwagen (nach Art. III § 6 Ziff. 2) [2.4]

Die UIC wurde im Jahr 1953 beauftragt, eine Begrenzungslinie auszuarbeiten, die für den unteren Teil von Dieseltriebfahrzeugen Geltung hat. Diese Aufgabe wurde an einen Unterausschuss „Gabarit" übertragen. In dieser Hinsicht erschien 1956 ein erstes UIC Merkblatt 505 – „Vorläufige Begrenzungslinie für den Bau von Triebfahrzeugen (unterer Teil)". Folgende Randbedingungen haben sich über die Zeit stetig verändert:

- die Federungen wurden weicher,
- die Fahrgeschwindigkeiten wurden höher,
- die Anzahl der auf Nachbargleisen beförderten Sendungen mit außergewöhnlichen Abmessungen hat zugenommen.

Infolge dessen wurden vermehrt Berührungen zwischen Fahrzeugen und festen Anlagen festgestellt. Es ergab sich schließlich die Notwendigkeit nicht nur für den unteren Bereich, sondern auch für den oberen Bereich der Triebfahrzeuge Begrenzungslinien zu ermitteln. Diese berücksichtigen auch kinematische Effekte. In weiterer Folge wurden diese Grundsätze auf Reisezug- und Güterwagen erweitert. Auch für den Baudienst wurden Regeln erarbeitet, die sich auf die Erstellungs- und Erhaltungsmaße von festen Anlagen und der Gleiszwischenräume bezogen. Die UIC Merkblätter 505-1 bis 505-5 [2.6 bis 2.10] stellen den derzeit aktuellen Stand dar.

Im Zuge der laufenden Europäischen Standardisierung wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen" die Europäische Normenreihe EN 15273 „Bahnanwendungen – Begrenzungslinien" verabschiedet. An diesen wird zur Zeit noch weiter gearbeitet. Sie bestehen aus den folgenden drei Teilen [2.3 bis 2.5]:

- Teil 1 dieser Normreihe behandelt allgemeine Themen, gemeinsame auf Infrastruktur und Fahrzeuge wirkende Größen, die Bezugslinien und ihre zugehörigen Rechenregeln.
- Im Teil 2 sind Vorschriften für die Berechnung der Fahrzeugbegrenzungen in Abhängigkeit von den Fahrzeugeigenschaften, dem gewünschten Profil und den zugehörigen Rechenverfahren enthalten.
- Teil 3 beinhaltet Berechnungsvorschriften für Infrastrukturbegrenzungslinien, die für den Betrieb von Eisenbahnfahrzeugen bestimmter Profile erforderlich sind, einschließlich der Berücksichtigung von Zwangspunkten.

Diese Dokumente sollen bestehende nationale Regelwerke in diesem Bereich ersetzen und einen gemeinsamen europäischen Standard festlegen. Der jeweilige nationale Anhang enthält Warnhinweise zur Anwendung der Norm (z. B. DIN EN 15273-3) sowie Korrekturangaben zum Norminhalt wie auch hinsichtlich der nationalen Abweichungen. Diese beruhen auf Vorschriften, deren Veränderungen zum gegenwärtigen Zeitpunkt außerhalb der Kompetenz des nationalen CEN/CENELEC-Mitgliedes liegen.

2.4.3 Lichtraumprofil – Allgemeine Begriffe

Ein Lichtraumprofil regelt zum einen den Raum, der freizuhalten und aufrecht zu erhalten ist, um den Verkehr von Schienenfahrzeugen zu ermöglichen. Es definiert zum anderen Rechenregeln und Prüfbedingungen für die Begrenzungslinien von Fahrzeugen, die in einem oder mehreren Streckennetzen ohne Risiko von Berührungen eingesetzt werden sollen. Ein Lichtraumprofil stellt eine eindeutige und nicht zu trennende Vereinbarung zwischen dem Infrastrukturbetreiber und dem Fahrzeugbauer dar. In der Vereinbarung ist festgelegt, wie sich die diversen möglichen Verschiebungen des Fahrzeuges im Gleis verteilen und wie sie berücksichtigt werden. Folgende diesbezügliche Zuständigkeiten sind von Seiten der Infrastruktur festzulegen:

- die Freihaltung des Lichtraums,
- die Instandhaltung und
- die Überwachung der Infrastrukturmaße.

Von Seiten des Fahrzeugbaus sind zu beachten:

- die Konformität der eingesetzten Fahrzeuge mit dem entsprechenden Lichtraum und
- der Erhalt der Konformität des Lichtraums über die Zeit.

Allgemeine Begriffe entsprechend EN 15273

- Die **Absolute Grenzlinie** für feste Anlagen bestimmt den Raum, der nie überschritten werden darf, und stellt die Grenze für den normalen Verkehr dar. Er dient zur Überprüfung der ungehinderten Vorbeifahrt an festen Anlagen. Keinerlei Objekt darf zu keinem Zeitpunkt in die Absolute Grenzlinie hineinragen.

- Der **Mindestlichtraum** – auch als **Bautechnische Grenzlinie** bezeichnet –bestimmt den Raum, der unter Berücksichtigung von Reserven für die Instandhaltung nicht überschritten werden darf. Er wird für die Festlegung der Grenzlage baulicher Anlagen verwendet. In diesen Lichtraum dürfen keine Anlagen hineinragen, wenn im Anschluss an normale Instandhaltungsmaßnahmen die ungehinderte Durchfahrt überprüft wird.
- Der **(Nenn-)Lichtraum** bestimmt den Raum, der frei von Objekten aller Art zu halten ist, um den Zugverkehr und die Oberbauinstandhaltung unter Berücksichtigung angemessener Zuschläge zu ermöglichen. Dieser Raum kann Reserven für Sendungen mit Lademaßüberschreitung oder sonstige Bedingungen beinhalten.

Bei der Überprüfung und Aufrechterhaltung des Lichtraums können die Instandhaltungsverantwortlichen auf mehrere Lichtraumarten zurückgreifen:

- Der **Regellichtraum** erlaubt eine schnelle und unkomplizierte Untersuchung mit großer Sicherheitsreserve.
- Der **(Nenn-)Lichtraum** ermöglicht die Anordnung baulicher Anlagen und die Lichtraumüberprüfung mit einer ausreichenden Sicherheitsreserve. Bei dieser Methode sind keine Notmaßnahmen erforderlich, um die Einhaltung des Lichtraums zu gewährleisten.
- Der **Bautechnische Mindestlichtraum** erlaubt es, bauliche Anlagen mit ausreichender Sicherheit anzuordnen, und stellt gleichzeitig sicher, dass der Lichtraum im Rahmen der üblichen Instandhaltungsmaßnahmen keine Veränderung erfährt. Voraussetzung hierfür ist, dass die der Definition dieses Lichtraums zugrunde liegenden Werte eingehalten werden. Im Fall einer Überschreitung dieses Lichtraums ist eine zusätzliche Instandhaltungsmaßnahme vorzusehen. Alternativ ist anhand geeigneter Mittel sicherzustellen, dass die Situation sich nicht noch weiter verschlechtert. Hierzu kann das Gleis fixiert und die Lage des Gleises und/oder der Anlage häufiger überprüft werden.
- Anhand des **Absoluten Mindestlichtraums** kann überprüft werden, ob eine Aufrechterhaltung des Zugbetriebs möglich ist, obwohl der **Bautechnische Mindestlichtraum** nicht eingehalten wird.

2.4.4 Berechnung des Lichtraumes

Allgemeines zur Berechnung des Lichtraumes nach EN 15273-3 [2.5]

- Eine **Begrenzungslinie** wird definiert durch eine Bezugslinie und ihre zugehörigen Rechenregeln.
- Die **Bezugslinie** wird im Allgemeinen für ein ebenes gerades Gleis der Regelspurweite ohne Überhöhung definiert.
- Die **Bezugslinie** berücksichtigt bereits die Hüllkurve der Fahrzeuge sowie bestimmte Verschiebungen.
- Zu dieser **Bezugslinie** kommen im Allgemeinen **Zusatzgrößen** hinzu, die von der Trassierung (Gleisbogenhalbmesser, Überhöhung) und von der Geschwindigkeit (Überhöhungsfehlbetrag) abhängen und auch zufallsbedingte Wirkungen und Instandhaltungsreserven abdecken.

Die Regeln dazu werden als zugehörige (Rechen)-Regeln bezeichnet

- Diese Zusatzgrößen entsprechen den Verschiebungen der Referenzfahrzeuge, die der Definition der jeweiligen Begrenzungslinie zugrunde liegen.
- Die seitlichen Zusatzgrößen und die Zusatzgrößen normal zur Laufebene werden meist getrennt behandelt.

Zusatzgrößen in Querrichtung bzw. Verschiebungen senkrecht zur Laufebene

- **Ausladung** der Fahrzeuge im Gleisbogen aufgrund der Spurerweiterung und der geometrischen Ausragung der Referenzfahrzeuge im Gleisbogen.
- **Quasistatische Neigung** des Wagenkastens nach der Bogenaußenseite unter der Wirkung des Überhöhungsfehlbetrags bzw. nach der Bogeninnenseite unter dem Einfluss der Überhöhung.
- **Fahrzeugschwingungen** aus Gleislageunregelmäßigkeiten [T_{osc}] treten nur im Schotteroberbau auf. Dabei werden Fahrzeugschwingungen ausgedrückt in Form von Überhöhungsfehlern sowie horizontale Verschiebungen bei unvermittelten Krümmungswechseln oder beim Durchfahren von Weichen.
- **Gleisverschiebung in Querrichtung** [T_{voie}] sind Richtungsfehler im Gleis. Diese können vernachlässigt werden, wenn eine Querverschiebung des Gleises ausgeschlossen werden kann.
- **Querhöhenfehler** des Gleises [T_D] bewirken einerseits eine Drehung des Lichtraums in einem Winkel um die Gleisachse und eine Drehung des Fahrzeugs um seinen Wankpol (Federelastizität). Sie treten immer gleichzeitig auf. Diese beiden Effekte treten in Gleisbögen auf der Bogeninnen- und der Bogenaußenseite auf. In geringerem Maße jedoch auch in der Geraden.
- **Unsymmetrie** liegt für jedes Fahrzeug vor, da kein Fahrzeug vollkommen symmetrisch hergestellt werden kann. Je nach Art der Begrenzungslinie wirken sich folgende Ursachen aus: Einstellungstoleranzen der Federung, die eine Neigung des Wagenkastens [T_{susp}] zur Folge haben, und Unsymmetrie der Beladung, die eine Neigung des Wagenkastens um seine Federungen zur Folge hat und eine Rotation des Fahrzeugs [T_{charge}] bewirkt. In beiden Fällen dreht sich der Wagenkasten um den Wankpol [$_{C0}$]. Die Summe der beiden Winkel entspricht dem vereinbarten Referenzwinkel [η_0].
- **Verschiebungen** normal zur Laufebene (vertikal) werden zu einem großen Teil im Fahrzeugbau berücksichtigt. Die hier angeführten vertikalen Verschiebungen sind ausschließlich von der Infrastruktur zu berücksichtigen.
- Der vertikale Einfluss der **Wankbewegung** betrifft den „oberen" Bereich, vor allem beim Containerverkehr. Der untere Bereich wird fahrzeugseitig berücksichtigt.
- Es ergeben sich vertikale Verschiebungen des Wagenkastens bei **Neigungswechseln**.
- **Gleisabsenkungen** z. B. durch Setzung des Schotterbetts oder **Gleisanhebungen** z. B. bei Instandhaltungsmaßnahmen.

Der Infrastrukturverantwortliche kann weitere Zuschläge sowohl vertikal als auch in Querrichtung ansetzen

- Anhebung der Geschwindigkeit,
- Sendungen mit Lademaßüberschreitung,
- Öffnen der Türen und Sicherheit des Zugbegleitpersonals unter bestimmten Betriebsbedingungen (z. B. Bahnsteige, Abstellgleis etc.),
- zukünftige Änderungen der Trassierung oder des Lichtraums,
- Definition eines unveränderlichen, von den Instandhaltungs- und Prüfstellen leicht handhabbaren Lichtraums für Streckenabschnitte, wo ausreichend große Zuschläge vorhanden sind,
- Berücksichtigung der aerodynamischen Effekte und des Seitenwinds.

Gleisabstand

Dieser wird festgelegt, um jederzeit den Regelbetrieb auf benachbarten Gleisen zu ermöglichen und damit es zu keinen Berührungen zwischen den Begrenzungslinien benachbarter Gleise kommt. Ist z. B. die Überhöhung benachbarter Gleise unterschiedlich, nähern sich die beiden Begrenzungslinien in ihren oberen Bereichen.

Einheits-Lichtraum bzw. (Nenn-)Gleisabstand und Regelgleisabstand

Steht dem Infrastrukturverantwortlichen genügend Raum zur Verfügung, kann er einen unveränderlichen Einheits-Lichtraum bzw. Regelgleisabstand definieren, der somit eine konstante Größe hat und alle genannten Zuschläge für den ungünstigsten Fall abdeckt bzw. berücksichtigt.

Ungehinderter Durchgang der Stromabnehmer

Bei elektrifizierten Strecken mit Oberleitung ist ein zusätzlicher Raum freizuhalten für

- die Anordnung des Oberleitungssystems (konstruktionsabhängig) und
- den ungehinderten Durchgang des Stromabnehmers inkl. eines einzuhaltenden elektrischen Schutzabstandes, um jede Gefahr von elektrischen Überschlägen oder eine versehentliche Unterspannungssetzung sonst spannungsloser Teile auszuschließen.

Daraus ergibt sich unter Berücksichtigung diverser Zuschläge sowohl eine mechanische als auch eine elektrische Begrenzungslinie, die beide einzuhalten sind.

Der Fahrdraht

Hierbei handelt es sich um eine besondere Anlage, die an den Lichtraum heranreicht, diesen jedoch nicht verletzt. Der Kontaktpunkt von Fahrdraht und Schleifstück bildet die Grenze zwischen fester Anlage und Fahrzeug (ebenso wie der Radaufstandpunkt im unteren Bereich). Auch bei der Lage des Fahrdrahts sind Faktoren wie Fahrzeuggeschwindigkeit, Wind und ähnliches zu berücksichtigen.

Rechenmethoden

Es gibt verschiedene Rechenmethoden (statische, kinematische und dynamische Methoden), deren Wahl im jeweils betrachteten Fall unbedingt genau anzugeben ist.

Aufgrund der unterschiedlichen Zuschläge, die je nach Entscheidung des Infrastrukturverantwortlichen zu berücksichtigen sind oder auch nicht, kommt eine gemeinsame Methode zur Bestimmung des Lichtraums nicht infrage. Der Lichtraum ist daher anhand einer Machbarkeitsstudie auf der Grundlage der Zielsetzungen und der sich hieraus ergebenden technischen und wirtschaftlichen Folgen festzulegen.

2.4.5 Internationale Lichtraum-Begrenzungslinien

Im Folgenden sind verschiedene Abbildungen aus EN 15273-3 [2.5] übernommen. Unter der Überschrift „Begrenzungslinie" sind jeweils die Bezugslinien abgebildet, die der Berechnung der Begrenzungslinien zugrunde zu legen sind. Kinematische Begrenzungslinien für den oberen Bereich (h > 400 mm) zeigen die **Bilder 2.2 bis 2.5**.

Ein nach der Bezugslinie in Bild 2.2 gebautes Fahrzeug kann außer in Großbritannien auf praktisch allen europäischen Normalspurnetzen eingesetzt werden.

Die Linie G2 (Bild 2.3) unterscheidet sich von der Linie G1 (Bild 2.2) nur durch die anders gewählte Bezugslinie. Sie ist in großen Teilen verschiedener europäischer Netze auch auf Nebenstrecken und in Altbautunneln freigehalten (Deutschland, Österreich, Niederlande, Schweiz u.a.).

Die Begrenzungslinie in Bild 2.4 versucht, mit geringem Aufwand an den festen Anlagen etwas größere Fahrzeuge auf internationalen Korridoren einsetzen zu können.

Die kinematische Begrenzungslinie für den unteren Bereich (h ≤ 400 mm) zeigt **Bild 2.6**.

Die Begrenzungslinie GC (Bild 2.5) dient der rollenden Landstraße für Lkw mit 4,00 m Eckhöhe sowie für Sattelauflieger und Wechsel-

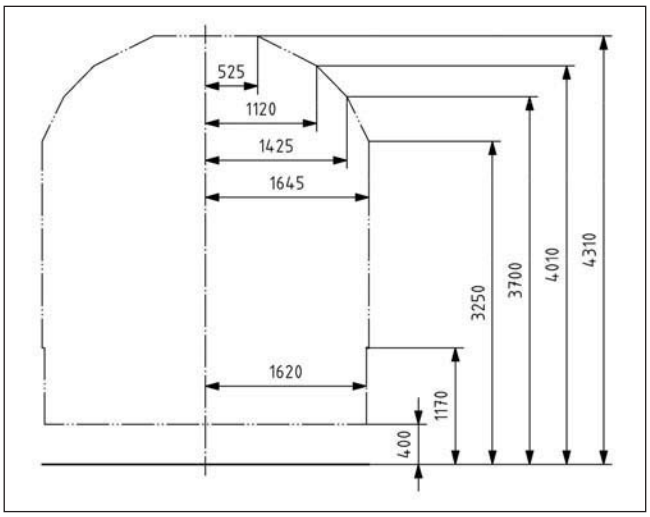


Bild 2.2: Kinematische Bezugslinie der Begrenzungslinie G1 [2.5, dort Bild C.1]; Maße in [mm]

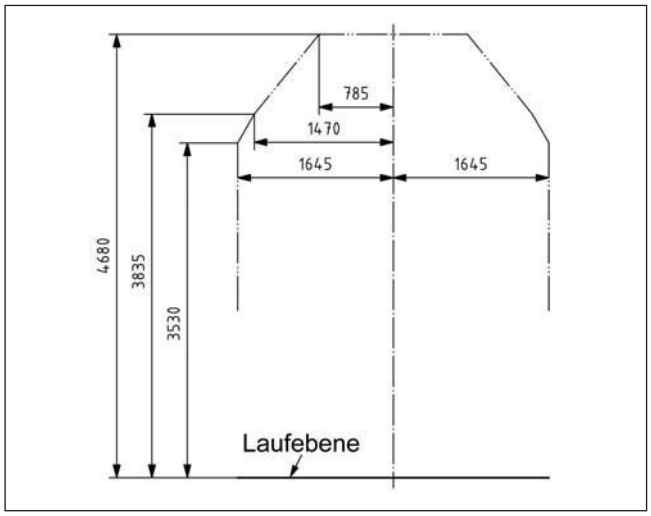


Bild 2.3: Kinematische Bezugslinie der Begrenzungslinie G2 [2.5, dort Bild D.1]; Maße in [mm]

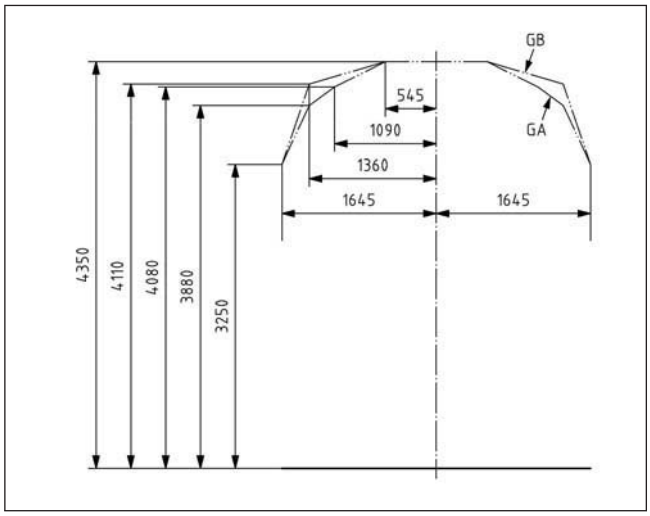


Bild 2.4: Kinematische Bezugslinie der Begrenzungslinien GA und GB [2.5, dort Bild C.2]; Maße in [mm]

behälter. Gleichzeitig garantiert sie für Hochgeschwindigkeitszüge nach Bezugslinien GA oder GB die Freihaltung eines aerodynamisch ausreichenden Luftraums in Tunneln.

Da die Begrenzungslinie GC im Allgemeinen nur in Neubautunneln freigehalten ist, ist sie für die gegenwärtige Aufgabenstellung der Tunnelsanierung noch kaum relevant.

2.4.6 Nationale Lichtraum-Begrenzungslinien

Nachstehend sind einige nationale Lichtraum-Begrenzungslinien nach EN 15273-3 [2.5] aufgelistet:

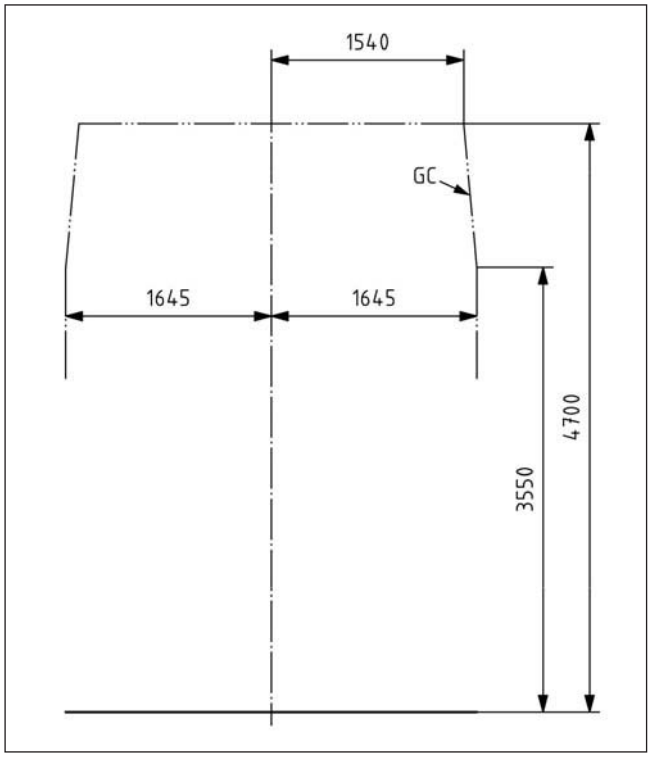


Bild 2.5: Kinematische Bezugslinie der Begrenzungslinie GC [2.5, dort Bild C.3]; Maße in [mm]

- Belgien BE1, BE2 und BE3
- Deutschland DE1, DE2 und DE3
- Finnland FIN1
- Frankreich FR3.3
- Großbritannien UK1, UK1 [D], W6a
- Portugal PTb, BTb+ und PTc
- Schweden SEa und SEc
- Tschechien Z-GCD

2.4.7 Lichtraumprofile der Deutschen Bahn AG (DB) (Stand 2010)

Die deutsche Begrenzungslinie DE1 (**Bild 2.7**) beruht auf einer im mittleren Bereich etwas erweiterten Bezugslinie, die bei Radien unter 500 m wirksam ist und den Verkehr der ICE-Züge mit ihrem breiteren Wagenkasten erlaubt. Diese seitliche Erweiterung konnte mit ganz geringfügigen Anpassungen an den festen Anlagen umgesetzt werden und ist für ICE-Züge auch in Österreich und in der Schweiz akzeptiert.

Im Folgenden sind Auszüge aus der EBO [2.14] wiedergegeben, die nicht die Bezugslinien zeigen, sondern die daraus abgeleiteten Lichtraumprofile!

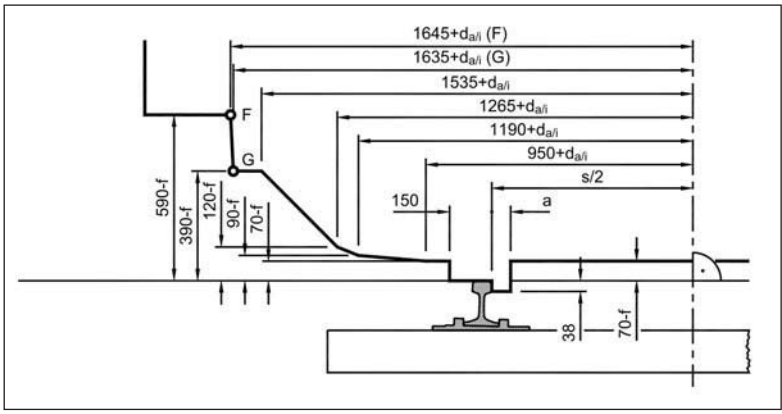


Bild 2.6: Begrenzungslinie für den unteren Bereich (h > 400 mm) GIC2 [2.5]; Maße in [mm]

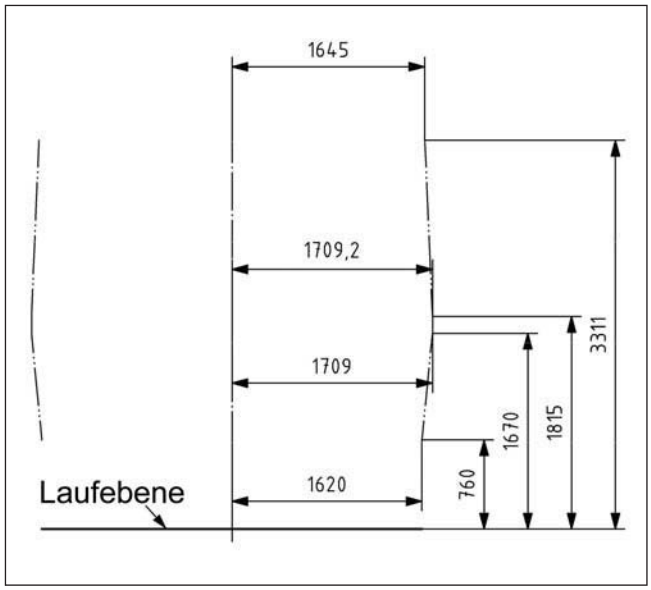


Bild 2.7: Kinematische Bezugslinie der Begrenzungslinie DE1 [2.5, dort Bild D.23]; Maße in [mm]

Aus den Anlagen zur Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) (Anlage 1).

Erläuterungen zu **Bild 2.8**:

Bereich A

Zulässig sind Einragungen von baulichen Anlagen, wenn es der Bahnbetrieb erfordert (z. B. Bahnsteige, Rampen, Rangiereinrichtungen, Signalanlagen) sowie Einragungen bei Bauarbeiten, wenn die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen getroffen sind.

Bereich B

Zulässig sind Einragungen bei Bauarbeiten, wenn die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen getroffen sind.

1) Bei Gleisen, auf denen ausschließlich Stadtschnellbahnfahrzeuge verkehren, dürfen die Maße um 100 mm verringert werden. In Tunneln sowie unmittelbar angrenzenden Einschnittsbereichen ist die Verringerung der halben Breite des Regellichtraums auf 1900 mm zulässig, sofern besondere Fluchtwege vorhanden sind. Die Neigung der Schrägen ändert sich nicht.

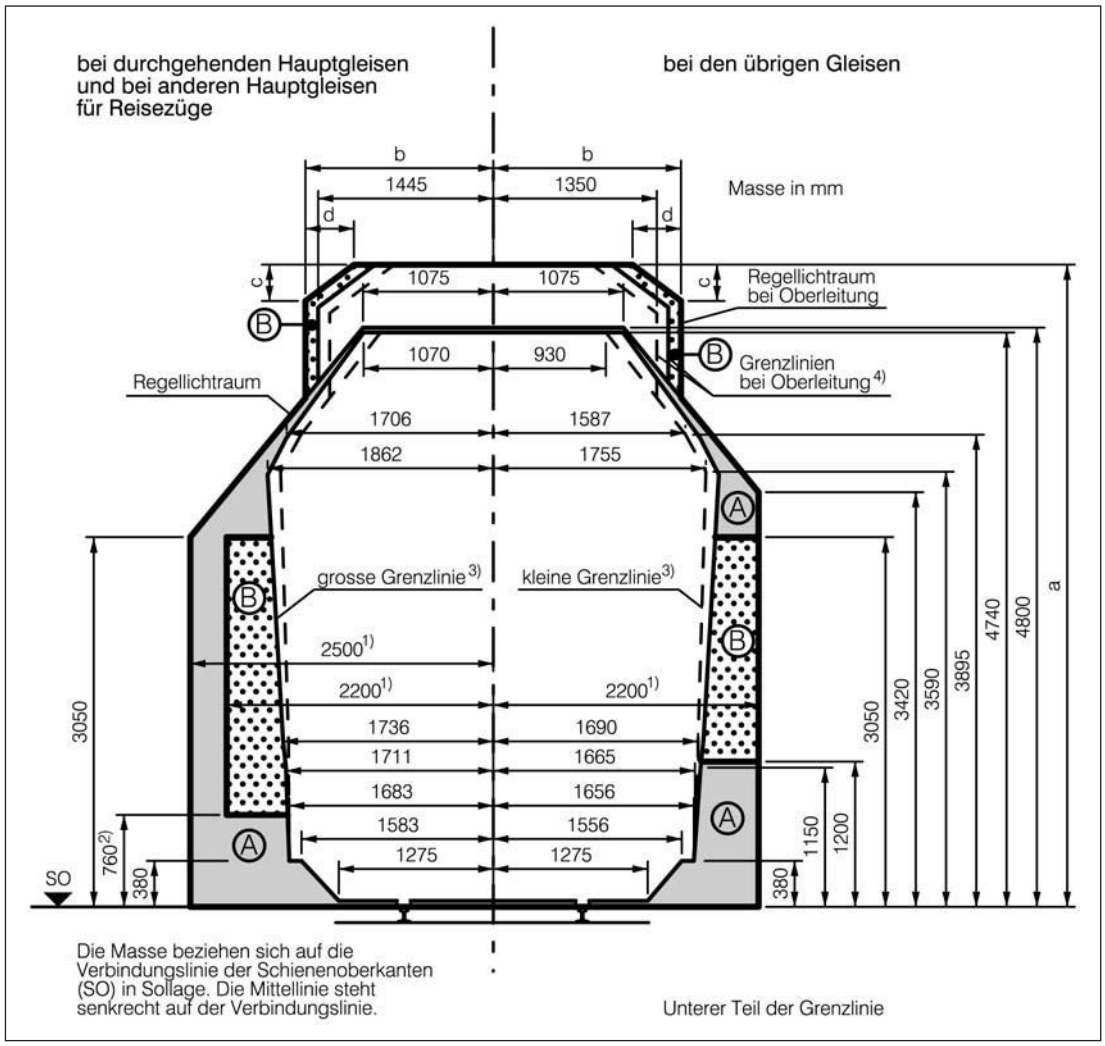


Bild 2.8: Regellichtraum in der Geraden und im Bogen bei Radien von 250 m und mehr [2.14, dort Bild 1]

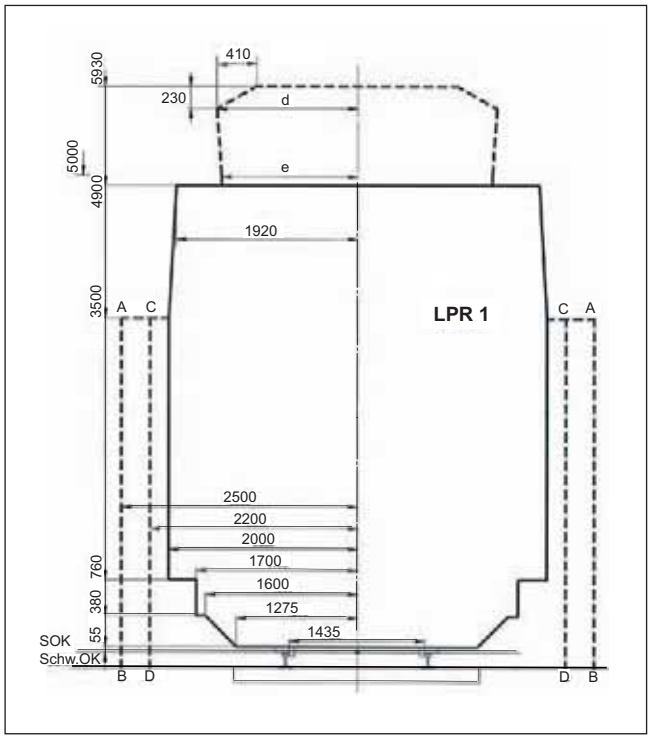


Bild 2.9: Lichtraum LPR 1 inkl. Seitenräume für R ≥ 250 m (ÖBB); Maße in [mm]

2) Bei Gleisen, auf denen überwiegend Stadtschnellbahnfahrzeuge verkehren, 960 mm.
3) Den Grenzlinien liegen die Bezugslinie G2, der Regelwert $s_a = 0{,}4$ des Neigungskoeffizienten eines Fahrzeuges und die bautechnischen Einflussgrößen gemäß **Tabelle 2.3** zugrunde.

		große Grenzlinie	kleine Grenzlinie
Radius (r)	[m]	250	8
Überhöhung (u)	[mm]	160	50
Überhöhungsfehlbetrag (u_f)	[mm]	150	50
Spurweite (l)	[mm]	1.470	1.445
Ausrundungsradius bei Neigungswechsel (r_a)	[m]	2.000	2.000
Hebungsreserve	[mm]	50	50
Schienenabnutzung	[mm]	10	10
Bei Gleisen mit Oberleitung zusätzlich			
Arbeitshöhe der Stromabnehmer	[mm]	5.600	5.600
Mindestabstand von der Oberleitung (15 kV Wechselstrom)	[mm]	150	150

Tabelle 2.3: Bautechnische Einflussgrößen

4) Den Grenzlinien bei Oberleitung liegt der Neigungskoeffizient $s_a = 0{,}225$ eines Triebfahrzeugs und das halbe Breitenmaß eines Stromabnehmers von 975 mm zugrunde.

Im Weiteren gelten für die DB die Richtzeichnungen gemäß DB-Richtlinien 853.9001 [2.15].

Tunnelquerschnitte bei der DB

Neben dem Lichtraumprofil, das den freizuhaltenden Raum für den Zugverkehr und die Oberbauinstandhaltung unter Berücksichtigung angemessener Zuschläge definiert, ist für die Dimen-

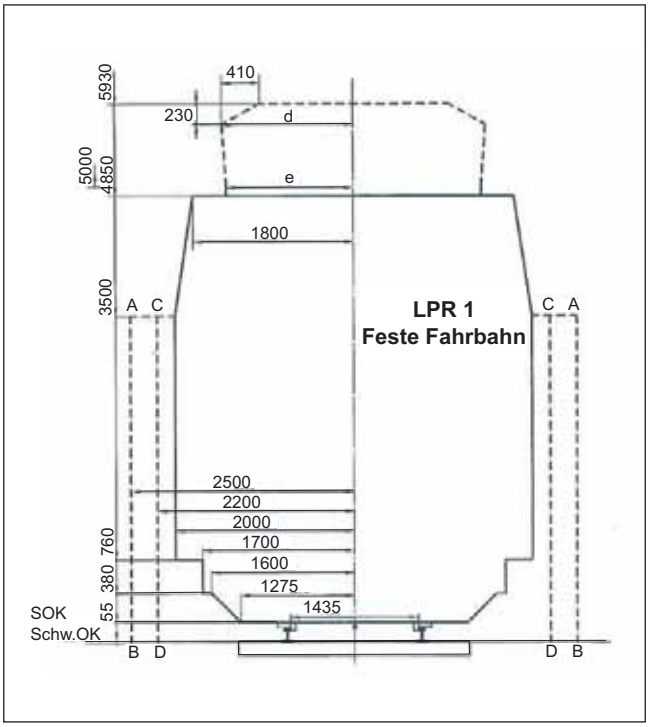


Bild 2.10: Lichtraum LPR 1 inkl. Seitenräume für R ≥ 3.000 m im Tunnel mit Fester Fahrbahn (ÖBB); Maße in [mm]

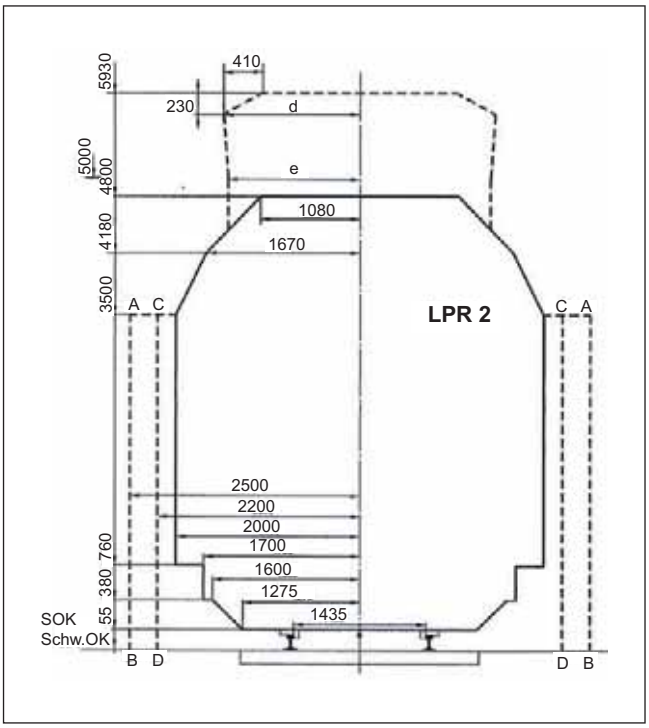


Bild 2.11: Lichtraum LPR 2 mit Seitenräumen für R ≥ 250 m (ÖBB); Maße in [mm]

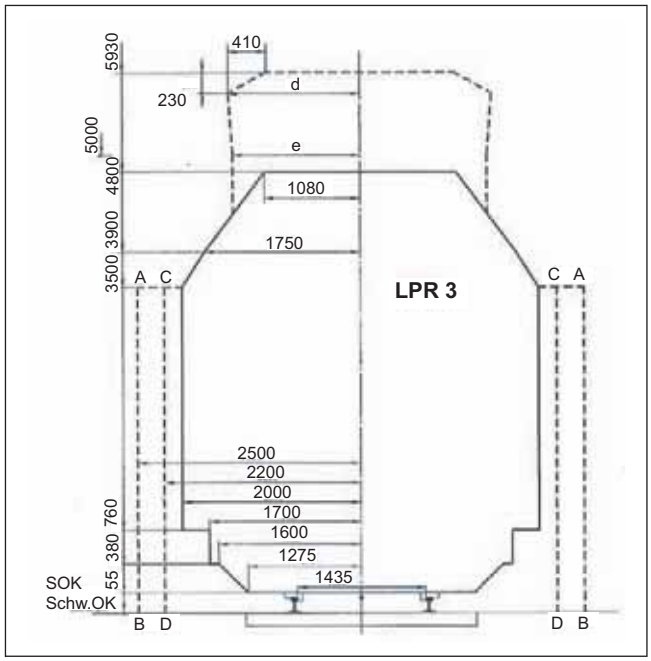


Bild 2.12: Lichtraum LPR 3 mit Seitenräumen für R ≥ 250 m (ÖBB); Maße in [mm]

sionierung von Tunnelbauwerken der Tunnelquerschnitt von entscheidender Bedeutung. Hier werden die aerodynamischen Einflüsse aus dem Zugbetrieb bezogen auf die vorgesehene Fahrgeschwindigkeit sowie die Auswirkungen der unterschiedlichen Längen im Hinblick auf die rettungstechnischen Einrichtungen (z. B. seitliche Fluchtwege bei Tunnellänge > 500 m) in einen Tunnelquerschnitt umgesetzt. Die genauen Vorgaben hierfür sind in der Tunnelbaurichtlinie der DB im Modul 853.1002 ff [2.15] verbindlich festgelegt. Im Modul 853.9001 [2.15] sind darüber hinaus noch einzelne Regelquerschnitte für verschiedene Entwurfsparameter hinterlegt. Werden speziell für Altnetztunnel davon abweichende Querschnitte erforderlich, so sind diese im Einzelfall unternehmensintern zu genehmigen. Als Beispiel ist auf den folgenden Seiten ein Auszug aus der Richtlinie mit einem eingleisigen Regelquerschnitt dargestellt, der für Schotteroberbau bis 160 km/h zugelassen ist.

2.4.8 Lichtraumprofile der Österreichischen Bundesbahnen AG (ÖBB) (Stand 2010)

Bedingt durch die aktuellen internationalen Normierungen (EN 15273-1 bis -3 [2.3 bis 2.5], TSI-INF [2.1], usw.) erfüllen die Profile gemäß „ZOV 7", Zusatzbestimmungen zu den Oberbauvorschriften [2.16] und „ERL" (Erweiterter Regellichtraum) nicht mehr zur Gänze die aktuellen Anforderungen. Aus diesem Grund kommen auf dem Streckennetz der ÖBB die nachstehenden Lichtraumprofile aktuell zur Anwendung.

- **LPR 1** (allgemein) (**Bild 2.9**)
  ermöglicht den Verkehr von Fahrzeugen, welche für die kinematischen Bezugslinien GC, GB, GA, G2, G1, GUC und ÖBB-Doppelstockwagen (SBB 021 und „Wiesel") gebaut wurden und im unteren Bereich die Bezugslinie GIC 2 einhalten.

- **LPR 1** (im Tunnel mit Fester Fahrbahn und R ≥ 3.000 m) (**Bild 2.10**)
  ermöglicht den Verkehr von Fahrzeugen, welche für die kinematischen Bezugslinien GB, GA, G2, G1, GU2 und ÖBB-Doppelstockwagen (SBB 021 und „Wiesel") gebaut wurden und im unteren Bereich die Bezugslinie GIC 2 einhalten.

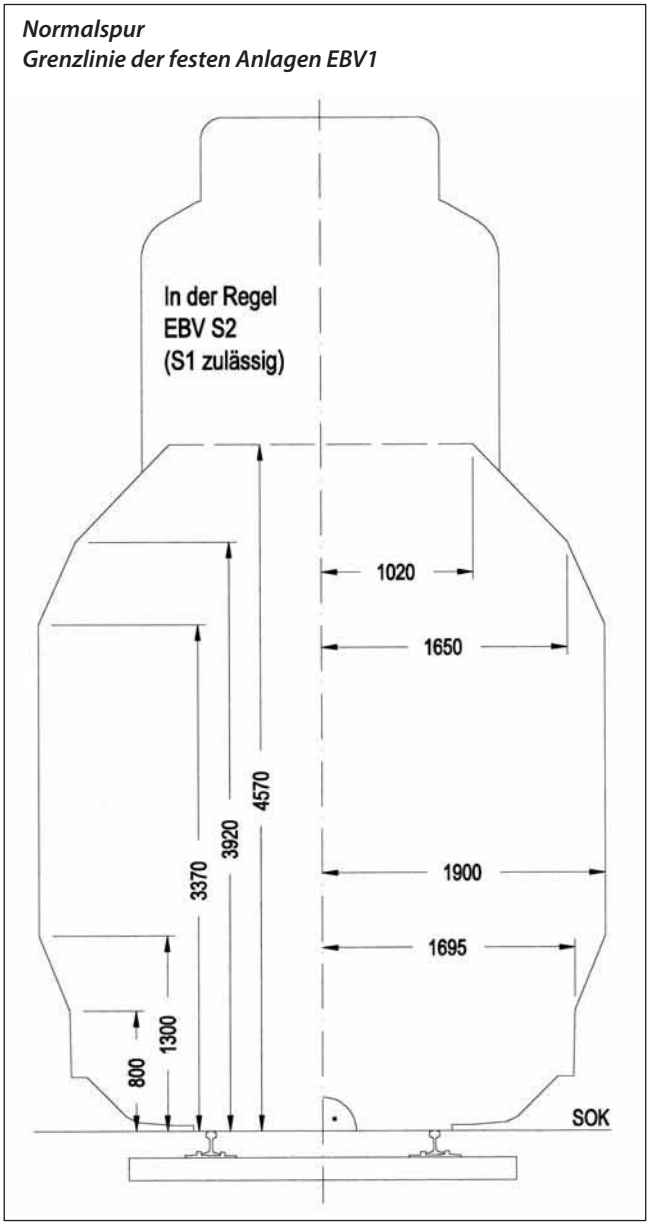


Bild 2.13: Grenzlinie der festen Anlagen EBV1 [2.17]; Maße in [mm]

Anwendungsbereich: Bestehende Anlagen

Gültig für:
R ≥ 250 m
Rv ≥ 5.000 m
δü 150 mm
δh ± 30 mm

Maße der Fahrleitungs-Bereiche, Stromabnehmer-Bereiche und der unteren Bereiche sind den entsprechenden Detailzeichnungen zu entnehmen (Bild 2.13).

- **LPR 2** (**Bild 2.11**)
  ermöglicht den Verkehr von Fahrzeugen, welche für die kinematischen Bezugslinien GB, GA, G2, G1, GU2 und ÖBB-Doppelstockwagen (SBB 021 und „Wiesel") gebaut wurden und im unteren Bereich die Bezugslinie GIC 2 einhalten.
- **LPR 3** (**Bild 2.12**)
  ermöglicht den Verkehr von Fahrzeugen, welche für die kinematischen Bezugslinien GA, G2 und G1 gebaut wurden und im unteren Bereich die Bezugslinie GIC 2 einhalten.

2.4.9 Lichtraumprofile der Schweizerischen Bundesbahnen AG (SBB) (Stand 2010)

Die Schweiz kennt vier Lichtraumprofile für die Normalspurbahnen: EBV1 bis EBV4. Alle beruhen auf den Berechnungsmethoden gemäß den UIC-Merkblättern der Serie 505 [2.6 bis 2.10]. Diese Lichtraumprofile sind in den Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung AB EBV [2.17] ausführlich dargestellt. Für den Bereich des Stromabnehmers gelten ausserdem die Verordnung über elektrische Anlagen von Bahnen VEAB [2.19] und ihre Ausführungsbestimmmungen AB VEAB [2.20]. Diese beruhen auf dem UIC-Merkblatt 606 [2.11].

Das Lichtraumprofil EBV1 mit dem Stromabnehmerprofil S1 für eine Wippenbreite von 1.320 mm ist die Umsetzung der Lichtraumverordnung von 1929 in das System der kinematischen Begrenzungslinien. Es ist mit wenigen Ausnahmen auf allen Anlagen der Schweizer Normalspurbahnen eingehalten und erlaubt das Verkehren von Fahrzeugen nach UIC G1.

Während der Baumaßnahmen zur Sanierung alter Tunnel müssen mindestens die Sonderwerte zu EBV1 eingehalten werden. Für den Stromabnehmer soll – wenn möglich – S2, allenfalls S1 berücksichtigt werden. Bei Baumaßnahmen richtet sich der Fahrleitungsraum nach den Bedürfnissen der an diesem Ort eingebauten Fahrleitung. Bei einer Deckenstromschiene kann dabei der Fahrdrahtanhub (fo in Bild 2.15) mit 0 mm eingesetzt werden.

EBV2 erlaubt das Verkehren der schweizerischen Doppelstockwagen und Lkw mit 3,80 m Eckhöhe auf den Wagen der rollenden Landstraße (Streckencode C60/384-P60/384-NT50/375 für den kombinierten Verkehr). Im Allgemeinen wird mit EBV2 auch das Stromabnehmerprofil S 2 für eine Wippenbreite von 1.450 mm angewendet.

EBV3 ist für die rollende Landstraße mit 4,00 m hohen Lkw (Streckencode C80/405-P80/405- NT70/396 des kombinierten Verkehrs) geschaffen worden.

Das Stromabnehmerprofil S3 ist unabhängig vom gewählten Lichtraumprofil anzuwenden auf Transitstrecken, auf denen in Zukunft mit der Europawippe von 1.600 mm Breite ausgerüstete Fahrzeuge verkehren sollen.

EBV4 ist für Neu- und Ausbaustrecken gedacht, auf denen schneller als 160 km/h gefahren wird. Die Bezugslinie ist identisch mit UIC GC.

In den zu sanierenden Tunneln werden meistens die Grenzlinie EBV1 (**Bild 2.13**) sowie ein Schlupfweg und ein reduzierter Fensterraum vorhanden sein (**Bild 2.14**).

Die Sonderwerte der Grenzlinie der festen Anlagen können entsprechenden Tabellen in RTE 20012 [2.18] entnommen werden.

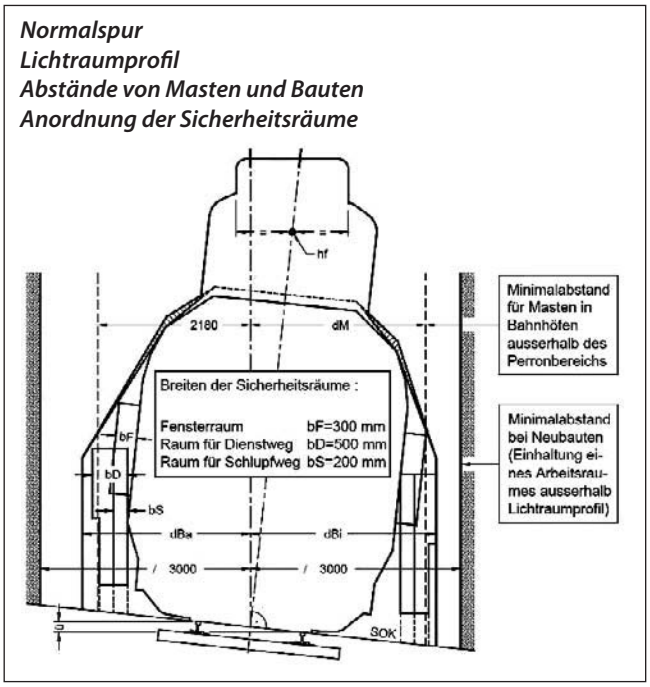


Bild 2.14: Anordnung der Sicherheitsräume [2.17]; Maße in [mm]

	R/250 m			
	Überhöhung ü [mm]			
	0	50	100	150
dBa [mm]	2.500	2.400	2.400	2.400
dBi [mm]	2.500	2.500	2.560	2.650
dM [mm]	2.180	2.300	2.400	2.500

Maßgebliche Richtgrößen bei der DB, ÖBB und SBB
Maße für ü > 50 mm sind durch genaue Konstruktion des Lichtraumprofils bestimmt worden.

Diese sind hier auszugsweise wiedergegeben (**Tabellen 2.4 und 2.5** sowie **Bild 2.16**).

Sonderwerttabellen für Lichtraumprofil EBV1 aus [2.15].

Der Punkt D der Lichtraumprofile EBV1 (**Tabelle 2.5**) bis EBV3 wird in bestehenden Tunneln oft nicht eingehalten und es ist in der Regel auch bei Sanierungen nicht möglich, ihn ohne Schwächung des Tunnelgewölbes zu respektieren. In solchen Fällen darf der Punkt D auf die obere Ecke des reduzierten Fensterraumes gelegt werden. Die anderen Punkte bleiben gegenüber den Werten nach Ziffer 3.1.13 in [2.18] unverändert. Auf Grund des steileren Verlaufs tritt beim Lichtraumprofil EBV2 in diesem Fall der Punkt C in Erscheinung, der sonst innerhalb der Verbindungsgeraden zwischen den Punkten B und D liegt.

Die Sonderwerttabellen für den Stromabnehmerraum gehen von einer Anhublage des Fahrdrahtes von 5,00 m aus. In vielen Altbautunneln ist der Stromabnehmerraum auf dieser Höhe verletzt. Oft ist die Fahrdrahtnennhöhe zu tief und der Anhub kleiner angenommen. Bei der Planung der Sanierungsmaßnahmen ist abzuklären, mit welcher minimalen Anhublage gerechnet werden darf.

Nachstehend sind in den **Tabellen 2.6 bis 2.8** für S1 (Wippenbreite 1.320 mm), S2 (Wippenbreite 1.450 mm) und zum Vergleich

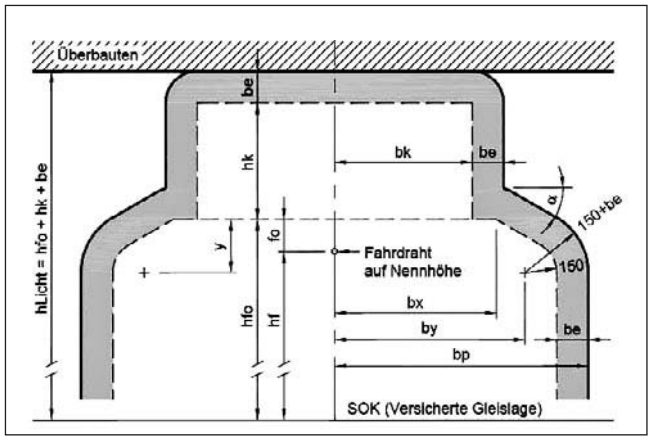


Bild 2.15: Stromabnehmer- und Fahrleitungsraum nach AB EBV [2.17]

Erläuterungen zu Bild 2.15 [2.17]:
Gültig für:
Rv ≥ 5.000 m
R ≥ 250 m
δü ≤ 150 mm
- 30 mm ≤ δh ≥ + 30 mm

FL-Spannung (U_n)		be
AC 11 kV	[mm]	110
AC 15 kV	[mm]	150
AC 25 kV	[mm]	250
DC ≤ 1,5 kV	[mm]	35
DC > 1,5 kV	[mm]	50
DC ≤ 3 kV	[mm]	

Stromabnahmerraum		EBV S1[1)]	EBV S2[2)]	EBV S3[3)]	EBV S4[4)]
bx Regelwert *)	[mm]	765	765	840	1.015
by Regelwert *)	[mm]	840	900	975	1.150
bp Regelwert *)	[mm]	990 + be	1.050 + be	1.125 + be	1.300 + be
hf Nennhöhe des Fahrdrahtes: – für neue Überbauten – für bestehende Überbauten – auf Bahnübergängen	[mm]	$hf \geq (5.200 + Z_{hf})$ $hf \geq (hf_{min} + Z_{hf})$ $hf \geq (5.500 + Z_{hf})$			
Y	[mm]	220	250	235	250
α	[Grad]	30	30	25	30

*) Sonderwerte nach spezieller Berechnung gemäß AB-EBV 18.2/47.1 Blatt 3 N

Anwendungsbereiche 1) bis 4):
1) EBV S1: Bestehende Anlagen
2) EBV S2: Neuanlagen, Umbauten an bestehenden Anlagen sowie neu montierte Anlageteile
3) EBV S3: Neubaustrecken der Nord-Süd-Transversalen Basel – Chiasso bzw. Basel – Iselle. Neu- und Ausbaustrecken für V > 160 km/h
4) EBV S4: Strecken, auf denen ausländische Triebfahrzeuge mit Wippenbreite 1.950 mm verkehren. Weitere Anwendungen werden von Fall zu Fall festgelegt

Werte nach AB-VEAB:
hf_{min} minimale Nennhöhe des Fahrdrahtes in Abhängigkeit des Lichtraumprofils (AB-VEAB, zu Art. 17)
be elektrischer Sicherheitsabstand (AB-VEAB, zu Art. 39), (Tabelle zuvor)

Von der Infrastrukturbetreiberin (ISB) in Abhängigkeit vom Fahrleitungstyp und den örtlichen Gegebenheiten zu bestimmende Werte:
hfo Anhublage des Fahrdrahtes
fo Anhub des Fahrdrahtes
hk Höhe des Fahrleitungs-Konstruktionsraumes
bk halbe Breite des Fahrleitungs-Konstruktionsraumes
Z_{hf} Summe der Zuschläge für
– fg Gleishebungsreserve
– fu Fahrdrahtabweichung nach unten infolge Temperaturschwankungen sowie statischer und dynamischer Einflüsse
– th vertikale Montagetoleranzen der Fahrleitung

mit Deutschland und Österreich S4 (Wippenbreite 1.950 mm) wiedergegeben.

Für Kurvenradien unter 250 m sind die Sonderwerte zu vergrößern, für größere Kurvenradien können sie weiter reduziert werden. Einzelheiten hierzu sind der **Tabelle 2.9** zu entnehmen.

RTE 20012 [2.18] enthält eine Typenzulassung für zeitweilige Einbauten (**Bild 2.17**). Ob das Tunnelvortriebsportal als „zeitweiliger Einbau" gelten darf, ist noch zu klären.

In den **Bildern 2.18 und 2.19** sind die nach der Sanierung vorhandenen Lichtraumprofile an zwei Beispielen dargestellt.

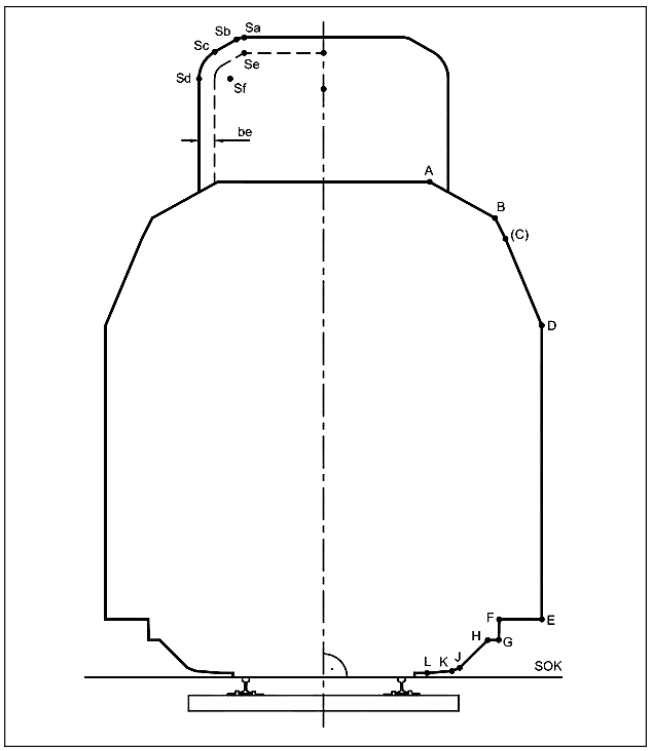


Bild 2.16: Benennung der Profil-Eckpunkte in den Sonderwert-Tabellen 2.3 und 2.4 (Schweizerische Normalspurbahnen) [2.18]

2.4.10 Grafische und tabellarische Gegenüberstellung der Lichtraumprofile

Abgesehen von den zusätzlichen Sicherheitsräumen sehen sich die Lichtraumprofile für die bestehenden Anlagen in Deutschland, Österreich und der Schweiz recht ähnlich (Bild 2.20). Sie beruhen ja auf den gleichen Berechnungsmethoden der UIC und gelten für die gleiche Bezugslinie UICG2.

Damit eine Tunnelbaumaschine bei allen drei Bahnen eingesetzt werden kann, ist es wünschenswert, eine gemeinsame Grenzlinie zu definieren.

Dies scheint möglich für den Bereich des Fahrzeugkastens. Beim Stromabnehmer ist der Unterschied zwischen der Wippenbreite von 1.950 mm in Deutschland und Österreich und 1.450 mm in der Schweiz groß und gerade im Stromabnehmerbereich sind die Tunnelgewölbe oft knapp bemessen.

Bild 2.21 zeigt den Unterschied zwischen den beiden Stromabnehmern.

In **Bild 2.22** wird versucht, eine gemeinsame Grenzlinie für Deutschland, Österreich und die Schweiz zu definieren, welche für die bei Altbautunneln häufig vorkommenden Lichträume geeignet ist. Diese gemeinsame Grenzlinie rechnet mit Sonderwerten und schließt die nationalen Erweiterungen in Breite und Höhe für ICE (Deutschland) und Doppelstockwagen (Schweiz) ein.

Punkt	Höhe über SOK [mm]	Überhöhung ü bzw. Überhöhungsfehlbetrag $dü_a$ [mm]					
		180	150	125	100	75	≤ 50
A	4.800	1.050	1.020	990	965	935	910
B	3.920	1.675	1.650	1.630	1.605	1.580	1.560
D	3.140	2.125	2.100	2.085	2.065	2.045	2.025
E	560	2.125	2.100	2.085	2.065	2.045	2.025
F	560	1.690	1.690	1.690	1.690	1.690	1.690
G	360	1.685	1.685	1.685	1.685	1.685	1.685
H	360	1.580	1.580	1.580	1.580	1.580	1.580
J	90	1.310	1.310	1.310	1.310	1.310	1.310
K	60	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235
L	40	995	995	995	995	995	995

Tabelle 2.4: Lichtraumprofil EBV1, Bereich 1: Halbe Breiten der Punkte A bis L in [mm]

Punkt	Höhe über SOK [mm]	Überhöhung ü bzw. Überhöhungsfehlbetrag $dü_a$ [mm]					
		180	150	125	100	75	≤ 50
D	3.000	2.125	2.100	2.085	2.065	2.045	2.025

Tabelle 2.5: Lichtraumprofil EBV1, Bereich 1 für bestehende Tunnel: Punkt D

Punkt	Höhe über SOK [mm]	Überhöhung ü bzw. Überhöhungsfehlbetrag $dü_a$ [mm]					
		180	150	125	100	75	≤ 66
Sa	hf_o+150	715	695	680	660	645	635
Sb	hf_o+130	790	770	755	735	720	710
Sc	hf_o+40	950	930	915	895	880	875
Sd	hf_o-220	1.100	1.080	1.065	1.045	1.030	1.025
Se	hf_o	715	695	680	660	645	635
Sf	hf_o-220	800	780	765	745	730	725

Tabelle 2.6: Stromabnehmerraum EBVS1, halbe Breiten der Punkte Sa – Sf in [mm]

Punkt	Höhe über SOK [mm]	Überhöhung ü bzw. Überhöhungsfehlbetrag $dü_a$ [mm]					
		180	150	125	100	75	≤ 66
Sa	hf_o+150	715	695	680	660	645	635
Sb	hf_o+130	790	770	755	735	720	710
Sc	hf_o+10	1.010	990	975	960	945	935
Sd	hf_o-250	1.160	1.140	1.125	1.110	1.095	1.085
Se	hf_o	715	695	680	660	645	635
Sf	hf_o-250	860	840	825	810	795	785

Tabelle 2.7: Stromabnehmerraum EBVS2, halbe Breiten der Punkte Sa – Sf in [mm]

Punkt	Höhe über SOK [mm]	Überhöhung ü bzw. Überhöhungsfehlbetrag $dü_a$ [mm]					
		180	150	125	100	75	≤ 66
Sa	hf_o+150	965	945	930	910	895	885
Sb	hf_o+130	1.040	1.020	1.005	985	970	960
Sc	hf_o+10	1.260	1.240	1.225	1.210	1.195	1.185
Sd	hf_o-250	1.410	1.390	1.375	1.360	1.345	1.335
Se	hf_o	965	945	930	910	895	885
Sf	hf_o-250	1.110	1.090	1.075	1.060	1.045	1.035

Tabelle 2.8: Stromabnehmerraum EBVS4, halbe Breiten der Punkte Sa – Sf in [mm]

Radius R [m]	Kurveninnenseite Korrektur d_i [mm]		Kurvenaussenseite Korrektur d_a [mm]		Stromabnehmerraum Korrektur $d_i = d_a$ [mm]
	h < 400	h ≥ 400	h < 400	h ≥ 400	
> 5.000	-10	-15	-10	-15	-10
1.000	-7	-10	-7	-10	-7
500	-5	-5	-5	-5	-5
250	0		0		0
220	30		35		0
185	70		85		5
160	115		135		5
150	135		160		5
135	170		205		10
120	215		260		10
110	255		305		10
100	300		360		15
90	355		425		20
80	425		510		20

Tabelle 2.9: Korrekturwert d, Normalspur

Bei R < 150 m können nur Fahrzeuge verkehren, die folgende Bedingungen einhalten:

$$a^2 + p^2 \leq 400$$

$$an + n^2 - \frac{p^2}{4} \leq 120$$

a = Abstand der Endachsen bzw. Drehzapfen in m
n = Überhang des Wagenaufbaus über den nächstgelegenen Drehzapfen bzw. die nächstgelegene Endachse in m
p = Achsstand der Endachsen des Drehgestells in m

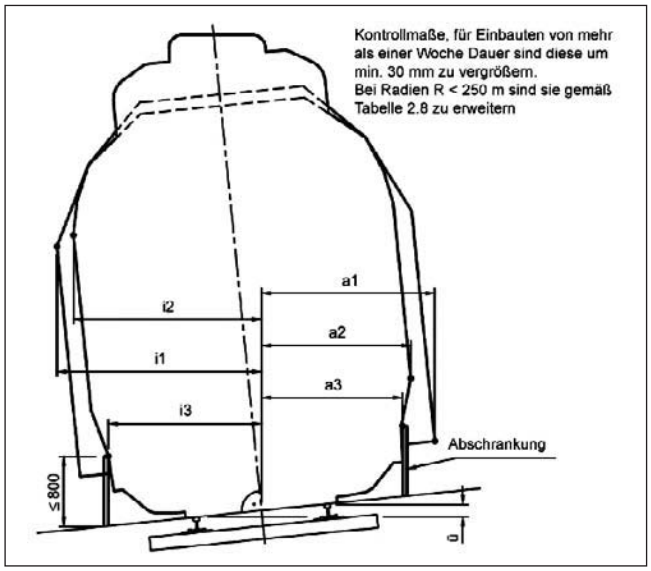


Bild 2.17: Zeitweilige Einbauten im oberen Bereich

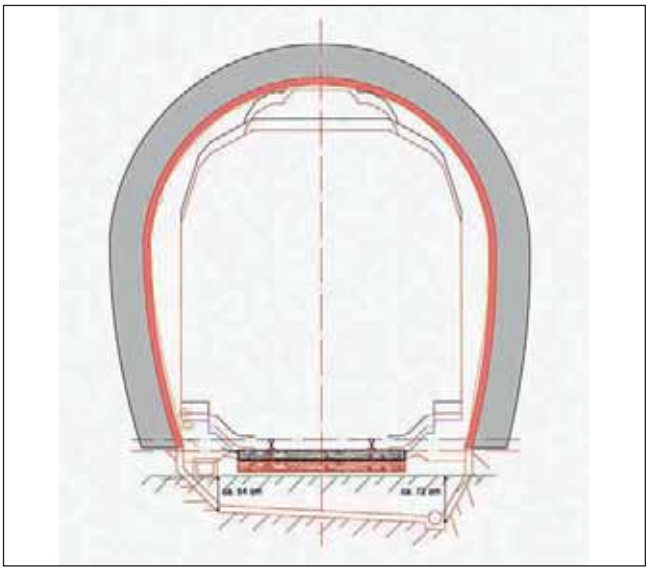


Bild 2.18: Einspurtunnel mit EBV2 (Beispiel Liesbergtunnel/CH) (Quelle: SBB)

Erläuterungen zu Bild 2.17:

Wärme-einrichtung	nicht erforderlich		erforderlich		nicht erforderlich	
an Lü-Gleisen[1)]	zulässig		unzulässig		unzulässig	
ü [mm]	i1 [mm]	a1 [mm]	i2 [mm]	a2 [mm]	i3 [mm]	a3 [mm]
0	1.950	1.950	1.750	1.750	1.640	1.640
25	2.020	2.010	1.820	1.790	1.670	1.640
50	2.080	2.000	1.880	1.770	1.680	1.630
75	2.120	1.980	1.930	1.750	1.690	1.620
100	2.200	1.970	2.000	1.720	1.710	1.610
125	2.270	1.960	2.080	1.700	1.720	1.600
150	2.340	1.950	2.150	1.670	1.740	1.590
180	2.420	1.930	2.240	1.650	1.750	1.580

1) Gleise mit erweitertem Lichtraumprofil für Großmaschinentransporte gemäß Anhang N2

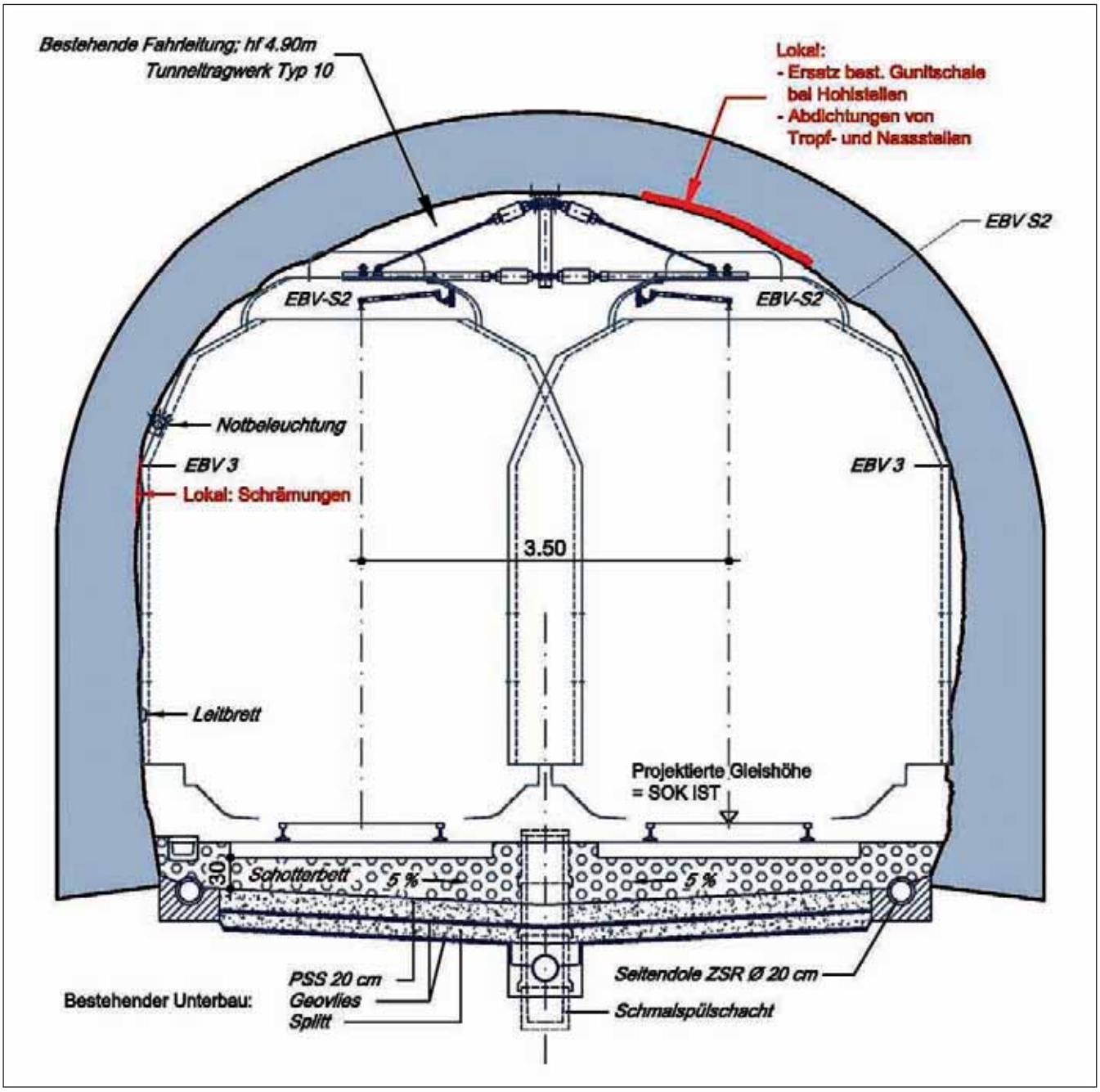


Bild 2.19: Doppelspurtunnel mit EBV3 (Quelle: SBB)

Erläuterungen zu Bild 2.19:

Grundvariante A Geometrische Profilvorgabe	Reine Gewölbeinstandsetzung
Lichtraumprofil	EBV 3, Bereich 1 Sonderwerte Tunnel für delta ü < 50 mm (Gerade) _____ delta ü < 150 mm (Kurve) ----------
Stromabnehmerraum	S2, Sonderwert der Grenzlinie, be = 150 mm
Fahrleitungsraum	asymmetrisch; reduzierte Werte (wie Paradisotunnel)

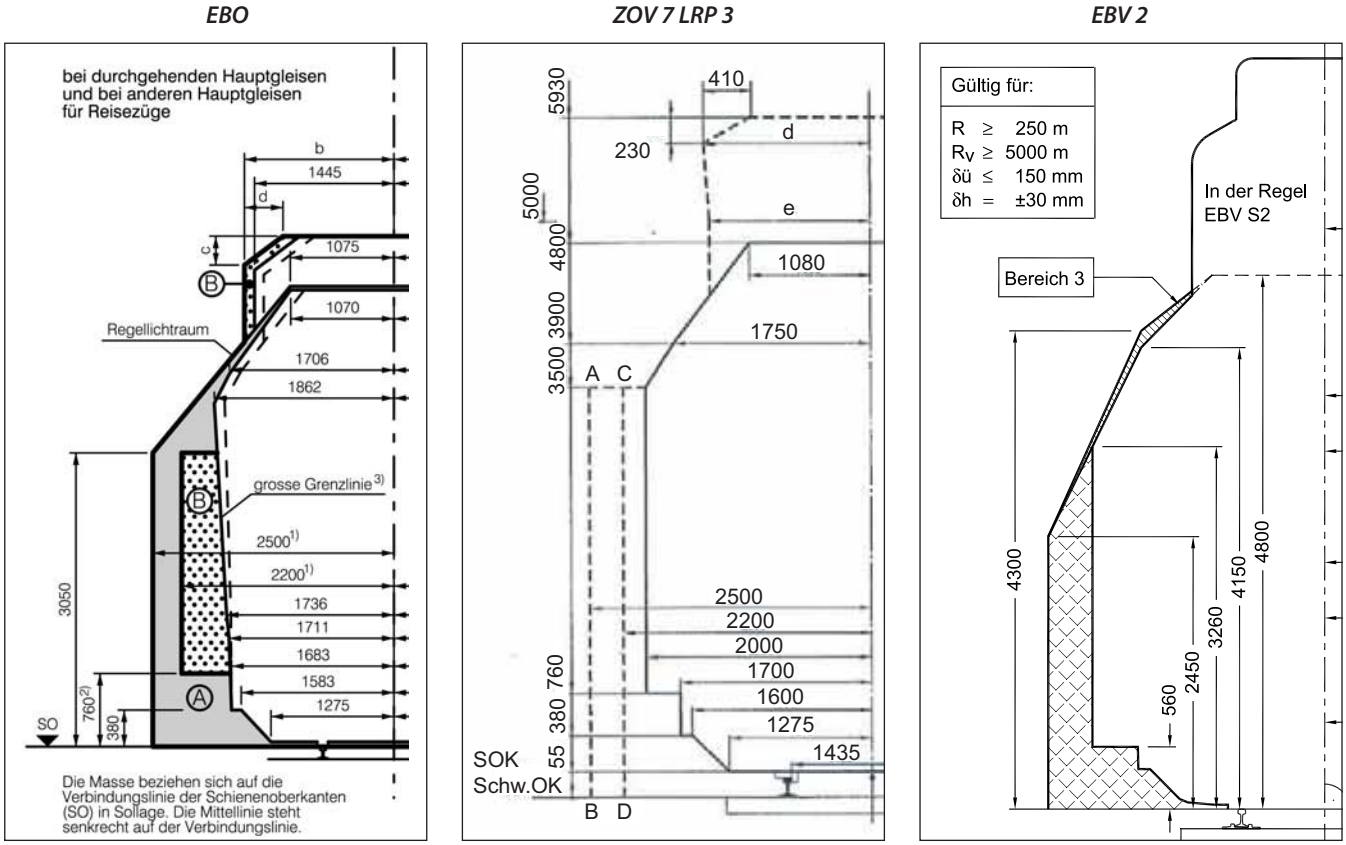


Bild 2.20: Vergleich der Lichtraumprofile in Deutschland, Österreich und der Schweiz (Quelle: SBB)

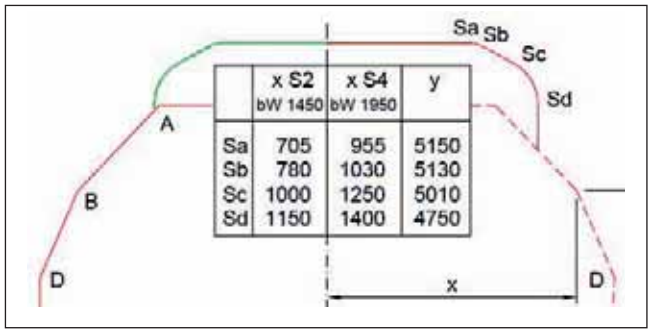
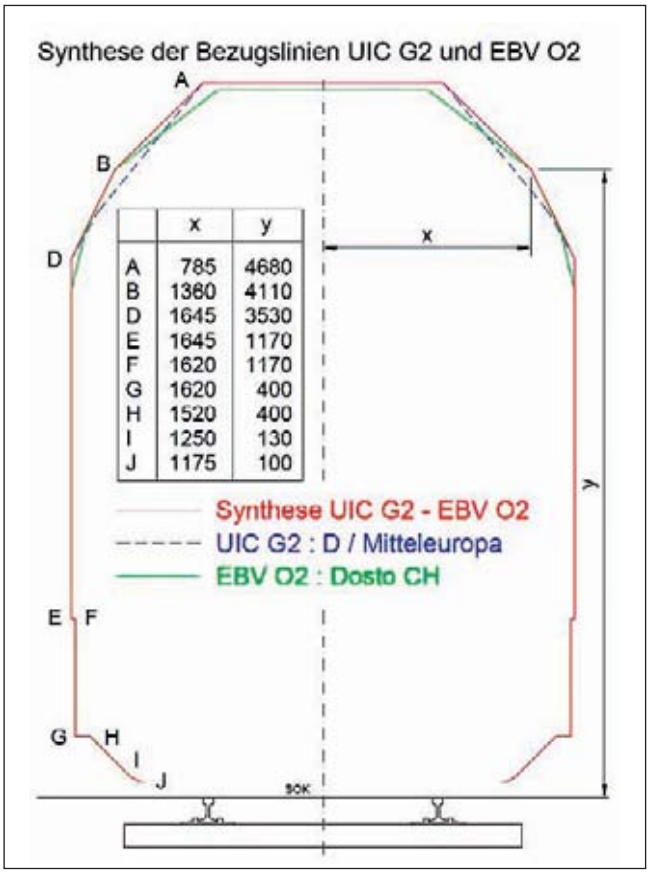


Bild 2.21: Vergleich der Sonderwerte im Stromabnehmerbereich für Wippen von 1.450 mm Breite in der Schweiz (links, grün) bzw. von 1.950 mm Breite in Deutschland und Österreich (rechts, rot) (Quelle: SBB)

Synthese Grenzlinie, Sonderwert AB-EBV für:		
Vertikalausrundungsradius	RV	2.000 m
Kurvenradius	R	250 m
Überhöhung	ü	160 mm
Überhöhungsfehlbetrag	üf	150 mm
Anhubhöhe Fahrdraht	hfo	5.00 m



	x	y
A	785	4680
B	1360	4110
D	1645	3530
E	1645	1170
F	1620	1170
G	1620	400
H	1520	400
I	1250	130
J	1175	100

Bild 2.22: Gemeinsame Grenzlinie D, A, CH zur Festlegung des Innen-Lichtraums von Tunnelbaumaschinen (Quelle: SBB)

2.5 Fazit

Für Tunnelinstandsetzungsarbeiten sind besondere Verfahren verfügbar, die eine Sanierung unter laufendem Bahnbetrieb erlauben mit dem Ziel geringerer Gesamtkosten für Bau und Betrieb.

In allen drei Ländern steht die Tunnelaufweitung im Vordergrund. Das bereits im Jähroder Tunnel und im Mausenmühlen Tunnel angewendete Verfahren „Tunnel im Tunnel" (TiT) ist für Tunnel mit Fahrleitungen und für Einspurtunnel weiterzuentwickeln.

Vor allem in Österreich und in der Schweiz sind ergänzend hierzu neue Lösungen zu suchen, welche die Gleisabsenkung in Doppelspurtunneln unter Einspurbetrieb wirtschaftlich ermöglichen.

3 Planungsgrundsätze zur Regelung der Schnittstelle zwischen Bauherrn und Planer

C. Draschitz, R. Gabriel, G. Pagliari, S. Simon, H. Steiner,

3.1 Grundlegende Regelwerke 30
3.2 Bahntunnel im Allgemeinen 30
3.2.1 Grundsätze 30
3.2.2 Inhalte des Planungsprozesses 30
3.3 Bahntunnel im Speziellen 31
3.3.1 Grundsätze 31
3.3.2 Linienführung 32
3.3.3 Tunnelquerschnitt 32
3.3.4 Ausbau 33
3.3.5 Abgrenzung 33

3.1 Grundlegende Regelwerke

Die für Sanierung und Instandsetzung von Eisenbahntunneln relevanten Regelwerke sind getrennt für die 3 Bahngesellschaften DB, ÖBB und SBB in Kapitel 8.2.3 aufgelistet zu finden.

3.2 Bahntunnel im Allgemeinen

3.2.1 Grundsätze

Grundsätzlich sind sowohl die Anforderungen an das Bauwerk im Allgemeinen als auch die detaillierten technischen Randbedingungen zwischen der Bauherrschaft als Bestellerin und dem Planer als Beauftragtem zu regeln. Dies geschieht zu Beginn des jeweiligen Auftragsverhältnisses im Rahmen einer Auftragsdefinition.

Konkret werden in diesem Zusammenhang die Anforderungen an das Bauwerk und die Technik bei der DB in einer betrieblichen Aufgabenstellung und bei der SBB durch eine Nutzungsvereinbarung/Projektbasis definiert. Bei der ÖBB erfolgt eine detaillierte Definition der Ziele des Projektes bzw. Bauwerkes durch eine vorlaufend abgeschlossene Infrastrukturentwicklung.

DB

In Deutschland wird jedem Planungs- und Bau-Projekt eine sogenannte betriebliche Aufgabenstellung zu Grunde gelegt. Diese wird im Rahmen der DB-internen Infrastrukturplanung erstellt. Basierend auf der Ist-Beschreibung werden die Ziele sowie die geplanten Maßnahmen definiert. Für das Außenverhältnis werden anschließend die einzelnen Planerverträge auf Basis der betrieblichen Aufgabenstellung und der dazu erforderlichen Leistungsbilder unter Anwendung der Gebührenordnungen (HOAI) erstellt.

ÖBB

In Österreich wird nach einer positiv abgeschlossenen Bedarfsprüfung eine ÖBB-interne Infrastrukturentwicklung beauftragt. Nach einer positiven Beurteilung der abgeschlossenen Entwicklung durch den Infrastrukturentwicklungsausschuss wird ein Antrag auf Aufnahme dieses Projektes in den Rahmenplan gestellt, um die damit in Verbindung stehenden erforderlichen Finanzen zu sichern. Anschließend können die erforderlichen Planungen auf Basis der vom Bauherrn erstellten Aufgabenstellung (z.B. Variantenuntersuchung, UVP-Planung bis hin zur Detail-Ausführungsplanung) beauftragt werden.

SBB

In der Schweiz wird in einem ebenfalls internen Prozess eine Bedarfsabklärung durchgeführt und hieraus ein Projektierungsauftrag generiert. Aufgrund dieses Projektierungsauftrages wird die Nutzungsvereinbarung als Beschreibung der Nutzungs- und Schutzziele der Bauherrschaft sowie der grundlegenden Bedingungen, Anforderungen und Vorschriften für die Projektierung, Ausführung und Nutzung des Bauwerks erstellt. Die daraus resultierende Projektbasis ist eine fachbezogene Beschreibung der bauwerksspezifischen Umsetzung der Nutzungsvereinbarung.

Die vorstehenden Ansätze werden im Folgenden noch detaillierter beschrieben.

3.2.2 Inhalte des Planungsprozesses

Die Erstellung der Planung wird im Regelfall an externe Ingenieurbüros vergeben. Grundlage für den Planungsprozess sind u.a. folgende Punkte:

- Vorgesehene Nutzung des Bauwerks
- Anforderungen an die Ausrüstung (funktionale Anforderungen)

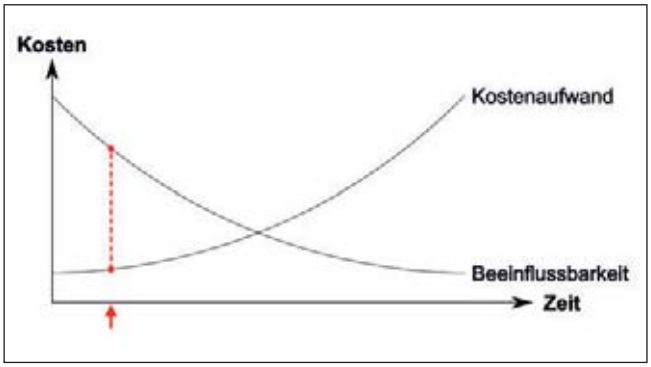


Bild 3.1: Beeinflussbarkeit des Projektes vs. Kostenaufwand während des Projektverlaufs

- Anforderungen betreffend die Sicherheit der Nutzer
- Vorgesehene Nutzungsdauer
- Anforderungen an die Dichtigkeit
- Einfluss des Bauwerks auf die Umwelt
- Einfluss der Umwelt auf das Bauwerk

Das Projekt muss so gestaltet sein, dass die Anforderungen der Nutzung, des Betriebs und der Erhaltung berücksichtigt sind. Die gegenseitigen Abhängigkeiten von Nutzung und Erhaltung bzw. Betrieb und Erhaltung sind zu berücksichtigen.

Das Projekt entsteht als Ergebnis eines Optimierungsprozesses (Variantenvergleich). Das Ziel ist es, die wirtschaftlich günstigste Lösung für Bau, Nutzung, Betrieb und Erhaltung des Tunnels über die geplante Nutzungsdauer unter Berücksichtigung der oben genannten Aspekte zu bestimmen.

Entscheidende Faktoren für den Projekterfolg sind:

- Klar definierte Projektziele. Diese werden hauptsächlich im Rahmen der betrieblichen Aufgabenstellung bzw. Nutzungsvereinbarung formuliert.
- Stete Projektsteuerung ab Projektbeginn, denn die Beeinflussbarkeit ist zu Beginn hoch und nimmt während des Projektverlaufs überproportional ab (**Bild 3.1**). Hingegen ist der erforderliche Kostenaufwand für die Beeinflussbarkeit des Projektes zu Beginn relativ niedrig und nimmt dann überproportional zu.

In Anlehnung an die länderspezifischen Honorarordnungen sowie die technischen Normen und Richtlinien ergeben sich die nachstehenden Zusammenhänge für den Ablauf eines Bauvorhabens. Den verschiedenen Planungsphasen können die entsprechenden projektbezogenen Ziele zugeordnet werden:

Projektierung

- Strategische Planung: Definition des Leitbildes
- Vorstudien/Machbarkeitsstudien: Nachweis der Machbarkeit
- Vorprojekt/Vorentwurfsplanung: Optimale bauliche Lösung
- Auflageprojekt/Genehmigungsplanung: Bewilligtes Projekt
- Bauprojekt/Entwurfsplanung: Baureifes Projekt

Ausführung

- Ausschreibung: Vergabereife Ausschreibungsunterlagen
- Ausführungsprojekt/Ausführungsplanung: Ausführungsreifes Projekt

Übergabe/Übernahme

vom Bauausführenden an den Auftraggeber (Bauherr bzw. Anlagenbesitzer)

- Dokumentation der Baumaßnahme durch Bauwerksakte
- Bauwerksbücher als Grundlage für den Betrieb der Anlage

Übergabe an Betrieb und Instandhaltung

- Für die Bauwerksqualität und die Aufrechterhaltung der Bauwerkssicherheit entscheidende Schnittstelle

Bewirtschaftung/Nutzung und Betrieb

- Nutzung und Betrieb: Sicherer Gebrauch (Nutzer und Betreiber)
- Erhaltung: Verfügbarkeit über die vorgesehene Dauer

Basierend auf den Grundlagen für den Planungsprozess erfolgt die bauwerksspezifische Umsetzung im Rahmen des Tragwerkskonzeptes, welches aus folgenden Angaben resultiert:

- Gebirgs- und Baustoffeigenschaften
- Form und Abmessungen von Ausbruchsicherung und Auskleidung
- Abdichtungskonzept
- Hinweise zu den vorgesehenen Bauverfahren
- Ausbruchart, Ringschlusslänge und Ringschlusszeit
- Bauhilfsmaßnahmen
- Wichtige Konstruktionsdetails
- Nutzungsdauer der verschiedenen Bauteile
- Maßnahmen zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit

Zudem sind im Rahmen der nachfolgend aufgeführten Konzepte in einer frühen Projektphase weitere grundsätzliche Überlegungen anzustellen:

- Das Entwässerungskonzept (druckdicht, druckentlastend) unter Berücksichtigung der gegebenen Druckverhältnisse und der Bergwasserbeschaffenheit
- Das Instandhaltungskonzept enthält vor allem die Festlegung der Bauwerksqualität im Zusammenhang mit der Minimierung der späteren Instandhaltung (Lebenszyklusbetrachtung)
- Das Brandschutzkonzept
- Das Gesamterdungskonzept
- Abschließend sind die vollständigen Unterlagen für spätere Arbeiten inkl. einer Bestandsdokumentation zusammenzustellen

3.3 Bahntunnel im Speziellen

3.3.1 Grundsätze

Die Grundlagen und Vorgaben für die Projektierung sind bei allen 3 Bahngesellschaften nahezu identisch und umfassen folgende Punkte:

- Vorgegebenes Streckenkonzept und Streckencharakteristik
- Bahnbetriebskonzept mit Berücksichtigung des Erhaltungskonzepts
- Grundsätzliche Festlegungen zur Gewährleistung der Sicherheit
- Gleistopologie
- Ausbaugeschwindigkeit
- Lichtraumprofil
- Weitere Nutzungsanforderungen

Dieser Grundsatzkatalog ist vorab, je nach Bahngesellschaft festzulegen. Es ist zudem sicherzustellen, dass die Anforderungen der Bahntechnik, der Sicherheitsplanung und der Umweltverträglichkeit in jeder Projektphase rechtzeitig in das Projekt einfließen.

Für die Wahl des Tunnelsystems sind folgende Grundlagen und Fakten einzubeziehen:

- Bahnbetriebskonzept mit Berücksichtigung der Erhaltung
- Sicherheitsanalyse und Stand der Sicherheitstechnik
- Tunnellänge und Fahrzeit der Züge im Tunnel
- Entwurfsgeschwindigkeit
- Geologische Randbedingungen
- Längsneigung und bauliches Konzept
- Klima und Lüftung
- Umwelt
- Wirtschaftlichkeit
- prognostiziertes Verkehrsaufkommen

Als Tunnelsysteme sind möglich:

- Eingleisige Tunnel
- Zwei- und mehrgleisige Tunnel
- Systeme mit 2 oder mehreren Tunneln, ein- oder mehrgleisig.

Gegebenenfalls sind ergänzend Dienst-, Lüftungs-, Rettungs- oder Zugangsstollen erforderlich, die einen maßgeblichen Einfluss auf das gewählte Tunnelsystem zur Folge haben können.

3.3.2 Linienführung

Die Gleisgeometrie wird auf Grund der Vorgaben des Streckenkonzeptes und der Streckencharakteristik bestimmt. Die geometrischen Randbedingungen für die Gleisgeometrie in Lage und Höhe sind entsprechend der internationalen und nationalen Normen bzw. Regelwerken der jeweiligen Bahngesellschaften festzulegen (Kapitel 8.2.3). Insbesondere hängt die maximal zulässige Steigung im Tunnel vom Bahnbetriebs- und vom Streckenkonzept ab.

Der Luftwiderstand und die daraus resultierenden aerodynamischen Effekte der Züge im Tunnel sind einzubeziehen. Der Abstand von parallel geführten Tunneln ist mit Berücksichtigung des Raumbedarfes für die notwendigen Dienst-, Lüftungs-, Rettungs- oder Zugangsstollen festzulegen.

3.3.3 Tunnelquerschnitt

Bei der Querschnittsgestaltung und der Festlegung des Ausbruchquerschnitts der Tunnel sind unter Beachtung der nationalen und internationalen Sicherheitsrichtlinien in Deutschland die bahninterne Tunnelrichtlinie 853, in Österreich die Richtlinie für das Entwerfen von Bahnanlagen auf Hochleistungsstrecken für Neu- und Ausbauten sowie die Oberbauvorschrift B50 über die Linienführung von Gleisen bzw. die einschlägigen ÖBB-Dienstbehelfe und in der Schweiz die Norm SIA 197/1 Projektierung von Bahntunneln sowie die Ausführungsbestimmungen der Eisenbahnverordnung (AB-EBV) zu berücksichtigen (siehe auch Kapitel 8.2.3).

Für den Tunnelrohbau ist ein Achsensystem mit einer vertikalen Tunnelachse und einer horizontalen Bezugsebene festzulegen. Sämtliche Rohbaumaße sind auf dieses Achsensystem zu beziehen. Der geometrische Bezug zur Linienführung des Gleises bzw. der Gleise ist durchgehend zu definieren. Diese wird vorgegeben durch die theoretische Soll-Höhe der Schienenoberkante SOK (Nennlage) und durch die Soll-Lage in horizontaler Richtung.

Der Soll-Tunnelquerschnitt wird durch den Raumbedarf der nachfolgend aufgeführten Elemente bestimmt, aus welchen sich das Tunnelnormalprofil zusammensetzt:

- Das Lichtraumprofil inkl. des Raumes für den Stromabnehmer ist in der Nutzungsvereinbarung/Projektbasis zu definieren (Kapitel 2). Für den zukünftigen Gleisunterhalt beim Schotteroberbau oder für eine eventuelle Gleiskorrektur bei Fester Fahrbahn ist eine Hebungsreserve gemäß Vorgaben zu berücksichtigen. Alle Maßangaben beziehen sich auf die theoretische Soll-Lage der Schienenoberkante SOK und die Soll-Lage des Gleises in horizontaler Ebene gemäß dem Trassierungs- und Absteckungsprojekt der Geomatik.
- Der bautechnische Nutzraum ist zu berücksichtigen und in der Projektbasis zu dokumentieren. Dessen Größe ist in Abhängigkeit des Raums für Abweichungen und des Raums für spätere bauliche Maßnahmen zu ermitteln.
- Einrichtungen wie Kastennischen, Fahrleitungsabspannungen usw. dürfen in den bautechnischen Nutzraum einragen. Die Größe des Raums für Abweichungen ist jedoch freizuhalten.
- Der Raum unterhalb der Fahrebene ist bestimmt durch den erforderlichen Konstruktionsraum für den Oberbau, die Entwässerungsanlagen, die Kabeltrassen und gegebenenfalls durch Maßnahmen für den Erschütterungsschutz sowie die konstruktiven und ausführungstechnischen Anforderungen.
- Die speziellen Aspekte der Aerodynamik sind zu beachten. Die aerodynamisch freie Tunnelquerschnittsfläche ist bei höheren Geschwindigkeiten bestimmend für den Komfort der Passagiere (Druckschwankungen) und hat bei langen Tunneln Auswirkungen auf die Traktionsenergie. Dies ist bei der Bemessung des Tunnelquerschnitts zu berücksichtigen.
- Der Tunnelquerschnitt soll unter Berücksichtigung der Druckkomfortkriterien gemäß den Vorgaben der Union Internationale des Chemins de fer (UIC) bestimmt werden.
- Die freie Tunnelquerschnittsfläche wird oberhalb der Schienenoberkante und ohne den Raum für spätere bauliche Maßnahmen gemessen.
- Für die Bemessung der freien Tunnelquerschnittsfläche für höhere Fahrgeschwindigkeiten sind spezielle Bedingungen

einzuhalten. Für geringere Geschwindigkeiten kann die freie Tunnelquerschnittsfläche mit Hilfe eines Näherungsverfahrens bestimmt werden.

- Für Tunnel von mehreren Kilometern Länge sind bei der Dimensionierung der freien Tunnelquerschnittsfläche sowie von Schächten und Querverbindungen auch die Auswirkungen auf den Energieverbrauch der Traktion und der Lüftung unter Berücksichtigung der Oberflächenrauigkeit der Tunnelauskleidung zu prüfen.

3.3.4 Ausbau

Die Oberflächenbeschaffenheit der Tunnelauskleidung ist auf die Anforderungen der Aerodynamik, der Erhaltung und des Lärmschutzes abzustimmen.

In den frostgefährdeten Strecken ist frostbeständiger Beton zu verwenden. Die Länge der frostgefährdeten Strecke ab dem Portal ist fallweise zu bestimmen und in der Projektbasis festzulegen.

Für die Festlegung der Baustoffeigenschaften ist die Möglichkeit des Auftretens von stark mineralisiertem und/oder aggressivem Wasser zu klären. Gegebenenfalls sind Schutzmaßnahmen zu treffen, wie z.B. Imprägnierung oder Beschichtung von Tübbingen oder zweischaliger Ausbau mit Abdichtung.

Auf Strecken mit Verladung von Straßenfahrzeugen ist – vor allem im Nahbereich der Verladeeinrichtungen – zu prüfen, welche Anforderungen hinsichtlich der Chloridbeständigkeit (Tausalz) zu erfüllen sind.

Bei der Bemessung und der konstruktiven Ausbildung des Tunnelausbaus sind die Anforderungen bezüglich der bahntechnischen Anlagen und der Betriebs- und Sicherheitsausrüstung zu berücksichtigen (z. B. Einleitung der Kräfte aus der Fahrleitung, Möglichkeiten der Befestigung der Ausrüstung).

3.3.5 Abgrenzung

Die zuvor aufgeführten Kapitel umfassen die Baulichen Anlagen insbesondere für den Fachbereich Ingenieurbau. Daneben sind aber auch die besonderen Aspekte der nachfolgenden hier nicht weiter abgehandelten Fachbereiche in die Betrachtungen einzubeziehen (Kapitel 4):

- Fahrbahn, Bankette und Kabeltrassen
- Abdichtung
- Entwässerung
- Ergänzende Bauteile für die Sicherheit, wie z. B. Notausgänge und Querschläge
- Tunnelportale
- Nebenanlagen

Eine spezielle Bedeutung kommt in Bahntunneln neben den Baulichen Anlagen auch der bahnspezifischen Betriebs- und Sicherheitsausrüstung zu. Auch diese Aspekte sind in die Projektierung von Bahntunneln einzubeziehen. Die entsprechenden nachfolgend aufgelisteten Themenfelder werden aber nachfolgend nicht weiter behandelt:

- Energieversorgung und Bahnstrom
- Erdung
- Beleuchtung
- Ausrüstung der Fluchtwege und Notausgänge
- Lüftung
- Sicherungsanlagen für den Bahnbetrieb
- Kommunikationseinrichtungen
- Löscheinrichtungen

4 Handlungshilfe für Planung und Ausschreibung

C. Draschitz, G. Pagliari, M. Schlebusch, S. Simon, H. Steiner,

4.1 Vorbemerkung ... 34
4.2 Behördenverfahren ... 34
4.2.1 Planrechtsverfahren für Eisenbahninfrastrukturmaßnahmen in Deutschland ... 34
4.2.2 Eisenbahnrechtliches Baugenehmigungsverfahren in Österreich ... 35
4.2.3 Planrechtsverfahren bei der SBB ... 37
4.3 Handlungshilfen betreffend Erkundung, Planung und Ausschreibung ... 38
4.3.1 Einleitung ... 38
4.3.2 Erkundung ... 38
4.3.3 Planung ... 39
4.3.3.1 Vorbemerkung ... 39
4.3.3.2 Vorbereitung der Planung ... 39
4.3.3.3 Ingenieurplanung Tunnelerneuerung ... 40
4.3.3.4 Ingenieurplanung Tunnelsanierung „Gewölbe" ... 41
4.3.3.5 Ingenieurplanung Tunnelsanierung „Fahrbahn" ... 44
4.3.3.6 Ingenieurplanung Tunnelsanierung „Sicherheitseinrichtungen" ... 45
4.3.3.7 Ingenieurplanung Tunnelsanierung „Bahntechnik/Bahnausrüstung" ... 46
4.3.4 Ausschreibung von Bauleistungen ... 46
4.3.4.1 Vorbemerkung ... 46
4.3.4.2 Ausschreibung Tunnelerneuerung ... 46
4.3.4.3 Ausschreibung Tunnelsanierung „Gewölbe" ... 47
4.3.4.4 Ausschreibung Tunnelsanierung „Fahrbahn" ... 49
4.3.4.5 Ausschreibung Tunnelsanierung „Sicherheitseinrichtungen" ... 50
4.3.4.6 Ausschreibung Tunnelsanierung „Bahntechnik/Bahnausrüstung" ... 50

4.1 Vorbemerkung

Im Folgenden werden die verschiedenen Behördenverfahren für DB, ÖBB und SBB zur Erlangung des Baurechts näher dargelegt.

4.2 Behördenverfahren

4.2.1 Planrechtsverfahren für Eisenbahninfrastrukturmaßnahmen in Deutschland

Das Flussdiagramm in **Bild 4.1** zeigt den Ablauf des Planrechtsverfahrens der DB.

Definitionen

- **Planfeststellung**
  Planrechtsverfahren mit öffentlicher Beteiligung zur Erlangung von Baurecht mit umfassender formeller Konzentrationswirkung bei Projekten mit übergeordneter Bedeutung, insbesondere bei Bundesstraßen, Bundesautobahnen, Bundeswasserstraßen, Luftverkehrsanlagen und Eisenbahnverkehrsanlagen.
- **Plangenehmigung**
  Vereinfachte Variante der Planfeststellung ohne öffentliche Beteiligung. Sie kommt nur zum Einsatz, wenn Rechte Anderer nicht beeinträchtigt werden oder die betroffenen Dritten sich mit der Inanspruchnahme ihres Eigentums einverstanden erklären. Weiterhin muss mit den Trägern öffentlicher Belange (das sind die von der Planung berührten Behörden, Kommunen oder sonstige juristische Personen des öffentlichen Rechts) das Benehmen hergestellt werden.

Genehmigungen für Sonderbauweisen

Projektspezifische Randbedingungen erfordern für die Realisierung von Tunnelprojekten immer wieder sinnvolle und vertretbare Modifikationen von Regelbauweisen. Diese Modifikationen führen zu Sonderbauweisen, die unter dem Vorbehalt der sicherheitstechnischen Prüfung zu Veränderungen z. B. bei der Querschnittsgestaltung o.ä. führen. Sonderbauweisen bieten aber auch innovativen Verfahren die Möglichkeit zur Verwirklichung.

Da bei der DB Sonderbauweisen häufig nicht mit den geltenden Regelwerken abgedeckt sind oder keine geregelte Bauart darstellen, werden spezielle Genehmigungen für den Einzelfall erforderlich.

In der nachstehenden tabellarischen Übersicht wird ein Überblick über aktuelle Sonderbauweisen und die bei der DB erforderlichen

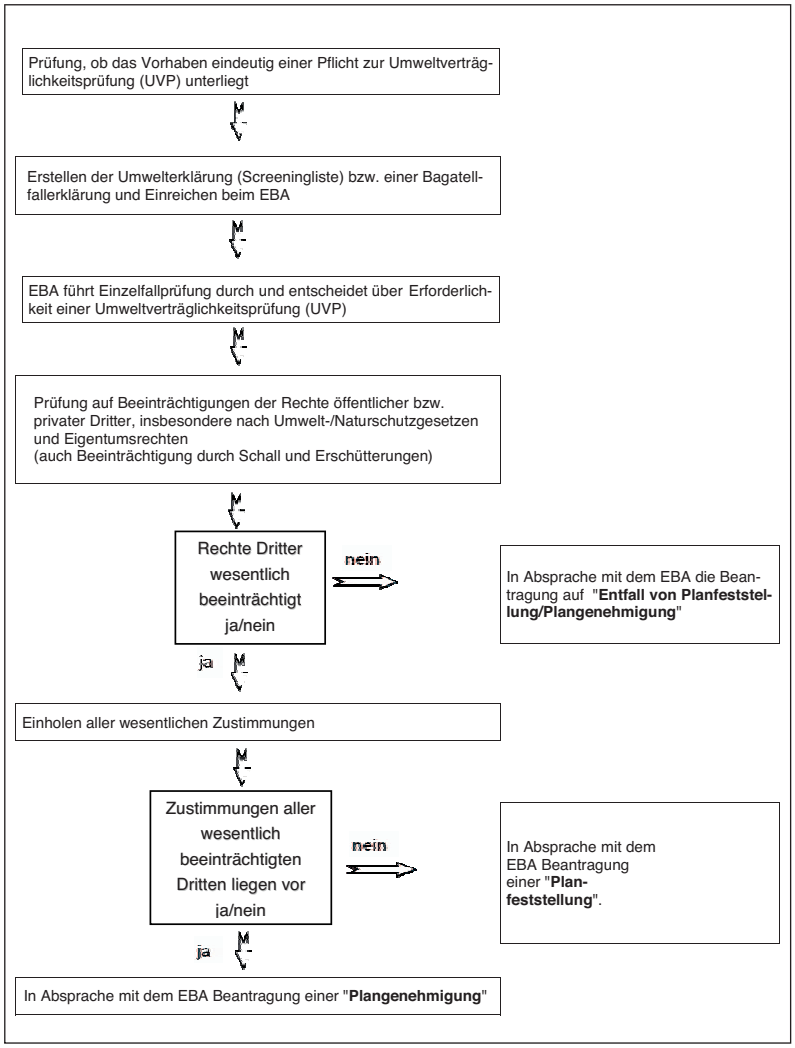


Bild 4.1: Planrechtsverfahren der DB

Genehmigungen UIG und ZIE gegeben. Bei Abweichungen vom Regelwerk der DB ist die UIG (Unternehmensinterne Genehmigung) erforderlich. Wenn nicht geregelte Bauprodukte oder -verfahren zur Anwendung kommen sollen sowie bei sicherheitsrelevanten Aspekten ist zusätzlich zur UIG die ZIE (Zustimmung im Einzelfall) beim EBA zu beantragen (**Tabelle 4.1**).

Zusätzliche Genehmigungsverfahren für Sonderbauweisen sind bei der ÖBB und der SBB nicht üblich. Die Planung der Baukonstruktion und die anzuwendenden Bauverfahren werden beim Bauherrn eingereicht und im Rahmen der allgemeinen Genehmigungsverfahren (Kapitel 4.1.2 und 4.1.3) geprüft.

- **Bemerkung**
  Besondere geotechnische Randbedingungen erfordern Sonderbauweisen, wie z. B. das Ausweichprinzip im quellenden/schwellenden Gebirge. Da diese Sonderbauweisen keine spezifischen Aufgabenstellungen der Tunnelsanierung und Tunnelerneuerung darstellen, sondern auch den allgemeinen Tunnelbau betreffen, wird diese Thematik in der Ausarbeitung dieses Arbeitskreises nicht weiter verfolgt.

4.2.2 Eisenbahnrechtliches Baugenehmigungsverfahren in Österreich

Dieses Kapitel zeigt den Ablauf der Baugenehmigungsverfahren in Österreich für Maßnahmen gemäß **Tabelle 4.2.** Hierzu sind aus dem österreichischen Eisenbahngesetz (EisbG) einige wesentliche Zitate zusammengestellt.

Erforderlichkeit einer eisenbahnrechtlichen Baugenehmigung (→ § 31)

Die Erteilung der eisenbahnrechtlichen Baugenehmigung ist bei der Behörde mit dem Bauentwurf und den umfassenden Gutachten über die projektrelevanten Fachgebiete zu beantragen, woraus hervorgehen muss, dass

- das Bauvorhaben dem Stand der Technik entspricht,
- die Sicherheit und Ordnung des Betriebes der Eisenbahn berücksichtigt,
- der Betrieb von Schienenfahrzeugen auf der Eisenbahn sichergestellt und
- die Anforderungen des Arbeitnehmerschutzes erfüllt sind, sowie
- im Falle beantragter Abweichungen vom Stand der Technik die Vorkehrungen getroffen werden, die trotzdem die vorher genannten Punkte gewährleisten können.

Aus dem Bauentwurf müssen insbesondere folgende Punkte ersichtlich sein:

- die Lage der Eisenbahnanlagen und der in der Nähe der Eisenbahntrasse gelegenen Bauten, Verkehrsanlagen, Wasserläufe und Leitungsanlagen
- ein Bau- und Betriebsprogramm
- die erheblichen Auswirkungen des Bauvorhabens auf die Umgebung

Sonderbauweisen bei der DB	ausgeführt in DB-Tunneln	DB-Genehmigungen	
		UIG	ZIE
Reduzierung bautechnischer Nutzraum	Mausenmühlen Tunnel, Jähroder Tunnel, Busch Tunnel, Frauenberger Tunnel, Kupferheck Tunnel, Langenauer Tunnel, Hollricher Tunnel	X	
Einbau Deckenstromschiene	Berghau Tunnel, Busch Tunnel	X	
Tübbingausbau, sohloffen		(*)	(*)
Vollmechanisierte Tunnelaufweitungsmaschinen		(*)	(*)

(*) Erfordernis ist im Einzelfall zu klären

Tabelle 4.1: Beispiele für genehmigungspflichtige Sonderbauweisen bei der DB

Gesetz/Verordnung	Anwendungsbereiche
Eisenbahngesetz (EisBG)	Bau- und Betriebsbewilligung
Hochleistungsstrecken-Gesetz (HlG)	Sicherstellung des Trassenverlaufs von Hochleistungsstrecken
Bundesstraßen-Gesetz	Umlegung, Unter- oder Überqueren von Bundesstraßen
Landesstraßen-Gesetz des jeweiligen Landes	Umlegung, Unter- oder Überqueren von Landesstraßen
Wasserrechts-Gesetz (WRG)	wird i.d.R. im eisenbahnrechtlichen Bewilligungsverfahren mitbehandelt
Forst-Gesetz	für Rodungen; wird i.d.R. im eisenbahnrechtlichen Verfahren mitbehandelt
Abfallwirtschafts-Gesetz (AWG), Deponie-VO	Errichtung einer Deponie
Umweltverträglichkeitsprüfungs-Gesetz (UVP-G)	Bau von Hochleistungsstrecken; Bewilligungen nach sonstigen Bundesgesetzen im UVP-Verfahren mitzubehandeln
Naturschutz-Gesetz des jeweiligen Landes	eigenes Verfahren im Vorfeld des eisenbahnrechtlichen oder UVP-Verfahrens (Landeskompetenz)
Denkmalschutz-Gesetz (DMSG)	Abtrag oder Umbau von geschützten Gebäuden und Bauwerken
Luftfahrt-Gesetz	erforderlich, wenn Eisenbahntrasse nahe eines Flughafens liegt
Starkstromweg- bzw. Elektrizitäts-Gesetz des jeweiligen Landes	Verlegung von Starkstromleitungen – Bezeichnung in den einzelnen Ländern unterschiedlich

Tabelle 4.2: Genehmigungsverfahren der ÖBB

- die betroffenen Liegenschaften sowie Eigentümer und Berechtigten
- allfällig durch das Bauvorhaben berührte und vom Bund, von den Ländern und von den Gemeinden wahrzunehmende Interessen.

Genehmigungsfreie Vorhaben (→ § 36)

Keine eisenbahnrechtliche Baugenehmigung ist erforderlich bei Neu-, Erweiterungs-, Erneuerungs- und Umbauten, soweit sie keine umfangreichen zu einer Verbesserung der Gesamtleistung der Eisenbahn führenden Arbeiten bedingen, wenn diese Arbeiten unter der Leitung einer im Verzeichnis gemäß § 40 geführten Person (für die eisenbahntechnischen Fachgebiete durch ein Studium an einer Universität oder Fachhochschule qualifiziert, durch die praktische Betätigung im Eisenbahndienst von mindestens 7 Jahren, davon 3 Jahre im entsprechenden Fachgebiet sowie in Kenntnis der in Betracht kommenden Rechtsvorschriften, verlässlich und auf Antrag eines Eisenbahnunternehmens in einem nach Fachgebieten unterteilten Verzeichnis geführt) ausgeführt und subjektiv öffentliche Rechte Dritter nicht verletzt werden.

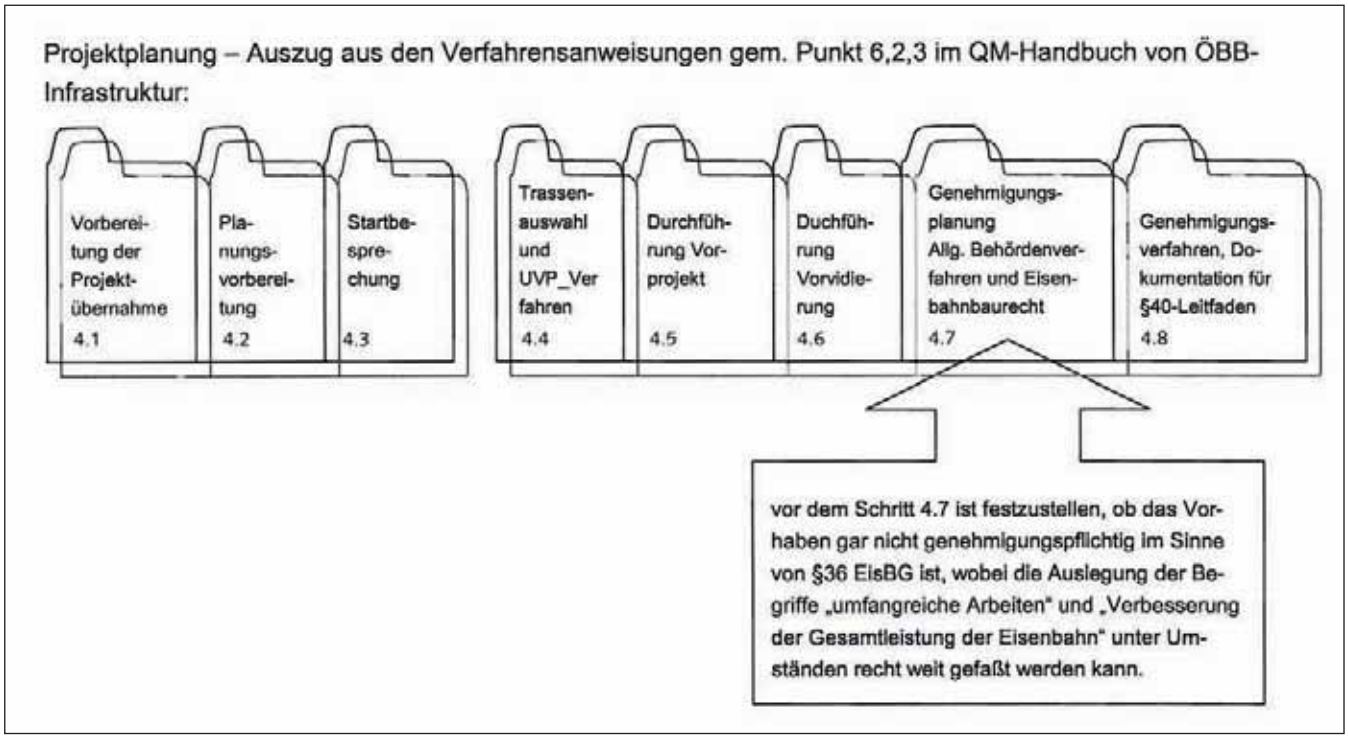


Bild 4.2: Planungsschritte im Rahmen des Behördenverfahrens bei der ÖBB [4.6]

Zu den Grundlagen der Projektplanung gehören folgende mitgeltende Verfahrensanweisungen und Richtlinien:

- Projektbeauftragung
- Beschaffung baunaher Dienstleistungen
- Leitfaden für § 40 Personen
- Interoperabilität mit den Teilsystemen Infrastruktur, Energie, Zugsteuerung – Zugsicherung – Signalgebung, Fahrzeuge, Verkehrsbetrieb – Verkehrssteuerung, Instandhaltung und Telematikanwendungen für den Personen- und Güterverkehr

Der Ablauf der Projektplanung mit den erforderlichen Planungsschritten für das Projekt unter Berücksichtigung von Komplexität und des Genehmigungsumfanges ist in **Bild 4.2** dargestellt.

Bei größeren Vorhaben – im Rahmen von Tunnelsanierungen etwa die Errichtung einer 2. Röhre – ist die Prüfung der umweltrechtlichen Relevanz durchzuführen (**Bild 4.3**).

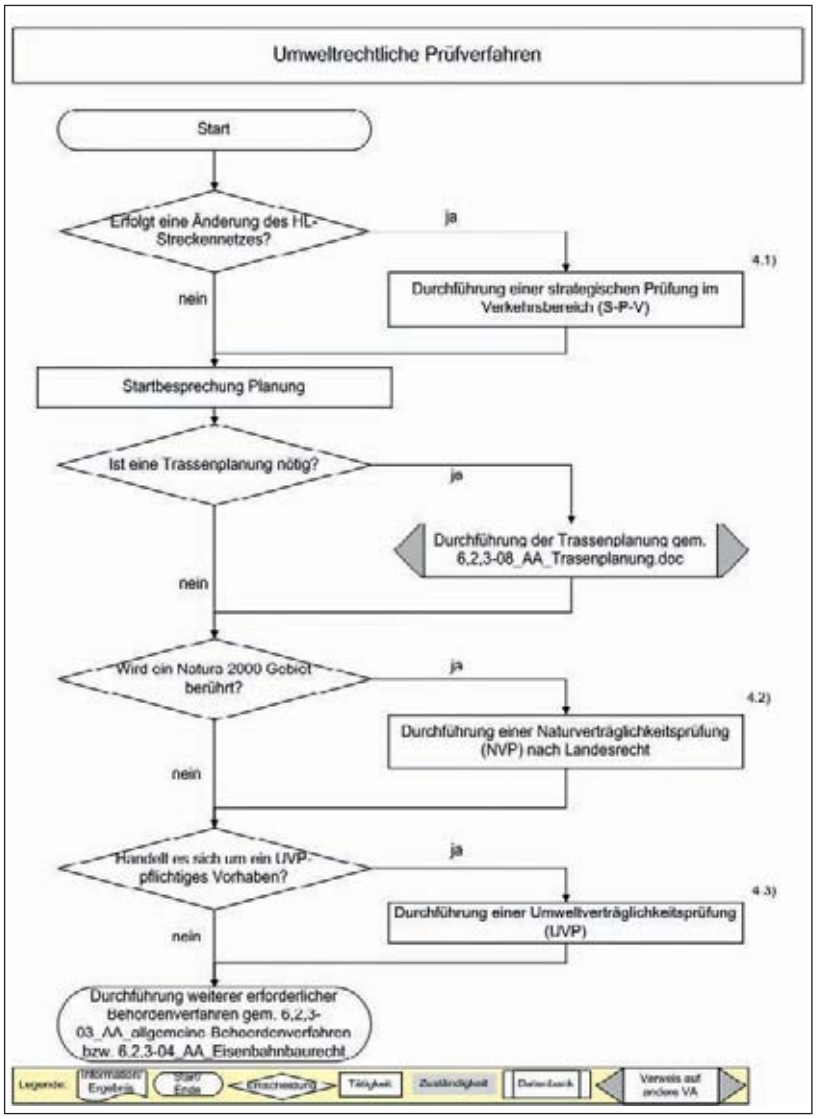


Bild 4.3: Flussdiagramm zur umweltrechtlichen Prüfung in Österreich [4.6]

4.2.3 Planrechtsverfahren bei der SBB

Dieses Kapitel zeigt den Ablauf des Planrechtsverfahrens in der Schweiz. Bei der SBB ist der Planungsablauf über die SIA 103 im Kapitel 3.2 wie folgt definiert (**Tabelle 4.3**).

Im Bewilligungsverfahren gemäß Phase 3–33 wird die Projektierung durch das BAV bei erfolgreicher Prüfung genehmigt. Das Bewilligungsverfahren der Bahnprojekte ist inhaltlich wie folgt aufgebaut:

a) Abgrenzung eisenbahnrechtliches/kantonales Verfahren

Im Regelfall gelangt das Eisenbahnrechtliche Verfahren (PGV) zur Anwendung. Das kantonale Verfahren kommt nur dann zur Anwendung, wenn das Bauvorhaben nicht überwiegend dem Bahnbetrieb dient.

Das Auflageprojekt wird durch die Aufsichts- und Genehmigungsbehörde „Bundesamt für Verkehr" (BAV) geprüft und genehmigt. Die erforderlichen Stellungnahmen der Kantone und Bundesämter sowie weiterer Betroffener werden durch das BAV eingeholt. Im Falle der öffentlichen Auflage (Publikation) müssen Stadt/Gemeinde sowie Organisationen und private Dritte innerhalb von 30 Tagen beim BAV Einsprache erheben.

Grundsätzlich gilt: nach Erlass der Plangenehmigungsverfügung ist die 30-tägige Beschwerdefrist an die Rechtsmittelinstanz (Bundesverwaltungsgericht) abzuwarten. Erst nach ungenütztem Ablauf dieser Frist wird die Plangenehmigungsverfügung rechtskräftig und es darf mit dem Bau begonnen werden.

b) Plangenehmigungsverfahren (PGV)

Ordentliches PGV

Das ordentliche Verfahren ist der Regelfall. In diesem Fall ist immer eine Publikation notwendig.

Vereinfachtes PGV

Das vereinfachte Verfahren kommt in 4 Fällen zur Anwendung:

- örtlich begrenztes Vorhaben mit wenigen, eindeutig bestimmbaren Betroffenen
- Vorhaben, dessen Änderung oder Umnutzung das äussere Erscheinungsbild nicht wesentlich verändert, keine schutzwürdigen Interessen Dritter berührt und sich nur unerheblich auf Raum und Umwelt auswirkt
- Anlagen, die spätestens nach 3 Jahren wieder entfernt werden
- Genehmigung von Detailplänen, die sich auf ein genehmigtes Projekt stützen

Phasen		Teilphasen	
1	Strategische Planung	11	Bedürfnisformulierung, Lösungsstrategien
2	Vorstudien	21	Projektdefinition, Machbarkeitsstudie
		22	Auswahlverfahren
3	Projektierung	31	Vorprojekt
		32	Bauprojekt
		33	Bewilligungsverfahren, Auflageprojekt
4	Ausschreibung	41	Ausschreibung, Offertvergleich, Vergabeantrag
5	Realisierung	51	Ausführungsprojekt
		52	Ausführung
		53	Inbetriebnahme, Abschluss
6	Bewirtschaftung	61	Betrieb
		62	Erhaltung

Tabelle 4.3: Planungsablauf bei der SBB

Kein PGV

Auf ein PGV kann nur verzichtet werden, wenn die folgenden Punkte kumulativ erfüllt sind:

- Instandhaltungsarbeiten
- keine erheblichen Planänderungen
- keine Nutzungsänderung
- keine Änderung des Erscheinungsbildes
- keine Rechte Dritter tangiert
- dem Stand der Technik entsprechend
- keine Ausnahmebewilligungen notwendig

4.3 Handlungshilfen betreffend Erkundung, Planung und Ausschreibung

4.3.1 Einleitung

Die in den fogenden Kapiteln der Handlungshilfen angeführten stichwortartigen Auflistungen von Punkten erheben keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit und sind nicht als lückenlose Checkliste, sondern „nur" als Handlungshilfen zu verstehen. Sie sollen aber sehr wohl dazu anregen, sich diesbezüglich Gedanken zu machen. Es wird auf viele Aspekte hingewiesen, die sich erst aus den unterschiedlichen projektspezifischen Randbedingungen ergeben. Länderspezifische Unterschiede bei der Projektbearbeitung resultieren aus den unterschiedlichen Verwaltungsvorschriften und Regelwerken der 3 Bahngesellschaften.

Vorangestellt sind 2 allgemeine Begriffsdefinitionen, die

Tunnelerneuerung

Neubau der wesentlichen Konstruktionselemente unter Berücksichtigung aktueller sicherheitsrelevanter und technischer Standards

- Vollständiger Ersatz des alten Ausbaus ohne Aufweitung
- Vollständiger Ersatz des alten Ausbaus mit Aufweitung

Tunnelsanierung

Bereichsweise Instandsetzung und Verstärkung der vorhandenen Konstruktionselemente.

4.3.2 Erkundung

Erkundungsmaßnahmen sind eine elementare Voraussetzung für die Situationsanalyse von Baugrund und Ausbau.

Inhalte für Untersuchungen von Baugrund und Ausbau
Auswahl je nach Bedarf und Aufgabenstellung

Baugrund

- Gründliche geotechnische Erkundung ist elementare Voraussetzung für Planungen: Beschreibung der Gebirgs- und Bergwasserverhältnisse; Art und Umfang sind nach DIN 4020 [4.2] und projektbezogen bzw. nach den jeweiligen Erfordernissen in Verantwortung eines geotechnischen Sachverständigen zu wählen (siehe auch DAUB-Empfehlungen [4.1])
- Auswahl der geotechnischen Erkundungen/Erkundungsverfahren ist u.a. auf die Ursachen von Bauwerksschäden auszurichten (Handlungshilfen liefert UIC–Katalog von Schäden und ihren Ursachen [4.4])
- Auswertung von ggf. vorhandenen Unterlagen, Aufzeichnungen aus der Baugeschichte der Auffahrung
- Materialuntersuchungen (in situ und Labor) zur Bestimmung der festigkeitsmechanischen Eigenschaften und Abrasivität
- Bergwasseranalyse (Beton-, Stahlaggressivität, Ausfällneigung)
- Chemische Materialuntersuchungen im Hinblick auf Entsorgung (z. B. infolge geogener Belastung im Gebirge)
- Erkundung Baugrund unter Gleisen zwecks Einbau Planumsschutzschicht (PSS), Frostschutzschicht (FSS) oder bei Fels Einhaltung der Schotterbettdicke von 30 cm unter Schwellenunterkante (SwU) (Schotterschürfe)
- Untersuchung von geplanten Kabelquerungen und Funktionstüchtigkeit vorhandener Entwässerungsgräben (und -leitungen) einschließlich Vorflut
- Erkundung (Luftbildauswertung, Oberflächenmessungen, Bohrlochmessungen) zur Sicherstellung der Kampfmittelfreiheit
- Weitere Untersuchungen nach projektspezifischer Erfordernis

Ausbau

- Regelbegutachtungen durch Bauherr/Bahnbetreiber
  - ➔ Zuordnung des Tunnels in Schadensstufen und Zustandskategorien
  - ➔ Bedarf für weiterführende Untersuchungen im Hinblick auf Instandsetzung/Erneuerung
- Auswertung und Verifizierung von ggf. vorhandenen Bauwerksakten hinsichtlich Auffahrung, Bauweise, Sanierungen, Umbauzuständen, Schadensdokumentationen
- Dokumentation von Schäden (z. B. Risse, Abplatzungen, Ausbrüche, Verformungen etc.) und Verfolgung der Schadensursache (Handlungshilfen liefert UIC–Katalog von Schäden und ihren Ursachen [4.4])
- Dokumentation von Nassstellen und Wasserzutritten (Eisbildung im Winter)
- Beschreibung Ausbaumaterial (variiert ggf. im Bereich von nachträglichen Sanierungen)

- Auswahl von Erkundungsumfang und -methoden ist u.a. auf die Ursachen von Bauwerksschäden auszurichten (Handlungshilfen liefert UIC–Katalog von Schäden und ihren Ursachen [4.4])
- Ausbaudicke und Ausbauqualität
- Gründungstiefe und -breite des Ausbaus
- Dokumentation von vorhandenen Abdichtungen an der Bergseite des Ausbaus
- Materialuntersuchungen Ausbau (z. B. Stein und Mörtel) im Hinblick auf Tragfähigkeit auch in Bauzustand und Abrasivität
- Chemische Materialuntersuchungen im Hinblick auf Entsorgung (Stein, teerhaltige Abdichtung, Hinterpackung)
- Dicke und Beschaffenheit der Hinterpackung
- Hohlstellen hinter Ausbau (Bohrungen, Thermografie, Georadar)
- Tunnelsohle (Dicke, Beschaffenheit)
- Dokumentation der vorhandenen Entwässerungskanäle, Rigolen
- Alte Schächte oder Stollen aus Auffahrung (z. B. zur Gebirgsentwässerung, als Sprengkammern, Lüftung, Zwischenangriff, Überfirstung) oder ggf. aufgrund Altbergbau
- Generelle Vermessung des Tunnelprofils mittels 3D-Tunnelscanner (prüfen hinsichtlich Auffälligkeiten, Verdrückungen, Verformungen), Tunnelprofil kann über Tunnellänge variieren
- Bestandsaufnahme der Portale hinsichtlich Schäden (Verkippung, Verdrückung, Risse, Verunreinigungen, Bewuchs etc.) und deren Schadensursachen, Ausführung von geeigneten Materialuntersuchungen (Stein, Mörtel etc.) und Erkundungen zur Ermittlung von Wanddicken, Gründungstiefen etc.
- Bestandsaufnahme von Nachbarbauwerken (Straßen, Bahnstrecken, Gebäuden, etc.) im Einflussbereich der Baumaßnahme
- Untersuchung/versuchstechnische Bestimmung der Ausbaubelastung z. B. nach Ril 853 [4.5] und der Einwirkungen des Gebirges auf den Ausbau

4.3.3 Planung

4.3.3.1 Vorbemerkung

Prinzip

Die Festlegung von Art und Umfang von Instandsetzung/Sanierung und Erneuerung (Kapitel 4.3.1) erfolgen unter Beachtung

- der betrieblichen Vorgaben,
- der Nutzungsvereinbarung,
- der Zielsetzung und
- der Finanzierung durch den Bauherrn (Kapitel 3).

Zur Gewährleistung der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit, Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit der gewählten Konstruktion sind bei der Planung

- die geltenden technischen Regelwerke,
- die Ausführungsbestimmungen des Bahnbetreibers
- und im Sinne einer Handlungshilfe die Empfehlungen aus diesem Sachstandsbericht zu berücksichtigen.

Aufgrund der bahnbetrieblichen Verknüpfungen und der Unwägbarkeiten bezüglich Gebirge/Hinterpackung/Ausbau/Baugeschichte empfiehlt es sich, alle Planungsphasen durch den Bauherrn direkt zu beauftragen und in den diversen Ausschreibungen (Erkundung/Planung/Bau) (Kapitel 3) alle Abläufe, Randbedingungen und Zwangspunkte möglichst genau zu beschreiben.

Nach Festlegung der Grundsätze können sich die Leistungen der Ingenieure/Gutachter und die Planungsinhalte wie folgt definieren:

- Vorbereitung der Planung: Kapitel 4.3.3.2
- Ingenieurplanung Tunnelerneuerung: Kapitel 4.3.3.3
- Ingenieurplanung Tunnelsanierung Gewölbe: Kapitel 4.3.3.4
- Ingenieurplanung Tunnelsanierung Fahrbahn: Kapitel 4.3.3.5
- Ingenieurplanung Tunnelsanierung Sicherheitseinrichtungen: Kapitel 4.3.3.6
- Ingenieurplanung Tunnelsanierung Bahntechnik: Kapitel 4.3.3.7

4.3.3.2 Vorbereitung der Planung

Voraussetzungen sind:

- Vorgeschriebene Behördenverfahren: siehe I)
- Geotechnische und tunnelbautechnische Aspekte: siehe II)
- Vermessung: siehe III)
- Fachplanungen bezüglich Leit- und Sicherungstechnik, E-Dienst/E-Technik, Telekom, Betrieb-Bauphasen: siehe IV)
- Straßenbau, Wasserbau, etc.: siehe V)

I) Vorgeschriebene Behördenverfahren

- UVP-Verfahren
- Eisenbahnrechtliches Verfahren
- Naturschutz, Forstrecht, Wasserrecht, Straßenrecht, Rodungsbewilligung
- Prüfung, ob landschaftspflegerische Belange betroffen sind – Landschaftspflegerischenbegleitplanung (LBP), die in Abstimmung mit der Fachbehörde Auflagen für die Ausführung vorgibt
- FFH-Gebiete (Landschaftsschutz, Natura 2000 Gebiete, etc.)
- Wasserschutzgebiete
- Grundeinlösen, Servitute, Nutzungsrechte

II) Geotechnische und tunnelbautechnische Aspekte

- Darstellung der Erkundung (Kapitel 4.3.2)
- Interpretation von Schäden am Ausbau/Portalen und deren Ursachen (UIC–Katalog von Schäden und ihren Ursachen [4.4]) inkl. Schlussfolgerungen für die Erneuerung
- Gebirgsmodell und Festlegung der Gebirgskennwerte
- Erdbebengefährdung
- Lastansätze für Bemessung der Konstruktionselemente (Außen- und Innenschale, Stützwände, Böschungssicherungen etc.), Kalibrierung der Lastansätze mit dem vorhandenen Ausbau
- Vorgaben für Berechnungsverfahren (ebenes Stabwerk, FEM, DEM) und Berechnungsmodelle
- Entsorgungsrechtliche Einstufung der Abfall-/Abbruchmaterialien z.B. Gebirge, Gleisschotter, Ausbau (besondere Betrachtung von alten teerhaltigen Abdichtungen, die sich nur schwer vom Ausbaumaterial separieren lassen
  ➔ Klassifizierung auf der sicheren Seite)
- Ggf. Beeinflussung von Nachbarbauwerken (z. B. Unterfahrung von Straßen etc.)

- Festlegung der Vortriebsverfahren (zyklisch = Spreng-/Baggervortrieb, kontinuierlich = Maschineller Vortrieb)
- Festlegung der Vortriebsklassen (Gebirgsverhaltenstypen) bzw. der Abschlagslängen
- Maß für einzukalkulierenden, verfahrenstechnisch bedingten Mehrausbruch (Außentoleranz) im Gebirge definieren (Deutschland DIN 18312 [4.3])
- Vorgaben für messtechnische Überwachung, zu erwartende Verschiebungen, Warnwerte, Eingreifwerte
- Festlegung der bauzeitlichen Sicherung (vorauseilende Sicherung, Spritzbeton, Ankerung)
- Untersuchen, ob sich bei Abdichtung des Tunnels die Bergwasserverhältnisse verändern
- Wasserhaltung, bauzeitliche/spätere Nutzung der vorhandenen Entwässerungsteile
- Betrachtung, ob Drainagewirkung der Hinterpackung bei Erneuerung/Instandsetzung erhalten bleibt
- Grobe Festlegungen für die dauerhaften Konstruktionselemente (Dicke der Innenschale, geschlossene/offene Sohle etc.)
- Entwässerung für Endzustand, insbesondere auch zwischen Portal und Vorflut
- Böschungs- bzw. Hangsicherungen im Bereich der Anschlagwände/Portale (Spritzbeton, Felsnägel, rückverankerte Netzverhängung) für Bauzustand und Endzustand
- Beurteilung der globalen Standsicherheit der Portale anhand von Schäden (Verkippung, Verdrückung, Ausbrüche, Risserscheinungen, etc.) und deren Schadensursachen (Hangschub, Frost, Wurzeldruck, Verwitterung etc.)
  ➔ Festlegung von Sicherungsmaßnahmen und Kenndaten zur Bemessung
- Sicherungen in Voreinschnitten
- Sicherungen in Sonderbereichen (alte Schächte, Entwässerungsstollen neben dem Haupttunnel, offene Bauweise, bergmännische Eingangsstrecken)
- Empfehlung für Abdichtungssystem auf der Grundlage der Bergwasserverhältnisse und -analyse

III) Vermessung

- Ausreichende Geländevermessung (Portale, betroffene Hangbereiche, Bereiche mit geringer Überlagerung, Längsschnitt Tunnel, Gelände für Baustelleneinrichtung und Baustraßen, Entwässerung, Querungen, etc.)
- Tunnelscan (Überprüfung Lichtraumprofil) für Bestand vor der Erneuerung
- Tunnelscan nach Instandsetzung/Erneuerung (mit Farbflächendarstellung für Über- und Unterprofile)
- Geotechnische/geodätische Kontrollmessungen während der Baumaßnahme

IV) Fachplanungen bezüglich Leit- und Sicherungstechnik, E-Dienst/E-Technik, Telekom, Betrieb-Bauphasen)

- Bestandsdokumentation und Verifizierung der Bestandsunterlagen (tatsächliche Kabellagen und Kabelbestand)
- Bauzeitliche Kabelverlegung und -sicherung
- Vereinbarung mit den Betreibern der betroffenen Netze über Vorsichtsmaßnahmen, Bereitschaftsdienst etc.
- Vorbereitungen von Noteinspeisungen
- Bemessung neuer Kabelwege hinsichtlich der vorgesehenen Anzahl von Leitungen und Reserven
- Ggf. neue Signalstandorte (Prüfung, ob Regelfundamente/Regelbefestigungen möglich)
- Strahlende Kabel (gewährleisten Funk im Tunnel): ausreichenden Abstand vom Gewölbe einhalten (auch bei Spritzbetonauftrag)
- Umbau/Verziehen der Oberleitung, Schutz der Oberleitung, Einbau von beweglichen oder abbaubaren Oberleitungen
- Bei Elektrifizierung:
  – Konzept für Erdung und Rückleitung
  – Erdung von bewehrten Konstruktionselementen, Gerüsten und Baumaschinen
  – Schutz vor gefährlichen Berührungsspannungen
  – Schutz gegen Berührungsspannungen beim Zusammentreffen von Erdungssystemen
- Bei Arbeiten unter Betrieb (Sicherung des Betriebsgleises)
- Planung von Bauphasen und Abstimmung der damit verbundenen betrieblichen Einschränkungen hinsichtlich
  – Zeitdauer
  – Geschwindigkeit
  – Querschnitt
  – E-Traktion oder Diesel
- Bei Arbeiten unter Betrieb vorsehen von entsprechenden Sicherungseinrichtungen
  – Absperrungen zum Betriebsgleis
  – Automatische Rottenwarneinrichtungen
  – Sicherungsposten (Sipo)
  – Sichere Funk- und Telefonverbindungen
  – Schalten und Erden von Ober-Speiseleitungen, Kabeln

V) Straßenbau, Wasserbau

- Bestandsaufnahme, Darstellung Bestand (vorhandene Bestandsunterlagen, ggf. Neuvermessung)
- Abstimmung mit zuständigen Behörden bezüglich Planungsanforderungen für Sicherungsmaßnahmen
- Abstimmung von Genehmigungsverfahren
- Aufstellen von Kreuzungsvereinbarungen
- Beweissicherung

4.3.3.3 Ingenieurplanung Tunnelerneuerung

Beinhaltet den Neubau der wesentlichen Konstruktionselemente, d.h.

➔ Ersatz des alten Ausbaus ohne Aufweitung
➔ Ersatz des alten Ausbaus mit Aufweitung

- Auswahl der unter Kapitel 4.3.3 für die Planung relevanten Punkte
- Auswahl möglicher Verfahrenstechniken unter Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse und der betrieblichen Randbedingungen (unter Betrieb/ohne Betrieb) zur Erneuerung z. B.

– Tunnel-im-Tunnel Methode (TiT) unter Betrieb
– Arbeiten ausgehend vom Arbeitszug oder Zweiwegebagger in Sperrpausen (zeitliche Vollsperrung oder einseitige Gleissperrung)
– Arbeiten mit Baugeräten ohne Gleisbindung bei längerer Vollsperrung

Je nach Art und Umfang der Erneuerung sind nachfolgende Leistungen zu erbringen bzw. zu beachten:

- Trassierung für Bau- und Endzustand und mögliche Zwischenbauzustände
- Bei TiT: Gleisverschwenkung für Bauzustand in Tunnelmittenlage (zeitweise eingleisiger Betrieb – ZEB), Rückverschwenkung in Endzustand und Wiederherstellung der Zweigleisigkeit
- Einbau und Rückbau von Bauweichen
- Querschnittsgestaltung Tunnel gemäß Vorgaben des Bahnbetreibers (Richtzeichnungen, Oberleitung, Entwurfsgeschwindigkeit, etc.)
- Wahl der Baustoffe für den Ausbau und die Portale (Expositionsklassen Beton, Anforderungen an Oberfläche, etc.)
- Wahl des Abdichtungssystems auf der Grundlage der Bergwasserverhältnisse und -analyse
- Sicherung von Bauzuständen (abschnittsweiser Abbruch/Ausbau, systematische/vorauseilende Radialankerung etc.) im Hinblick auf globale Standsicherheit und Betriebssicherheit
- Wahl des Ausbruchverfahrens in Abhängigkeit der Gebirgsverhältnisse
  – Sprengen im abrasiven und hochfesten Festgestein
  – Mechanisches Lösen (Baggerschaufel, Meißel, Fräse, etc.) in weicherem Gebirge
  ➔ Maschinentechnik (Kapitel 5 und 6)
- bei TiT Methode: Bemessung Schutzeinhausung auf Auswirkungen des Sprengvortriebs, Seitenstoß, und Belastung aus vertikalen und seitlichen Abbruchmassen
- bei TiT Methode: Fundamente für Fahrgleis Schutzeinhausung durch Verbau von Schotteroberbau des Betriebsgleises trennen
  ➔ erleichtert den Rückbau der Fundamente durch Entkopplung vom Zugbetrieb
- Notwendigkeit einer geschlossenen/befestigten Tunnelsohle und die damit verbundenen Bauzustände, sowie bahnbetriebliche und wechselseitige Einflüsse prüfen
- Bautechnischer Nutzraum, ggf. reduziert mit Genehmigung des Bahnbetreibers
- Bedarf für später geplante Oberleitung durch Bauherrn prüfen
- Gestaltung der Tunnelportale ggf. nach denkmalrechtlichen Vorgaben
- Portalverlängerung im Hinblick auf Steinschlagschutz und zur Erhöhung der Böschungsstandsicherheit (Portalauffangraum)
- An Portalen: Berührungsschutz von Fahr- und Speiseleitungen
- Prüfung der Wiedereinbaubarkeit von Tunnelausbruchmaterial (in erdbau- und umwelttechnischer Hinsicht/Deponieverordnung)
- Prüfung der Platzverhältnisse für Baustelleneinrichtung und der möglichen Zuwegungen zum Tunnel
- Klärung von Eigentümerverhältnissen für Nutzflächen und ggf. Beantragung von Genehmigungen für die Nutzung (Grunderwerb, Servitute, Miete – Pacht)
- Untersuchung der Auswirkungen infolge Schall und Erschütterungen auf Nachbarbebauung und Anwohner
  ➔ Gutachten und ggf. Auflagen berücksichtigen
- Schutzvorkehrungen (Verbau, Schutzvorhänge, Luftbogenstrecke etc) im Hinblick auf Streuflug bei Sprengarbeiten an Portalen im Nahbereich von Bebauung, Straßen und sonstigen öffentlichen Flächen (Genehmigungen bei zuständigen Stellen einholen)
- Schutz gegen vorzeitiges Auslösen elektrisch gezündeter Sprengungen durch elektromagnetische Felder des elektrischen Zugbetriebs
- Abstimmung mit Bahnbetreiber bezüglich Sperrpausen für Sprengvortrieb
- Dauerhaftes Entwässerungssystem unter Berücksichtigung der hydrologischen Verhältnisse, von Wasserrecht, Vorflut und möglichst ohne Einschränkungen für spätere Unterhaltungsarbeiten (z. B. Stopf- oder Reinigungsgänge) im Gleisbett (ggf. in Bankett/Fundament integrieren)
- Ausreichend große Flächen für Baustelleneinrichtung und Planung der verkehrlichen Anbindung in Abstimmung mit zuständiger Verkehrsbehörde (Straßenrechtliche und straßenpolizeiliche Verfahren)
- Bereitstellungsflächen für Zwischenlagerung von Abbruchmassen, Oberbaustoffen etc.; wenn diese nicht ausreichend vorhanden sein sollten, dann sollte die Beschaffung von Flächen in die Verantwortung des AN gelegt werden
- Brand- und Katastrophenschutz nach dem Aspekt der Verhältnismäßigkeit
- Tunnelrettungskonzept
  – Tunnelrettungszug
  – Heliport
  – Feuerwehrzufahrt
  – Fluchtwege
  – Technische Installationen

4.3.3.4 Ingenieurplanung Tunnelsanierung „Gewölbe"

Beinhaltet die Sanierung von vorhandenen Konstruktionselementen wie z. B.

- Spritzbetonsicherung bei Austausch von Mauerwerk, Rippenbauweise, Firstaufweitung, Verfüllen von Ausbrüchen (Betonplomben), Einbau Spritzbetonschale unter vorhandenen Ausbau: siehe I)
- Neuverfugung von Mauerwerk: siehe II)
- Systemankerung zur Erhöhung der globalen Standsicherheit und der Systemduktilität: siehe III)
- Verdübelung von abgelösten Spritzbetonschalen: siehe IV)
- Verfüllung von Hohlstellen im und hinter dem Ausbau (Injektionen): siehe V)
- Erneuerung der Entwässerung: siehe VI)
- Herstellung Gewölbeabdichtung und Drainage: siehe VII)

- Einbau einer Sohle/Sohlverstärkung/Gleisabsenkung: siehe VIII)
- Unterfangungen der Widerlager durch Kleinbohrpfähle, Injektionen oder Beton: siehe IX)
- Sanierung Portale: siehe X)

Für die Planung relevante Punkte – siehe Auswahl unter Kapitel 4.3.3.

Auswahl eines geeigneten Bauverfahrens (Kapitel 5 und 6) unter Berücksichtigung der betrieblichen Randbedingungen (unter Betrieb/ohne Betrieb) zur Sanierung z. B.

- Arbeiten ausgehend vom Arbeitszug oder Zweiwegebagger in Sperrpausen (zeitliche Sperrung oder einseitige Gleissperrung), ggf. Einbau von Bauweichen zur Ermöglichung von Spurwechseln
- Arbeiten mit Baugeräten ohne Gleisbindung bei längerer Vollsperrung

Je nach Art und Umfang der Sanierung sind nachfolgende Leistungen zu erbringen bzw. zu beachten:

I) Spritzbetonsicherungen bei Austausch von altem Mauerwerk, Rippenbauweise, Firstaufweitung, Verfüllen von Ausbrüchen (Betonplomben), Einbau Spritzbetonschale unter vorhandenen Ausbau

- Vermessung Tunnelprofil (aus Kapitel 4.3.3)
  ➔ bildet Grundlage für Entscheidung, ob für Einbau zusätzlicher Sicherungen (Spritzbeton, Anker, etc.) ausreichend Platz vorhanden ist
- Nachweis von Bauzuständen z. B. bei Ausbrucharbeiten am vorhandenen Ausbau
- Für statischen Nachweis müssen Dicke, Qualität und festigkeitsmechanische Eigenschaften des Ausbaumaterials, die äußeren Belastungen sowie die Bettungen (geologische Verhältnisse) so weit wie möglich bekannt sein (Kapitel 4.3.2)
- Bei Aufweitung des Ausbaus: Wahl des mechanischen Ausbruchverfahrens (Maschinentechnik: Kapitel 5 und 6)
  – Teilschnittmaschine
  – Tunnelbagger mit Reißzahn, Hydraulikmeißel oder Fräskopf
  – Vorbereitung des Ausbruchs durch Einschneiden mit Sägetechnik
- Rippenbauweise nach dem Prinzip – „Einbau von Stahlbetonrippen" (Abstand bzw. Abmessungen nach statischer Erfordernis) in den vorhandenen Ausbau
  – Statik für die Bauzustände liefert Vorgaben für die zulässige Ausbruchkontur und den Abstand der Ausbruchstellen (Pilgerschrittverfahren, Teilabbruch etc.)
  – Herstellung von Sägeschnitten an den Ausbruchkanten der einzelnen Rippen
  – Ausbruch der Rippen mauerwerksschonend mit Fräse, ggf. mit Baggermeißel
  – Spritzbetonversiegelung der Ausbruchflächen (mind. 3 cm)
  – Herstellung ggf. erforderlicher Gebirgsverankerungen
  – Einbau der Bewehrung z. B. als Gitterträger oder Stahlbögen (Spritzbetonschatten vermeiden)
  – Betonage der Rippen meist mit Spritzbeton (ggf. lagenweise)
  – Herstellung der Spritzbetonfelder zwischen den Rippen
  – Herstellung der durchgehenden luftseitigen bewehrten Spritzbetonlage
- Bei Rippenbauweise/Teilabbruch Ausbau: Nachweis eines Verbundsystems aus altem Ausbau und neuer Spritzbetonschale bei ausreichender Verdübelung
- Sicherung von Bauzuständen:
  – Abschnittsweises/lamellenweises Vorgehen
  – Systemankerung
  – Spritzbeton
  – Baustahlmatten
  – Tunnelbögen
- Schutz, Abbau oder Verziehen der Oberleitung
- Sichern, Versetzen, Austauschen von Objekten (FL-Tragwerken, Signalen, Beleuchtungskörpern etc.), die in der zu sanierenden Zone am Gewölbe befestigt sind
- Verdübelung Spritzbetonschale mit vorhandenem Ausbau zur
  – Verbesserung der Verbundwirkung
  – Zur Verankerung falls Spritzbetonschale nicht selbsttragend

II) Neuverfugung Mauerwerk

- Verträglichkeit des neuen Mörtels mit historischem Mauerwerk prüfen
- Prüfen, ob maschinelles oder händisches Verfugen angewendet werden soll

III) Systemankerung zur Erhöhung der globalen Standsicherheit und der Systemduktilität

- Statische Abschätzung der sicherheitserhöhenden Wirkung
- Korrosionsschutz für dauerhaften Einsatz (Systeme mit Zulassung)/Berücksichtigung einer Abrostrate
- Zusätzliche Gebirgsvergütung durch Injektionseintrag bei Injektionsbohr- und SN-Ankern

IV) Verdübelung von abgelösten Spritzbetonschalen

- Nur sinnvoll, wenn Flächentragwirkung durch intakte Bewehrung vorhanden
- Wahl des Dübelrasters und der Dübellänge zur Verankerung der abgelösten Spritzbetonschale im dahinter befindlichen intakten Ausbau
- Korrosionsschutz der Dübel beachten (verzinkt oder besser Edelstahl)
- Zur Verbesserung der Tragwirkung Ankerplatten einbauen

V) Verfüllung von Hohlstellen im und hinter dem Ausbau (Injektionen)

- Abschätzung der Massen auf der Grundlage einer ausreichenden Erkundung (Kapitel 4.3.2)
- Wahl eines geeigneten Injektionsgutes (Dämmer, Zementsuspension etc.)
- Verfüllung lagenweise von unten nach oben in definierten Abschnitten

- Wahl eines geeigneten Bohrlochrasters zur Verfüllung und Kontrolle
- Überprüfung der Auswirkung hinsichtlich Drainagewirkung der Hinterpackung

VI) Erneuerung der Entwässerung

- Wahl des Entwässerungssystems in Abhängigkeit der hydrologischen Verhältnisse und des Wasserchemismus (Kapitel 4.3.2)
- Überprüfung des Entwässerungskonzeptes insbesondere bei Störfällen/Havarien
- Möglichkeiten für Spülen der Leitungen (Schächte) planen
- Schächte ausreichend groß und gut zugänglich anlegen
- Zugelassene bzw. erprobte Systeme einbauen
- Eignung und Tragfähigkeit von Entwässerungsleitungen/Schächten im Lastabtragungsbereich von Gleisanlagen beachten
- Ausreichende Gefälleverhältnisse zur Vorflut beachten (ggf. Hebeanlage, Pumpwerk vorsehen)
- Fassen von Wasserzutritten durch Einbau von Rigolen (Kammerdrains, Noppenbahnen, Rohre), Herstellen von gezielten Bohrungen durch den Ausbau bis in das Gebirge, Anschluss der Leibungsentwässerung an die Tunnellängsleitung
- Bei Planung der Schächte: Behinderungen für spätere Stopf- und Reinigungsgänge des Schotters vermeiden
- Entwässerung der Kabelkanäle und Kabelschächte

VII) Herstellung Gewölbeabdichtung und Drainage

- Kunststoffspritzabdichtung (in Deutschland noch nicht zugelassen)
  - Auf Ausbauoberfläche/Tunnellaibung Dränage (gezielte Bohrungen, Schlitze, Kammerdrains, Noppenbahnen, Rigolen) einbauen und an Entwässerung anschließen
  - Dübel in geeignetem Raster ausreichend tief in Ausbau einbauen
  - Spritzabdichtung auftragen
  - Baustahlmatten an Dübeln befestigen
  - Abschließend Spritzbetonschale einbauen

VIII) Einbau einer Sohle/Sohlverstärkung/Gleisabsenkung

- Einbau einer durchgehenden Sohle als Sohlplatte oder Sohlgewölbe mit Krümmung (Entscheidung nach statischer Erfordernis)
- Nachweis der globalen Standsicherheit des Gesamtsystems Tunnel/Gebirge für die Bauzustände (Sohlaushub/Sohlausbruch), ggf. Einbau einer temporären Spritzbetonsohle
- Wahl des Ausbruchverfahrens in Abhängigkeit der Gebirgsverhältnisse
  - Sprengen im abrasiven und hochfesten Festgestein nur bei Vollsperrung. Bei Sprengvorbereitung auf mögliche Einflüsse des elektrischen Betriebs achten
  - Mechanisches Lösen (Baggerschaufel, Meißel, Fräse, etc.) in weicherem Gebirge

  ➔ Maschinentechnik (Kapitel 6)
- Wahl eines Abdichtungs- oder Entwässerungssystems für die Sohle
- Sohlverstärkung: z. B. mittels Betonriegeln (Druckstrebe) als nicht durchgehende Sohle mit Anschluss an die vorhandenen Widerlager
- Bei TiT-Methode ist eine längere Vollsperrung anzustreben, sonst ist der Einsatz von Hilfsbrücken erforderlich. Diesbezüglich ist zu beachten:
  - Hoher Aufwand aufgrund Herstellung Hilfsbrückenauflager
  - Einschränkungen für Zugbetrieb bei Einbau, Umbau und Rückbau der Hilfsbrücken
  - Beengte Platzverhältnisse für Ausbruch, Schuttern, Einbau Bewehrung und Betonage
  - Hohe Anforderungen an Betonrezeptur aufgrund der kurzen Ausschalfristen
- Formschlüssigen Kontakt zum vorhandenen Widerlager herstellen

  ➔ Vermeidung von Hohlstellen durch Ausführung von nachträglichen Kontaktinjektionen
- Sicherung von Bauzuständen: Rückverankerung der alten Widerlager vor dem Sohlaushub zur Gewährleistung der Standsicherheit im Bauzustand (Grundbruch, Gleiten)
- Bei halbseitigem Einbau unter Betrieb: Sicherung der Aushubzustände
  - Rückverankerung der freigelegten Widerlager
  - Herstellung von verformungsarmem Gleislängsverbau (ggf. rückverankert, eingespannt, ausgesteift)
- Bei halbseitigem Einbau unter Betrieb: Planung der Umbauzustände (Gleis, Verbau, Oberleitung)
  - Prüfung Lichtraumverhältnisse für einseitige Gleisführung im Bauzustand
  - Ausreichende Sperrzeiten für Umbauzustände
  - Umbau Gleis
  - Sicherung der verbleibenden Gleisinfrastruktur (z. B. Schotterbettsicherung)
  - Umbau/Verziehen Oberleitung
  - Umbau Verbau
  - Berücksichtigung von Ausschalfristen
  - Bewehrungsanschluss der beiden Sohlhälften (z. B. mittels Schraubmuffenverbindungen)
- Expositionsklassen für Sohlbeton auf der Grundlage der chemischen Analyse des Wassers/Bodens, Anforderungen bezgl. Frostbeständigkeit etc. festlegen
- Anpassung/Neubau der Längsentwässerung
- Neubau Kabelwege/Kabelquerungen

IX) Unterfangungen der Widerlager durch Kleinbohrpfähle, Injektionen oder Beton

- Herstellung Kleinbohrpfähle nur schräg nach unten möglich
  - Ziel ist die Durchdringung der vorhandenen Fundamentsohlen
  - Formschlüssigen Kontakt zum vorhandenen Ausbau herstellen
- Unterfangung mittels Injektionen:
  - Abschätzung der Massen des Verpressmaterials auf der Grundlage einer geotechnischen Erkundung

– Wahl eines geeigneten Injektionsgutes (Dämmer, Zementsuspension etc.)
– Wahl eines geeigneten Bohrlochrasters für Injektionen und Kontrolle

- Unterfangung mittels Beton:
  – Nur abschnittsweise/lamellenweise in Fenstern möglich
  – Ggf. als Teilunterfangung über die halbe Fundamentbreite
  – Herstellung Schubverbund zum vorhandenen Ausbau durch Verdübelung
  – Voreilende Rückverankerung der Widerlager
  – Formschlüssigen Kontakt zum vorhandenen Widerlager herstellen
  ➔ Vermeidung von Hohlstellen durch Ausführung von nachträglichen Kontaktinjektionen

X) Sanierung Portale

- Bei denkmalgeschützten Bauwerken/Portalen: Festlegung der Sicherungen und der gewählten Materialien bzw. Wahl des Verfahrens in Abstimmung mit dem Denkmalamt. Als weitere Auswahlkriterien dienen die Substanz (Angriffsgrad, Beanspruchbarkeit), der Grad der Verunreinigung, die Zielvorgaben zur Behebung optischer Mängel, etc.)
- Reinigung der Oberfläche (Versinterungen, Farbaufträge, Pflanzenbewuchs, etc.) durch
  – Wirbelstrahlverfahren
  – Nebelstrahlverfahren
  – Heißdampfverfahren
  – Hochdruckwasserstrahl
  – Abbürsten von moos-/algenbegrünten Flächen und anschließendes Streichen mit Algenentferner
- Schutzmaßnahmen gegen Durchfeuchtung und Wasserdruck
  – Abdichtung der Portalabdeckung
  – Abdichtung der erdberührten Teile soweit möglich
  – Herstellen einer funktionstüchtigen Entwässerung des Portalraumes (Drainageleitungen, Raubettmulden zur kontrollierten Ableitung von Hangwasser)
  – Herstellung von Tropfkanten im Bereich von Abdeckungen und Gesimsen
  – Hydrophobierung der Oberfläche bei entsprechender Eignung und bei Ausschluss von Staunässe
  – Herstellung von Entwässerungs-/Entlastungsöffnungen zur Vermeidung von Wasserdruck
- Austausch von schadhaftem Mauerwerk
  – Bei Teilausbruch: Vorabsicherung von gesunden Nachbarbereichen
  – Verdübelung des neuen Mauerwerks mittels korrosionsbeständigen Mauerankern in den tragfähigen Bestand
  – Vernadelung/Verankerung (z. B. mittels Gewi-Ankern) von Abschalungen (z. B. bei Ziegelmauerwerk) in den tragfähigen Bestand
  – Verpressen von Hohlräumen innerhalb des Mauerwerks mit Zementsuspension oder Mikrofeinzement
  – Ausreichende Verzahnung des Mauerwerks im Bereich der Abbruchkanten
- Neuverfugung von Mauerwerk
- Abschlagen von Abschalungen an der Oberfläche und Entfernen von mürbem Ausbaumaterial zur Vermeidung der Steinschlaggefährdung für den Bahnbetrieb
- Natursteinarbeiten: Ersetzen von Ausbrüchen und schadhaften Natursteinen unter Berücksichtigung einer dauerhaften Verdübelung
- Rückverankerung von Flügelwänden
  – Wahl eines geeigneten und dauerhaften Ankersystems (z. B. Injektionsbohranker)
  – Bewehrte Spritzbetonschale zur Gewährleistung einer flächenhaften Tragwirkung
  – Verblendung der Betonschale mit Mauerwerk
  – Entlastungsöffnungen und Drainageleitungen zur Vermeidung von Wasserdruck
- Stabilisierung von angrenzenden instabilen Böschungen (z. B. Vernagelung) zur Begegnung von Hangschub auf die Portalwände
- Portalverlängerung im Hinblick auf Steinschlagschutz und zur Erhöhung der Böschungsstandsicherheit

4.3.3.5 Ingenieurplanung Tunnelsanierung „Fahrbahn"

Beinhaltet die nachfolgenden Baumaßnahmen wie z. B.

- Oberbauerneuerung: siehe I)
- Untergrundsanierungen: siehe II)
- Einbau Feste Fahrbahn: siehe III)

Für die Planung relevante Punkte – siehe Auswahl unter Kapitel 4.3.3.1.

Auswahl eines geeigneten Bauverfahrens (Kapitel 5 und 6) unter Berücksichtigung der betrieblichen Randbedingungen (unter Betrieb/ohne Betrieb) zur Sanierung z. B.

- Arbeiten ausgehend vom Arbeitszug oder Zweiwegebagger in Sperrpausen (zeitliche Sperrung oder einseitige Gleissperrung), ggf. Einbau von Bauweichen zur Ermöglichung von Spurwechseln
- Arbeiten mit Baugeräten ohne Gleisbindung bei längerer Vollsperrung

Je nach Art und Umfang der Sanierung sind nachfolgende Leistungen zu erbringen bzw. zu beachten:

I) Oberbauerneuerung

- Optimierung der Gradiente und Linienführung im Hinblick auf vorhandenes Lichtraumprofil und bei Tunnelerneuerung bzw. Tunnelsanierung zur Minimierung der Ausbruchkontur (Gewölbe, Sohle)
- Ausführung von Schürfen im Gleisbett zur Ermittlung der vorhandenen Schotterdicke und der Höhenlage des Erd- und Felsplanums
  ➔ Gewährleistung von Mindestschotterdicke
- Frühzeitige Festlegung des Bestellers für die Oberbaustoffe (AG oder AN) und des Tarifpunktes/Übergabestelle
- Frühzeitige Festlegung der Verantwortlichkeit für die Entsorgung der Altgleise, der Schwellen und des Altschotters, ggf. Reinigung und Wiederverwendung Altschotter

- Einrichten von bauzeitlichen, schienengleichen Bahnübergängen/Eisenbahnkreuzungen (mit Schrankenanlagen und Profiltor/Profilkontrollrahmen bei Oberleitung)
- Berücksichtigung von vorhandenen Entwässerungskanälen im Gleisbereich
- Vorauswahl eines geeigneten Transportmittels für An-/Abtransport der Oberbaustoffe
- Bereitstellung von Lagerflächen für Zwischenlagerung von Oberbaustoffen; wenn nicht ausreichend vorhanden, soll die Beschaffung von Flächen in die Verantwortung des AN gelegt werden

II) Untergrundsanierungen

- Bindemittelstablisierung des Erdplanums mit Zement oder Kalk
- Einbau einer neuen Planumsschutzschicht (PSS)
- Einbau einer neuen Frostschutzschicht (FSS) mit geeignetem Filtermaterial
- Einlegen von Geotextilien (Geogitter oder Vlies)
- Einbau einer ausreichenden Längsentwässerung, Überprüfung der Funktionsfähigkeit der vorhandenen Entwässerung auch vom Portal bis zur Vorflut
- Einbau von Kleinbohrpfählen
- Ausführung von Baugrundinjektionen (bei entsprechender Eignung des Bodens)
- Bei halbseitigem Einbau unter Betrieb: Einrichten einer Langsamfahrstelle
- Vorauswahl eines geeigneten Transportmittels für An-/Abtransport der Oberbaustoffe
- Bereitstellung von Lagerflächen für Zwischenlagerung von Oberbaustoffen; wenn nicht ausreichend vorhanden, soll die Beschaffung von Flächen in die Verantwortung des AN gelegt werden

III) Einbau Feste Fahrbahn

- Einbau von Übergangskonstruktionen zum Schotteroberbau
- Überprüfen der Eignung des Baugrundes bezüglich Verformungen/Verformungsverträglichkeit der Konstruktion
- Überprüfen, ob dynamische Lasten bei schwingungsempfindlichem Baugrund verträglich/gebrauchstauglich aufzunehmen sind
- Überprüfen, ob Beeinflussung von vorhandenen Nachbargleisen bezüglich Mitnahmesetzungen besteht
- Einsatz von bewährten Systemen
- Bei halbseitigem Einbau unter Betrieb: Einrichten einer Langsamfahrstelle
- Bei halbseitigem Einbau unter Betrieb: Prüfung der Platzverhältnisse für Einsatz Betonfertiger (Gleitschalungsfertiger, Straßenfertiger), ggf. Betonage von Hand
- Vorauswahl eines geeigneten Transportmittels für An-/Abtransport der Baustoffe
- Bereitstellung von Lagerflächen für Zwischenlagerung von Oberbaustoffen; wenn nicht ausreichend vorhanden, soll die Beschaffung von Flächen in die Verantwortung des AN gelegt werden
- Erdung und Rückstromführung sicherstellen

4.3.3.6 Ingenieurplanung Tunnelsanierung „Sicherheitseinrichtungen“

Beinhaltet die nachfolgenden Baumaßnahmen wie z. B.

- Nachrüstung Beleuchtung: siehe I)
- Nachrüstung Stromanschlüsse: siehe II)
- Nachrüstung Flucht-/Sicherheits-/Rettungsnischen: siehe III)

Ohne weitere Spezifizierung:

- Handläufe und Randweg
- Löschwasserleitungen (Erdung/Isolierstöße gemäß Erdungskonzept)
- Beschilderung Rettungswege

Für die Planung relevante Punkte – siehe Auswahl unter Kapitel 4.3.3.1.

Auswahl eines geeigneten Bauverfahrens (Kapitel 5 und 6) unter Berücksichtigung der betrieblichen Randbedingungen (unter Betrieb/ohne Betrieb) zur Sanierung z. B.

- Arbeiten ausgehend vom Arbeitszug oder Zweiwegebagger in Sperrpausen (zeitliche Sperrung oder einseitige Gleissperrung), ggf. Einbau von Bauweichen zur Ermöglichung von Spurwechseln
- Arbeiten mit Baugeräten ohne Gleisbindung bei längerer Vollsperrung

Je nach Art und Umfang der Sanierung sind nachfolgende Leistungen zu erbringen bzw. zu beachten:

I) Nachrüstung Beleuchtung

- Erneuerung/Nachrüstung der Beleuchtung nach Vorgaben des Bauherrn/Behörden
- Konzept für sichere Stromversorgung wichtiger Verbraucher

II) Nachrüstung Stromanschlüsse

- Elektranten/Steckdosen nach Vorgaben des Bauherrn
- Schutz vor gefährlichen Berührungsspannungen beim Zusammentreffen verschiedener Erdungssysteme

III) Nachrüstung von Flucht-/Sicherheits-/Rettungsnischen

- Ausführung in Sperrpausen oder bei einseitiger Gleissperrung
- Sicherung der Ausbruchzustände (Bauzustand) mittels
  - Verankerung
  - Bewehrter Spritzbetonschale
  - Vorauseilendem Spießschirm
- Herstellung Ausbruch
  - Begrenzung der Ausbruchkontur durch Sägeschnitte
  - Perforierung der Ausbruchränder durch Bohrungen in engem Abstand
  - Ausbruch mechanisch mit Fräse oder Baggerschaufel/-meißel in weichem Gebirge
  - Ausbruch im Sprengvortrieb in Sperrpausen (Sperrung beider Gleise) in festem bis hochfestem Gebirge
- Bei Sprengvorbereitung auf mögliche Einflüsse des elektrischen Betriebs achten

- Expositionsklassen für Betonauskleidung auf der Grundlage der chemischen Analyse des Wassers/Bodens, Anforderungen bezgl. Frostbeständigkeit etc. festlegen
- Einbau einer Leibungsentwässerung (Noppenbahnen, Kammerdrains, Rigolen) und Anschluss an die Tunnelentwässerung (Längsentwässerung)
- Vorauswahl eines geeigneten Transportmittels für An-/Abtransport der Baustoffe

4.3.3.7 Ingenieurplanung Tunnelsanierung „Bahntechnik/Bahnausrüstung"

Beinhaltet die nachfolgenden Baumaßnahmen wie z. B.

- Kabelanlagen allgemein: siehe I)
- Energie/50 Hz: siehe II)
- Energie/Ober-Fahrleitung (Kettenwerk und Deckenstromschiene): siehe III)
- Leit- und Sicherungstechnik: siehe IV)
- Telekom: siehe V)

Für die Planung relevante Punkte – siehe Auswahl unter Kapitel 4.3.3.1.

Auswahl eines geeigneten Bauverfahrens (Kapitel 5 und 6) unter Berücksichtigung der betrieblichen Randbedingungen (unter Betrieb/ohne Betrieb) zur Sanierung z. B.

- Arbeiten ausgehend vom Arbeitszug oder Zweiwegebagger in Sperrpausen (zeitliche Sperrung oder einseitige Gleissperrung), ggf. Einbau von Bauweichen zur Ermöglichung von Spurwechseln
- Arbeiten mit Baugeräten ohne Gleisbindung bei längerer Vollsperrung

Je nach Art und Umfang der Sanierung sind nachfolgende Leistungen zu erbringen bzw. zu beachten:

I) Kabelanlagen allgemein

- Biegeradien
- Lage und Größe von Zug- und Muffenschächten
- Kabelaufstiege, Kabelabtrennschalter (inkl. Steuerung und Verriegelung)
- Erwärmung

II) Energie/50 Hz

- Baustromversorgung
- Versorgungssicherheit der technischen Ausrüstung
- Erstellung Gesamterdungskonzept

III) Energie/Ober-Fahrleitung (Kettenwerk und Deckenstromschiene

- Erneuerung oder Ersatz prüfen (Zustand, dynamisches Verhalten, Stromtragfähigkeit, Interoperabilität)
- Maßnahmen zur Einhaltung des Lichtraumprofils und der Sicherheitsabstände gegenüber den Fahrzeugen und gegenüber den festen Anlagen
- Schutz gegen Berührungsspannung
- Schutz des Bauwerks vor Einwirkungen von Kurzschluss-Lichtbögen
- Schutz vor Streustromkorrosion
- Rückleitung/Rückstromführung und Erdung

IV) Leit- und Sicherungstechnik

- Signalplan alt/neu
- Standort der Zugbeeinflussungs- und Gleisfreimeldeeinrichtungen (ZUB, Indusi, Signum, Crocodile, Achszähler, Gleisstromkreise) und ihrer Zuleitungen
- Sicht auf Signale, Sichtbehinderungen, Sichttrübungen
- Anforderungen aus Windlast, Staub, Druckschwankungen

V) Telekom

- Zugfunk – GSM-R
- Notsprechstellen / Fernsprechanlagen

4.3.4 Ausschreibung von Bauleistungen

4.3.4.1 Vorbemerkung

Eine Ausschreibung ist aufgrund der Vielfältigkeit der projektspezifischen Anforderungen nicht standardisierbar. Im Folgenden werden daher Handlungshilfen im Sinne von Hinweisen zur Beachtung gegeben.

4.3.4.2 Ausschreibung Tunnelerneuerung

Aufstellung von Leistungsverzeichnis und Vorbemerkungen auf der Grundlage der Ingenieurplanungen (Kapitel 4.3.3.3) und im Besonderen für:

- Bauabfolge/Bauphasen auf Basis der betrieblichen Randbedingungen und der konstruktiven Planung
- Regelung der Verkehrswege für den Baustellenverkehr
- Absicherung der Baustraßen zur in Betrieb befindlichen Bahnstrecke
- Verbot für Gleisquerungen von Personen, wenn Bahnstrecke unter Betrieb (Querung nur bei Gleissperrungen oder mittels Treppe über Schutzeinhausung, Kameraüberwachung, Eisenbahnkreuzungen)
- Bei Sprengvortrieb
  ➔ Sprengsachverständigen einbeziehen (erforderliche Vorlaufzeit beachten)
- Bei Sprengvortrieb abgesichertes Sprengstofflager, -depot
- Sprengvortrieb nur in Sperrpausen; Sperrpausen bekannt geben, Sicherung gegen Streuflug an Portalen, ggf. Straßensperrungen
- Geodätische Kontrollmessungen (Art, Lage, Umfang, Häufigkeit) für Überwachung Verformungen am alten/neuen Ausbau und im Gebirge (berührungslos – 3D)
- Verdingung der Abfallentsorgung auf der Grundlage der entsorgungsrechtlichen Einstufung (Deponieverordnung); zu beachten ist: Separation von teerhaltiger Abdichtung und Ausbau ist nur schwer möglich; deshalb Wahl der Entsorgungsklasse auf sicherer Seite
- Bei TiT: Vorgaben für Lichtraum und Lastannahmen für Schutzeinhausung

- Bauzeitliche Kabelverlegung und -sicherung, Absprache mit Netzbetreibern
- Schutz und Erhaltung der Funktionstüchtigkeit des Entwässerungssystems im Bau- und Endzustand (Einflüsse aus Versinterung, Betonage, Firstspaltverpressung, Injektionen, Ankermörtel)
- Allgemeines Sicherheitskonzept für Personal bei Material- und Schutterbetrieb; bei TiT z. B. Sicherheitsnischen, Einschienenhängebahn, gleisgebundene Systeme
- Ausreichende Bewetterung und Entstaubung
- Einsatz von Elektromotoren statt von Verbrennungsmotoren (Abgaswäsche) soweit möglich, Gewährleistung der Baustromversorgung
- Schotterverbau (Schotterbettsicherung) zur Herstellung von Abgrabungen oder Fundamenten neben den Gleisanlagen
- Bei TiT: Ein-/Rückbau bauzeitl. Fundamente für Schutzeinhausung (Sperrpausen)
- Vermeidung von unkontrolliertem Nachbruch am Ausbau durch
  - Vorauseilende Systemankerung
  - Stützfunktion Schutzeinhausung (bei TiT Methode)
  - Vorlaufende Sägeschnitte gemäß Vorgaben zur Abschlagslänge (Hinweis: Abschlagslänge ist bei vorauseilender Herstellung der Sägeschnitte nicht mehr flexibel!)
- Bei Ankerung aus dem Tunnel unzureichende Bohrlochstandsicherheit in Hinterpackung beachten, daher Verwendung von
  - Injektionsbohrankern
  - Im Bereich der Hinterpackung verrohrte Bohrungen für SN-Anker (aufwendig)
- Standzeit Bohrkronen im Festgestein beachten
  ➔ bei größeren Längen im sehr festen und abrasiven Gestein mit Injektionsbohrankern ungünstig
- Injektionsbohranker im Festgestein mit ausreichendem Stahldurchmesser wählen, da sonst Bohrgestänge bei hohem Widerstand zu weich (besonders an den Muffen)
- Systemankerung für Außenschale auch mit Reibrohrankern (z. B. Swellex) sinnvoll, wenn kompaktes Gebirge vorliegt
  ➔ schnellere Tragwirkung; für vorauseilende Sicherungen im schlechten Gebirge und im Bereich der Hinterpackung aber nicht zweckmäßig
- Behördliche Abstimmung für den Neubau oder die Änderungen von Entwässerungseinrichtungen (wasserrechtliche Genehmigungen!)
- Bauzeitliche Wasserhaltung mit Neutralisationsanlage (Absetzbecken)
- Herstellen von radialen Entlastungsbohrungen durch Spritzbetonschale
- Fotodokumentation der Erneuerungsarbeiten
- Erstellung Rettungskonzept und Abstimmungen mit Rettungsdiensten (z. B. Feuerwehr)
- Erstellung Notfallkonzept für Sicherungsmaßnahmen (Anker, Spritzbeton, Baumstämme etc.) im Tunnel bezüglich Standsicherheit im Havariefall/Notfall
- Nachbehandlung des Betons (Nachbehandlungswagen, chemische Nachbehandlung)
- Abstimmung der Betonrezeptur auf die Expositionsklassen und die Ausschalfristen
- Bei TiT: Wahl von profilfreien Bewehrungs- und Schalwagen (Überhöhung berücksichtigen) zur Gewährleistung des Lichtraumprofils für den Bahnbetrieb
- Sicherung gegen vorzeitiges Auslösen elektrisch gezündeter Sprengungen durch elektromagnetische Felder des elektrischen Zugbetriebs
- Bereitstellung ausreichend großer Baustelleneinrichtungsflächen, wenn nicht ausreichend vorhanden, soll die Beschaffung von Flächen in die Verantwortung des AN gelegt werden
- Bewässerung von Baustraßen zur Reduzierung der Staubentwicklung
- Beweissicherung benachbarter Bauanlagen vor, während und nach Ausführung der Arbeiten

4.3.4.3 Ausschreibung Tunnelsanierung „Gewölbe"

Für alle Arbeiten unter Betrieb gilt:

- Absicherung des Arbeitsgleises durch Absperrungen zum Betriebsgleis (Feste Absperrungen, Gleisabsperrbügel, Trennwände auf Arbeitszug etc.)
- Verbot für Gleisquerungen von Personen, wenn Bahnstrecke unter Betrieb (Querung nur bei Gleissperrungen oder bei Eisenbahnkreuzungen)

Aufstellung von Leistungsverzeichnissen und Vorbemerkungen auf der Grundlage der Ingenieurplanungen (Kapitel 4.3.3.4) und im Besonderen für die nachstehenden Konstruktionselemente wie z. B.:

- Spritzbetonsicherungen, Rippenbauweise, Firstaufweitung, Verfüllen von Ausbrüchen: siehe I)
- Neuverfugung von Mauerwerk: siehe II)
- Systemankerung zur Erhöhung der globalen Standsicherheit und der Systemduktilität: siehe III)
- Verdübelung von abgelösten Spritzbetonschalen: siehe IV)
- Verfüllung von Hohlstellen im und hinter dem Ausbau (Injektionen): siehe V)
- Erneuerung der Entwässerung: siehe VI)
- Herstellung Gewölbeabdichtung und Drainage: siehe VII)
- Einbau einer befestigten Sohle/Sohlverstärkung/Gleisabsenkung: siehe VIII)
- Unterfangungen der Widerlager durch Kleinbohrpfähle, Injektionen oder Beton: siehe IX)
- Sanierung Portale: siehe X)

I) Spritzbetonsicherungen, Rippenbauweise, Firstaufweitung, Verfüllen von Ausbrüchen

- Bauabfolge/Bauphasen auf Basis der betrieblichen Randbedingungen und der konstruktiven Planung
- Bauzeitliche Kabelverlegung und -sicherung, Absprache mit Netzbetreibern
- Regelung der Verkehrswege für den Baustellenverkehr

- Geodätische Kontrollmessungen im Rahmen von Bauzuständen (Angaben zu Art, Lage, Umfang, Häufigkeit) am alten/neuen Ausbau und Gebirge
- Bewetterung und Entstaubung der Arbeitsstellen (in längeren Tunneln von bes. Bedeutung)
- Schutz der Gleisanlagen und Oberleitung vor Verschmutzung
- Bauzeitliche Wasserhaltung mit Neutralisationsanlage (Absetzbecken)
- Einsatz von Elektromotoren statt von Verbrennungsmotoren (Abgaswäsche) soweit möglich, Sicherstellung der Baustromversorgung
- Bei Ausbrucharbeiten: Verdingung der Abfallentsorgung auf der Grundlage der entsorgungsrechtlichen Einstufung (Deponieverordnung)
- Entsorgung Rückprall in Verantwortung des AN-Bau
- Erstellung Notfallkonzept für Sicherungsmaßnahmen (Anker, Spritzbeton, Baumstämme etc.) im Tunnel bezüglich Standsicherheit im Havariefall/Notfall
- Maß für einzukalkulierenden, verfahrenstechnisch bedingten Mehrausbruch (Außentoleranz) im alten Ausbau definieren
- Reinigung des Untergrundes (Abstrahlen von Verschmutzungen, Rußpartikeln etc) vor Herstellung Spritzbetonauftrag

II) Neuverfugung von Mauerwerk

- Schutz der Gleisanlagen vor Verschmutzung durch Schottertücher o.ä.
- Auskratzen der Fugen in ausreichende Tiefe zur Herstellung ausreichender Haftung
- Vorheriges Reinigen des Ausbaus durch Sandstrahlen, Dampfstrahlen, Wirbelstrahlverfahren (Strahlmittel auf Bedarf und Ausbauqualität anpassen) etc.
- Ggf. Hydrophobierung in Portalzonen falls Abdichtung auf Bergseite vorhanden

III) Systemankerung zur Erhöhung der globalen Standsicherheit und Systemduktilität

- Schutz der Gleisanlagen vor Verschmutzung durch Schottertücher o.ä.
- Schutz metallischer Anker gegen Streustromkorrosion
- Versenkung der Ankerköpfe im Ausbau; Ausbautaschen z. B. durch kurze Bohrungen mit größerem Durchmesser herstellen; bei Stemmarbeiten Gefahr von Mehrausbrüchen
- Platzverhältnisse im Tunnelprofil für Bohrlafette hinsichtlich
  – Freihaltung Betriebsgleis
  – Behinderung durch Oberleitung prüfen
  ➔ Bei geringem Platzangebot: kleinere Ankerschüsse mit Muffen koppeln
- unzureichende Bohrlochstandsicherheit in kohäsionsloser Hinterpackung beachten
  – Injektionsbohranker
  – verrohrte Bohrungen für SN-Anker aufwendig
- unzureichende Vermörtelung des Ankers im Bereich von Klüften, Hohlstellen o.ä. vermeiden
- Standzeit der Bohrkronen im Festgestein beachten
  ➔ vor allem bei größeren Längen im sehr festen und abrasiven Gestein mit Injektionsbohranker ungünstig
- Injektionsbohranker im Festgestein mit ausreichendem Stahldurchmesser wählen, da sonst Bohrgestänge bei hohem Widerstand zu weich (besonders an den Muffen)
- Systemankerung auch mit Reibrohrankern (z. B. Swellex) sinnvoll, wenn kompaktes Gebirge vorliegt
  ➔ schnellere Tragwirkung; für Sicherungen im schlechten Gebirge und im Bereich der Hinterpackung aber nicht zweckmäßig

IV) Verdübelung von abgelösten Spritzbetonschalen

- Nur sinnvoll, wenn Flächentragwirkung durch intakte Bewehrung vorhanden
- Korrosionsbeständige Dübel und Ankerplatten einbauen

V) Verfüllung von Hohlstellen im und hinter dem Ausbau (Injektionen)

- Die Ausschreibung von Injektionsarbeiten ist bei der Aufstellung der Leistungspositionen über Zeit- oder Mengenansätze (z. B. über Kolonnenstunden oder Verpressmengen) möglich. Unabhängig davon ist in jedem Fall vorzugeben:
  – eine Druckbegrenzung zur Vermeidung von unzulässigen Belastungen auf den alten Ausbau
  – eine Mengenbegrenzung zur Vermeidung von unkontrolliertem Ausfließen oder ungewollten Mehrmengen
  – eine Zeitbegrenzung für die Verpressdauer, um durch das Verpressen in mehreren Zeitstufen ein erstes Aushärten zu ermöglichen
- Schutz der Gleisanlagen vor Verschmutzung durch Schottertücher o.ä.
- Wasser-/Feststoffwert variieren, um einen maximalen Injektionserfolg zu erzielen
- Kernbohrungen zur Kontrolle des Verpresserfolges
- Spülen der Tunnelentwässerung bei Injektionsarbeiten
- Geodätische Kontrollmessungen (berührungslose 3D-Messungen) im Zuge der Verpressarbeiten

VI) Erneuerung der Entwässerung

- Bögen bis max. 45° einbauen
- Revisionsschächte mit Sandfang
- Begehbare Schachtabdeckungen vorsehen
- Ausreichende Bettung für Rohre und Schächte
- Sicherung von Bauzuständen für Aushub und Einbau (z. B. Schotterhaltung)
- Bei Sickerleitungen: Ummantelung der Leitungen mit Geotextil (Filtervlies) und Grabenverfüllung mit geeignetem Filtermaterial
- Abschließende Spülung der Leitungen
- Abschließende Kamerabefahrung der Leitungen mit Farbbild-Schwenkkamera
- Schutz und Erhaltung der Funktionstüchtigkeit des Entwässerungssystems im Bau- und Endzustand (bzgl. Einflüssen aus Versinterung, Betonage, Firstspaltverpressung, Injektionen, Ankermörtel)

VII) Herstellung Gewölbeabdichtung und Drainage (Spritzabdichtung, Kapitel 4.3.3.4, VII)

- Entlastungsbohrungen, Noppenbahnen, Drainleitungen mit Geotextil und ggf. Streckmetall zur Reduzierung des Spritzbetonrückpralls abdecken
- Korrosionsbeständige Dübel einbauen
- Schutz der Gleisanlagen vor Verschmutzung durch Schottertücher o.ä.
- Schutz der Oberleitung vor Verschmutzung
- Überprüfung des Lichtraums nach Abschluss der Arbeiten durch berührungslose 3D-Profilmessung
- Fotodokumentation von Nassstellen vor Beginn der Abdichtungsarbeiten und nach Abschluss der Arbeiten

VIII) Einbau einer befestigten Sohle/Sohlverstärkung/Gleisabsenkung

- Sicherung vorhandener Kabel und Versorgungsleitungen im Gleisbereich
- Bauzeitliche Wasserhaltung mit Neutralisationsanlage (Absetzbecken)
- Einbau und Umbau von Hilfsbrücken
- Einbau von Schotterhalterungen/Verbau an den Ausbruchkanten
- Einlegen von Nachverpressschläuchen an den Kontaktstellen zum vorhandenen Widerlager
- Befestigung der Bewehrung gegen Auftrieb
- Nachbehandlung des Betons
- Abstimmung der Betonrezeptur auf die Expositionsklassen und die Ausschalfristen
- Erstellung Notfallkonzept für Sicherungsmaßnahmen (Anker, Spritzbeton, Baumstämme etc.) im Tunnel bezüglich Standsicherheit im Havariefall/Notfall
- Berührungslose 3D-Kontrollmessungen zur Überwachung der Verformungen (Ausbau, Gebirge)
- Verdingung der Abfallentsorgung auf der Grundlage der entsorgungsrechtlichen Einstufung (Deponieverordnung)
- Bei Sprengvortrieb
  ➔ Sprengsachverständigen einbeziehen
- Bei Sprengvortrieb abgesichertes Sprengstofflager, -depot, Maßnahmen gegen vorzeitige Zündung bei elektrischem Zugbetrieb

IX) Unterfangungen der Widerlager durch Kleinbohrpfähle, Injektionen oder Beton

- Kontrolle des Injektionserfolgs bzw. der erreichten Baugrundverbesserung durch Kernbohrungen und Laborversuche (z. B. Einaxiale Druckfestigkeit – UCS)
- Bei Unterfangung mit Beton: Baugrubensicherung (Verbau, Schotterhalterung)
- Schutz der Gleisanlagen vor Verschmutzung durch Schottertücher o.ä.
- Spülen von Tunnelentwässerungsleitungen im Zuge von Injektionsarbeiten
- Nachverpressen der Kontaktflächen alter – neuer Ausbau

X) Sanierung Portale

- Bei Erneuerung der Fugen: Fugen ausreichend tief auskratzen bzw. maschinell ausschneiden, um Frostbeständigkeit des neuen Fugenmörtels zu verbessern
- Wahl eines geeigneten Fugenmörtels (Sanierungsmörtel), der auf die Eigenschaften des Bestandes abgestimmt ist
- Bei Erneuerung von Teilbereichen: Anzahl und Lage der Teilbereiche beschreiben, Einbau von Einzelsteinen vorsehen
- Bei Reinigung der Portalflächen durch Abstrahlen: Probefläche zur Kontrolle der Eignung und des Reinigungserfolges anlegen
- Beräumung des Portalauffangraumes von Boden, Schutt oder Pflanzenbewuchs (inkl. Wurzeln) zur Entlastung der Portalwände
- Herstellung der Portalabdeckung mit
  – Natursteinen (Nachweise zur Beständigkeit erforderlich)
  – Betonformsteinen
  – Blechkonstruktionen
- Zementmengen- und Verpressdruckbegrenzung beim Injizieren von Hohlräumen im Mauerwerk vorgeben
- Herstellung von Arbeitsgerüsten einschl. Gründung mit geprüftem statischem Nachweis im Bereich von Bahnbetrieb, ggf. Tunnelöffnung für Bahnbetrieb oder Bauverkehr freihalten
- Abhängen der Gerüst- und Arbeitsflächen mit Schutzplanen zur Vermeidung von Verschmutzungen der Gleisanlagen und zur Reduzierung der Staubentwicklung
- Bei Elektrifizierung: Erdung von Gerüsten
- Berührungsschutz gegenüber Fahr- und Speiseleitungen

4.3.4.4 Ausschreibung Tunnelsanierung „Fahrbahn“

Aufstellung von Leistungsverzeichnis und Vorbemerkungen auf der Grundlage der Ingenieurplanungen (Kapitel 4.3.3.5) und im Besonderen für:

I) Oberbauerneuerung

- Sicherung von vorhandenen Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik (Signale, Achszähler, Indusi, etc.), von Kabeln der Telekom und 50 Hz sowie von Anlagen der Oberleitung
- Zuständigkeit für Koordination der Baustellenlogistik definieren
- Verwendung von gewaschenem Schotter (Siebkurve – Beschränkung von Feinteilen) zur Reduzierung der Staubentwicklung beim Einbau
- Bei Verschwenkung Gleis in Mittenlage: Einbau von Fangführungsvorrichtung/Entgleisungsschutz/Schutzschienen/Anprallschutz
- Bereitstellung von Lagerflächen für Zwischenlagerung von Oberbaustoffen; wenn nicht ausreichend vorhanden, soll die Beschaffung von Flächen in die Verantwortung des AN gelegt werden
- Schlussvermessung/Spurdokumentation (Einmessen der gegenseitigen Höhenlage und des Abstandes der Gleisstränge)
- Vemessungstechnische Anbindung an bestehende Gleisvermarkung
- Stopfgang/Belastungsstopfgang (nach vorher festgelegter Verkehrsbelastung)/Erhaltungsstopfen
- Sicherung der Rückleitung bei elektrischem Betrieb

II) Untergrundsanierungen

- Bewässerung von Baustraßen zur Reduzierung der Staubentwicklung
- Geotechnische Kontrollversuche (Lastplattendruckversuche, Dichtebestimmungen, etc.) zur Überprüfung der Steifigkeit und des Verdichtungserfolges
- Sicherung vorhandener Kabel und Versorgungsleitungen im Gleisbereich
- Bei halbseitigem Einbau unter Betrieb: Sicherung des benachbarten Betriebsgleises für Aushubzustände durch Verbau und feste Absperrung bzw. Gleisabsperrbügel

III) Einbau Feste Fahrbahn

- Messtechnische Überwachung der Verformungen der neuen Konstruktion
- Schallabsorber im Bereich der Voreinschnitte und der Portale zur Lärmreduzierung
- Bei halbseitigem Einbau unter Betrieb: Sicherung des benachbarten Betriebsgleises für Aushubzustände durch Verbau und feste Absperrung bzw. Gleisabsperrbügel
- Eignungsprüfungen für die hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT) und Beton
- Korrekte Verbindung der zur Rückleitung herbeigezogenen Bewehrungen
- Schutz vor Streuströmen

4.3.4.5 Ausschreibung Tunnelsanierung „Sicherheitseinrichtungen"

Aufstellung von Leistungsverzeichnis und Vorbemerkungen auf der Grundlage der Ingenieurplanungen (Kapitel 4.3.3.6) und im Besonderen für:

I) Nachrüstung Beleuchtung

- Vorgaben für Verfügbarkeit und Lebensdauer (insbesondere der Leuchtmittel)
- Kriterien für die Auswahl von Apparaten und Leuchten
- Beschreibung der geforderten Abnahmeversuche und Nachweise

II) Nachrüstung Stromanschlüsse

- Vorgaben für
  – Verfügbarkeit
  – Schutz vor Staub und Schmutz
- Kriterien für die Auswahl von Apparaten und Leuchten
- Beschreibung der geforderten Abnahmeversuche und Nachweise

III) Nachrüstung von Flucht-/Sicherheitsnischen

- Entsorgung und Deponierung der Ausbruchmassen auf der Grundlage der entsorgungsrechtlichen Einstufung
- Bei Ankerung aus dem Tunnel unzureichende Bohrlochstandsicherheit in Hinterpackung beachten
  ➔ Injektionsbohranker, verrohrte Bohrungen für SN-Anker (aufwendig)
- Standzeit Bohrkronen im Festgestein beachten
  ➔ bei größeren Längen mit Injektionsbohranker ungünstig
- Schutz der Gleisanlagen vor Verschmutzung durch Schottertücher o.ä.

Ohne weitere Spezifizierung

- Handläufe und Randweg
- Löschwasserleitungen (Erdung/Isolierstöße gemäß Erdungskonzept)
- Beschilderung Rettungswege

4.3.4.6 Ausschreibung Tunnelsanierung „Bahntechnik/Bahnausrüstung"

Aufstellung von Leistungsverzeichnissen und Vorbemerkungen auf der Grundlage der Ingenieurplanungen (Kapitel 4.3.3.7) und im Besonderen für die nachfolgend angeführten Baumaßnahmen:

- Kabelanlagen allgemein: siehe I)
- Energie/50 Hz: siehe II)
- Energie/Ober-Fahrleitung
  (Kettenwerk und Deckenstromschiene): siehe III)
- Leit- und Sicherungstechnik: siehe IV)
- Telekom: siehe V)

I) Kabelanlagen allgemein

- Biegeradien
- Lage und Größe von Zug- und Muffenschächten
- Kabelaufstiege, Kabelabtrennschalter
  (inkl. Steuerung und Verriegelung)
- Erwärmung
- Entsorgung des Altmaterials
- Schutz während Bauphasen
- Zuordnung der Freiräume für
  – FL-Tragwerke
  – Signale
  – Speiseleitungen
  – Erd- und Rückleiterseile
  – Strahlende Kabel
- Zuleitungen
- Zugänglichkeit
- Schutz vor mechanischer Beschädigung
- Abdichtung von Bohrlöchern

II) Energie/50 Hz

- Baustromversorgung
- Versorgungssicherheit der technischen Ausrüstung
- Überspannungsschutz
- Kabelaufstiege, Kabelabtrennschalter
  (inkl. Steuerung und Verriegelung)

III) Energie/Ober-Fahrleitung (Kettenwerk und Deckenstromschiene)

- Klare Festlegung der Grundlagen und der Vorgehensweise bei Zielkonflikten (z. B. Lichtraumprofil-Isolationsabstände nach den geltenden nationalen Vorschriften)
- Angaben über vorgesehene Nutzung (Geschwindigkeit, Anzahl Stromabnehmer je Zug, Unterhaltskonzept)
- Erstellung Gesamterdungskonzept
- Konzept für Rückleitung und Erdung/Rückstromführung
- Speisekonzept, Einspeisestellen, (n-1)-Betrieb
- Verbotszonen für Bohrungen (z. B. bei Tübbingen, Abdichtungen etc.)
- Vorbereitete Befestigungen
- Bedingungen für Nischen (für Tragwerke, Nachspannvorrichtungen, Schalter, Trenner, Kabelaufstiege)
- Führung der Handläufe um Hindernisse herum (Nachspanngewichte)
- Tragwerksnummerierung
- Vorgaben für Krafteinleitung ins Gewölbe
- Erneuerung oder Ersatz prüfen (Zustand, dynamisches Verhalten, Stromtragfähigkeit, Interoperabilität)
- Maßnahmen zur Einhaltung des Lichtraumprofils und der Sicherheitsabstände gegenüber den Fahrzeugen und gegenüber den festen Anlagen
- Schutz gegen Berührungsspannung
- Schutz des Bauwerks vor Einwirkungen von Kurzschluss-Lichtbögen
- Schutz vor Streustromkorrosion

IV) Leit- und Sicherungstechnik

- Standorte der Signale, Zugbeeinflussungs- und Gleisfreimeldeeinrichtungen
- Standorte der Schalt- und Steuereinrichtungen
- Signalplan alt/neu
- Standort der Zugbeeinflussungs- und Gleisfreimeldeeinrichtungen (ZUB, Indusi, Signum, Crocodile, Achszähler, Gleisstromkreise) und ihrer Zuleitungen
- Sicht auf Signale, Sichtbehinderungen, Sichttrübungen
- Anforderungen aus Windlast, Staub, Druckschwankungen

V) Telekom

- Zugfunk - GSM-R
- Notsprechstellen/Fernsprechanlagen

5 Bauverfahren und -methoden sowie Erfahrungen und Projektbeispiele zur Sanierung und Erneuerung von Eisenbahntunneln

V. Breuning, J. D. Chabot, C. Draschitz, T. Edelmann, H. Heisterkamp, G. Pagliari, H. Preißinger, M. Schlebusch

5.1 Vorbemerkungen ... 52
5.2 Mögliche Bauverfahren/-methoden bei Vollsperrung von Tunneln ... 54
5.2.1 Sohlerneuerung – Eingleisig (Tunnel Stutzeck-Axenberg, CH) ... 54
5.2.2 Gewölbeeinbau und Sohlausbau – Eingleisig (Alter Loreley & Rossstein Tunnel, D) ... 54
5.2.3 Sohlausbau und Feste Fahrbahn – Eingleisig (Alter Buschtunnel, D) ... 55
5.2.4 Verwendung einer Schutzeinhausung – Zweigleisig (Tunnel Strood & Higham, UK) ... 57
5.3 Mögliche Bauverfahren/-methoden bei Teilsperrung von Tunneln ... 58
5.3.1 Vorbemerkungen ... 58
5.3.2 Einbau Sohlgewölbe – Eingleisig (Büdesheimer Tunnel, D) ... 58
5.3.3 Tunnel-im-Tunnel Methode – Zweigleisig (Mausenmühlen & Jähroder Tunnel, D) ... 58
5.3.3.1 Projektbeschreibung ... 58
5.3.3.2 Anwendbarkeit Tunnel-im-Tunnel Methode ... 59
5.3.3.3 Beschreibung der Problemstellung/Erfahrung aus der Praxis ... 59
5.3.4 Bauzug – Zweigleisig (Tunnel Gummambs, D) ... 62
5.3.5 Spritzbetoninnenschale in Rippenbauweise – Zweigleisig (Berghautunnel, D) ... 62
5.3.6 Wechselseitige Sohlerneuerung – Zweigleisig (Hauenstein Tunnel, CH) ... 64
5.3.7 Gewölbe- und Sohlerneuerung – Zwei(Ein)gleisig (Klein-Winternheimer Tunnel, D) ... 65
5.3.8 Wechselseitige Gewölbeerneuerung und Sohlaushub – Zweigleisig (Problemstellungen bei Tunnelinstandsetzungen/-erneuerungen aus der Praxis in Österreich anhand Arlbergtunnel und Tauerntunnel) ... 65
5.3.8.1 Sicherheitstechnische Nachrüstung Arlbergtunnel – Beschreibung ... 65
5.3.8.2 Sicherheitstechnische Nachrüstung Arlbergtunnel – Betriebliche und sicherheitstechnische Randbedingungen ... 67
5.3.8.3 Sicherheitstechnische Nachrüstung Arlbergtunnel – Probleme und Lösungen ... 67
5.3.8.4 Tauerntunnel ... 69
5.3.9 Allgemeine Problemstellungen bei Tunnelinstandsetzungen/-erneuerungen aus der Praxis verschiedener Projekte in der Schweiz ... 75
5.3.9.1 Beeinflussung Entwässerung und Entwässerungskonzept durch Tunnelsanierung ... 75
5.3.9.2 Fallbeispiele Tunnelentwässerung ... 77
5.3.9.3 Dauerhaftigkeit von Instandsetzungsmaßnahmen ... 77
5.3.9.4 Arbeiten in Intervallen unter Gleissperrungen ... 78
5.4 Projektübersicht unterschiedlicher Baumaßnahmen ... 79

5.1 Vorbemerkungen

Die Bahngesellschaften in den Ländern Deutschland, Österreich und der Schweiz sind aufgrund von Tunnelschäden, sich verändernden Betriebsbedingungen oder neu auferlegten Richtlinien und Normen immer wieder dazu aufgefordert, Bestandstunnel durch entsprechende Maßnahmen anzupassen. Die Erfordernisse für eine Tunnel-Sanierung sind im Wesentlichen charakterisiert durch eine

- Verbesserung der Fahrbahn durch Einbau von Fester Fahrbahn, Masse-Feder-System oder Schotterbettverharzung, wobei eine gesicherte Gleislage den Entfall des laufenden, teuren und betriebsbehindernden Gleis-Stopfens möglich macht
- Verbesserung der Auskleidung im Portalbereich (rund 1.000 m vom Portal in den Tunnel) zur Verhinderung von Eisbildung zur

Vermeidung von Schäden an Fahrbahn, Fahrleitung, Kabelkanal, Randweg und fahrenden Zügen

- Vergrößerung einzelner Bereiche des Lichtraumprofils durch Mauerwerksabtrag und/oder Sohlabsenkung (in Verbindung mit neuem Sohlgewölbe oder Konstruktion Feste Fahrbahn):
  - Eckmaße für „Rollende Landstraße"
  - Verbesserung für Verkehr mit Lademaß-Überschreitung
  - Lichtraum-Überschreitung
  - Erhöhung des Schutzraums für Stromabnehmer
  - Einbau von Randwegen und Schutznischen
  - Unterbringung von Ausrüstung (Trafos, Löschwasserleitung, Lüftung)
- Maßnahmen zur Verlängerung der Gebrauchsdauer – diese werden im Wesentlichen im UIC-Merkblatt 779-10 beschrieben [4.4]:
  - Mauerwerksneuverfugung
  - Betonplomben
  - Mauerwerkstausch
  - Abschnittsweiser Ringtausch
  - Spritzbetonauftrag
  - Rippenbauweise
  - Injektion
  - Ankerung

Die Baumethoden und Bauverfahren bei der Sanierung, Erneuerung oder Aufweitung von alten Tunneln sind vielfältig. Entscheidend für die Wahl einer geeigneten Baumaßnahme ist der zeitliche Anteil erforderlicher Unterbrechungen des Bahnbetriebs während der Bauausführung. In vielen Fällen kann die Bahnstrecke nicht (temporär) stillgelegt werden. Ob Arbeiten unter Bahnbetrieb stattfinden können, wird maßgeblich durch das verfügbare Tunnelprofil bestimmt.

In zweigleisigen Tunneln sind die wesentlichen Sanierungsmethoden wie etwa Gewölbesanierung, Tunnelaufweitung oder Sohlerneuerung unter Betrieb grundsätzlich möglich. In eingleisigen Tunneln mit einem zu geringen Tunnelprofil für die auszuführenden Arbeiten stehen für die verschiedenen Maßnahmen lediglich die Nachtsperrzeiten oder Wochenendsperrungen zur Verfügung. Intensivere Maßnahmen wie etwa Sohlabsenkungen werden daher oftmals in wochenlangen Vollsperrungen umgesetzt. Neben dem verfügbaren Tunnelprofil (Anzahl der Gleise) hat auch die Länge des zu sanierenden Tunnelabschnitts einen erheblichen Einfluss auf die Auswahl einer Baumethode.

Klassische Tunnelschäden wie Entwässerungsprobleme, Gewölbeschäden oder Verletzungen des Lichtraumprofils aufgrund von Gewölbeeinragungen oder Sohlhebungen können im gesamten Bahnnetz der D-A-CH-Länder vorgefunden werden. Jedoch können die wesentlichen Sanierungsmaßnahmen aufgrund unterschiedlicher Philosophien, Finanzierungsmöglichkeiten oder bahnbetrieblicher Randbedingungen grundlegend voneinander abweichen.

In **Deutschland** muss die DB aufgrund einer Änderung der Eisenbahn-Bau und Betriebsordnung (EBO) bei Neubauten und umfassenden Umbauten den Gleisabstand von teils 3,5 auf 4,0 m vergrößern. Mit der Verbreiterung des Gleisabstandes ergeben sich teils umfangreiche Baumaßnahmen, die unter Umständen aufgrund von notwendigen Sohlerneuerungen zusätzlich erschwert werden. Bei der Sanierung des Jähroder und Mausenmühlen Tunnels kam daher erstmalig die sogenannte Tunnel-im-Tunnel Methode zum Einsatz (Kapitel 8.3.5: Jähroder und Mausenmühlen Tunnel). Wenn die Streckenführung es zulässt, wird bei diesen sogenannten Vollsanierungen oder Grunderneuerungen aufgrund wirtschaftlicher Aspekte teils auch eine Parallelröhre neu gebaut (Beispiele: Mainzer Tunnel, Schlüchterner Tunnel, Kaiser-Wilhelm-Tunnel im Bereich der DB).

Aufgrund der beengten Platzverhältnisse sind bei eingleisigen Tunneln Sanierungsarbeiten wie eine Profilaufweitung mit Gewölbeausbruch und Betonage einer neuen Innenschale überwiegend nur während Sperrzeiten möglich. Der Einsatz der Tunnel-im-Tunnel Methode mit Aufrechterhaltung des Zugverkehrs ist durch das beengte Lichtraumprofil nur vereinzelt möglich, sofern die Platzverhältnisse die erforderlichen Arbeiten erlauben (Kapitel 5.3.3).

Um bei einer Sanierung unter Sperrpausen möglichst schnell den Betrieb wiederaufnehmen zu können, ist jegliche Bauzeitverkürzung entscheidend. Zur Verkürzung der Ausschalfristen nach dem Einbringen einer Ortbetoninnenschale kommt zum Beispiel ein Klimawagen zum Einsatz (Kapitel 8.3.3: Ennericher Tunnel). Prinzipiell wäre alternativ auch ein Ausbau mit Tübbingen denkbar. Durch den Einsatz von Gleishilfsbrücken ist eine Sohlabsenkung auch für Tunnel machbar, die nicht voll gesperrt werden können und in Betrieb bleiben müssen. Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit der Absenkung in den Nachtsperrzeiten ist die Länge des Tunnelabschnitts (Beispiel des Büdesheimer Tunnels; Kapitel 5.3.2).

In **Österreich** erfolgen die meisten substanzverbessernden Sanierungsmaßnahmen sowohl im Arlbergtunnel (**Bild 5.1**) als auch im Tauerntunnel in Kombination mit der sicherheitstechnischen Nachrüstung. Das Nachrüstungskonzept setzt dabei auf eine Verbesserung der Sicherheitstechnik bei gleichzeitiger Sanierung und Modernisierung der Bestandstunnel.

Ein wesentlicher Impulsgeber für die Umgestaltung und Teil-Sanierung alter Tunnel sind die österreichischen Arbeitnehmerschutzbestimmungen (EisbAV). Eine Novelle erlaubt nun in zweigleisigen Tunneln Geschwindigkeiten auf dem Betriebsgleis bis zu 200 km/h (abhängig von der Entfernung der seitlichen Begrenzung des Gefahrenraumes), jedoch nur wenn das sich auf der Arbeitsstelle

Bild 5.1: Arbeitszug Arlbergtunnel 1893 (A)

aufhaltende Personal vollständig geschützt wird – etwa durch eine dichte Abschottung (Arlbergtunnel).

In der **Schweiz** kommt es besonders aufgrund von Entwässerungsschäden und quellfähigen Gebirgsformationen oftmals zu Sohlerneuerungen, in vielen Fällen auch in Verbindung mit einer Sohlabsenkung, um den Querschnitt für zukünftigen Huckepackverkehr anzupassen. Bei zweigleisigen Tunneln ist neben der aufwendigen Widerlagerunterfangung des Tunnelgewölbes auch der Einbau von Rühlwänden bzw. einer Schotterhalterung zur Absicherung des Betriebsgleises notwendig, wenn der Tunnel in Betrieb bleiben soll (Beispiel des Hauenstein Tunnels, Kapitel 5.3.6).

Im Wesentlichen gibt es 2 Möglichkeiten, das Gleisniveau tiefer zu legen. Alternativ zum klassischen Oberbau mit Schotter und Schwellen kann durch den Einbau einer Festen Fahrbahn die Gleislage vertieft werden, so dass der maßgebliche Sohlaushub reduziert oder gar auf ihn verzichtet werden kann. Bei langen Tunneln wird der Einsatz von Maschinentechnik wirtschaftlich (**Bild 5.27**).

Mit mehr Aufwand verbunden ist im Gegensatz dazu die Sohlabsenkung mit Sohlaushub. In diesem Fall wird das komplette Sohlgewölbe erneuert. Je nach Ausbruchtiefe und Festigkeit wird der Fels bzw. das alte Sohlgewölbe mechanisch gelöst (Anbau-/Kaltfräsen, Hydraulikhämmer) oder gesprengt. Das neue Sohlgewölbe kann entweder aus Fertigteilsegmenten bestehen oder wird im Tunnel hergestellt (Ortbeton).

Eine Sanierung am Gewölbe kann mittels Hochdruckwasser oder per Sandstrahlen erfolgen. Nach der Reinigung wird neu verfugt und lose Gewölbesteine werden ausgetauscht. Meistens wird das Gewölbe zusätzlich mit einer Spritzbetonschale versehen. In den Bereichen, in denen das Lichtraumprofil für den Bahnverkehr lokal verletzt wird, erfolgt die Anpassung der Gewölbekontur durch Abspitzen oder Abfräsen. Die Arbeiten finden vorwiegend von Bauzügen aus statt.

Generell lassen sich allgemeine Schlussfolgerungen nur bedingt ziehen. Jeder Tunnel stellt hinsichtlich seiner geologischen, bautechnischen und betrieblichen Eigenschaften ein individuelles Sanierungsprojekt dar. Im Wesentlichen lassen sich jedoch die wichtigsten Sanierungsmaßnahmen in folgende Kategorien einordnen:

- Tunnelaufweitung
- Sohlerneuerung mit Gewölbesanierung und
- Erneuerung der Gleislage bzw. des Gleisoberbaus mit Gewölbesanierung

5.2 Mögliche Bauverfahren/-methoden bei Vollsperrung von Tunneln

5.2.1 Sohlerneuerung – Eingleisig (Tunnel Stutzeck-Axenberg, CH)

Der 3.375 m lange Tunnel Stutzeck-Axenberg in der Schweiz verläuft eingleisig zwischen Sisikon und Flüelen. Mängel an der Sohlentwässerung führten zur Durchnässung des Schotterbetts, zu Sohlerosion und Schlammauflösung unter der dynamischen Beanspruchung des Bahnbetriebes und letztendlich zu Instabilitäten im Gleis. Die Hauptaufgabe war deshalb die Erneuerung der Tunnelsohle. Dazu wurden ein Gleisbaukran und das Ausbausystem „Vanoliner" angewandt (Kapitel 8.3.11).

Bild 5.2: Sohlerneuerung im Tunnel Stutzeck-Axenberg; Quelle: Schaeff-Terex/Inter Techno Commerce[1] (CH)

Mit Hilfe des Systems „Vanoliner" (**Bild 5.2**) kann bei einer Sanierungsmaßnahme am Gleisunterbau das Schotterbett ausgekoffert, geladen sowie der Untergrund (Fels oder Boden) abgesenkt werden. Der Unterbau wird z. B. am Ende eines Gleissanierungszuges und ohne Hilfsgleise ausgebaut. Über einen Materialförderer wird der Gleisschotter auf einen Bunkerzug geladen.

Eine Kombinationsmöglichkeit stellt das Abbau- und Fördersystem bestehend aus „Vanoliner" und zusätzlichen Transportgeräten dar. Das System besteht aus dem Vanoliner (Zwei-Wege-Ladebagger), den MFS-Wagen (Material-, Förder- und Siloeinheit), dem Vanokran mit Mulden und der Unimat-Combi-Stopfmaschine. Diese Aushub-Geräte wurden von verschiedenen Firmen entwickelt, unter anderem von Gleisbau Vanoli Thalwil, ITC SA, SCHAEFF TEREX, ULLMANN + MEIER AG und der BAMAG.

Das Arbeitsprinzip der MFS-Wagen ergibt sich wie folgt: zu Beginn werden die letzten beiden MFS Wagen gefüllt, nach der Füllung fahren diese zum Umschlagplatz, um dort das Aushubmaterial zu übergeben. Während dessen dienen die ersten beiden MFS-Wagen als temporäre Deponie. Wenn die letzten beiden MFS-Wagen zum Aushubort zurückkehren, übernehmen sie das deponierte Material und der Ablauf beginnt von vorn.

Ein großer Vorteil der MFS-Wagen ergibt sich aufgrund der speziell aufeinander abgestimmten Maschinen (**Bild 5.3**). Der kontinuierliche Förder-, Speicher- und Entladevorgang lässt auch eine Befahrung bei mehrspurigen Gleisen zu. Sofern der Tunnel zweigleisig ist, kann mit diesem System auch während eines eingleisigen Bahnbetriebes gearbeitet werden.

5.2.2 Gewölbeeinbau und Sohlausbau – Eingleisig (Alter Loreley & Rossstein Tunnel, D)

Der Alte Loreley und der alte Rossstein Tunnel liegen mit Längen von 368 und 378 m auf der rechtsrheinischen Eisenbahnstrecke zwischen Wiesbaden und Niederlahnstein in Deutschland. Die im Jahre 1862 in Betrieb genommenen Tunnel wurden für zweigleisigen Eisenbahnbetrieb bergmännisch aufgefahren und zunächst zweigleisig betrieben. Da im Zuge der Elektrifizierung eine Aufweitung der alten Tunnel bautechnisch zu aufwendig erschien, wurden im Jahre 1959 bis 1961 bergseitig in paralleler Lage der Neue Loreley und der Neue Rossstein Tunnel für eingleisigen Eisenbahnverkehr erbaut. Die alten Tunnel wurden nach der Elektrifizierung nur noch eingleisig betrieben.

[1] http://www.terex-cmt.de/pdf/VL2_2009.pdf

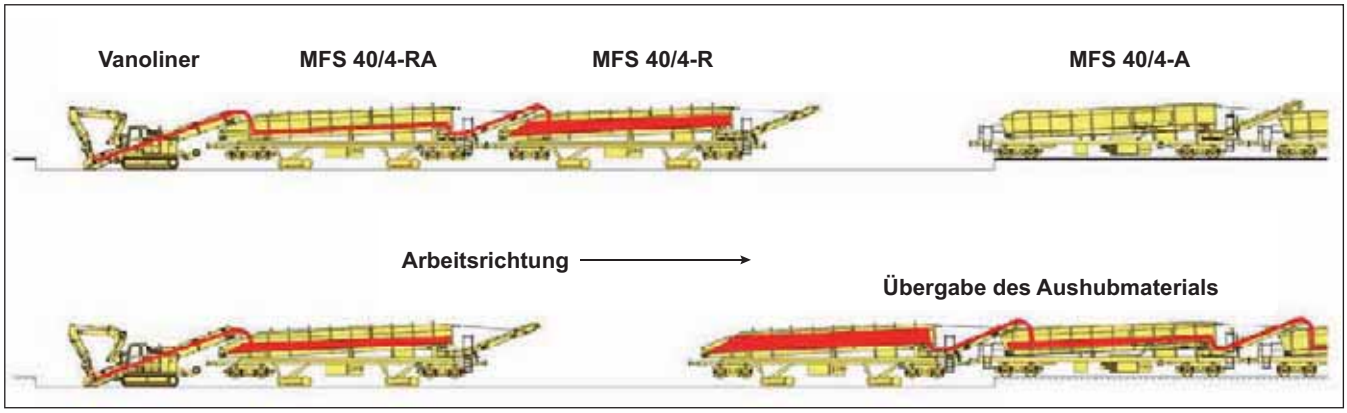


Bild 5.3: Gleissanierung zur Sohlerneuerung im Tunnel Stutzeck-Axenberg; Quelle: System Vanoliner – Vanoli Gleisbau [2] (CH)

Das Gebirge im Nahbereich der Tunnel lässt sich geologisch gesehen den Hunsrückschiefern im rechtsrheinischen Teil des Rheinischen Schiefergebirges zuordnen. Die Tunnel wurden in unterdevonischen Gesteinen der Siegen- und Unterems-Stufe aufgefahren, bei denen es sich vornehmlich um Grauwackenschiefer und raue, sandige und glimmerreiche Tonschiefer („milde" Tonschiefer, sandige Tonschiefer) handelt.

Bei einem Bauwerksalter von über 140 Jahren wiesen beide Tunnel starke Ausbauschäden auf, die eine umfassende Erneuerung erforderlich machten.

Die in den Jahren 2004 und 2005 ausgeführte Erneuerung beinhaltete den Einbau einer geschlossenen neuen Innenschale aus wu-Beton. Aufgrund der vorhandenen Profilverhältnisse konnte die neue Innenschale unter den alten Mauerwerksausbau gestellt werden. Für den Einbau des neuen Sohlgewölbes musste ein bis zu 2 m tiefer Sohlaushub erfolgen. Die Herstellung der Baugrube ging mit einer Unterschneidung der alten Widerlager einher. Zur Stabilisierung des vorhandenen Gewölbes erfolgte daher eine vorauseilende Ankerung der Widerlagerfüße sowie eine Injektion von Mauerwerk und Hinterpackung.

Der Sohlaushub erfolgte im harten Gestein mittels Baggermeißel und in Teilabschnitten im etwas weicheren Gestein mit einer Wirtgen-Fräse (**Bild 5.4**).

Neben beiden Portalen des alten Loreley Tunnels befanden sich Sprengkammern bestehend aus Stollen- und Schachtbauwerken. Die Schächte neben dem Tunnel wurden mit Dämmer verfüllt. Die Stollen blieben erhalten und sollen nun als Fledermaushöhlen dienen.

Die Portale beider Tunnel stehen unter Denkmalschutz (**Bild 5.5**). Sie wurden im Zuge der Baumaßnahme in ihrer Substanz erneuert. Die bauliche Durchführung erfolgte in enger Abstimmung mit der Denkmalschutzbehörde [5.4].

5.2.3 Sohlausbau und Feste Fahrbahn – Eingleisig (Alter Buschtunnel, D)

Der Busch-Tunnel liegt auf der Eisenbahnstrecke Köln – Aachen – (DB-Grenze/Belgien) zwischen Aachen und dem belgischen Hergenrath (km 73.560 bis 74.251). Der Tunnel wurde in den Jahren 1841 bis 1843 zunächst mit einer Länge von 741 m erbaut und im Jahre 1884 um 50 m auf seine heutige Länge von 691 m verkürzt. Die Ausmauerung einschließlich Sohlgewölbe besteht aus Ziegelsteinen in Kalkmörtel. Die alte Sohle erstreckt sich über die gesamte Länge des Tunnels. Im südlichen Tunnelabschnitt wurde u. a. Natursteinmauerwerk aus Sandsteinen für den Tunnelausbau verwendet. Der Tunnel wurde ursprünglich ohne Rückenabdichtung hergestellt.

Bild 5.4: Alter Loreley Tunnel: Sohlaushub im Kernbereich der Sohle mit Wirtgen-Fräse; Quelle: gbm, Limburg (D)

Bild 5.5: Ansicht Südportal Alter Loreley Tunnel nach der Sanierung; Quelle: gbm, Limburg (D)

[2] http://www.vanoli-ag.ch/pdf/system_vanoliner.pdf

Der Busch-Tunnel durchfährt den Aachener Sand, der eine Mächtigkeit von 40 bis 60 m aufweist. Der Aachener Sand besteht aus sehr dicht gelagerten, gelblichen, hellgrauen und ockerfarbenen Feinsanden sowie untergeordnet schluffigen Sanden. Stratigraphisch ist das Untersuchungsgebiet der Aachener Oberkreide zuzuordnen. Der tiefere Untergrund ist Teil des nördlichen links-rheinischen paläozoischen Schiefergebirges. Der Tunnel liegt im Gebiet des Aachener Waldes und durchörtert ausschließlich Deckgebirge, d. h. Schichten des oberen Santon (Oberkreide). Der Tunnel hat eine maximale Überlagerungshöhe von ca. 60 m.

Im Laufe seiner Nutzungszeit wurden umfangreiche Instandsetzungsarbeiten amTunnelausbau vorgenommen. Die wichtigsten sind vor allem die nachträgliche Installation einer Gewölbeabdichtung in den Jahren 1937 bis 1940, die Wiederherstellung des durch eine Sprengung bereichsweise zerstörten Gewölbes in den Jahren 1946 bis 1949, der Einbau von Sohlrippen zur verbesserten Aussteifung der tiefergelegten Tunnelsohle in den Jahren 1965/66 und das Aufbringen einer ca. 5 cm dicken einlagig bewehrten Spritzbetonschicht im Jahre 1976.

Die Erkundungsergebnisse von gbm im Jahr 2000 zeigten, dass das Ziegelmauerwerk in weiten Bereichen abgeschalt und entfestigt war. Im Bereich der Sohlrippen war das Widerlagermauerwerk hoch beansprucht und hatte keine ausreichenden Tragreserven. Das Mauerwerk der Portalbauwerke, im Besonderen des Portals Richtung Aachen zeigte starke Rissschäden.

Aus Anlass dieser Begutachtung fand im Jahre 2002 eine hinhaltende Instandsetzung des Tunnels statt. Dabei wurde zur Erhöhung der globalen Standsicherheit und der Betriebssicherheit eine Rückverankerung der bestehenden Mauerwerksrippen im Widerlager, eine Verfüllung von Hohlstellen im Bereich der Kontaktstellen von Betonrippen zum aufgehenden Mauerwerk und eine Verankerung (Füllmörtelanker) von abgelösten bewehrten Spritzbetonflächen durchgeführt.

Die Instandsetzung hatte lediglich hinhaltenden Charakter mit der Auflage einer zeitlich begrenzten Nutzungsdauer. Aufgrund der Materialermüdung und progressiven Entfestigung des über 150 Jahre alten Mauerwerks war für die langfristige Nutzung eine Erneuerung des alten Busch-Tunnels unerlässlich. Die Erneuerung beinhaltet die Eingleisigmachung des Tunnels und den Einbau einer statisch wirksamen Innenschale mit geschlossener Tragwirkung unter das alte Mauerwerk. Die geschädigten denkmalgeschützten Portale sollen instandgesetzt werden.

Planung und Gestaltung des Querschnitts

Das Gesamtkonzept der Erneuerungsplanung sieht die Eingleisigmachung des alten Tunnels vor. Unter dieser Voraussetzung orientierte sich die Gestaltung des Querschnitts im Wesentlichen an der Vorgabe, die neue Innenschale unter den alten Tunnelausbau zu stellen. Eine Nachprofilierung bzw. ein Rückbau des alten und hoch belasteten Ausbaus sollte angesichts der eingeschränkten Tragreserven nur in geringem Maße ausgeführt werden.

Die Radien für die Geometrie der neuen Innenschale wurden so konzipiert, dass sich die Konstruktion möglichst gut an die Kontur

Bild 5.6: Alter Buschtunnel: Einfüllrohre für Feinzementinjektion im Bereich von Hohlstellen am Südportal, die Flächen wurden vorher mit Edelstahldübeln vernadelt; Quelle: gbm, Limburg (D)

der Innenleibung des Bestandes anschmiegt. Grundlage für die Querschnittsgestaltung und die Festlegung der Gradiente war ein Tunnelscan der alten Ausbauoberfläche, der im Jahr 2008 ausgeführt wurde. Auf der Grundlage des Tunnelscans, der die vorhandenen Platzverhältnisse für die neue Innenschale im gesamten Tunnel aufzeigte, erfolgte zur Minimierung von Nachprofilierungen am alten Mauerwerk eine Optimierung des Trassierungsentwurfes. Die Gradiente wurde in Teilbereichen im dm-Bereich abgesenkt und die Gleisachse um 8 cm aus der Tunnelachse verschwenkt.

Bei der planerischen Gestaltung der Innenschalengeometrie waren die Vorgaben der Ril 853.1002 (Querschnittsgestaltung) zu beachten. Es wurde von den nachstehenden Querschnittsparametern gemäß Ril 853.9001 ausgegangen:

- Entwurfsgeschwindigkeit: 160 km/h
- Oberbauform: Feste Fahrbahn
- Trassierungsparameter: Überhöhung u = 55 mm/ Längsneigung I = 2,0 ‰
- Sonstige Parameter: Stromschiene

Die Elemente der Querschnittsgestaltung sind wie folgt zu kommentieren:

- Für den Lichtraum wurde das GC-Profil zugrundegelegt
- Der Fluchtweg einschließlich Fluchtwegkennzeichnung ist gemäß EBA-Ril „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln" berücksichtigt. Es ist ein Handlauf und eine Trocken-Löschwasserleitung DN 80 inkl. Einspeisung vorgesehen. In 25 m Abstand zu den Portalen sind Transporthilfen in Form von Rollpaletten eingeplant
- Kabeltrassen und -schächte sind in beiden seitlichen Banketten zu installieren
- Für den bautechnischen Nutzraum ist mittels UIG ein Maß von 10 cm vorgegeben

Portalinstandsetzung

Ein wichtiger Bestandteil der Baumaßnahme war die Instandsetzung der historischen Portale. Die Portalbauwerke sind weitgehend

Bild 5.7: Alter Buschtunnel: Herstellung Widerlageranker in versenkten Ankertaschen; Quelle: gbm, Limburg (D)

Bild 5.8: Alter Buschtunnel: Sohlausbau – abschnittsweise; Quelle: gbm, Limburg (D)

aus Ziegelmauerwerk und lediglich im oberen Bereich durch Natursteinmauerwerk aufgebaut. Beide Portale wiesen vor der Instandsetzung größere Risse, Abschalungen sowie Ablösungen größerer Flächen, Kalkausfällungen, Ausblühungen, Verschmutzungen durch Graffiti und Verwitterungserscheinungen auf. Die Portale stehen unter Denkmalschutz und durften bei der Instandsetzung in ihrer Form und ihrer Architektur nicht verändert werden.

Ziel der Portalinstandsetzungsarbeiten war die Erhaltung der Bausubstanz und die dauerhafte Gewährleistung der globalen Standsicherheit. Dazu mussten größere Flächen im Bereich der Portaltürme abgebrochen und neu aufgemauert werden. Die Mauersteine und der Sanierungsmörtel wurden in Abstimmung mit der Denkmalbehörde auf die Materialbeschaffenheit des historischen Mauerwerks angepasst. Vom Mauerwerkskern abgeschalte Mauerwerksflächen wurden systematisch vernadelt und vorhandene Hohlstellen wurden mit Mikrofeinzement injiziert (**Bild 5.6**). Zur Entfernung von Kalkausfällungen und Verschmutzungen wurde das gesamte Portalmauerwerk abschließend mit Hochdruck abgestrahlt.

Die Portaltürme wurden zur Reduzierung von Wasserzutritten in das Portalmauerwerk durch eine Kupferblechkonstruktion abgedeckt. Raubettmulden wurden im Bereich der Portalräume zur kontrollierten Ableitung des zutretenden Hang- und Oberflächenwassers installiert.

Tunnelerneuerung

Die Erneuerung des Tunnels beinhaltet den Einbau einer statisch wirksamen Innenschale (mit Sohle) aus Schalbeton in einer Dicke von 35 cm sowie einer Rundumabdichtung aus 3 mm dicken Kunststoffdichtungsbahnen. Die Portalblöcke wurden aus wasserundurchlässigem Beton ausgeführt.

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Bettung der neuen Innenschale wurden zu Beginn der Arbeiten vorhandene Hohlräume und die Hinterpackung hinter den alten Widerlagern systematisch injiziert. Nach erfolgreichem Abschluss der Injektionen wurden die Widerlager zu beiden Seiten durch 5 m lange Injektionsbohranker im Abstand von 1,5 m rückverhängt (**Bild 5.7**). Die Ankerköpfe waren im Mauerwerk zu versenken, damit sie nicht bis in die geplante Rundumabdichtung hineinragen.

Die Widerlagerankerung war Voraussetzung für den Ausbruch der alten Sohle, der aus Standsicherheitsgründen nur in 3 m Abschnitten erfolgen durfte (**Bild 5.8**). Der Sohlausbruch wurde durch eine 25 cm dicke und zweilagig bewehrte Betonsohle gesichert, die an beiden Seiten formschlüssig an die alten Widerlagerfundamente angeschlossen wurde.

Nach Herstellung der bauzeitlichen Sohle, Verfüllen der alten Sicherheitsnischen, Ausführung von begrenzten Nachprofilierungen und Überprüfung des Abdichtungsträgers konnte der Einbau der Rundumabdichtung mittels 3 mm dicker Kunststoffdichtungsbahn (mit Schutzvlies 1.000 g/m^2) ausgeführt werden.

Die tragende Betoninnenschale wurde in 12,5 m langen Blöcken in einer Dicke von 35 cm aus Beton der Güte C 30/37 hergestellt. Es folgten der Einbau der Festen Fahrbahn, die Installation der Deckenstromschiene, des Handlaufs und der Löschwasserleitung. Die Arbeiten wurden im Herbst 2011 abgeschlossen.

5.2.4 Verwendung einer Schutzeinhausung – Zweigleisig (Tunnel Strood & Higham, UK)

Die beiden Tunnel „Strood & Higham" befinden sich auf der 3.700 m langen Eisenbahnverbindung der „North Kent Line" in London, deren Bau bereits 1819 in Angriff genommen wurden.

Bild 5.9: Gerüstwagen zur Sanierung der Tunnel Strood & Higham; Quelle: Network Rail, Parsons[3] (UK)

[3] http://www.pbworld.co.uk

Die Firsten der Tunnel „Strood & Higham“ wurden während ihrer Sanierung mittels eines Gerüstwagens (**Bild 5.9**) hydraulisch gestützt, um Ausbrüche in der Kreide zu verhindern und um den Einbau von Sicherungsmitteln von einer Plattform aus zu bewerkstelligen. Eine Blechabdeckung an der Sohle des Gerüstwagens schützte während des Ausbruchs die im Tunnel liegenden Schienen [5.6].

5.3 Mögliche Bauverfahren/-methoden bei Teilsperrung von Tunneln

5.3.1 Vorbemerkungen

Die Praxis verschiedener Projekte hat unterschiedliche Problemstellungen bei Tunnelinstandsetzungen/-erneuerungen offenbart:

- Platzprobleme bei der Baustelleneinrichtung und der Zwischenlagerung von Aushubmaterial
  Empfehlung: Detaillierte Planung von Entsorgungswegen, vorauseilende Probennahme und entsorgungsrechtliche Einstufung von Ausbruch-/Abbruchmaterial, um Zwischenlagerung zu vermeiden
- Kurze Arbeitszeit in Nachtsperrpausen mit Arbeitszug/Zweiwegebagger, welche durch An-/Abfahrt vom Abstellort noch weiter verkürzt wird
  Empfehlung: Frühzeitige betriebliche Planung mit dem Ziel, die Arbeitszeiten so lange wie möglich zu gestalten
- Unsicherheiten und Unwägbarkeiten beim Kabel-/Leitungsbestand im Bereich von Tunnelbaumaßnahmen; Bestandsunterlagen sind oft nicht vorhanden oder unvollständig (Kapitel 4.3.2)

Bild 5.10: Aufweitung Büdesheimer Tunnel; Quelle: DB – Eisenbahningenieur (55) (D)

Bild 5.11: Büdesheimer Tunnel: Sohlausbau und Gleisbrücke am Portal; Quelle: DB ProjektBau (D)

Bild 5.12: Mausenmühlen und Jähroder Tunnel, Nahestrecke (D): Tunnel-im-Tunnel; Quelle: DB ProjektBau (D)

Empfehlung: Verifizierung der vorhandenen Bestandsunterlagen durch Soll-Ist-Vergleich, d.h. Ausführung einer neuen Bestandsaufnahme der vorhandenen Kabel/Leitungen

5.3.2 Einbau Sohlgewölbe – Eingleisig (Büdesheimer Tunnel, D)

Der 168 m lange Büdesheimer Tunnel bei Frankfurt am Main wurde aufgrund von Durchfeuchtung und Gewölbeentfestigung erneuert. Dabei wurde das eingleisige Profil aufgeweitet und eine neue Innenschale in nächtlichen Sperrpausen hergestellt (**Bild 5.10**). Auf etwa 50 m Länge erhielt der Tunnel zudem ein Sohlgewölbe zur Aufnahme von Horizontalkräften. Das Einbringen der Sohle erfolgte an den Wochenenden unter Totalsperrung des Bahnbetriebes und Überbrückung des frisch betonierten Abschnittes mittels Hilfsbrücke (**Bild 5.11**) [5.7].

5.3.3 Tunnel-im-Tunnel Methode – Zweigleisig (Mausenmühlen & Jähroder Tunnel, D)

5.3.3.1 Projektbeschreibungen

Erstes Projekt

Die Profilaufweitung und Erneuerung der Tunnel „Mausenmühlen & Jähroder“ auf der Nahestrecke in Deutschland forderte den eingleisigen Betrieb während der Bauarbeiten. Aus dieser Anfor-

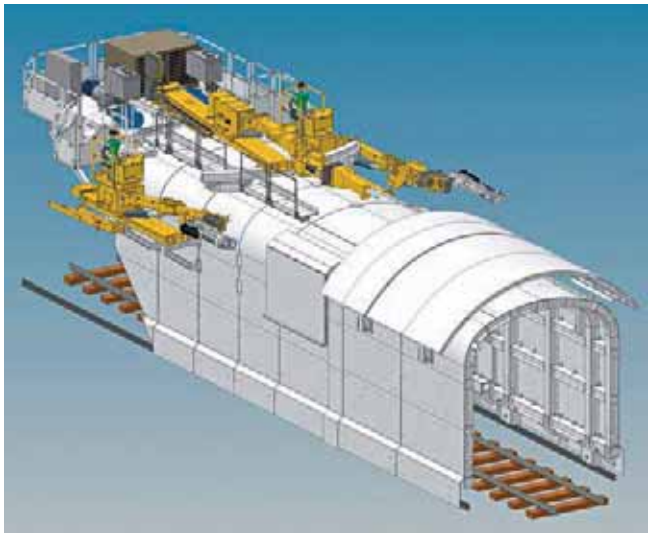


Bild 5.13a: Mausenmühlen und Jähroder Tunnel: Maschinentechnik Tunnel-im-Tunnel Methode; Quelle: GTA, Hamminkeln (D)

Bild 5.13b: Mausenmühlen und Jähroder Tunnel: Ansicht Tunnelerweiterungsportal; Quelle: DB ProjektBau (D)

derung heraus leitete sich die portalartige Schutzeinhausung (das Tunnelerweiterungsportal) ab, von der aus jegliche Ausbrucharbeiten und Primärsicherungen stattfinden konnten. Das Portalgerüst ermöglichte den sicheren Bahnverkehr und diente gleichzeitig als Trägergerüst für Abbaugeräte wie Baggerarme und Bohrgeräte (**Bild 5.12**). Aufgrund der hohen Druckfestigkeit des aufzuweitenden Gebirges wurde der Fels in Sperrzeiten durch Sprengen gelöst. Um einen vorlaufenden Verbruch zu verhindern, wurden hydraulisch ausfahrbare Stützplatten installiert (**Bilder 5.13a, 5.13b**) [5.9].

Zweites Projekt

Nach der Aufweitung des Mausenmühlen und Jähroder Tunnels 2007 erfolgte 2011 ein weiterer Einsatz auf der Nahestrecke, bei dem mit einem optimierten GTA Tunnelerweiterungsportal (TEP) der Frauenberger und Kupferheck Tunnel aufgeweitet wurde (**Bilder 5.14a, 5.14b**).

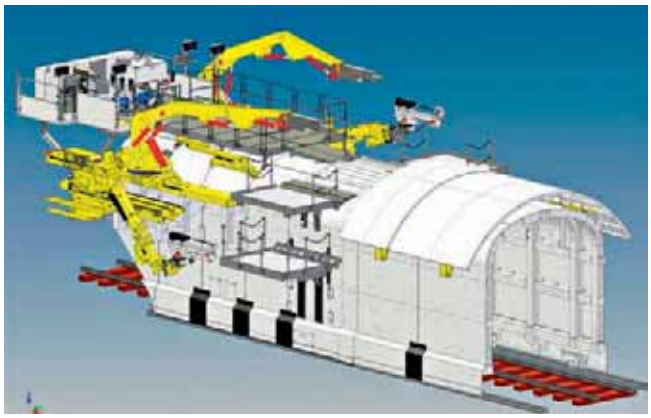


Bild 5.14a: TEP 8400A für Frauenberger und Kupferheck-Tunnel; Quelle: GTA, Hamminkeln (D)

Bild 5.14b: Frauenberger und Kupferheck-Tunnel: Ansicht Tunnelerweiterungsportal; Quelle: DB ProjektBau GmbH (D)

Drittes Projekt

Das bei dem Frauenberger und Kupferheck-Tunnel eingesetzte TEP wurde für die Profilaufweitung der Tunnel Langenau und Hollrich auf der Lahnstrecke Wetzlar-Niederlahnstein bei Nassau aufgrund der gewonnenen Erfahrungen nochmals optimiert. Diese jüngste Version enthält 3 integrierte Abbruchhämmer und erübrigt jegliche Sprengarbeit (**Bilder 5.15, 5.16**).

5.3.3.2 Anwendbarkeit Tunnel-im-Tunnel Methode

Prüflauf zur Anwendbarkeit der Tunnel-im-Tunnel Methode (Bild 5.17)

5.3.3.3 Beschreibung der Problemstellung / Erfahrung aus der Praxis

Ausschreibung – Verlauf und Probleme am Beispiel eines Pilotprojektes der DB

Die Ausschreibung war inhaltlich auf einen klassischen Ab- bzw. Ausbruch ausgelegt. Die Arbeitsabläufe waren ausgerichtet auf einen sicheren, risikolosen und ungestörten Bahnbetrieb als wichtige Grundmaxime der zu lösenden Aufgabe.

Die in den Ausschreibungsgrundlagen festgelegten Randbedingungen lassen sich wie folgt beschreiben:

- Stahlkonstruktion als Schutzeinhausung der Bahnstrecke im Arbeitsbereich

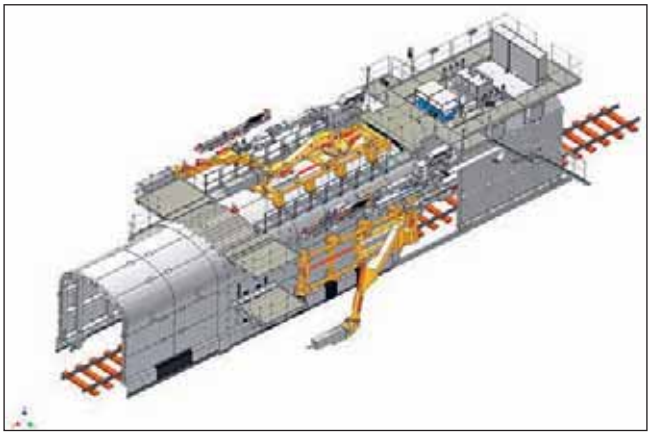


Bild 5.15: TEP für die Tunnel Langenau und Hollrich; Quelle: GTA, Hamminkeln (D)

Bild 5.16: Tunnel Langenau und Hollrich: Ansicht TEP; Quelle: GTA, Hamminkeln (D)

- Ankerung des Innengewölbemauerwerks zur Sicherung des durch Radialschnitte geteilten Mauerwerks
- Schrittweises Entfernen der einzelnen Radialsegmente und der Hinterpackung in unbekannter Mächtigkeit
- Profilnacharbeiten oder -sprengen, anschließendes Kürzen und Nachsetzen der Anker zur Sicherung des anstehenden Gebirges
- Sichern der Ausbruchlaibung mit Baustahlgitter
- vorlaufendes Gebirge durch das Einbringen von Stahlspießen im First- und Kämpferbereich stützen, in Abhängigkeit der angetroffenen Geologie
- Aufbringen der 1. Lage Spritzbeton zur Vervollständigung der Sicherung der Ausbruchlaibung

Die zwingenden Vorgaben der Sperrpausen im Bahnverkehr und die vorstehend genannten Bedingungen ließen erkennen, dass hier dringend innovative Optimierungen notwendig waren, um den vorgegeben Zeitrahmen innerhalb der vertraglichen Bauzeit, abhängig vom DB-Fahrplanwechsel, einzuhalten.

Es war schnell zu erkennen, dass die normalerweise zum Einsatz kommenden Gerätschaften hier nicht zielführend einzusetzen waren. In langen Diskussionen wuchs die Idee, die Schutzeinhausung als Basis für eine Vortriebseinheit in Verbindung mit teils im Bergbau üblichen Geräten (Bohrlafetten, Baggerarm, Spritzmanipulatoren etc.) auszurüsten.

Die Bestückung der „neuen" Schutzeinhausung mit einer teleskopierbaren, dem Tunnelprofil anpassbaren Stahlhaube zur Sicherung der alten Gewölbemauerung beim Abbruch vereinfachte die ursprünglich geplante, aufwändige Arbeit mit einer Radialsäge zur blockweisen Unterteilung des Mauerwerks und Vorankerung der Blöcke entscheidend.

Im eingesetzten Prototyp war die Stahlhaube zur Abstützung der Bestandslaibung, bestehend aus Sandsteinmauerwerk und einer Hinterpackung aus losen Gesteinsbrocken, aufgeteilt in 2 aufeinander folgende, unabhängig voneinander hydraulisch anhebbare Stahlsegmente. Damit konnte die Abstützung mit der Stahlhaube immer so nah wie möglich an die angetroffene Tunnelinnenlaibung angepasst werden. Wie sich herausstellte, war die „alte" Innenschale nicht besonders ebenflächig. Eine weitere Unterteilung in Längsrichtung und damit eine Verkürzung der Stahlhaubenelemente hätte eine bessere Anpassung an die vorgefundene Laibung und damit verbunden ein risikoloseres Absenken und Abbauen von kleineren Mauerwerksabschnitten mit sich gebracht.

Eine weitere mögliche Optimierung wäre eventuell durch eine zusätzliche Längsunterteilung der Stahlhaube erreichbar gewesen. Gleichzeitig hätte sich hierbei aber das Problem der Verkantung durch Einklemmen von gelösten oder losen Gesteins- oder Mauerwerksbrocken ergeben.

Verschiedene Hersteller lieferten unterschiedlichste Konzepte zur Umsetzung der geplanten Konstruktion des Tunnelerweiterungsportales. Die zeitliche Vorgabe durch die DB grenzte eine optimale Produktion unter Einbeziehung aller Lieferanten von Einzelkomponenten stark ein. Bis auf einen Hersteller konnten die anderen Anbieter, trotz guter Konzeption, aufgrund terminlicher Probleme nicht in die Endwertung einbezogen werden.

Fazit zur Ausschreibung

Da der Ausschreibung eine Ausführung in konventioneller Art zugrunde lag und Alternativen nur als Nebenangebot möglich waren, mussten beide Möglichkeiten komplett bearbeitet werden, was den Zeitaufwand stark erhöhte. Die Angebotsbearbeitung für derartige, seitens des Auftraggebers gewünschte Innovationen beansprucht zur qualitativen Bearbeitung (maschinentechnische Planung, Ausschreibung, Detailplanung, Konstruktion und Bau bzw. Montage) sehr viel Zeit. Hier wäre es wünschenswert gewesen, entweder mehr Vorlaufzeit zur Verfügung zu stellen oder die Vorgaben zu der geplanten Lösung ins Leistungsverzeichnis mit aufzunehmen. In Abhängigkeit von der geplanten Konstruktion ist hierfür ein Zeitraum von ca. 8 bis 12 Monaten einzuplanen. Weitere Verfeinerungen und Detailinnovationen wären dann immer noch möglich.

Ausschreibung – Verlauf und Erkenntnisse

Der Sprengvortrieb stellte das Tunnelerweiterungsportal (TEP) vor Probleme, welche zwar in der Planungsphase erkannt und berücksichtigt worden waren, aber in der Praxis doch zu teilweise

erheblichen negativen Einflüssen auf die Stahlkonstruktion durch die Sprengeinwirkung führten.

Das bei der Sprengung herabfallende Mauerwerk sowie die gesprengten Gesteinsbrocken verkanteten sich teilweise untereinander und führten dadurch zu bereichsweise starken Verbeulungen des Stahlmantels der Konstruktion des Tunnelerweiterungsportals. Auch war beim Sprengen des offenen Profils die gewünschte Kleinstückigkeit im Basalt nicht so einfach zu erreichen wie beim Sprengen eines geschlossenen Profils. Beim Antreffen einer weniger kompakten Gesteinsart ist zwar eine bessere Optimierung des Sprengergebnisses möglich, trotzdem bleibt die Größe der Mauerwerksbrocken bedingt durch die starke Klebewirkung des „alten" Fugenmörtels unvorhersehbar. Damit blieb das vorgenannte Verkantungsrisiko weiter bestehen. Daraus resultierten folgende Erkenntnisse für künftige Einsätze ähnlicher Konstruktionen:

- Spantenabstand in Längsrichtung verringern
- Verstärkung der gewählten Blechdicke
- Konstruktive Gelenke nicht dort anordnen, wo das Haufwerk nach der Sprengung zu liegen kommt
- Sicherung der gesamten Konstruktion während der kompletten Sprengphase gegen seitliches Verrücken
- Vorgaben durch den Auftraggeber in Bezug auf den Ansatz der statischen und dynamischen Lasten präzisieren bzw. erweitern

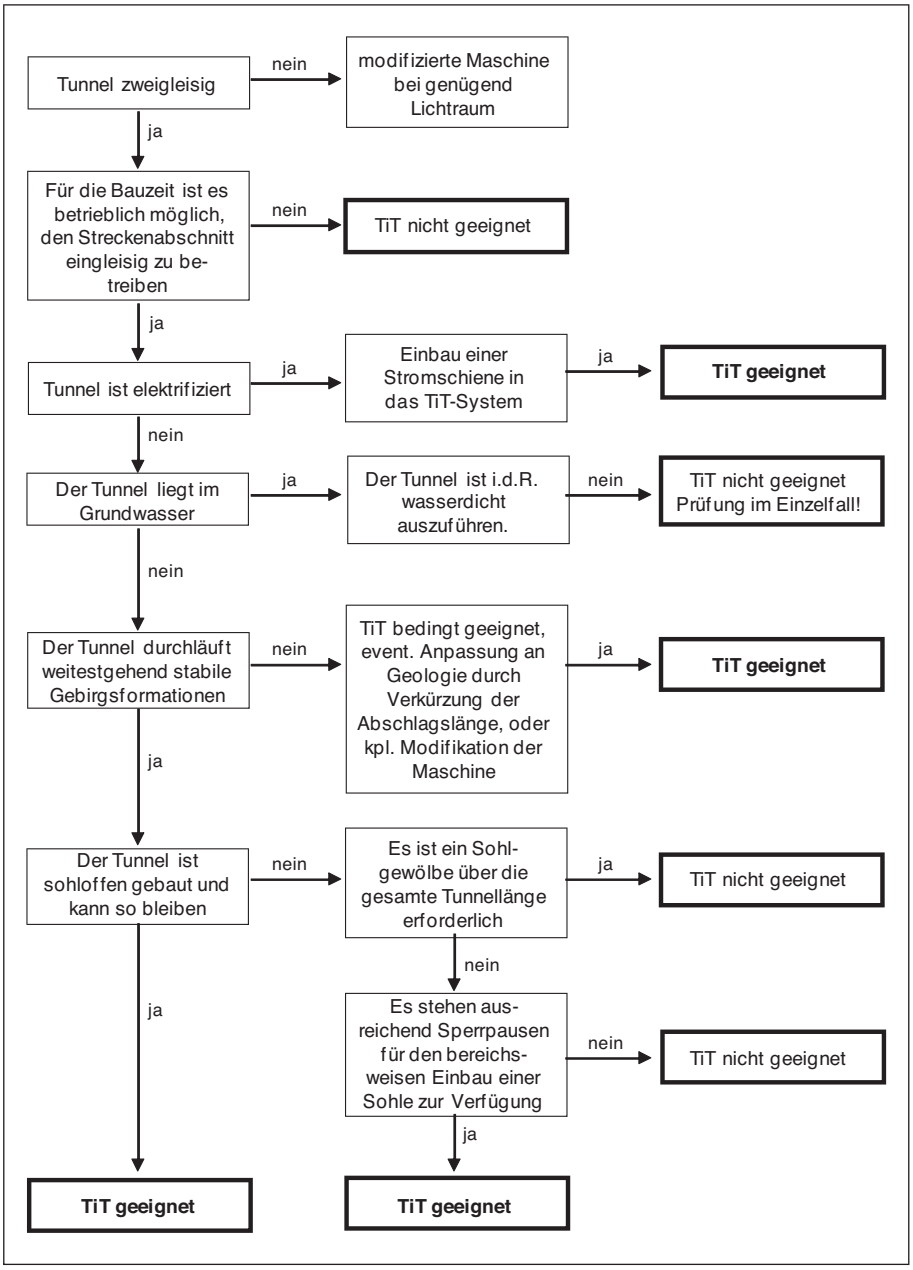


Bild 5.17: Prüflauf zur Anwendbarkeit der TiT Methode

Die Unterbrechungen durch den laufenden Bahnbetrieb sollten auf das im Rahmen der Bahnvorschriften mögliche Minimum begrenzt werden. Während der Sprengung und der anschließenden Streckenkontrolle bis zur Freigabe ist die Bahnstrecke gesperrt. Die zum Sprengvorgang gehörenden Arbeiten

- Bohren der Sprenglöcher
- Besetzen der Sprenglöcher mit Sprengstoff und Vorbereitung zur Sprengung
- Beräumen der gesprengten Flächen und Schuttern des gesprengten Haufwerks sollten innerhalb des „normalen" Bahnbetriebs zugelassen sein. Die Regelungen hierzu müssen projektbezogen vor Ort mit allen Beteiligten abgestimmt werden. Dabei ist vor allem darauf Augenmerk zu legen, dass die einzelnen Zeitfenster im Ablauf weiter gefasst und flexibel gehandhabt werden. Zur Risikoeinschätzung bzw. -beurteilung sollte ein Sprengexperte hinzugezogen werden.

Für die Schutterung beidseitig des Lichtraumprofils der eingleisigen Strecke stand nur ein minimaler Fahrweg zur Verfügung. Aufgrund der geringen Tunnellänge beider Projekte war der Einsatz eines Förderbandes als unwirtschaftlich angesehen worden. Zum Einsatz kamen wegen der geringen Breite stattdessen Fahrlader aus dem Bergbau, eine im Nachhinein betrachtet äußerst grenzwertige Lösung.

Abhängig von der Geologie und Tunnellänge ist einer Bandförderung oder der Materialförderung mittels einer Einschienenhängebahn – EHB (z. B. System GTA) wegen der Sicherheit und letztendlich

auch der Wirtschaftlichkeit unbedingt der Vorzug zu geben. Im Gegensatz zur Bandförderung hat die Einschienenhängebahntechnik den Vorteil, dass die EHB-Schienen in 2 m Schienenabschnitten mittels der vorhandenen Ankertechnik für die Sicherungsarbeiten fortlaufend im Zuge des Baufortschrittes befestigt werden können. Der Montagezeitaufwand ist relativ gering und könnte außerhalb der kritischen Zeitschiene des Bauablaufes erledigt werden. Bei einer Nutzlast von ca. 15 t ist das anfallende Material innerhalb eines kurzen Zeitraumes abzutransportieren.

In diesem Zusammenhang muss nochmals auf das vorgegebene Ausbruch- bzw. Innenschalenprofil hingewiesen werden. Beim genannten Pilotprojekt wurde die Erweiterung mit dem minimalen Ausmaß radial vorgenommen, um so den Ausbruch und die damit verbundenen Kosten gering zu halten. Das bedeutet gleichzeitig, dass das Bahngleis in die Tunnelmitte verschoben wird und in der Folge beidseitig des Bahnkörpers nur ein knapper Arbeitsraum zur Verfügung steht. Diese Vorgehensweise ist geräte- und sicherheitstechnisch schwierig in der Praxis umzusetzen. Wenn die Trassen- und Gradientenführung angepasst werden können, sind weitere Überlegungen zur Profilgestaltung möglich.

Eine einseitige Erweiterung mit einer Anpassung an das bestehende Profil im Firstbereich würde einen eingleisigen Betrieb für den Bahnverkehr auf der ursprünglichen Gleistrasse ermöglichen. Damit würde für den Baubetrieb mehr und vor allem ein besser gesicherter Arbeitsraum zur Verfügung stehen. Ebenfalls denkbar wäre eine Anpassung im Kämpferbereich. Auch hierbei ergeben sich Vorteile für den Bauablauf und die Sicherheit.

Bei allen Varianten sind neben den Untersuchungen zur Trasse bzw. Gradiente auch die Gleishöhenlage und ein eventueller Sohlausbau zu überprüfen.

Die oftmals angesprochene Vortriebsmethode mittels einer Fräse und die damit verbundene Unabhängigkeit von Sperrzeiten war bei der im Mausenmühlen und Jähroder Tunnel angetroffenen Geologie völlig undenkbar, bietet aber bei einer entsprechenden Geologie die Möglichkeit, innerhalb einer Schutzeinhausung weitgehend unabhängig vom Bahnbetrieb einen ungestörten Bauablauf durchzuführen.

Große Basaltbrocken, teilweise als Sprengergebnis, vor allem aber die relativ großen an den Mörtelfugen stark verklebten Mauerwerksbrocken brachten Schwierigkeiten beim Schuttern sowie beim Herabfallen durch das Verkeilen untereinander zwischen Felswand und TEP.

Je nach der angetroffenen Geologie kann aus Gründen des Arbeitsschutzes eine Entstaubung erforderlich werden. Bedingt durch die geringe Länge der Tunnel im Pilotprojekt war die Niederschlagung der Staubentwicklung durch Benebelung mit Wasser noch ausreichend. Bei längeren Tunneln wird eine Staubwand mit entsprechender Absaugung notwendig, nicht zuletzt auch um Lackschäden an den Zügen zu vermeiden. Die Staubwand sollte an der Stirnseite der Schutzeinhausung zwischen Außenkante der Stahlkonstruktion und dem Mauerwerk des alten Tunnelinnengewölbes angebracht werden. Über eine Öffnung in der Staubwand könnte mit Hilfe der Luttenleitung für die Staubabsaugung der Staub aus dem Tunnel bis vor das Portal transportiert werden.

Bild 5.18: Tunnel Gummambs - Arbeitszug; Quelle: Krebs und Kiefer[4] (D)

Das Tunnelerweiterungsportal war mit einem Gelenk ausgeführt und sollte künftig mit 2 Gelenken und ca. 10 m länger ausgeführt werden.

Hinsichtlich der Bewehrungsarbeiten für die neue Innenschale gibt es vor Ort (im Tunnel) keine Lagermöglichkeit für die Bewehrungsmatten bzw. den Stabstahl. Aus diesem Grund wurde im Außenbereich der Baustelleneinrichtungsfläche so viel Bewehrung wie möglich vorgeflochten und in Zugpausen an die Einbaustelle transportiert. Das Stellen der selbsttragenden Bewehrung ist trotzdem sehr aufwendig und wegen des frei zu haltenden Lichtraumprofils kompliziert. Die angedachte Tübbing- bzw. Fertigteillösung konnte aus zeitlichen und finanziellen Gründen nicht mehr umgesetzt werden, wäre aber sicher ein richtiger Schritt für die Zukunft.

Die Sicherheitsaspekte müssen von den zuständigen Stellen festgelegt und konsequent verfolgt werden. Ablaufbedingt ist ein ständiges Queren der Gleistrasse durch das Personal notwendig. Um dies sicher zu gestalten, muss eine sicher und einfach zu nutzende Brückenkonstruktion als separate oder TEP-gebundene Möglichkeit geschaffen werden. Bei einer gesonderten Lösung ist auf eine kurze Entfernung zum TEP zu achten. Übergänge sollten keinesfalls schmale Leitern mit Rückfallsicherung sein, sondern beispielsweise Treppenübergänge, eventuell klappbar, um auch Werkzeugtransporte sicher zu gewährleisten.

5.3.4 Bauzug – Zweigleisig (Tunnel Gummambs, D)

Der in Spritzbeton-Bauweise erstellte Tunnel Gummambs auf der Schwarzwaldbahnstrecke in Deutschland wurde durch den Einsatz eines Arbeitszuges saniert (**Bild 5.18**). Im Zuge der Maßnahme wurden die Drainage und das Gewölbe-Mauerwerk saniert sowie das Felsgewölbe stabilisiert. Die Arbeiten wurden teilweise unter Zugbetrieb durchgeführt. Zusätzlich wurde der Tunnel in nächtlicher Betriebsunterbrechung unter Vollsperrung saniert.

5.3.5 Spritzbetoninnenschale in Rippenbauweise – Zweigleisig (Berghautunnel, D)

Der Berghautunnel befindet sich auf der „Gäubahn" zwischen Stuttgart und Böblingen in Deutschland. Der Tunnel wurde 1877

[4] http://www.kuk.de/content/pro/2006-5064/2006-5064-d.pdf

Bild 5.19: Berghautunnel: Vorschneiden des Tunnelmauerwerks; Quelle: gbm, Limburg (D)

bis 1879 erbaut und hat eine Länge von 200 m. Die zweigleisige Strecke ist elektrifiziert. Über dem Tunnel verläuft bei einer Überdeckung von 17 m die Autobahn A8.

Der Tunnel durchfährt die Schichten des Stubensandsteins (km 4). Unterhalb der Kalotte und über der Firste stehen Sandsteine an, die teilweise sehr grobkörnig sind und eine schlechte Kornbindung haben. Im Bereich der Kalotte des Tunnels bestehen die Schichten des km 4 aus Ton- und Mergelsteinschichten.

Aufgrund umfangreicher Verwitterungsschäden am Mauerwerksausbau wurde der Tunnel im Jahre 2006 saniert. Der aus Natursteinquadern (Schilfsandstein und Stubensandstein) und älteren Ziegelsteinplomben (von früheren Sanierungen im Zeitraum von 1899 bis 1937) bestehende Tunnelausbau wurde durch den Einbau einer neuen 20 cm dicken Spritzbetonschale ertüchtigt. Die neue statisch wirksame Spritzbetonschale wurde in der sogenannten Rippenbauweise hergestellt. Dazu wurden in Abständen von 2,50 m zunächst 0,5 m breite senkrechte Streifen 35 cm tief aus dem vorhandenen Ausbau ausgebrochen (**Bilder 5.19, 5.20, 5.21**). Der Ausbruch wurde durch Sägeschnitte vorbereitet. In die ausgebrochenen Streifen wurden mit Gitterträgern bewehrte und rückverankerte Spritzbetonrippen zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Ausbaus eingebaut. Im nächsten Arbeitsschritt wurden die 2 m breiten Felder zwischen den Rippen 20 cm tief aus dem vorhandenen Gewölbe

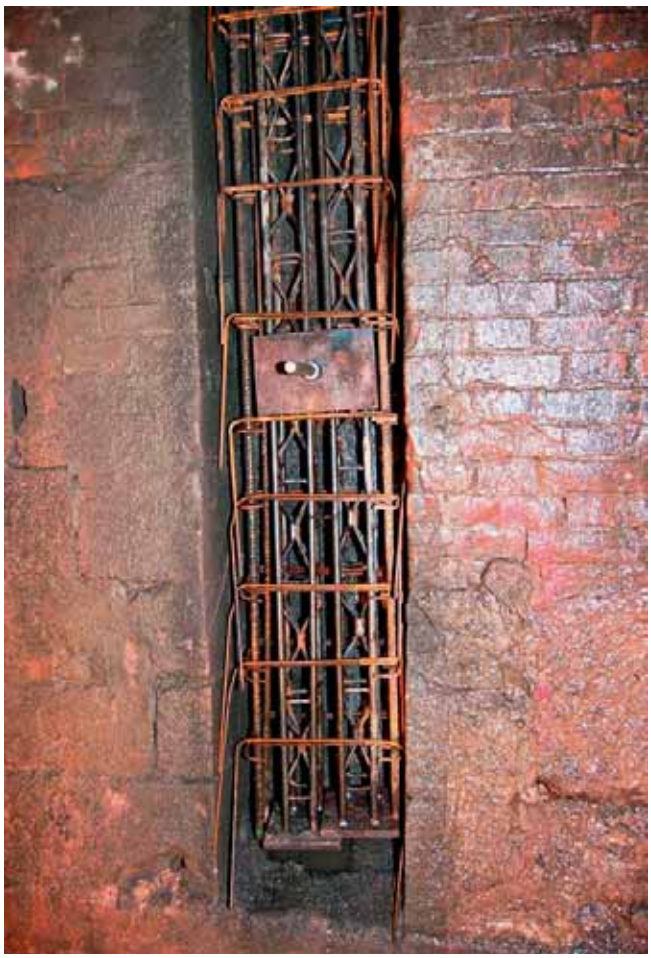


Bild 5.21: Berghautunnel: Rippe mit Bewehrung; Quelle: gbm, Limburg (D)

ausgebrochen und hier eine mit Baustahlmatten bewehrte 10 cm dicke Spritzbetonlage eingebaut. Die abschließende 10 cm dicke Spritzbetonlage wurde als letzter Arbeitsgang über Rippen und Felder durchlaufend bewehrt und gespritzt (**Bild 5.22**).

Alle Arbeiten wurden bei eingleisiger Sperrung und Bahnbetrieb auf dem Nachbargleis in Nachtschichten jeweils halbseitig ausgeführt. Zur Herstellung des Ringschlusses bei den Rippen, den Feldern und der abschließenden Spritzbetonlage musste jeweils das Arbeitsgleis gewechselt werden.

Bild 5.20: Berghautunnel: Ausbruch der vorgeschnittenen Rippen; Quelle: DB ProjektBau (D)

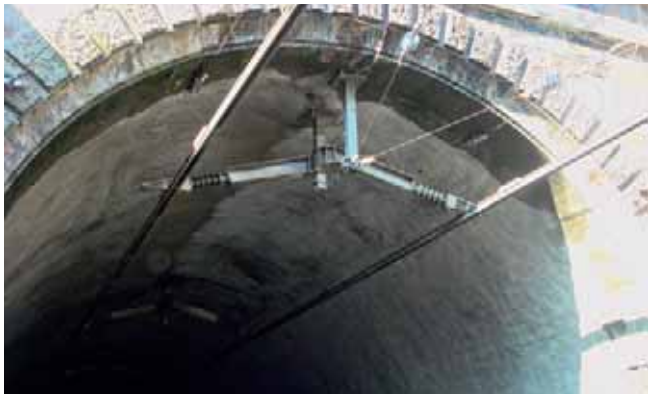


Bild 5.22: Berghautunnel: Fertige Spritzbetonauskleidung. Oberleitung im Tunnel: Stromschiene; Quelle: Furrer&Frey (CH)

Bild 5.23a: Berghautunnel: Tunnelportal (Bauzustand) mit Übergang auf Stromschiene im Tunnel; Quelle: Furrer&Frey (CH)

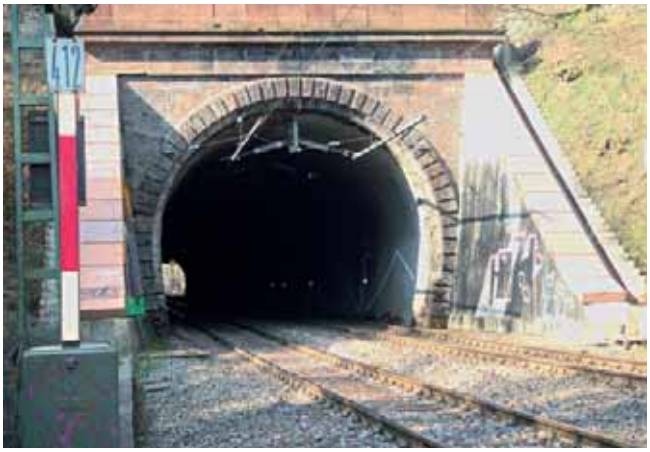


Bild 5.23b: Berghautunnel: Tunnelportal (Endzustand) mit Übergang auf Stromschiene im Tunnel; Quelle: Furrer&Frey (CH)

Um die Behinderungen durch die elektrische Oberleitung zu vermindern, wurde vor Beginn der Sanierung eine abschnittsweise schwenkbare Stromschiene (Fabrikat Furrer&Frey) eingebaut (**Bilder 5.20, 5.23a, 5.23b**). Die Stromschiene wurde nach Abschluss der Arbeiten fest montiert und gewährleistet im Endzustand die Stromspeisung des Zugverkehrs. Vor und hinter dem Tunnel wurden Übergänge von der konventionellen Oberleitung zur Stromschiene eingerichtet.

Die Verformungen des Tunnelausbaus im Zuge der Ausbrucharbeiten wurden messtechnisch mit einer Totalstation überwacht und durch Konvergenzmessungen und Nivellements kontrolliert.

Die Sanierungsarbeiten, die für etwa die Hälfte der Tunnellänge vorzunehmen waren, dauerten von März 2006 bis zum Sommer 2007. Wegen der Fußball-Weltmeisterschaft im Sommer 2006 und wegen der Winterpause 2006/2007 waren 2 mehrwöchige Arbeitsunterbrechungen einzuplanen [5.11].

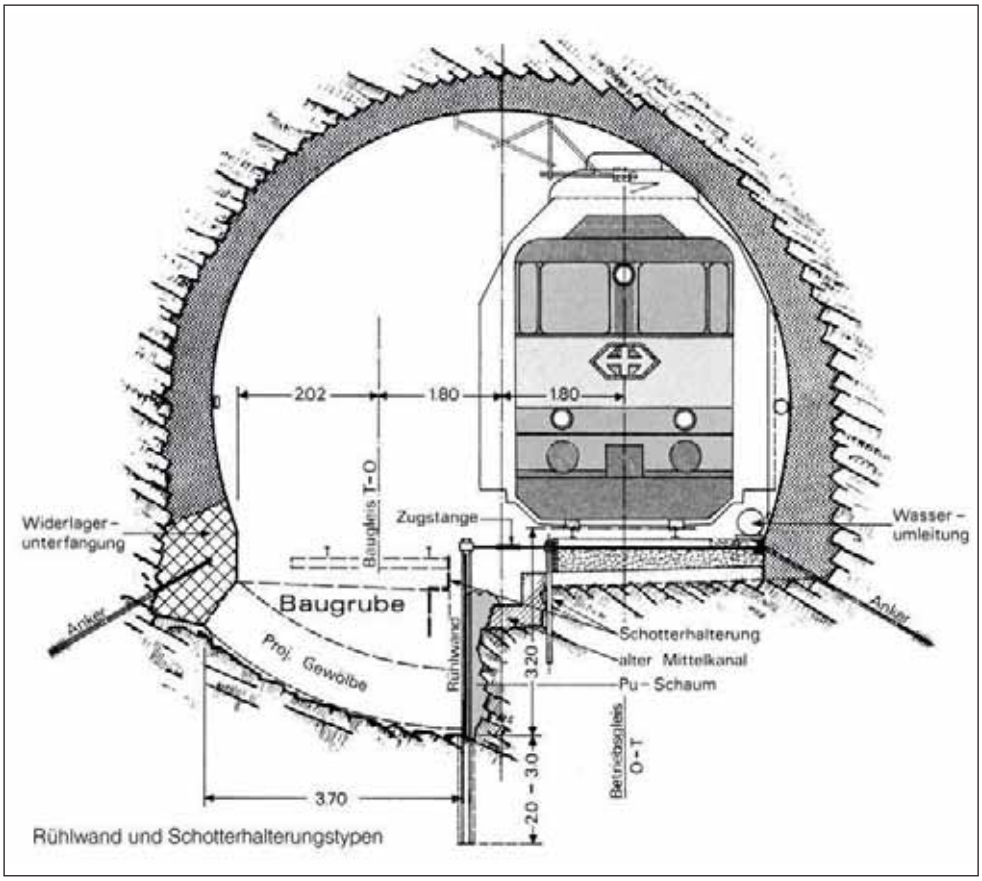


Bild 5.24: Hauenstein Basistunnel – Querschnitt; Rekonstruktion Hauenstein-Basistunnel; Quelle: SBB-Alfred Etterlin (CH)

5.3.6 Wechselseitige Sohlerneuerung – Zweigleisig (Hauenstein Tunnel, CH)

Sohlerosion infolge von Vernässung der gipshaltigen Gesteinstrecke bei Olten in der Schweiz führten zur Totalsanierung des Hauenstein-Basistunnels. Die bahnbetrieblichen Randbedingungen sahen vor, den Zugverkehr von rund 200 Zügen am Tag während der Bauausführung nicht zu unterbrechen. Die Bauarbeiten selbst durften nur auf einem Gleis und nur auf einer Länge von einem Drittel der Gesamtlänge von 8.135 m stattfinden (**Bilder 5.24, 5.25**). Die Arbeiten sahen die Unterfangung der Gewölbe-Widerlager, den Einbau von Sohlgewölben und den Austausch des Mauerwerks, eine Sohlabsenkung um rund 30 cm sowie den Einbau neuer Tunnelausrüstungen vor. Zur Bauausführung waren ca. 4 Lokomotiven und Traktoren sowie 120 Bahnwaggons über eine Bauzeit von 6,5 Jahren erforderlich [5.12].

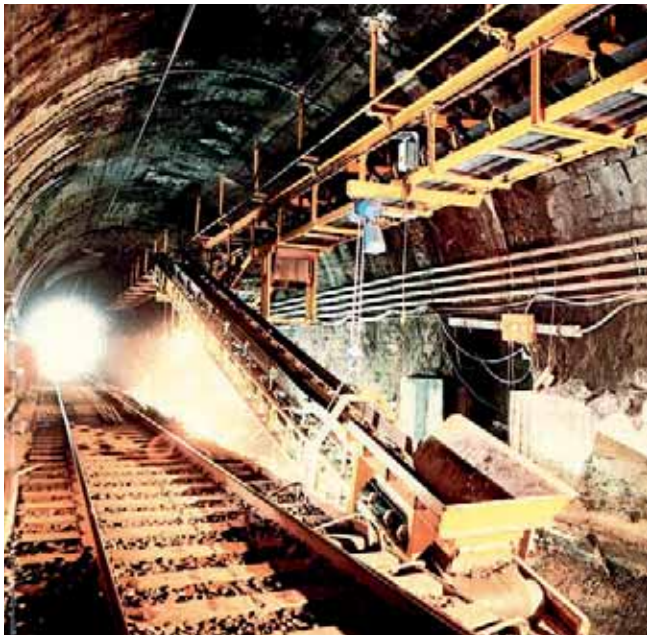


Bild 5.25: Hauenstein Basistunnel – Hängeinstallationen; Rekonstruktion Hauenstein-Basistunnel; Quelle: SBB-Alfred Etterlin (CH)

5.3.7 Gewölbe- und Sohlerneuerung – Zwei(Ein)gleisig (Klein-Winternheimer Tunnel, D)

Obwohl der Klein-Winternheimer Tunnel bei Mainz in Deutschland für einen zweigleisigen Zugverkehr im Jahre 1870 konzipiert wurde, ist er bis heute eingleisig, nicht-elektrifiziert in Betrieb. Für Instandsetzungsarbeiten, welche zur Gewährung der Standsicherheit am Gewölbe erforderlich wurden, kam keine abschnittsweise Sanierung in Frage. Die erarbeitete Lösung zeichnet sich durch Einbringen einer neuen Innenschale samt Rundumabdichtung aus. Der Sohleinbau erfolgte abschnittsweise in Regelblöcken von ca. 10 m Länge während die Gleislage in 3 Phasen verschwenkt wurde (**Bild 5.26**):

- Bauphase 1: Zugbetrieb in der rechten Tunnelhälfte/Herstellung Sohle links
- Bauphase 2: Zugbetrieb links auf der neuen Sohle/Herstellung Sohle rechts
- Bauphase 3: Zugbetrieb in der Mitte/Herstellung Gewölbe mit Schalwagen

Für die Sanierung in derartigen Bauphasen ist ein ausreichend großes Tunnelprofil notwendig. Material- und Personallogistik erfolgten mit einem Arbeitszug, der während des Zugbetriebes auf einem Abstellgleis parkte [5.13].

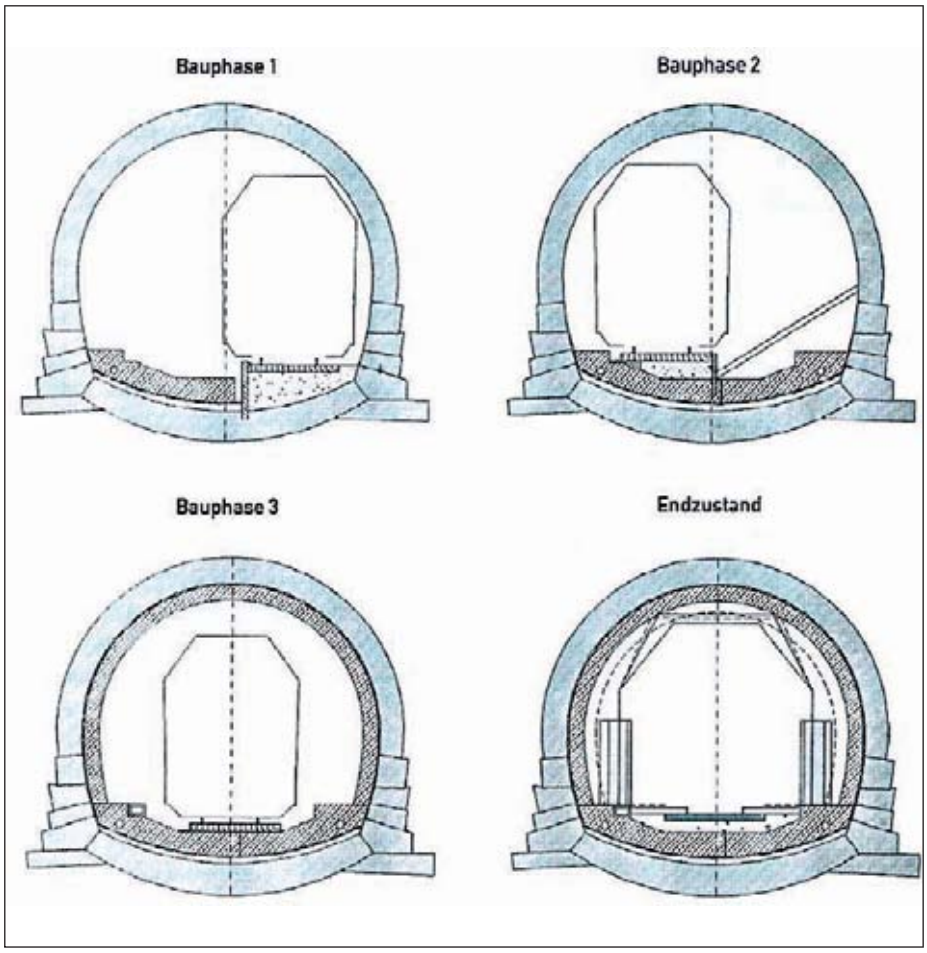


Bild 5.26: Bauphasen – Klein-Winternheimer Tunnel; Quelle: Bautechnik 72 (1995) (D)

5.3.8 Wechselseitige Gewölbeerneuerung und Sohlaushub – Zweigleisig (Problemstellungen bei Tunnelinstandsetzungen/-erneuerungen aus der Praxis in Österreich anhand Arlbergtunnel und Tauerntunnel)

5.3.8.1 Sicherheitstechnische Nachrüstung Arlbergtunnel – Beschreibung

Im Zuge der sicherheitstechnischen Nachrüstung wurden beim Arlbergeisenbahntunnel grundlegende Sanierungs- und Modernisierungsarbeiten durchgeführt. So wurde das Gewölbe des bestehenden Tunnels saniert und aufgeweitet, die Tunnelsohle abgesenkt und beide Gleise in Form einer Festen Fahrbahn erneuert. Als weitere Maßnahme erfolgte die Erneuerung der Oberleitung als Stromschiene.

Bei der Projektierung der Instandsetzungsmaßnahmen konnten keine Zuordnungen zwischen den geologischen Verhältnissen beim Vortrieb und Ausbau während der Bauzeit 1883 bis 1889 und den aufgetretenen Problemzonen festgestellt werden. Generell wurden jene Bereiche, wo die Schwächung des alten Gewölbes mehr als 20 % betrug, genauer betrachtet. Die ursprünglich

Art der Instandsetzungsmaßnahmen	Betriebliche Verbesserungen	Sicherheitstechnische Nachrüstung	Verbesserung im Bestand ohne Änderung	Substanzverbesserung	Durchführung in Gleissperren		
Ziel der Maßnahme	**Erhöhung der Kapazität**	**Erfüllung gesetzlicher Auflagen**	**Verringerung des Instandhaltungsaufwandes**	**Verlängerung der Gebrauchsdauer, Änderung des Zwecks der Anlage = Investition**	**eingleisiger Betrieb**	**Totalsperre**	**Neubau**
Arlbergtunnel 1982 bis 1995							
Aufweitung für Rollende Fahrbahn	x				x		
Überleitstelle	x					x	
Bügelaufweitung Gleis 1		x			x		
Y-Abschlauchungen			x		x		
Spritzbetonplomben			x		x		
Fugenöffnen			x		x		
Dichtputzauftrag			x		x		
Sohleintiefung mit Straßenfräsmaschine			x		x		
Feste Fahrbahn im Tunnel – 3 km auf Gleis 2			x	x	x		
Erneuerung Mauerwerkssohlkanal im Bereich der FF			x			x	
Gleisschotterverharzung im Übergang zw. Schotter und FF			x		x		
Arlbergtunnel 1998 bis 2010				x			
Verlängerung Seite St.Anton/A. über die Rosanna um 420 m				x			x
Aufweitung Ostportal auf 4 Gleise zum neuen Bahnhof							x
6 Flucht- und Rettungsstollen als Verbindung zwischen Bahn- und Arlberg-Straßentunnel		x		x		x*)	x
Vollständiger Spritzbetonabtrag (HDW-Strahlen)			x		x		
Neue Maß-Spritzbetonschale in den Tunnelrandbereichen			x		x		
Mauerwerksflächenabtrag für ERL-Profil	x			x	x		
Ringfugen-Entwässerung (geschnittene Schlitze mit Entlastungsbohrungen und Phönix-Profil			x		x		
Neue Spritzbetonschale			x		x		
Gleisabtrag (mit GAE 9000 von GTA)							
Durchgehender Sohlabtrag (mit ITC 320 von Schaeff)			x		x		
Erneuerung der Entwässerung			x	x	x	x	
Einbau Feste Fahrbahn (System Porr)							
*) Durchbruch zum Bahntunnel							

Tabelle 5.1: Sicherheitstechnische Nachrüstung Arlbergtunnel (A)

vorgesehenen und ausgeschriebenen Anker, Injektionen (ausgenommen die Kreuzungsbereiche der Querschläge) und Verkürzung der Abtragslängen kamen kaum zur Ausführung.

Die bestehende Ausmauerung wurde durch hauseigene und auch von der Bau-Firma veranlasste Vermessung in den Bereichen mit Schwächung des Mauerwerks überprüft. Dabei wurden keine kritischen Verformungen festgestellt. Auch in den bahntunnelnahen Bereichen der Querschläge, deren Verknüpfung mit dem Bestandstunnel durch Injektionen sichergestellt wurde, waren keine Bewegungen festzustellen. Die Umlagerungen des Gebirges waren also großräumig durch die lange Standzeit des Tunnels abgeschlossen und keine entfestigten Bereiche entstanden. Die angetroffene Geologie beim Sohlabtrag und den Querschlägen wurde vom hauseigenen begleitenden Geologen dokumentiert.

Es war nicht auszuschließen, dass ein Teil des abgetragenen Spritzbetons durch sekundären Thaumasit, hervorgerufen durch sulfathaltige Bergwässer, geschädigt worden war [5.8]. Dazu läuft ein Forschungsvorhaben am Geotechnischen Institut der TU Graz.

Zu den durchgeführten Maßnahmen (1998 bis 2010) zählen folgende Arbeiten:

- Es wurde im gesamten Gewölbe der alte Spritzbeton durch HDW mit rund 1.000 bar abgetragen.
- Das Mauerwerk wurde – wo erforderlich – zur Herstellung der mit Wiener Übergangsbogen neu eingerechneten Gleisachse und des Gleisabstandes von 3,50 m in der Ulme durch Einschneiden mit Kreissägen und nachfolgendes Abdrücken aufgeweitet.
- Die Sohle wurde für den Einbau der Festen Fahrbahn und der Entwässerung mit Hydromeißel abgetragen. Dies war ein Entwicklungsprozess und letzten Endes eine Firmenentscheidung gegenüber einem Fräsabtrag. Durch Versuche war festgestellt worden, dass ein Sprengabtrag nur wenig Zeitgewinn, aber jede Menge Probleme mit sich bringen würde.
- Alle Maßnahmen wurden unter Aufrechterhaltung des eingleisigen Betriebs durchgeführt. Lediglich die Durchbrüche der Querschläge wurden in Streckensperren vorgenommen.

Weitere Details siehe [5.14, 5.15]

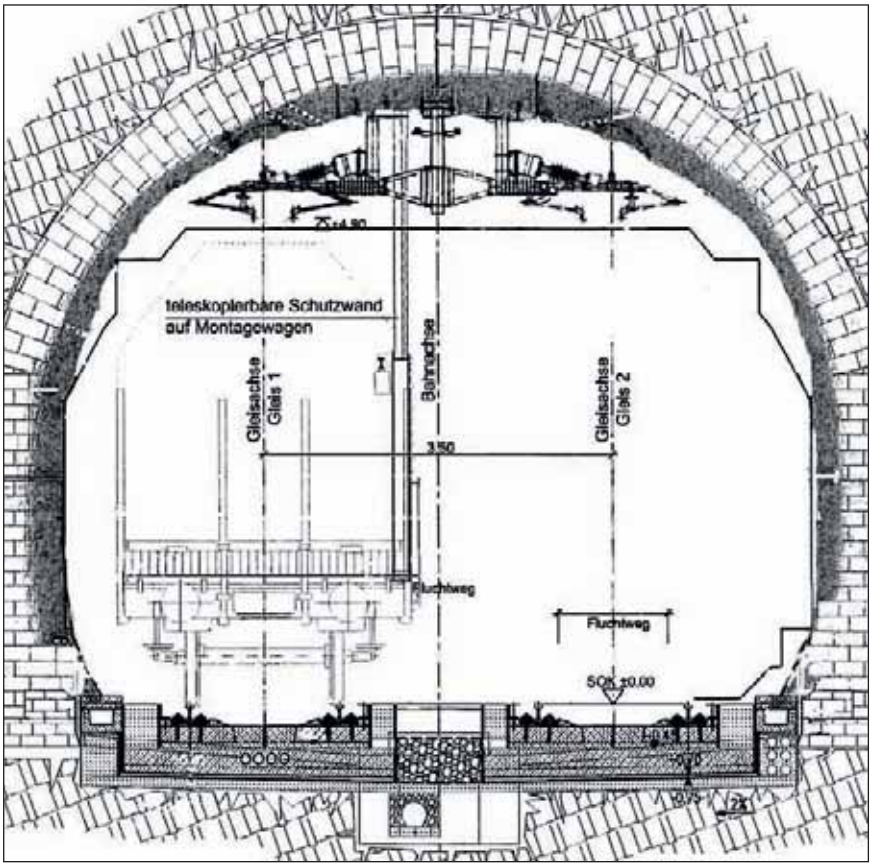


Bild 5.27: Arbeitswagen mit Teleskopwand (im Bild auch die spätere Stromschiene; während der HDW-Arbeiten wurde im jeweiligen Abschnitt die bestehende Fahrleitung in die Tunnelmitte gespannt); Quelle: ÖBB (A)

5.3.8.2 Sicherheitstechnische Nachrüstung Arlbergtunnel – Betriebliche und sicherheitstechnische Randbedingungen

Für die Arbeiten am Arlbergtunnel wurde ein Gleis für den Betrieb gesperrt und nach Beendigung der jeweiligen Maßnahmen Betriebs- und Arbeitsgleis getauscht (**Bild 5.27**). Einige Arbeiten konnten jedoch nur in mehrtägigen Totalsperren (jährliche Arlbergsperre zwischen Landeck und Bludenz) durchgeführt werden. Die Abgrenzung zum Betriebsgleis erfolgte durch hydraulisch ausfahrbare, stählerne Trennwände, die den Arbeitsraum komplett abschirmten und verhinderten, dass die Arbeiten durch Zugverkehr beeinträchtigt wurden. Auch der Schutz der Züge vor Feuchtigkeit und herabfallenden Teilen konnte so sichergestellt werden.

Die Arbeiten mussten entsprechend den Langsamfahr-Abschnitten mit einer Länge von 2,5 km koordiniert werden. Außerhalb dieser Bereiche durften keine Arbeiten durchgeführt werden.

Die Versorgung der Baustelle konnte wegen der Platzverhältnisse Seite St. Anton/A. ausschließlich über das Westportal und den Bahnhof Langen/A. erfolgen. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit im Arbeitsgleis betrug 20 km/h, was bei der Maximallänge des Tunnels von über 10 km eine Fahrzeit für die einfache Strecke von 30 min ergab. Bei Vorbeifahrten von Zügen mussten die maschinellen Arbeiten unterbrochen werden. Die Warnung erfolgte über eine signalabhängige Arbeitsrotten-Warnanlage (AWS). Der Transport sämtlicher Materialien einschließlich des Frischbetons erfolgte grundsätzlich mit Arbeitszügen auf dem Baugleis, nur in den kurzen Totalsperren konnten Transporte auch auf dem 2. Gleis stattfinden.

5.3.8.3 Sicherheitstechnische Nachrüstung Arlbergtunnel – Probleme und Lösungen

Die Standfestigkeit von Gebirge und Tunnel war entscheidend für die Wahl der Baumaßnahmen, wie Abtragslänge, freistehende Län-

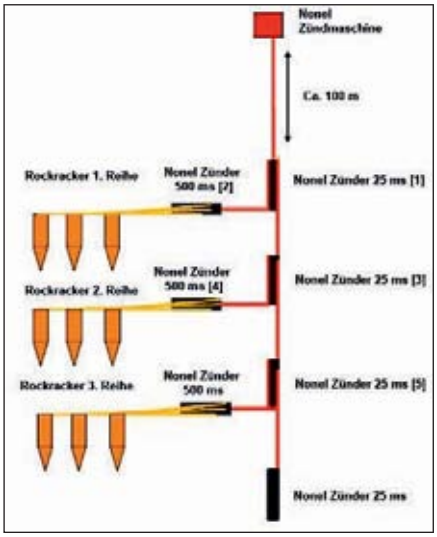


Bild 5.28: Arlberg-Tunnel: Zündschema; Quelle: ÖBB (A)

ge, temporäre Stützmaßnahmen, Abtragsarten (Fräsen, Sprengen, Bohren, Rock-Cracker, …). Hierzu wurde die Projektentwicklung unter Berücksichtigung der Berichte vom Bau und von den bisherigen Sanierungen durchgeführt.

Die Aufschlüsse erfolgten mittels Kernbohrungen hinter die Ausmauerung und Hinterpackung bzw. teilweise auch ins – weitgehend ungestörte – Gebirge zur Festlegung der maximalen Abtragslänge der Spritzbetonschale und Sohle.

Versuchsweise wurden für den Sohlabtrag Sprengarbeiten ausgeschrieben. In einem Gutachten der Montanuniversität Leoben wurden dann die Bedingungen für die Durchführung von Sprengarbeiten im Tunnel formuliert. Es wurden Rockcracker in 3 Reihen geplant. Das für die Herstellung der Bohrlöcher vorgesehene Reihenbohrgerät ist in **Bild 5.28** dargestellt.

Aufgrund der nur geringen Kostenvorteile wurde diese Methode nicht angewandt. Die Wahl des AN fiel stattdessen auf Abtrag mit Hydromeißel für den Sohlgewölbe- und Felsabtrag im Sohlbereich. Die Übergabe des Abtragsmaterials auf das Förderband der Gleisabtragsmaschine erfolgte durch einen ITC 112, der eigentliche Abtrag der Felssohle mittels eines ITC 320 (**Bild 5.29**).

Bild 5.30: Gleiskörperabtragungseinrichtung GAE 9000 „Weißer Hai"; Quelle: GTA, Hamminkeln (D)

Der Mauerwerksabtrag in den Ulmen für die Lichtraum- und Bügel-Aufweitungen und die Entwässerungschlitze wurde mittels Diamantsägen und nachfolgendem hydraulischen Ausbruch bewerkstelligt. Der Gleisabtrag im Linienbetrieb war nur mittels des „weissen Hai" (Gleisabtragseinrichtung – GAE) möglich (**Bild 5.30, 5.31**). Mittels dieses schienengebundenen Gerätes kann gleichzeitig der Gleisrost abgetragen, auf die für den Abtransport bereitgestellten Waggons getrennt in Schienen und Schwellen verladen sowie die davor stehenden Abraumwaggons über ein Förderband wahlweise mit dem Gleisschotter- oder Felsabtrag beschickt werden.

Da eine Zwischenlagerung von Materialien im Tunnel nicht zulässig war, wurden sämtliche Arbeitsmittel und auch die Gleistragplatten einbau- und zeitgerecht geliefert und verlegt.

Für die Kommunikation, den Elektrobetrieb der Baugeräte und die Versorgung wurden über die gesamte Tunnellänge ein „strahlendes Kabel", ein 10 kV-Hochspannungskabel und eine Wasserleitung verlegt.

Um alle gesetzlichen Grenzwerte für Staub und alle Abgase und bahnbetrieblichen Auflagen (Sichtweite) einhalten zu können, wurden 2 verschiedene Bewetterungssysteme eingesetzt: Aufgrund der wetterscheidenden Wirkung des Arlbergs treten natürliche Strömungsgeschwindigkeiten (in beiden Richtungen je nach Wetterlage) im Durchschnitt von 0,5 bis 1,0 m/s auf, die mittels Korfmann-Lüftern mit je 250 kW Leistung verstärkt werden konnten. Dadurch ließen sich Strömungsgeschwindigkeiten bis 3,0 m/s im Tunnel erzeugen (drückende Bewetterung). Außerdem befand sich auf jedem Spritzbeton-Bauzug eine Staubabsaugung mit einer Leistung von 600 m^3/min (saugende Bewetterung) (**Bild 5.32**).

Da die Trockenspritzbetonschale aus den Jahren 1982 bis 1986 größtenteils keinen Ver-

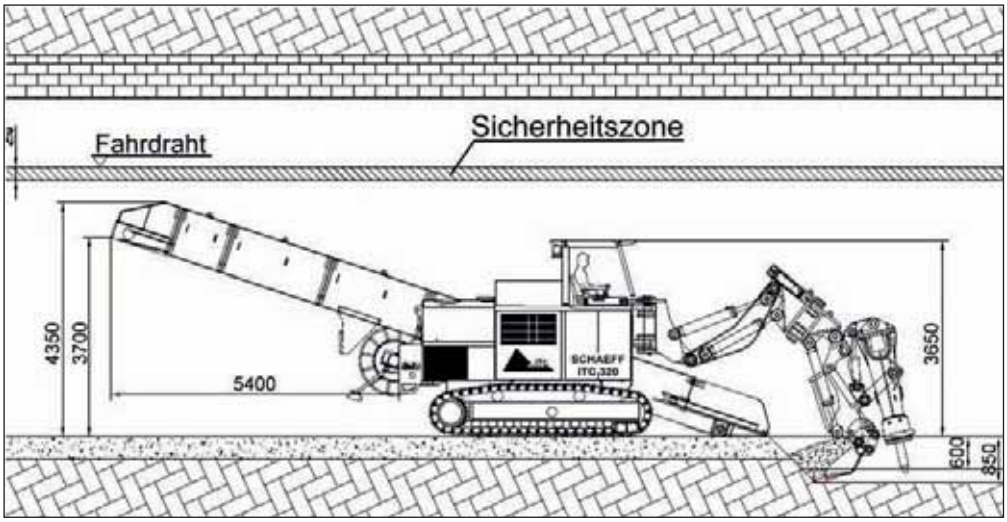


Bild 5.29: Arlbergtunnel: ITC 320; Quelle: ÖBB (A)

Bild 5.31: Arlbergtunnel: Gleistragplattenmanipulator (zum Umladen und zur Übergabe der waggonverladenen Gleistragplatten an der Arbeitsstelle auf der Baustelle konzipiert und angefertigt); Quelle: ÖBB Infrastruktur AG (A)

Bild 5.32: Arlbergtunnel: Entstaubungsanlage; Quelle: ÖBB Infrastruktur AG (A)

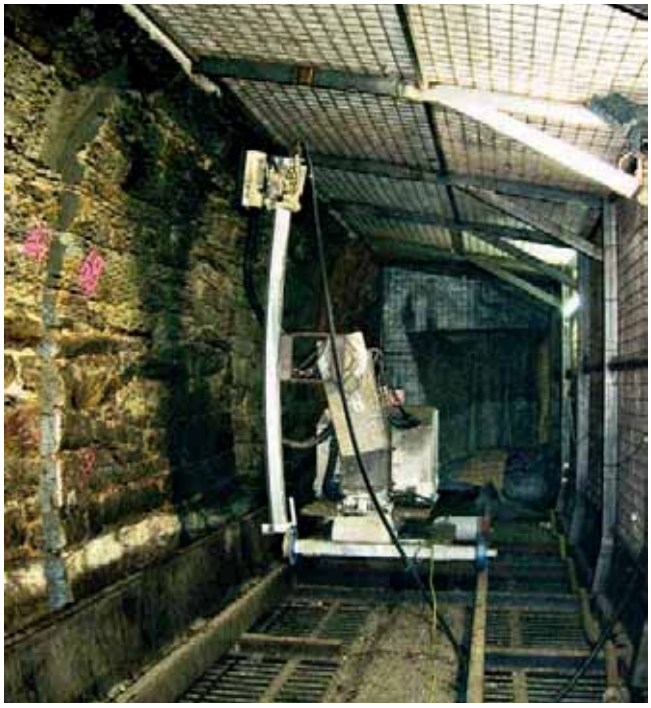


Bild 5.33: Arlbergtunnel: Abtragsroboter mit Hochdruckwasserstrahl; Quelle: ÖBB Infrastruktur AG (A)

Bild 5.34: Arlbergtunnel: Lichtraumaufweitung, hier im Bild die Teleskop-Schutzwand. Die Lichtraumaufweitungen bis zu 30 cm wurden mit einer mehrblättrigen, über Schablonen gesteuerten Profilsäge hergestellt und die Mauerwerksstege ausgebrochen; Quelle: ÖBB Infrastruktur AG (A)

Bild 5.35: Arlbergtunnel: einzelstützpunktgelagerte Weiche; Quelle: ÖBB Infrastruktur AG (A)

bund mit dem Mauerwerk hatte und in Platten von mehreren m² herabgefallen war, wurde diese in der gesamten Länge mit Hochdruckwasserstrahlen bei 100 bis 120 MPa abgetragen (**Bild 5.33**). Dabei wurde der anfallende Wassernebel abgesaugt und über eine Kondensation abgeführt.

Nach den Gewölbearbeiten (**Bild 5.34**) und dem Gleisabtrag wurde fortlaufend die Feste Fahrbahn (**Bild 5.35**) eingebaut, nach dem Sohlabtrag mit dem Hydromeißel ITC 320 – das vorgehaltene Reihen-bohrgerät für Sprengausbruch kam wegen der guten Lösbarkeit nicht zum Einsatz – wurde der Sohlbeton eingebracht. Sodann wurden die Gleistragplatten mit einem modifizierten Muldenkranwagen in 240 m-Wochentakten verlegt und vergossen [5.16].

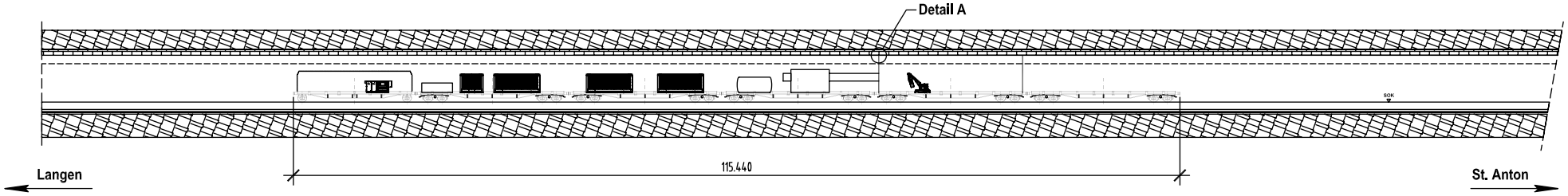
Alle Einzelschritte der Instandsetzungsarbeiten im Arlbergtunnel sind in **Bild 5.36** dargestellt.

5.3.8.4 Tauerntunnel

Erfahrung aus der Bauherstellung

Generell sollten bisherige Instandhaltungsarbeiten Berücksichtigung finden und in das Sanierungs-Konzept eingebunden werden. Insbesondere sind vorhandene Entwässerungen zu erhalten und in

Bild 5.36a Arlbergtunnel: die Arbeitszüge mit den Schutzvorrichtungen in den wesentlichen Phasen werden in den Details 1 bis 7 dargestellt; Quelle: ÖBB Infrastruktur AG (A)

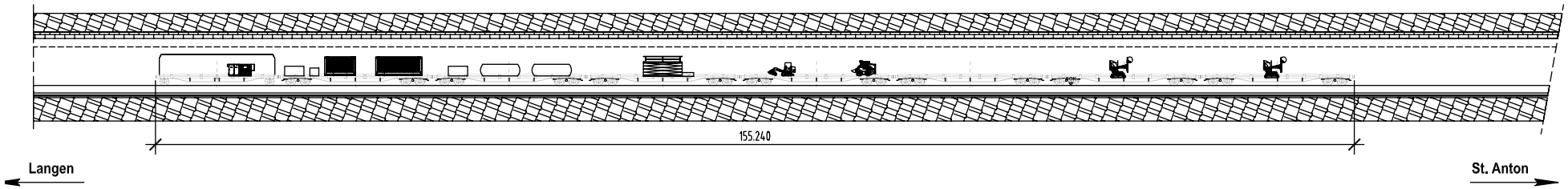


Beladung	Trafo	Diesel-aggregat 40 kVA/FU/ Hochdruck-pumpe elektrisch	SIPO-Container Mannschafts-container	Absaugung Tröpfchen-abscheider 10.000 l Tank	Arbeits-bereich (Abtrags-roboter)	Spritzbeton-abtrag
Wagen-Typ	HBBKKS	RES	RES	RES	RES	RES
Schutzwand	Gedeckt	BstG + Vlies	BstG + Vlies	BstG + Vlies	Teleskop + Ab-schottung	–
Wagen-Nr.	071-3	042-4	018-4	051-5	041-6	ELA
AZ alt	Hinterstellt	Hinterstellt	AZ I	Hinterstellt	AZ S	–
Eigengewicht [t]	21,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
Nutzlast [t]	15,0	10,0	6,0	10,0	10,0	50,0
Gesamtgewicht [t]	38,0	33,0	29,0	33,0	33,0	73,0

Gewicht Arbeitszug, gesamt [t]	239,0

Detail 1: Arbeitszug Spritzbetonabtrag mit den Schutzvorrichtungen der Wagen zum Betriebsgleis – die Teleskopwand befindet sich auf dem Wagen mit der HDW-Lafette

Bild 5.36 b Arlbergtunnel: die Arbeitszüge mit den Schutzvorrichtungen in den wesentlichen Phasen werden in den Details 1 bis 7 dargestellt; Quelle: ÖBB Infrastruktur AG (A)

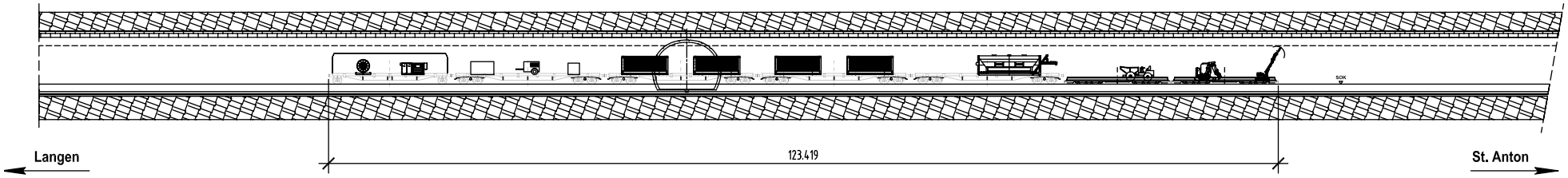


Tätigkeit	–	–	–	Entwässerung Abschlauch-ungen	Schrämen	–	Sägen	Sägen
Beladung	**Trafo**	**Dieselaggregat 40 kVA/ Tankstelle/ SIPO-Container Mannschafts-container**	**Kompressor, Druckkessel, Wasserkes-sel, Druck-steigerung, NÖT-Notmaß-nahmenpaket**	**Scherenhub-bühne**	**Minibagger/ Bobcat**	**Spritzbeton-abtrag**	**Säge Aufweitung Ulme, Schlitz-säge Ulme**	**Säge Aufwei-tung Kämpfer, Schlitzsäge Kämpfer und Firste**
Wagen-Typ	HBBKKS	RES	RES	RES	RES	RES		
Schutzwand	Gedeckt	BstG + Vlies	BstG + Vlies	Teleskop	Teleskop	–	Teleskop	Teleskop
Wagen-Nr.	071-3	042-4	018-4	008-5	071-5	ELA	027-5	015-0
Eigengewicht [t]	18,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
Nutzlast [t]	15,0	6,0	25,0	6,0	10,0	50,0	3,0	3,0
Gesamtgewicht [t]	33,0	33,0	48,0	29,0	33,0	73,0	26,0	26,0

Gewicht Arbeits-zug, gesamt [t]	306,0

Detail 2: Arbeitszug Mauerwerksabtrag – Diamantsägen

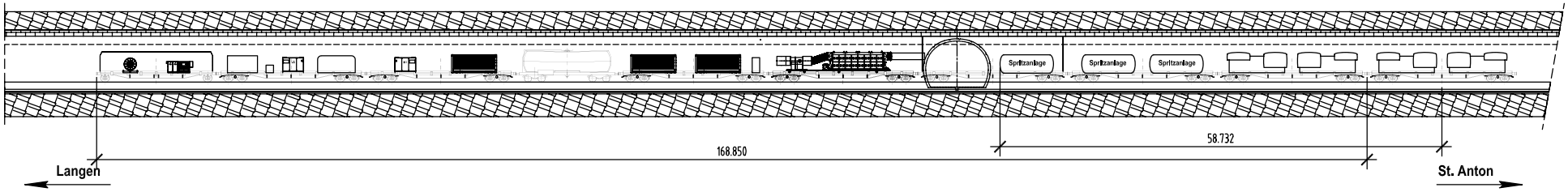
Bild 5.36 c Arlbergtunnel: die Arbeitszüge mit den Schutzvorrichtungen in den wesentlichen Phasen werden in den Details 1 bis 7 dargestellt; Quelle: ÖBB Infrastruktur AG (A)



Beladung	Trafo/ Kabel-trommel/ Werkstatt	40 kVA Aggre-gat/Diesel-kompressor/ Tankstelle	Drucksteiger-ungsanlage/ ÖBA-Container	Rettungscon-tainer/SIPO-Po-liercontainer	Spritzanlage E-Kompressor	Mulde	Mini-bagger 1,5 t Brokk 150
Wagen-Nr.	050-7	026-7	062-2	020-0	071-5	760-4	752-1
Wagen-Typ	HBBKKS	RES	RES	RES	RGS	Niederflur	Niederflur
Schutzwand	Gedeckt	BstG + Vlies	BstG + Vlies	BstG + Vlies	(Teleskop)	–	–

Detail 3: Arbeitszug Mauerwerksabtrag – hydraulische Ausbrucheinheit

Bild 5.36 d Arlbergtunnel: die Arbeitszüge mit den Schutzvorrichtungen in den wesentlichen Phasen werden in den Details 1 bis 7 dargestellt; Quelle: ÖBB Infrastruktur AG (A)



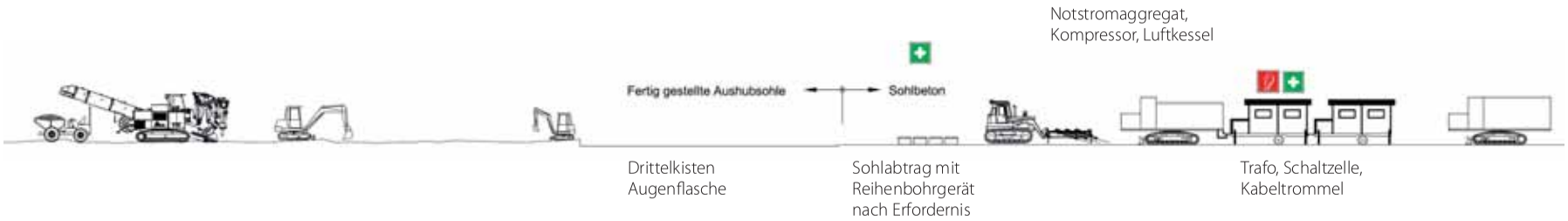
Beladung	Trafo und Kabel-trommel	500kVA Ag-gregat./Tank/ Kompressor/ Druckkessel	E-Kompressor SIPO-Container	Wasser	Polier-/ Mannschafts-container Rettungs-container WC	Entstaubung 600 m^3/min	Spritzanlage	2 x Spritz-anlage	Spritzbeton	Spritzbeton
Wagen-Nr.	050-7	000-2	008-5	861-2	018-4	012-7	004-4	055-6		
Wagen-Typ	HBBKKS	RES	RES	Kesselwa-gen	RES	RES	RES	RES	UACS	UACS
Schutzwand	Gedeckt	BstG + Vlies	BstG + Vlies	–	BstG + Vlies	BstG + Vlies	Teleskop	BstG + Vlies	–	–

Detail 4: Arbeitszug Spritzbetonauftrag

Bild 5.36 e Arlbergtunnel: die Arbeitszüge mit den Schutzvorrichtungen in den wesentlichen Phasen werden in den Details 1 bis 7 dargestellt; Quelle: ÖBB Infrastruktur AG (A)

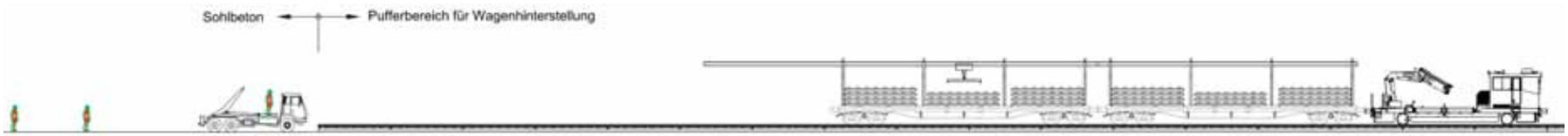
Detail 5: Ausbau Schiene, Schwelle und Schotter

Bild 5.36 f Arlbergtunnel: die Arbeitszüge mit den Schutzvorrichtungen in den wesentlichen Phasen werden in den Details 1 bis 7 dargestellt; Quelle: ÖBB Infrastruktur AG (A)



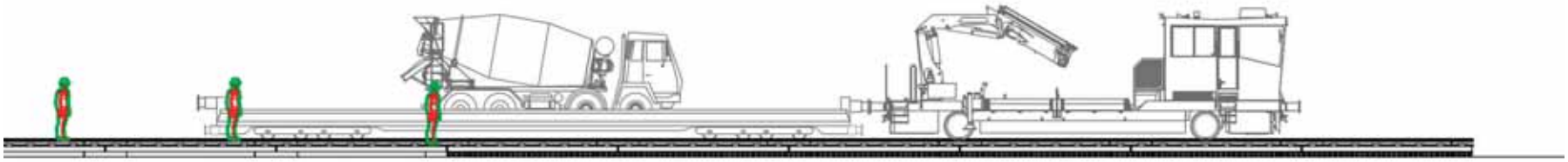
Detail 6: Einbau Sohlbeton, Einbau Rohre für Kabelkollektor, Einbau Ringfugenentwässerungen, u.s.w.

Bild 5.36 g Arlbergtunnel: die Arbeitszüge mit den Schutzvorrichtungen in den wesentlichen Phasen werden in den Details 1 bis 7 dargestellt; Quelle: ÖBB Infrastruktur AG (A)



Detail 7: Längstransport Gleistragplatten und Versetzen mit Portalkran

Bild 5.36 h Arlbergtunnel: die Arbeitszüge mit den Schutzvorrichtungen in den wesentlichen Phasen werden in den Details 1 bis 7 dargestellt; Quelle: ÖBB Infrastruktur AG (A)



Detail 8: Vergussbetoneinbau (erfolgt vom Betriebsgleis aus)

Art der Instandsetzungsmaßnahmen	Betriebliche Verbesserungen	Sicherheitstechnische Nachrüstung	Verbesserung im Bestand ohne Änderung	Sustanzverbesserung	Durchführung in Gleissperren		
Ziel der Maßnahme	Erhöhung der Kapazität	Erfüllung gesetzlicher Auflagen	Verringerung des Instandhaltungsaufwandes	Verlängerung der Gebrauchsdauer, Änderung des Zwecks der Anlage = Investition	eingleisiger Betrieb	Totalsperre	Neubau
Tauerntunnel bis 2001							
Einbau von Abschlauchungen und Einbindung in Sohlkanal			x				
Feste Fahrbahn Gleis 2 abschnittsweise			x	x	x		
Tauerntunnel 2001 bis 2003							
Feste Fahrbahn Gleis 1 Vmax = 100 km/h	x		x	x	x		
Feste Fahrbahn Gleis 2 Lückenschluss	x		x	x	x		
gegenläufige Weichenverbindung (Überleitstelle) Vmax = 60 km/h	x		x	x		x	
Verkürzung des Tunnels um 180 m (Abtrag zwischen Südportal alt und neu)						x	
Handlauf mit 2 m Abstand von der Gleisachse		x			x		
Handlaufbeleuchtung		x			x		
Orientierungs-Beleuchtung ü.d. Rettungsnischen (Abstand < 100 m)		x			x		
Fluchtweg zwischen den Gleisen		x				x	
Lotschacht im km 34,843		x				x	
Nischeneintiefung		x		x	x		

Tabelle 5.2: Einzelheiten zu den Instandsetzungsmaßnahmen im Tauerntunnel sind in Bild 5.37 bis 5.38 dargestellt.

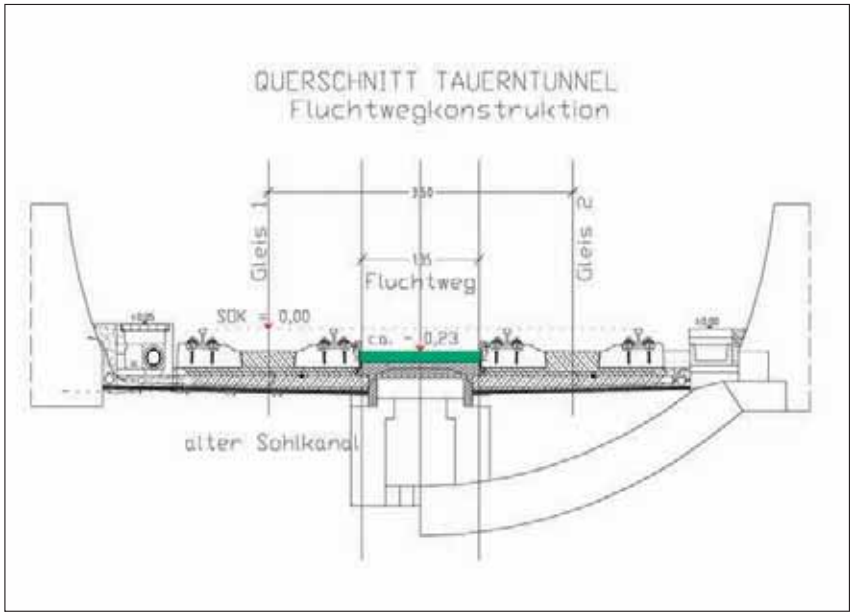


Bild 5.37: Tauerntunnel: Lösung für Fluchtweg ohne Befahrbarmachung der Gleisbereiche mit Fester Fahrbahn; Quelle: ÖBB Infrastruktur AG (A)

die neue Entwässerung zu integrieren – etwa Y-Abschlauchungen, die unter dem Gleis in den alten Sohlkanal geführt worden waren – bzw. gegebenenfalls zu erneuern sind und in das neue Drainagerohr einmünden, da hier meist jahrzehntelange Bauwerksbeobachtung durch die betreuenden Mannschaften zugrunde lag.

5.3.9 Allgemeine Problemstellungen bei Tunnelinstandsetzungen/-erneuerungen aus der Praxis verschiedener Projekte in der Schweiz

5.3.9.1 Beeinflussung Entwässerung und Entwässerungskonzept durch Tunnelsanierung

Ältere Tunnel sind praktisch ausnahmslos drainierend (ableitend) konzipiert. Dem Tunnel zutretendes Bergwasser muss drucklos abgeleitet werden. Bei gemauerten Tunneln erfolgt dies im mit Steinen verfüllten Zwischenraum. Dieser

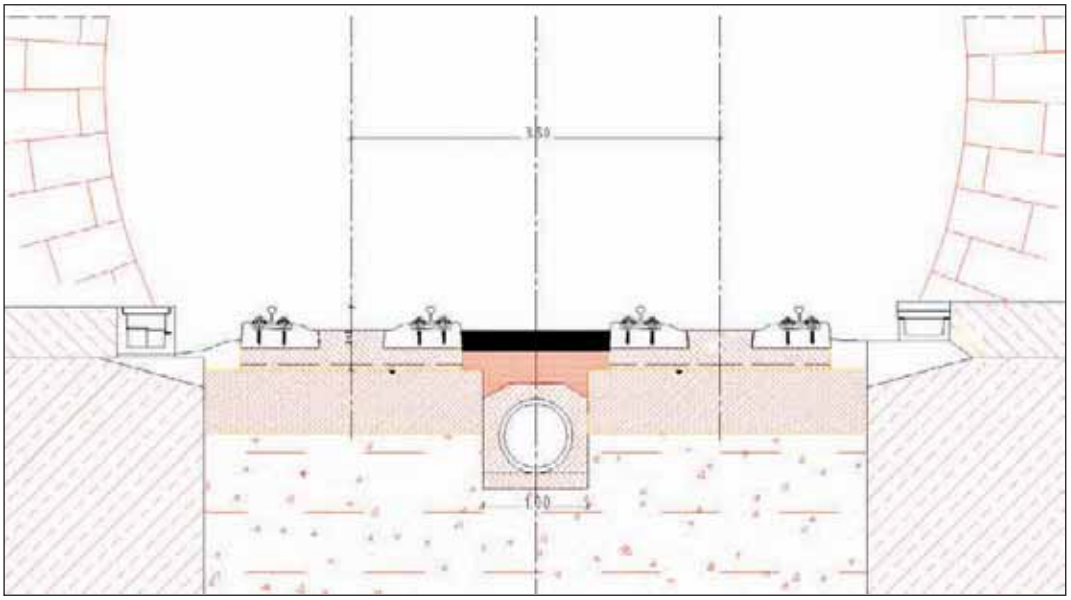


Bild 5.38: Tauerntunnel: Beispiel für Neubau der Mittenentwässerung; Quelle: ÖBB Infrastruktur AG (A)

großzügige Drainage- und Versinterungshohlraum stellt auch nach über 100 bis 150 Jahren die Drainage der Tunnel sicher. Der Kontakt zu zementösen Baustoffen ist in der Regel gering (Ausnahme: bei Injektionen zur Gebirgsstabilisierung).

Ab den 1950er Jahren schrumpfte mit der Einführung der Beton- bzw. der Spritzbetonbauweise dieser Drainage- und Versinterungshohlraum dramatisch. Statt z. B. 500 cm² je lfm und Tunnelseite standen nunmehr lediglich max. 20 cm² je lfm zur Verfügung. Auch Schutzvliese auf der Gebirgsseite von Kunststoffdichtungsbahnen können in Längsrichtung eine Ableitung auch diffuser Bergwassermengen nicht dauerhaft sicherstellen. Resultat ist ein lokaler Wasserdruckaufbau. Wenn die Tunnelverkleidung nicht auf Wasserdruck bemessen wurde, sind sogar statische Probleme möglich.

Bei Instandsetzungen ist ein Wechsel vom drainierten zu einem druckhaltenden (verdrängenden) Konzept meistens kaum möglich. Das drainierte Konzept muss dann nach Instandsetzungen zwingend sichergestellt bleiben.

5.3.9.2 Fallbeispiele Tunnelentwässerung

Verhinderter Bergwasserzufluss zur Drainageleitung führt zur zentralen Frage: Wie kann Wasser zur Drainageleitung gelangen? Auch bei geringfügigen Bergwassermengen kann der be- bzw. verhinderte Zufluss zum Entwässerungssystem Probleme verursachen (**Bild 5.39**).

Beispiel SBB-Emmersbergtunnel bei Schaffhausen

Tunneldaten: eingleisiger Tunnel, Inbetriebnahme 1895, L = 761 m, Felsüberdeckung bis rund 30 m

Sanierungsumfang 2004 neben Gewölbeinstandsetzung (**Bild 5.40**):

- Widerlagerbereich ausinjiziert und verankert
- Widerlager unterfangen und Einbau einer neuen Tunnelentwässerung und Ortbetonsohle
- Neue Entwässerungsleitung in Sohlenmitte
- Neue Sohle in Ortbeton

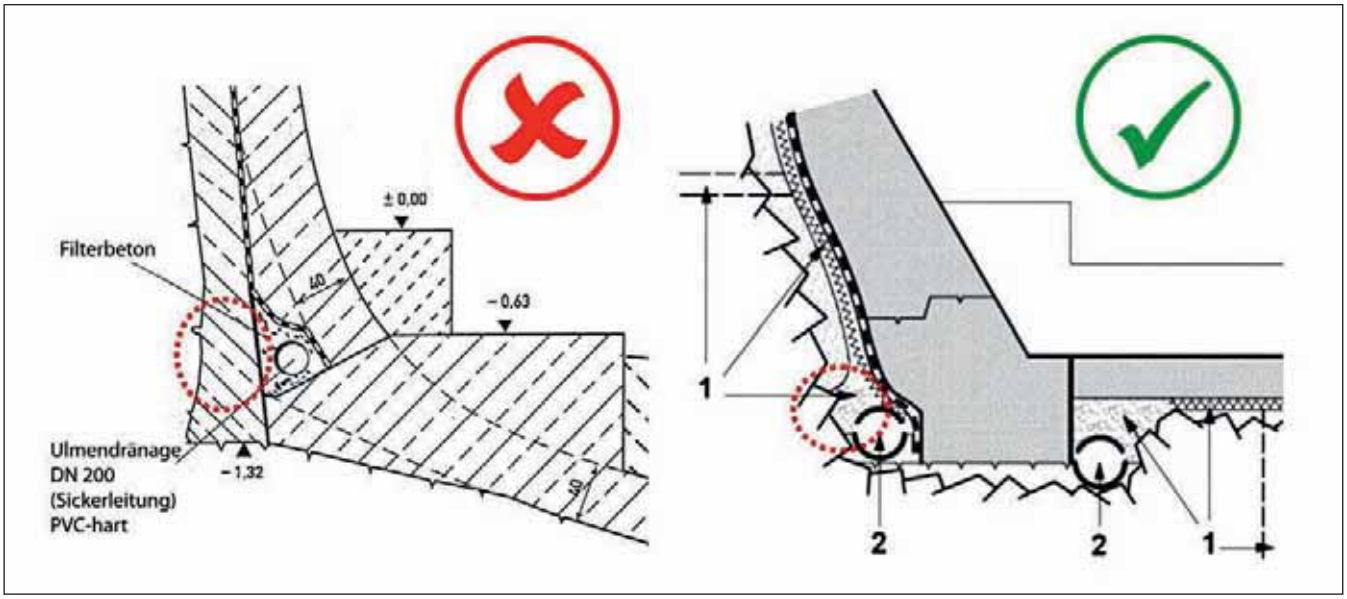


Bild 5.39: Linke Darstellung: isolierte Lage der Drainageleitung, stark erschwerte Drainagefunktion (Spritzbeton"barriere"); Quelle: Prof. D. Kirschke//Rechte Darstellung: mit Kontaktzone (rot punktiert) zum Fels – Sickerpackung: Bergwasserzufluss ohne Wasserstau, Quelle: SBB AG, I-AT-TEC

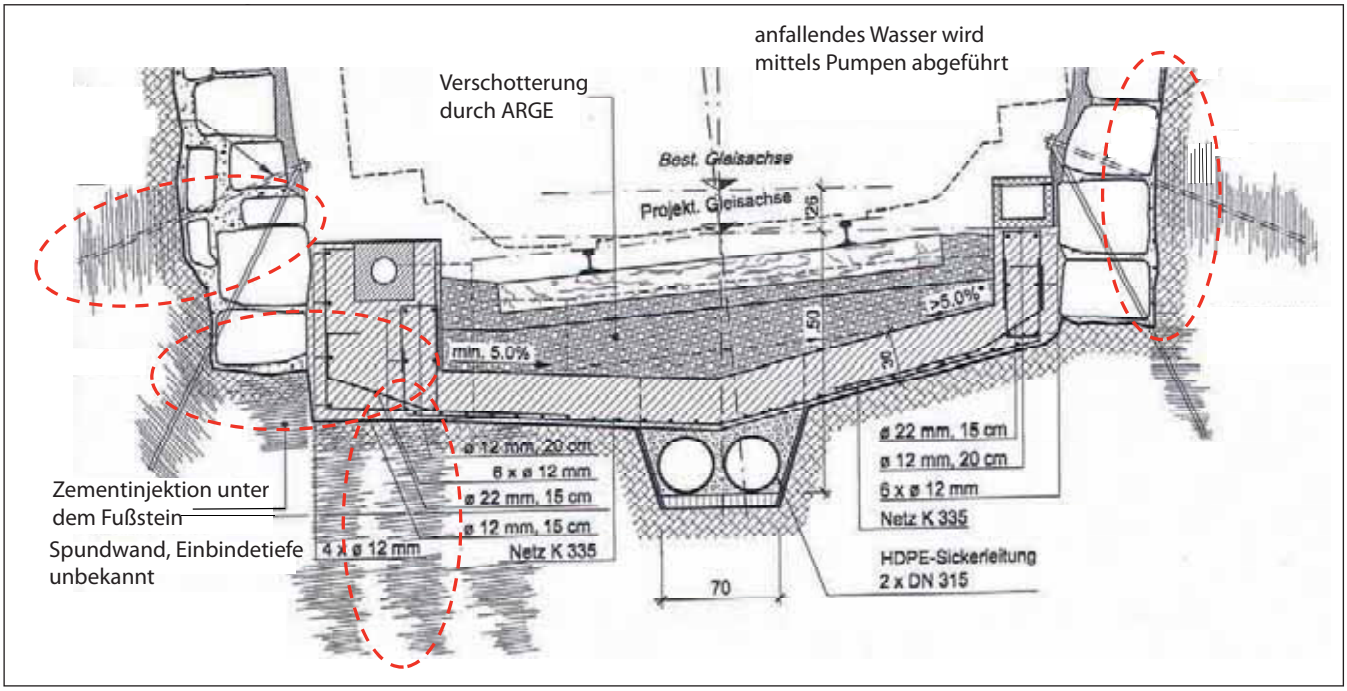


Bild 5.40: Beispiel Sohlabsenkung Emmersbergtunnel bei Schaffhausen. Eingekreist: Zementinjektionen zur Widerlagerstabilisierung, Risiko einer Verfüllung der Drainagewege; Quelle: SBB AG, I-PJ-ROT (CH)

Beobachtungen

Noch vor Bauende begannen die (zu kleinen) Drainagelöcher des Sickerrohrs zuzusintern (**Bild 5.41**). Die Versinterungsneigung ist inzwischen leicht zurückgegangen. Bei verschlossenen Einlauföffnungen wird Bergwasser gezwungen, innerhalb der Sickerpackung zu zirkulieren. Dies erhöht den Kontakt zu zementösen Baustoffen weiter. Es besteht die Gefahr einer Einschränkung der Nutzungsdauer der Entwässerung.

Schlussfolgerung

Bei Instandsetzungen ist ein Wechsel vom drainierten zu einem druckhaltenden (verdrängenden) Konzept nur unter aufwendigem Einbau eines Sohlgewölbes und druckhaltender Innenschale möglich. Andernfalls kann das druckhaltende Konzept explizit ausgeschlossen werden. Das drainierte Konzept muss dann dauerhaft gewährleistet bleiben.

Durch schlecht kontrollierbare Injektionen im Sohl- und Widerlagerbereich werden i.d.R. die bestehenden Wasserwege und die Abflusskapazität reduziert. In jedem Fall erfolgt dann ein verstärkter Kontakt des Bergwassers mit zementösem Material. Dies verstärkt die Sinterneigung im Entwässerungssystem auch in bisher unauffälligen Tunneln markant, was mehr Unterhalt zur Folge hat. Die Einlauffläche der dazumal verlegten Teilsickerrohre ist im obigen Objekt mit rund 20 cm² pro lfm zu gering. Heute sind bei den SBB für Tunnel mind. 150 cm² pro lfm gefordert.

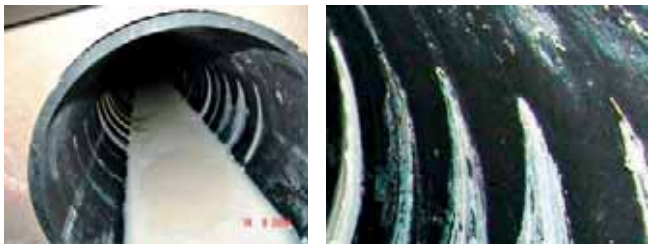


Bild 5.41: Zusinternde Einlauföffnungen der Entwässerungsrohre beim Emmersbergtunnel noch vor Bauende; Quelle: SBB AG, I-AT-TEC

5.3.9.3 Dauerhaftigkeit von Instandsetzungsmaßnahmen

Salzanreicherung von Spritzbetonschalen

Der Spritzbeton wird i.d.R. direkt auf den Fels oder auf bestehende Tunnelauskleidung appliziert. Tropfwasser bzw. ergiebige Zuflüsse werden dabei gefasst und zum Widerlager abgeleitet. Der Abstand

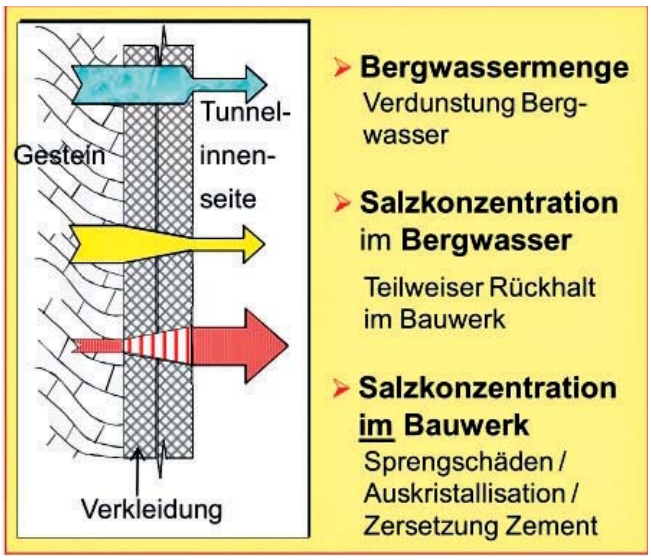


Bild 5.42: Verdunstungsinduzierte Salzanreicherung in dünnwandigen Bauteilen; Quelle: SBB - J.D. Chabot (CH)

Bild 5.43: Beginnende Zersetzung der Spritzbetonverkleidung in Station Jungfraujoch (Bahnhof und Publikumsbereiche); Quelle: SBB – J.D. Chabot (CH)

Bild 5.44: Fortgeschrittene lokale Zersetzung der Spritzbetonverkleidung, Vereinatunnel ca. in Station 800 m; Quelle: SBB – J.D. Chabot (CH)

Bild 5.45: Fortgeschrittene Zersetzung der Spritzbetonverkleidung im Oberen Hauenstein Tunnel, Basel – Olten bis zu einer pastösen Masse: 2006 Einsatz thaumasitbeständiger Spritzbeton; Quelle: SBB – J.D. Chabot (CH)

zwischen Drains kann dabei zwischen 25 cm bis mehrere Meter betragen. Damit wird Bergwasser hinter einer Spritzbetonauskleidung zurückgestaut. Ist der nächste Drain zu weit entfernt, muss es unter Druck durch den Spritzbeton sickern oder findet seinen Weg durch einen Riss.

Das durchsickernde Bergwasser ist oft viel stärker mineralisiert als Leitungswasser. Z. B. bei Tiefenwässern, Bergwässern mit Natrium-/Magnesiumsulfat etc. kombiniert mit Kohlensäure erhöht sich die Betonaggressivität. Schäden können an der Spritzbetonschale sowie am Beton rasch auftreten. Dies erfolgt oft in Zonen, welche bereits **ein- oder mehrmals instandgesetzt** worden sind. Das Schema zur verdunstungsinduzierten Salzanreicherung in dünnwandigen Bauteilen (**Bild 5.42**) verdeutlicht den Vorgang.

Das durchsickernde Bergwasser verdunstet an der Oberfläche, die gelösten Salze bleiben im Bauteil zurück, bis der für den Zement/Beton kritische Sulfatgehalt überschritten wird. Der Beton verliert seine Festigkeit. Die **Bilder 5.43, 5.44 und 5.45** zeigen die Folgen der Salzanreicherung in Spritzbeton bis hin zu deren Zersetzung.

Schlussfolgerung

- Die verdunstungsinduzierte Salzanreicherung ist bei Instandsetzungen unbedingt zu beachten. Frühere Schäden sind dahingehend zu untersuchen
- Natriumsulfathaltiges Bergwasser hat ein bis 10 mal größeres Penetrationsvermögen als Leitungswasser. Dadurch und durch den Sulfatgehalt selbst wird das Zusintern von Rissen (Selbstheilung) in Betonen stark reduziert
- Dickere Ortbetonverkleidungen und Spritzbetonschalen sind weniger empfindlich als Dünnschalen
- Wahl geeigneter Zementrezepturen. „Sulfatbeständige Zemente" sind oft nicht ausreichend bei Thaumasitschäden
  ➔ Wahl eines geigneten Zementes je nach beobachteten Schäden bzw. Gefährdung, z. B. thaumasitbeständiger Zement
- Schutz der Auskleidung mittels Abdichtung/Drainageflächen (Noppenbahnflächen)
- Optimierung des Risseverhaltens mit Fasern (Risse = erste Wasserwege)
- Wasserstau hinter der Verkleidung bzw. dem Widerlager muss mit sichergestellter Dränage vermieden werden

5.3.9.4 Arbeiten in Intervallen unter Gleissperrungen

Nachfolgend werden Erfahrungen aus Gleisabsenkung respektive Profilausweitung während Nachtintervallen auf dem Arbeitsgleis und Bahnbetrieb auf dem Nachbargleis erläutert. Gleisabsenkungen unter Betrieb werden bei stark befahrenen Strecken ohne ausreichende Umfahrungsmöglichkeiten angewendet. Die Herausforderung liegt darin, die zur Verfügung stehende Netto-Bauzeit während der Intervalle optimal auszunutzen und die allmorgendliche Betriebsaufnahme sicherstellen zu können.

Die Abläufe sowie Logistik der Ver- und Entsorgung sind dabei entscheidend. In eingleisigen Tunneln erfolgt die Zu- und Wegfahrt vom Hauptinstallationsplatz von einer Tunnelseite her. Vom anderen Portal erfolgen ggf. noch Fahrten mit Kran bzw. gewissen Logistik-

Bild 5.46: Lichtraum LPR 2 mit Seitenräumen für R ≥ 250 m (ÖBB); Maße in [mm]

zügen. In zweigleisigen Tunneln erfolgt die Instandsetzung von Gewölbe bzw. Absenkung der Sohle mit wechselseitiger Gleissperrung. Das erlaubt zwar Arbeiten auch tagsüber, aber der Sicherheit des Zugverkehrs als auch auf der Baustelle wird oberste Priorität eingeräumt.

Je nach Gleisabstand, Durchfahrtsgeschwindigkeit und Arbeitstiefe muss zwingend eine feste Trennwand zum Betriebsgleis aufgestellt werden. Dies verschmälert gerade bei knappem Gleisabstand zwar den Arbeitsraum, dafür müssen die Bauarbeiten nicht bei jeder Zugdurchfahrt unterbrochen werden. Um den Betrieb so wenig wie möglich einzuschränken, wird die Fahrgeschwindigkeit auf dem Fahrgleis wenn möglich auf 80 km/h festgelegt. Auch können bei Instandsetzungen im Tunnel aufwendige, temporäre (Bau-)Weichen erforderlich werden. Dies bedingt

- eine umfassende und minutiöse Vorplanung für deren Bestellung und Einbau,
- Anpassungen bei Bahn- und Signaltechnik (z. B. Blocklängen) sowie bei der Fahrleitung.

Dies ist im Projekt vorzusehen inkl. allfälliger Umlegungen und anschließendem Rückbau. (Beispiel der lokalen Sanierung des Gewölbes im Adlertunnel 2010/11 infolge Hebungen auf 40 m Länge) (**Bild 5.46**). Weiter muss eine Schutz- und Trennwand auf die bei Zugdurchfahrten auftretenden Wind-und Soglasten bemessen und verankert sein. Ein Beispiel mit auch im First verankerter Schutzwand zeigt **Bild 5.46**.

Erneuerung von Tunnelsohlen/ Mittelentwässerungen

Bei zweigleisigen Tunneln muss bei Sohlabsenkungen bei einer Gleishälfte oder gar Einbau von Sohlgewölben das Nachbargleis gehalten werden. Dazu ist eine niedrige Schotterhalterung mit bis zu einer 1 m hohen Mittelwand notwendig. Diese Wände müssen geeignet zurückgebunden werden, damit die stabile Lage des Fahrgleises unter Betrieb sichergestellt ist.

Geeignet sind z. B. gehaltene Spundwände, Ankerung oder Rühlwände, ggf. Spriessungen. Den Varianten gemeinsam ist die problematische Lage einer etwaigen Mittelentwässerungsleitung. Diese kann leicht versetzt zur Tunnelachse (inkl. Spülschächte) erfolgen. Eine andere bereits praktizierte Lösung ist der Aufbau einer mächtigen, rückverankerten Mittelwand aus Sickerbeton, was aber vom versinterungstechnischen Standpunkt her im Entwässerungssystem nicht optimal ist.

5.4 Projektübersicht unterschiedlicher Baumaßnahmen

In der Übersicht (**Tabelle 5.3**) sind unterschiedliche und typische Sanierungs- und Erneuerungmaßnahmen beispielhaft mit Referenzprojekten zusammengestellt. Projektsteckbriefe oder Verweise auf weiterführende Literatur sind in Kapitel 8.2 und 8.3 zu finden.

Nr.	Land	Tunnel	Länge [m]	Gleise	Hauptmaßnahmen/ Bemerkungen	Vollsperrung	Sperrzeiten	wechselseitig	Sprengvortrieb	Ausbau	Tunnelaufweitung	Sohlabsenkung	Einbau Sohlgewölbe	Sohlerneuerung	Neubau Oberbau	Gewölbeabbruch	Spritzbetonschale	neue Innenschale (Ortbeton)	Sanierung Innenschale/ Mauerwerk/Gewölbe	Elektrifizierung	Sohlentwässerung	Gewölbeentwässerung	Sicherheitsstandard
1	D	Büdesheimer	170	1	Tunnelaufweitung, Einbau Innenschale, Sohlschluss mit Gleishilfsbrücken		x				x		x				x	x					
2	D	Ennericher	494	2	Gewölbearbeiten mit Fräse und Tunnelausbau mit zweiteiligem Schalwagen		x										x	x					
3	D	Gummambs	340	2	Gewölbesanierung mit Spritzbetzon, Einsatz Bauzug		x	x									x		x				
4	D	Klein-Winternheimer	379	1 (2)	Wechselseitige Sohlherstellung, Einsatz Schalwagen		x	x						x	x		x	x					
5	D	Jähroder & Mausenmühlen	150/130	2	Tunnelaufweitung mit Tunnel-im-Tunnel-System unter ZEB						x							x					x
6	A	Arlbergtunnel	10.500	2	Gewölbesanierung, Sohlabsenkung, Einbau Feste Fahrbahn			x	x		x	x					x					x	x
7	A	Moltertobel	1.643	1	Sohlgewölbesanierung unter Kleinhilfsbrücken	x																	
8	A	Tauern	8.551	2	Partielle Sohlabsenkung, Feste Fahrbahn, Spritzbeton-schale, Überleitstelle, Vorlandabtrag	x		x				x			x				x				
9	CH	Stutzeck & Axenberg	8.100	1–2	Sohlabsenkung, Gleiserneuerung durch Einsatz von Vanoliner und Bauzug	x	x						x	x	x		x		x		x	x	
10	CH	Grenchenberg	8.500	1	Sohlarbeiten mit Hilfsbrücken, Einsatz Bauzug		x							x	x				x				
11	CH	Hauenstein	8.135	2	Gewölbearbeiten, Sohlabsenkung und Einbau Sohlgewölbe, Einsatz Bauzug			x				x	x										
12	CH	Zimmeregg	1.133	1	Gewölbesanierung, Sohlerneuerung im Pilgerschrittverfahren	x	x					x		x	x				x				x
					Unter Vollsperrung																		
13	D	Alter Loreley & Alter Rossstein	368/378	1	Einbau einer geschlossenen Innenschale (mit Sohlgewölbe), Fräsarbeiten Sohle	x												x				x	
14	D	Nittel	574	2	Gewölbesicherung und Tunnelaufweitung, Einbau geschlossenes Sohlgewölbe	x					x					x	x	x					
15	D	Weinsberger	891	2	Tunnelaufweitung, Tunnelausbau, Sohlabsenkung und Gleistieferlegung	x						x	x			x	x	x					
16	D	Alter Busch	691	1	Nachprofilierung Gewölbe, Innenschale mit Sohlgewölbe, Neubau Feste Fahrbahn	x					x		x	x	x			x	x				
17	D	Berghauer	200	2	Herstellung Spritzbetonschale in Rippenbauweise		x	x									x		x				

Tabelle 5.3: Übersicht über unterschiedliche und typische Sanierungs- und Erneuerungsmaßnahmen mit Referenzprojekten

6 Entwicklung von technischen Ansätzen geeigneter Verfahren zur Sanierung und Erneuerung von Eisenbahntunneln

V. Breuning, T. Edelmann, H. Heisterkamp

6.1 Vorbemerkung ... 81
6.2 Gewölbearbeiten ... 81
6.2.1 Gewölbesicherung ... 81
6.2.2 Gewölbesanierung und lokale Aufweitung ... 82
6.2.3 Gewölbeabtrag ... 83
6.2.4 Tunnelaufweitung mit Tunnelerweiterungsportal (Tunnel-im-Tunnel System) ... 85
6.2.4.1 Felsausbruch mit Abspaltverfahren ohne Tunnelsperrungen ... 85
6.2.4.2 Geschildeter Vortrieb und Tübbingausbau ohne Tunnelsperrungen ... 86
6.2.4.3 Felsausbruch durch Fräsen oder alternative Schneidtechniken ... 86
6.2.4.4 Logistik ... 86
6.2.4.5 Tunnel-im-Tunnel-System bei eingleisigen und elektrifizierten Strecken ... 86
6.2.5 Gewölbeausbau ... 88
6.3 Sohlarbeiten ... 89
6.3.1 Gewölbesicherung ... 89
6.3.2 Sohlabsenkung ohne Sohlschluss ... 89
6.3.3 Sohlabsenkung mit Sohlschluss ... 90
6.4 Abbautechniken für Felsausbruch/-abtrag ... 91
6.5 Baugrundsicherung bei Tunnelaufweitung im Lockergestein ... 92

6.1 Vorbemerkung

Bei der Betrachtung der für Tunnelarbeiten eingesetzten Bauverfahren und Maschinentechnik gilt es, hinsichtlich der Bewertung von Optimierungspotentialen verschiedene Randbedingungen zu beachten. So sind zum Beispiel bei eingleisigen Tunneln für Arbeiten unter rollendem Rad in der Regel genügend lange Nachtsperrzeiten und/oder zusätzliche Wochenendsperrungen notwendig.

Unter welchen Umständen dennoch die Tunnel-im-Tunnel Methode angewendet werden kann, ist unter 6.2.4.5 dargestellt. Bei Sohlarbeiten muss, auch beim Einsatz von Hilfsbrücken, das Betriebsgleis teilweise vollgesperrt werden. Bei Aufweitungsarbeiten im Fels gibt es kaum Alternativen zum Sprengen, wenn Gesteinsdruckfestigkeiten von 150 bis 250 MPa angetroffen werden.

Im Allgemeinen kann man erkennen, dass in den letzten Jahren Maschinensysteme entwickelt wurden, die mehrere Arbeitsmaßnahmen miteinander kombinieren. So gab es Kombinationen für Sicherung und Ausbruch bei Gewölbeaufweitungen oder für Aushub und Schutterung bei Sohlarbeiten. Bei den verschiedenen Lösungen spielt neben dem Faktor Wirtschaftlichkeit auch die notwendige Flexibilität während der Tunnelbauarbeiten eine entscheidende Rolle. Die nachfolgende Ausarbeitung soll einen Ausblick auf zukünftige Optimierungsmöglichkeiten geben.

6.2 Gewölbearbeiten

In **Tabelle 6.1** sind die wesentlichen Maßnahmen bei Gewölbearbeiten in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen dargestellt. Dabei gilt es zu unterscheiden zwischen den tatsächlich in der Praxis statt gefundenen Arbeitsmaßnahmen (Grün) und den theoretisch, zukünftig möglichen Einsatzgebieten (Blau). Felder, die farblich nicht unterlegt sind, werden zunächst mit einem geringen Optimierungspotential bewertet.

6.2.1 Gewölbesicherung

Die klassische temporäre Sicherungsmethode (Primärsicherung) im Fels umfasst den Einsatz von Ankern und Spritzbeton, unter Umständen unterstützt durch den Einbau von Matten, Ausbaubögen oder Rippen. Oftmals wird eine Systemankerung eingebracht.

Im Lockergestein oder in Bereichen mit stark zerklüftetem, verwittertem Fels sind konventionelle, vorauseilende Sicherungsmaßnahmen unter Anwendung von Injektions/-Rohrschirmen, Vor-

Gewölbearbeiten	unter Betrieb ohne Sperrzeiten			unter Betrieb mit Sperrzeiten		
	eingleisig	zweigleisig		eingleisig	zweigleisig	
		wechsel-seitiger Gleisbetrieb	Umbau auf 1 Gleis im Tunnel für die Bauzeit		wechsel-seitiger Gleisbetrieb	Umbau auf 1 Gleis im Tunnel für die Bauzeit
Gewölbesicherung						
Bergmännisch						
Verbruchsicherung durch Stützplatte						
Gewölbesanierung und lokale Aufweitungen						
Anpassung Lichtraumprofil						
Gewölbeertüchtigung						
Gewölbeaufweitung						
Gewölbeabtrag						
Tunnelaufweitung im Fels						
Gewölbeausbau						
einschalig						
zweischalig						
Tübbingausbau						

Stand der Technik/Referenzen vorhanden	Umsetzung zukünftig denkbar

Tabelle 6.1: Beispiele von Arbeitsmaßnahmen im Gewölbe in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen

pfändungen, Spießen, Vereisungen, Ortsbrustversiegelung oder Ähnlichem notwendig.

Bei der Tunnelaufweitung kann mittels Stützplatten das Risiko von vorlaufenden Verbrüchen im alten, bestehenden Gewölbe verhindert werden (**Bild 6.1**). Auf eine vorauseilende Systemankerung zur Gewölbesicherung kann in vielen Fällen verzichtet werden.

Der Einsatz eines Schildes (**Bild 6.2**) ermöglicht Ausbruch- und Auskleidungsarbeiten im geschützten Bereich. Zur Stützung und Sicherung des Gewölbes wurde beispielsweise beim eingleisigen Cavadürli-Tunnel eine Schildkonstruktion eingesetzt.

Durch den Einsatz eines Schildes ist eine sofortige Stützung des Gebirgskörpers zum Schutze von Vortriebsmannschaft und Maschinentechnik möglich. Der Schutzschild beginnt direkt hinter der Ortsbrust und endet beim gesicherten Einbau von z. B. Ausbaufertigteilsegmenten. Parallel zum Vorschub des Schildes kann eine mögliche Auflockerung des Gebirges durch die zeitgleiche Verfüllung des Ringspaltes gering gehalten werden. Eine Verbundwirkung zwischen anstehendem Gebirge und Ausbau kann sich einstellen. Da es nicht notwendig ist, eine temporäre Primärsicherung einzubringen, kann der Vortrieb bei entsprechenden Tunnellängen schneller und wirtschaftlicher erfolgen.

Bild 6.1: Stützplatten zur Vorbruchsicherung; Quelle: GTA, Hamminkeln (D)

6.2.2 Gewölbesanierung und lokale Aufweitung

Bei Arbeiten zur Gewölbesanierung kommen in der Regel Bauzüge zum Einsatz. Bei Einragungen des Mauerwerks in das Lichtraumprofil werden diese lokal abgeschrämt. Hinsichtlich der Verbesserung

Bild 6.2: Gebirgssicherung durch Schildmantel und Verbruchsicherung; Quelle: Herrenknecht, Schwanau (D)

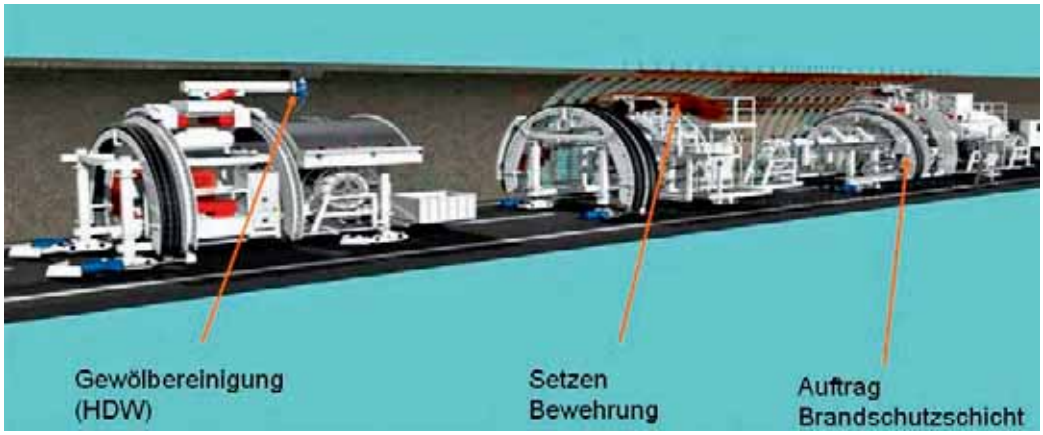


Bild 6.3: Beispiel zur Sanierung von beispielsweise Straßentunneln; Quelle: Herrenknecht, Schwanau (D)

Bild 6.4: Wechselseitige Aufweitung von Eisenbahntunneln; Quelle: Marconi[1] (I)

des Mechanisierungsgrades gilt der Einsatz von Bauzügen, bei der im Wesentlichen konventionelle Baumaschinentechnik, montiert auf Bahnwagen zum Einsatz kommt, als weitestgehend ausgereift.

Maschinensysteme mit Schutzeinhausungen, die das Gewölbe mit Hochdruckwasser abtragen, neue Innenschalen zur Ertüchtigung aufspritzen oder lokal das Profil auffräsen, sind möglich und würden Bahnbetrieb (Zeitweise Eingleisiger Betrieb – ZEB) während der auszuführenden Arbeiten ermöglichen.

Im Hinblick auf die Gewährleistung der Brandsicherheitsbestimmungen in Straßentunneln hat die Herrenknecht AG ein System entwickelt, mit dem die Tunnelschale saniert werden kann (**Bild 6.3**). Das Maschinenkonzept ist in 3 wesentliche Einheiten untergliedert.

Die alte Gewölbeschale wird mit Hochdruckwasser (bis 1.400 bar) gereinigt und teilweise abgetragen. Anschließend erfolgt das Einbringen der Bewehrung, gefolgt von dem Auftrag einer Spritzbeton- und Brandschutzschicht, die die neue Tunnelinnenschale darstellt. Alle Maschinenkomponenten sind selbstfahrend, rationell aufgebaut und können für Straßen- und Bahntunnel mit verschiedenen Tunneldurchmessern verwendet werden.

6.2.3 Gewölbeabtrag

Gewölbearbeiten und -ausbrüche im Ulmenbereich sind im Allgemeinen je nach Gewölbedicke bis zu einer bestimmten Tiefe

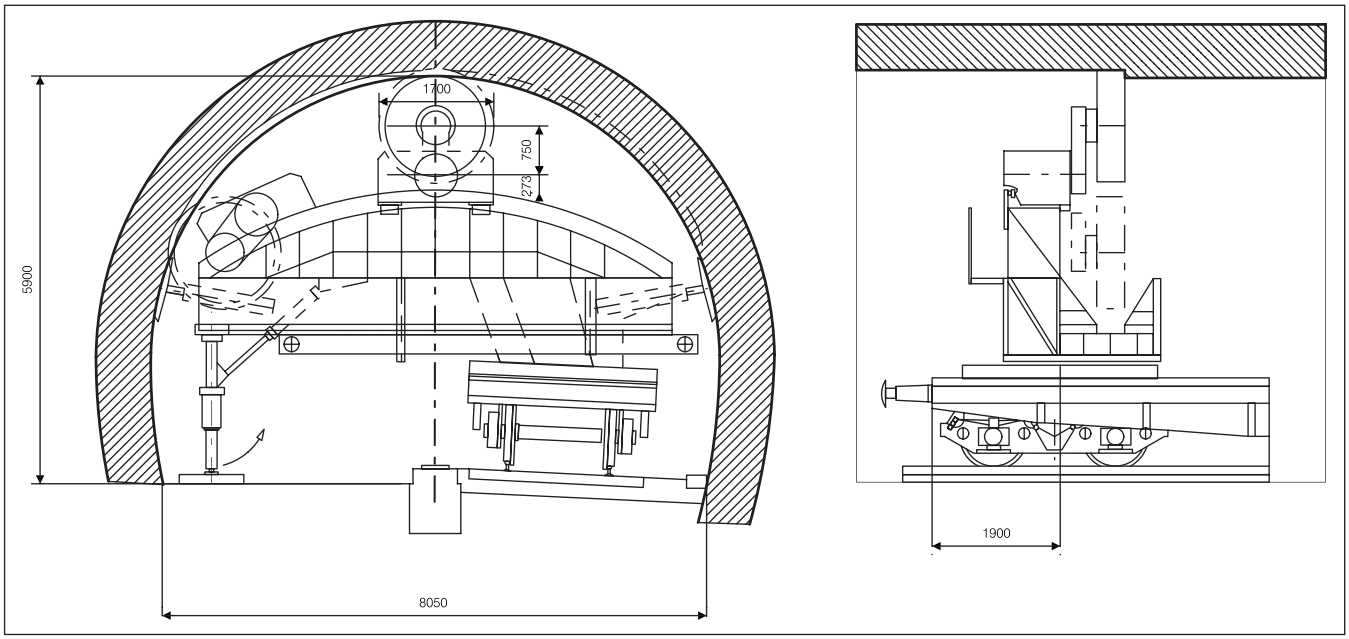
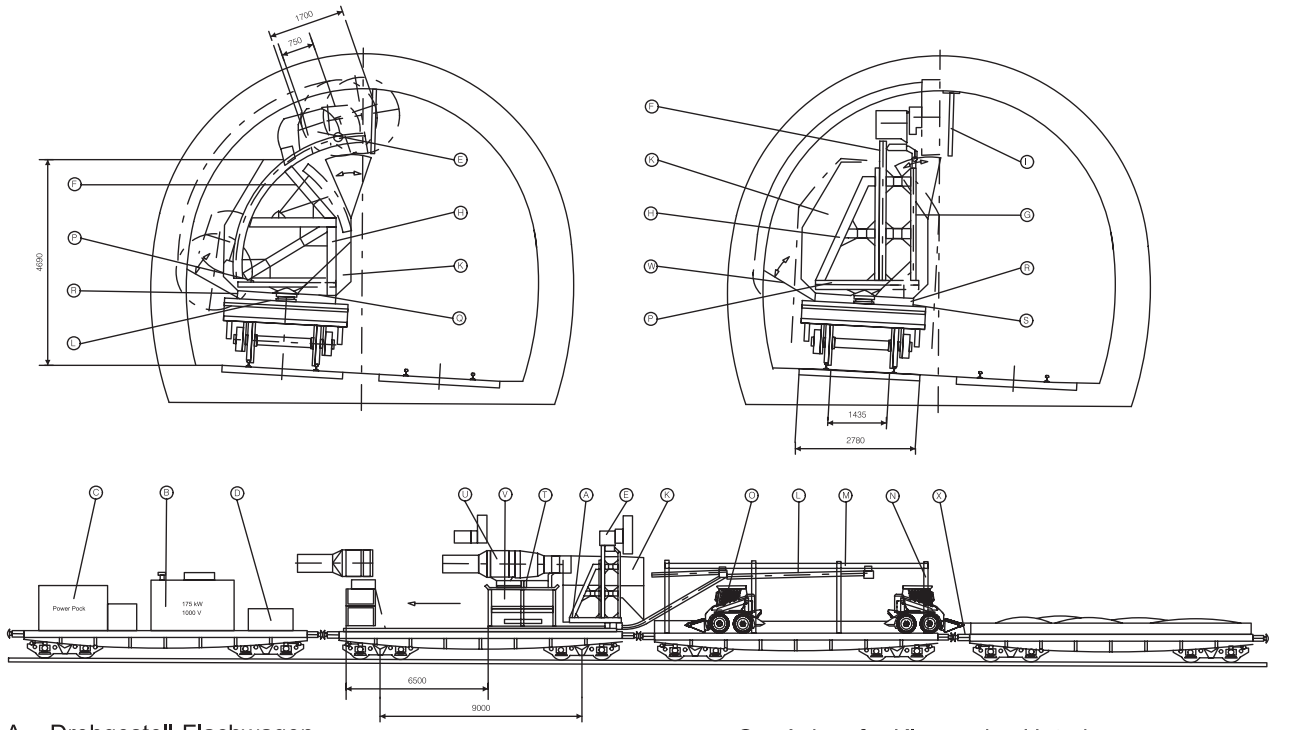


Bild 6.5: Fräsmaschine mit Fräswalze vom Typ ESA-60-L, Ender Tunnel; Quelle: BMT Heft 6/1991 (D)

[1] http://www.macchinemarconi.com/PAG%203%20ING.htm



A = Drehgestell-Flachwagen
B = Stromaggregat zu elektr. Spannungsversorgung
C = Versorgung der hydr. Hubzylinder mit Hydraulikflüssigkeit (Powerpack)
D = Wasservorratsbehälter
E = Fräsmaschine ESA-60-L
F = Triebstock
G = Rohrführung
H = Unterbau der Fräsmaschine
I = Fahrdrahtaufhängung des Nachbargleises
K = Blechverkleidung
L = Kettenförderer
M = Laufschiene
N = Traggerüst
O = Schaufellader
P = Drehscheibe
Q = Achse für Kippen des Unterbaus
R = Schlitten für Q
S = Schienenpaar auf Flachwagen in Längsrichtung
T = Untergestell mit Entstaubungsaggregat
U = Entstaubungsaggregat
V = Sammelbehälter für Schlamm von U
W = Auffangblech
X = Bodenplatten für Überbrückung der Flachwagen

Bild 6.6: Einsatzzug der Fräsmaschine mit Fräswalze von Eickhoff, Bochum, vom Typ EAS-60-L für ein- und zweigleisig betriebene Tunnel; Quelle: BMT Heft 6/1991 (D)

durch den wechselseitigen Einsatz von Bauzügen möglich. Mit Schwierigkeiten verbunden sind aufgrund der Gewölbestabilität und einer möglichen Elektrifizierung beispielsweise Arbeiten im Scheitelbereich. Wegen der Standsicherheitsprobleme des Tunnelgewölbes und beengter Platzverhältnisse gibt es derzeit kein uneingeschränktes System, das eine wechselseitige Aufweitung, einschließlich Felsabtrag ohne Betriebsunterbrechung ermöglicht.

Die wesentlichen Vorteile bei der wechselseitigen Tunnelsanierung bestehen darin, dass kein Gleisumbau durchgeführt werden muss und dass das gesperrte Betriebsgleis zur Logistik genutzt werden kann. Im Gegensatz dazu ergeben sich die Problemstellungen der Gewölbesicherung, des Einbaus der Trennwände und der massiven Platzprobleme. Weiterhin schränken notwendige Gleiswechsel einen kontinuierlichen Vortrieb logistisch erheblich ein.

Die maximal zulässige Abschlagslänge pro Tunnelhälfte variiert und kann typischerweise je nach Geologie 1 bis 3 m betragen. Eine durchgehende, wechselseitige Aufweitung, bei der die Tunnelhälften über die gesamte Tunnellänge einzeln und nacheinander aufgeweitet werden, schließt sich aus sicherheitstechnischen Gründen aus.

Durch die Anordnung eines teleskopierbaren, radial anpassbaren Fräsarmes auf einem Maschinengestell ist die wechselseitige Aufweitung eines Eisenbahn- bzw. Straßentunnels möglich. Die Maschine

Bild 6.7: Tunnelerweiterungsportal der GTA Maschinensysteme GmbH TEP 8400A für den Frauenberger Tunnel; Quelle: DB ProjektBau (D)

kam im Jahr 1990/91 beim Mauerwerksabtrag im Hasenberg- und im Pragtunnel bei Stuttgart zum Einsatz (**Bild 6.4**) [6.2].

Im Zusammenhang mit dem mechanisierten Gewölbeabtrag ist auch die Firma Eickhoff zu nennen, die einen Bauzug mit einer Fräswalze vom Typ ESA-60-L ausgestattet hat. Eingesetzt wurde das System 1990 im Ender Tunnel bei Düsseldorf (**Bild 6.5**).

Der wesentliche Schwachpunkt beider Maschinen ist die Fräsleistung bei Mauerwerk und Fels mittlerer und hoher Druckfestigkeit. Weitere Referenzen zu beiden Maschinensystemen sind nicht bekannt.

Für die Aufweitung eines zweigleisigen Tunnels wurde ebenfalls von Eickhoff, Bochum, eine Konzeptlösung präsentiert (**Bild 6.6**).

Beim Lösen von Mauerwerk mit höheren Festigkeiten kamen im Arlbergtunnel in den Jahren von 1982 bis 1990 zwei Imlochbohrhämmer zum Einsatz. Beide, bestückt mit einer 200 mm Stiftbohrkrone, wurden so angesetzt, dass sich die Bohrlöcher seitlich berührten. Es ist kein weiteres Projekt bekannt, bei dem das sogenannte Bohrfräsen bei der wechselseitigen Aufweitung zum Einsatz kam.

Heute kommen bei der Aufweitung eines Tunnels Anbaufräsen oder Mehrblattsägen zum Gewölbeabtrag zum Einsatz. Darüber hinaus findet ein Abspitzen der Tunnellaibung mit Hydraulikhämmern Anwendung.

Zukünftig denkbar ist der Einsatz von Fräsen oder alternativen Schneidtechniken auf mobilen Arbeitsplattformen zum Lösen oder Profilieren von sehr hartem Fels (Kapitel 6.4).

Bild 6.8: Gewölbestützung; Quelle: DB ProjektBau (D)

6.2.4 Tunnelaufweitung mit Tunnelerweiterungsportal (Tunnel-im-Tunnel System)

Erstmalig zum Einsatz kam ein Tunnelerweiterungsportal der Firma GTA Maschinensysteme GmbH, auch bekannt als Tunnel-im-Tunnel System, bei der Aufweitung des Mausenmühlen und des Jähroder Tunnels (**Bild 6.7**). Ein zweiter Einsatz mit einem optimierten GTA Tunnelerweiterungsportal erfolgte – ebenfalls auf der Nahestrecke – zur Aufweitung der Tunnel Frauenberg und Kupferheck.

Während der Ausbruchs- und Aufweitungsarbeiten konnte mit Hilfe von Stützplatten (**Bild 6.8**) ein voreilender Verbruch in der alten Gewölbeausmauerung verhindert werden. Auf eine zusätzliche Ankerung zur Gewölbesicherung konnte damit verzichtet werden.

Der Ausbruch des Gewölbes und der Hinterpackung erfolgt mit Hydraulikhämmern, die seitlich an der Maschine angebracht sind. Ebenfalls seitlich angeordnete verfahrbare Bohrarme ermöglichen das Bohren von Sprenglöchern, um den Fels durch Sprengen zu lösen. Nach dem Felsausbruch erfolgt von verschiedenen Arbeitsbühnen auf der Maschine die Primärsicherung des Gebirges mit Ankern, Bewehrungen und Spritzbeton. Im Nachgang wird ein Gewölbeschalwagen zum Einbau einer Ortbetoninnenschale verwendet.

6.2.4.1 Felsausbruch mit Abspaltverfahren ohne Tunnelsperrungen

Abbauhämmer sind bei der Tunnelaufweitung nicht wirtschaftlich für den umfangreichen Felsausbruch mit mittlerer bis hoher

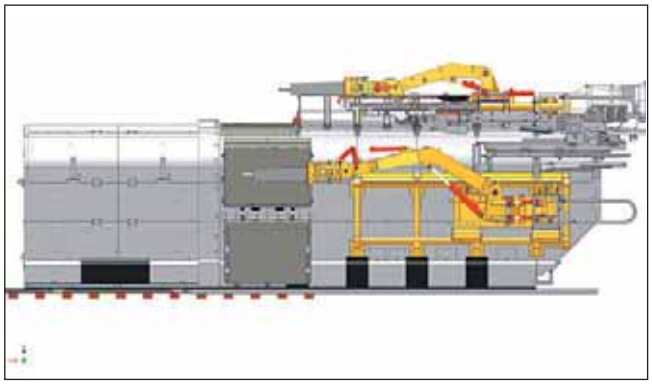


Bild 6.9a: Ausschnittskizze TEP 8400B für die Tunnel Langenau und Hollrich; Quelle: GTA, Hamminkeln (D)

Bild 6.9b: Tunnelerweiterungsportal TEP 8400B für die Tunnel Langenau und Hollrich; Quelle: GTA, Hamminkeln (D)

Druckfestigkeit geeignet. Deshalb wurde beim Mausenmühlen und Jähroder Tunnel sowie beim Frauenberger und Kupferheck Tunnel der Fels in Sperrzeiten gesprengt, die sich überwiegend nachts aus dem Fahrplan der Bahn ergaben. Sprengungen benötigen eine Sperrzeit von ca. 20 Minuten.

Im Rahmen der Tunnelerweiterung und Tunnelsanierung für den Langenauer und Hollricher Tunnel wurde ein neues alternatives Verfahren zur Aufweitung des Tunnelquerschnitts im Fels von der GTA Maschinensysteme GmbH entwickelt und angewendet (**Bild 6.9a, 6.9b**).

Bei dem neuen Abspaltverfahren wird das abzutragende Gestein mittels einer Vielzahl von Bohrungen zunächst abschnittsweise perforiert. Anschließend wird das Gestein durch einen in die Bohrungen geschobenen konisch ausgebildeten Meißel mit Hilfe eines automatischen Hammers gelöst bzw. abgespalten. Vorteilhaft ist hier, dass bei kranzförmiger Anordnung der Bohrungen eine sehr profilgenaue Erweiterung durchgeführt werden kann. Abhängig von den Festigkeiten des Gesteins sind entsprechende Bohrlochdurchmesser und Bohrlochabstände zu wählen. Zum Lösen größerer Gesteinsdicken sind unter Umständen mehrere parallel angeordnete Bohrlochreihen herzustellen. Mit diesem Verfahren kann durch die gezielte Perforation des Gesteins und den anschließenden präzisen Einsatz von hydraulischen Hämmern zur Abspaltung Gestein mit beliebig hohen Festigkeiten gelöst werden.

Die Anwendung dieses Verfahrens ist vorzugsweise mit der TiT Methode durchzuführen. Dabei bietet sich an, die hydraulischen Hämmer mit ihren Multifunktionalarmen sowie die Bohreinrichtungen an dem TiT-System auf Verschiebebahnkonstruktionen anzuordnen.

6.2.4.2 Geschildeter Vortrieb und Tübbingausbau ohne Tunnelsperrungen

Die Firma Herrenknecht AG hat ein System entwickelt, mit dem eine Tunnelaufweitung unter Betrieb ohne Sperrzeiten für Bahnbetrieb möglich ist (**Bild 6.10**). Unterteilt ist die TEM (Tunnel Enlargement Machine) in die 3 Komponenten Vorläufer (1), Tunnelaufweitungsmaschine (2) und Tübbingversetzwagen (3). Sie vereint die Komponenten Gewölbe- und Felssicherung, Ausbruch, Ausbau und Logistik in einem System. Auf dem Vorläufer (1) befinden sich die verschiedenen Elektro- und Hydraulikaggregate, die durch Trennwände vor der Staubentwicklung geschützt werden. Zum Schutz der Arbeiter ist eine Entstaubung installiert. Unmittelbar vor dem Aufweitungsbereich befindet sich eine Verspanneinheit, um die Standsicherheit zu gewährleisten.

Bild 6.10: Tunnelaufweitungsmaschine (Tunnel Enlargement Machine - TEM); Quelle: Herrenknecht, Schwanau (D)

Bild 6.11: Tunnelaufweitung mit Längsfräsköpfen; Quelle: Herrenknecht, Schwanau (D)

Der Ausbau des Tunnels erfolgt unmittelbar nach der Aufweitung (2) im Schutze eines Schildes mit Tübbingsegmenten unter laufendem Bahnbetrieb. Zum Versetzen der Tübbingsegmente ist ein Portalwagen (3) mit telekopierbaren Versetzeinrichtungen bestückt. Die Einheit fährt aus dem Tunnel, entlädt beladene Kübel mit Schuttermaterial und bringt anschliessend für den nächsten Vortriebszyklus neue Tübbingsegmente, Sohlsteine, Fundamentmörtel und Mörtel in den Tunnel. Der Tübbingausbau kann während des Vortriebs kontinuierlich mit Mörtel verpresst werden. Zum Verschieben der Maschinen und zur Gewährleistung des Tübbingausbaus kommen Vortriebspressen zum Einsatz.

Durch die Kombination aus Aufweitungs- und Ausbaumaschine im Schutze eines Schildes ohne Erfordernis zum Einbringen einer Primärsicherung wird die Philosophie klassischer Tunnelvortriebsmaschinen verfolgt (**Bild 6.11**).

6.2.4.3 Felsausbruch durch Fräsen oder alternative Schneidtechniken

Bei der Wahl des Fräswerkzeugs gibt es verschiedene Gedankengänge. Neben dem Einbau einer Pinselschräme (Längsschneidkopf) oder einer alternativen Schneidtechnik ist es auch möglich, eine Anbaufräse auf Baggerarmen oder eine Fräswalze (Querschneidkopf) (**Bild 6.12**) auf schweren Armen einzubauen. Die Herrenknecht AG entwickelt und testet derzeit Möglichkeiten zum Lösen von Fels mit mittlerer bis hoher Gesteinsdruckfestigkeit durch den Einsatz von Fräswalzen oder alternativen Schneidtechniken (Kapitel 6.4).

6.2.4.4 Logistik

Mit Blick auf längere Tunnel und größere Ausbruchmassen ist alternativ zum Einsatz von Radladern zur Schutterung des Ausbruchmaterials zukünftig der Einsatz von Förderbandanlagen oder Einhängeschienenbahnen denkbar.

6.2.4.5 Tunnel-im-Tunnel System bei eingleisigen und elektrifizierten Strecken

Bei eingleisigen Tunneln ist der Raum für die Verbruchsicherung sehr begrenzt. Ist der Tunnel darüber hinaus noch elektrifiziert,

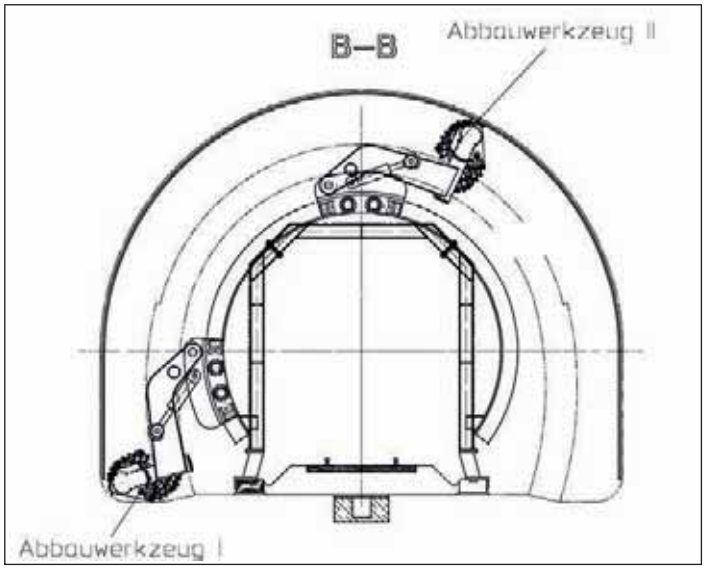


Bild 6.12: Tunnelaufweitung mit Fräswalzen; Quelle: Herrenknecht, Schwanau (D)

muss auch noch die Fahrleitung durch das Tunnelerweiterungsportal hindurch geführt werden.

Zur Anwendung der TiT Methode müssen 2 Voraussetzungen erfüllt sein:

- Zwischen dem Lichtraumprofil und dem bestehenden Tunnelgewölbe muss noch ausreichend Platz für das Unterbringen der Verbruchsicherung bestehen
- Der neue Tunnel-Sollquerschnitt muss ausreichend Platz bieten für die Arbeit der Abbaugeräte und den Transport des Ausbruchmaterials

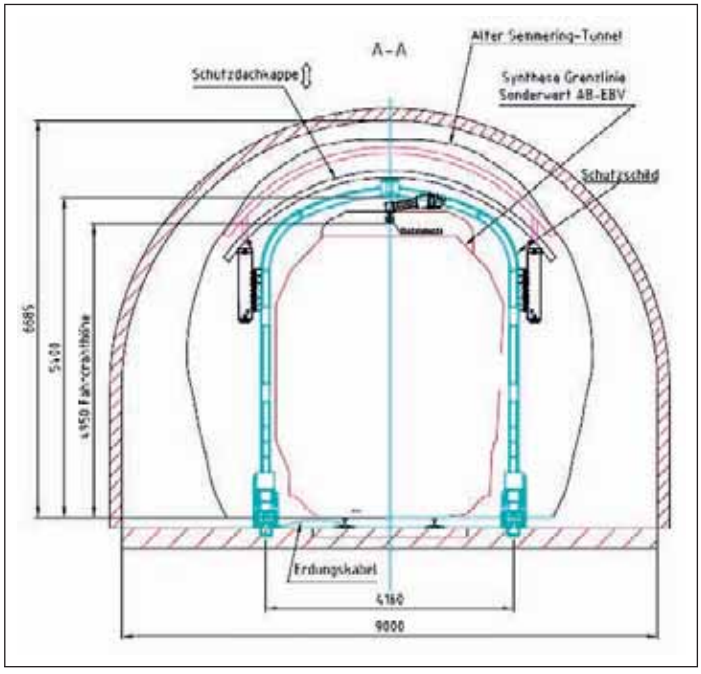


Bild 6.13: Verbruchsicherung (hellblau) mit zusätzlicher Schutzdachkappe zur Gewölbesicherung (lila) im Profil des alten Semmeringtunnels (schwarz); Quelle: GTA, Hamminkeln (D)

An 2 Beispielen vorhandener Tunnel wurde die grundsätzliche Machbarkeit der TiT Methode bei eingleisigen elektrifizierten Strecken untersucht.

Für die Dauer der Bauarbeiten wird davon ausgegangen, dass das Lichtraumprofil auf die Maße der Sonderwerte der Grenzlinie der festen Anlagen reduziert werden kann und auch der Schlupfweg über die Länge der Tunnelbaumaschine nicht frei gehalten werden muss. Im Beispiel wurde die in Kapitel 2.4.1.10 beschriebene Synthese-Grenzlinie für die 3 Bahnen DB, ÖBB und SBB gewählt. In der linken Hälfte ist dabei die kinematische Grenzlinie der 1.450 mm breiten SBB-Stromabnehmerwippe dargestellt, in der rechten Hälfte jene der 1.950 mm breiten Wippe der DB und ÖBB.

Damit auch der Raum für die Unterbringung der Oberleitung klein gehalten werden kann, wird der Einbau einer Deckenstromschiene (DSS) mit minimaler Fahrdrahthöhe vorgesehen. Bei ausreichendem Platz kann die DSS unter Spannung stehen und die Züge können elektrisch verkehren (Variante A). Bei beengten Platzverhältnissen ist es denkbar, die Stromschiene elektrisch von den Fahrleitungen vor und hinter der Baustelle zu trennen und die Züge im Schwung durchfahren zu lassen (Variante B). Ob dabei die Baustelle elektrisch überbrückt werden muss, oder ob eine beidseitige Speisung der Fahrleitung verfügbar und ausreichend ist, muss von Fall zu Fall geklärt werden.

Ein Beispiel für die Variante A ist der alte Semmeringtunnel. Er ist so groß, dass die Verbruchsicherung sogar mit einer zusätzlichen beweglichen Schutzdachkappe zur Gewölbesicherung ausgestattet werden kann (**Bild 6.13**).

Ab der Ortsbrust wird das Tunnelprofil aufgeweitet. Der dazu mindestens notwendige Raum ist rot schraffiert umrandet. **Bild 6.14** zeigt ein Beispiel der hier anzubauenden Abbaugeräte.

Als vorbereitende Baumaßnahme wird das vorhandene Kettenwerk durch eine Deckenstromschiene ersetzt. Diese ist alle ca 8 bis 10 m am vorhandenen Tunnelgewölbe befestigt. Innerhalb der Verbruchsicherung und am Gestell-Hinterteil tragen Ausleger mit Gleitelementen die Stromschiene in kurzen Abständen. Hinter der Baumaschine werden Tunneltragwerke am neuen Gewölbe befestigt (**Bild 6.15**).

Ein Beispiel für Variante B ist der Wildentobel-Tunnel. Eine niedrigere Version des Schutzschildes passt gerade knapp in den Tunnel hinein. Das elektrische Profil des Stromabnehmers ist verletzt, das mechanische gerade eingehalten (in Zeichnung 6.16 nicht dargestellt). Hier ist nur Fahrt im Schwung unter ausgeschalteter Fahrleitung möglich.

Für den Fall, dass die Baustelle elektrisch überbrückt werden muss, ist neben den Schwellenköpfen ein Kabelkanal für das Hochspannungskabel einzubauen.

Auch hier wird ab der Ortsbrust das Tunnelprofil aufgeweitet. Der dazu mindestens notwendige Raum ist in **Bild 6.17** rot schraffiert umrandet.

Als vorbereitende Baumaßnahme wird zusätzlich zum Ersatz des vorhandenen Kettenwerks durch eine Deckenstromschiene die Fahrleitung elektrisch unterteilt und im Bereich der Bauma-

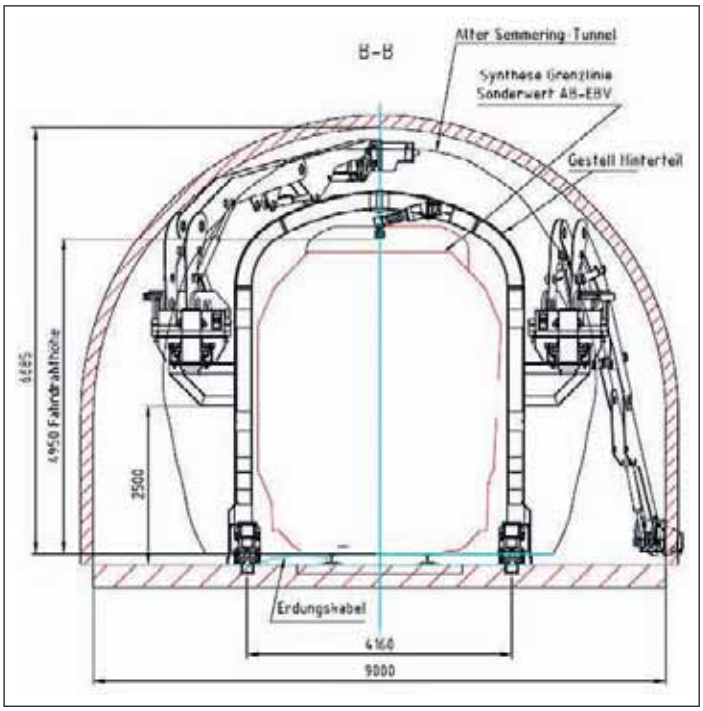


Bild 6.14: Variante A, Gestell-Hinterteil mit Abbaugeräten; Quelle: GTA, Hamminkeln (D)

schine geerdet. Innerhalb der Verbruchsicherung und am Gestell-Hinterteil tragen direkt am Schutztunnel befestigte Gleitelemente die Stromschiene in kurzen Abständen. Hinter der Baumaschine werden Tunneltragwerke am neuen Gewölbe befestigt. Vergleiche dazu **Bild 6.18**. Die Fahrleitungs-Trennstellen werden bei kurzen Tunneln ausserhalb des Tunnels angeordnet und bleiben bis zum Abschluss der Bauarbeiten am Platz. Würde die spannungslose Zone zu lang, können die Trennstellen dem Baufortschritt entsprechend wöchentlich nachrücken.

Fazit

Sofern ausreichend Raum zwischen altem Gewölbe und vorhandenem Lichtraumprofil für den Zugverkehr besteht, ist der Einsatz eines Tunnel-im-Tunnel Systems auch bei eingleisigen und elektrifizierten Tunneln möglich.

6.2.5 Gewölbeausbau

Ein einschaliger Ausbau mit Ankern, Bewehrung und Spritzbeton ist beim wechselseitigen Einsatz von Bauzügen in zweigleisigen Tunneln grundsätzlich möglich. Die beengten halbseitigen Platzverhältnisse begrenzen jedoch die Verwendung von langen Ankern. Durch eine Trennwand wird das Betriebsgleis vor Sprühnebel- und Staubentwicklung geschützt. Die Arbeiten im Scheitelbereich des Tunnels unter Betrieb verlangen eine gewissenhafte Abdichtung durch die Trennwand.

Der wechselseitige Ausbau mit Ortbeton kann momentan von keinem System bewerkstelligt werden. Mit einer etwaigen Teilung des Schalwagens ergeben sich zwangsläufig Schwierigkeiten bei der Schalungsabdichtung, hinsichtlich der verlängerten Ausschalfristen und des Gewölbeschlusses im Scheitelpunkt sowie wegen eines erhöhten Arbeitsaufwands beim Setzen der Fundamente, da eine zusätzliche Gründung in der Tunnelmitte notwendig ist.

Eine Erneuerung von Bahntunneln mit Fertigteilelementen, sei es sohloffen oder mit Sohlgewölbe, hat es bisher in der Praxis noch nicht gegeben. Erfahrungen für die Aufweitung von Straßentunneln und Tübbingausbau liegen vom Nazzano-Tunnel vor (Kap. 6.5). Bewährt hat sich diese Variante bereits beim Tunnelvortrieb mit Schildmaschinen und Tübbingausbau. Ein etwaiger wechselseitiger Ausbau mit Tübbingen ist während der Nachtsperrzeiten von zwei Bauzügen, die parallel auf beiden Gleisen arbeiten, vorstellbar. Der wesentliche Vorteil wäre ein Ausbau ohne Ausschalfristen, wodurch eine unmittelbare Belastbarkeit des Tunnelausbaus gegeben ist.

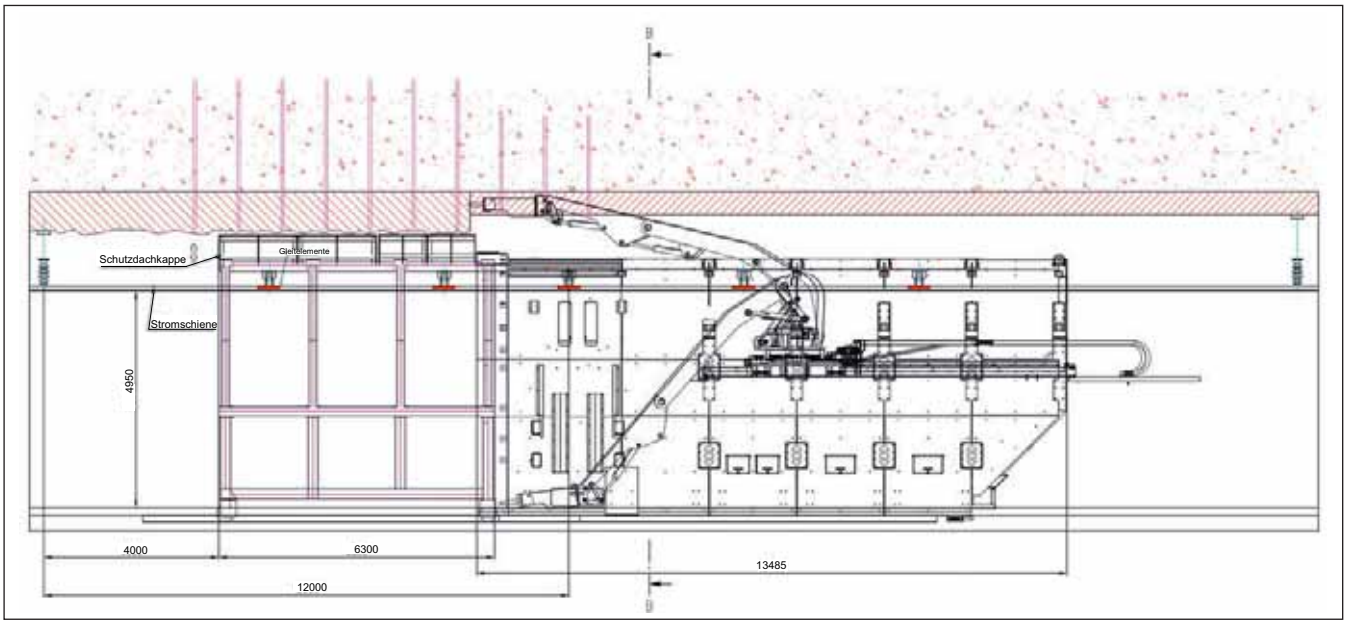


Bild 6.15: Variante A, Längsschnitt; Quelle: GTA, Hamminkeln (D)

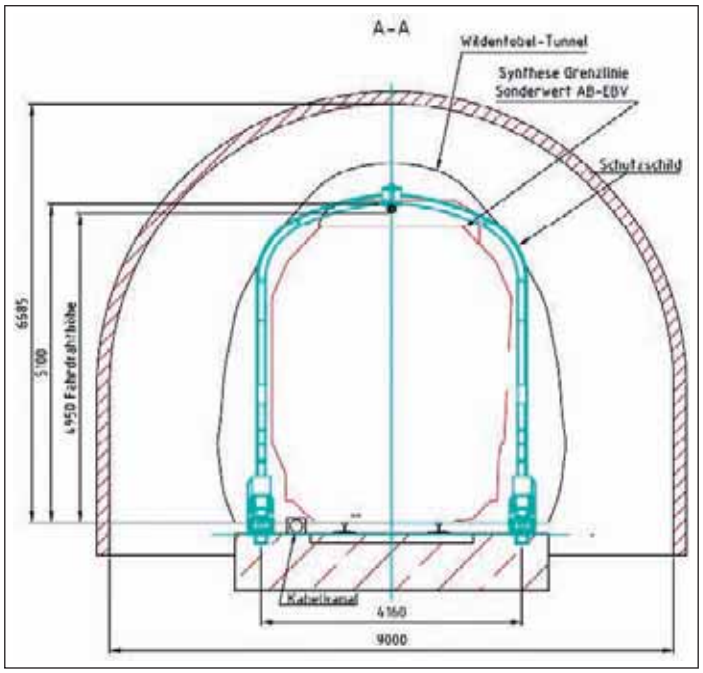


Bild 6.16: Verbruchsicherung (hellblau) im Profil des Wildentobel-Tunnels (schwarz); Quelle: GTA, Hamminkeln (D)

Der Gewölbeausbau eingleisiger Tunnel unter ZEB führt standardmäßig zum Einsatz von Gewölbeschalwagen. In Verbindung mit Klimawagen kann die notwendige Frühfestigkeit des Betons während der Wochenendsperrpausen erreicht werden. Die Schal- und Klimawagen sind in der Regel so konzipiert, dass sie während des Betriebs, d.h. wenn kein Ausbau stattfindet, im Tunnel verbleiben können. Alternativ zum Einsatz von Schalwagen bietet sich der Einbau von Tübbingsegmenten an.

Zukünftig wäre es denkbar, ein- und zweigleisige Tunnel mit Fertigteilelementen auszukleiden (**Bild 6.19**).

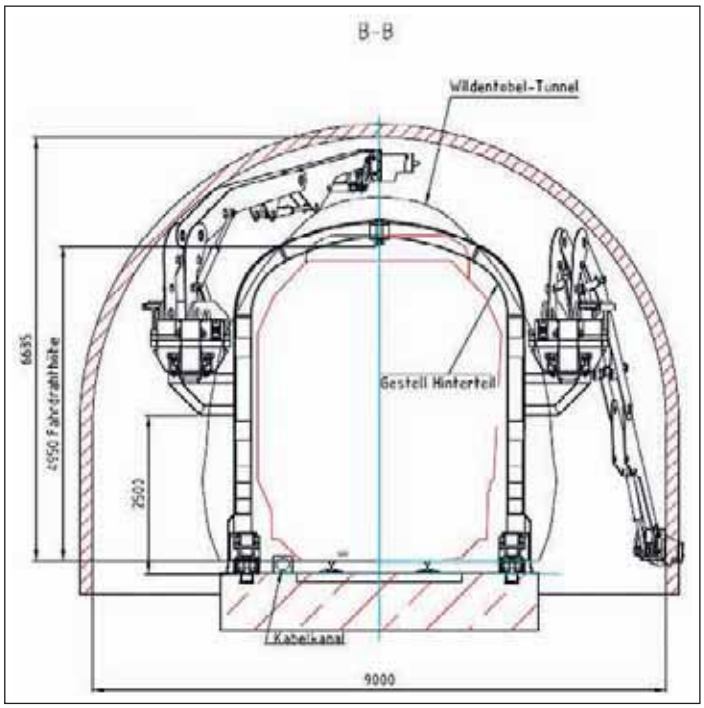


Bild 6.17: Variante B, Gestell-Hinterteil mit Abbaugeräten; Quelle: GTA, Hamminkeln (D)

6.3 Sohlarbeiten

In **Tabelle 6.2** sind die wesentlichen Maßnahmen bei Sohlarbeiten in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen dargestellt. Dabei gilt es zu unterscheiden zwischen den tatsächlich in der Praxis statt gefundenen Arbeitsmaßnahmen (Grün) und den theoretisch zukünftig möglichen Maßnahmen (Blau). Felder, die farblich nicht unterlegt sind, werden mit einem geringen Optimierungspotential bewertet.

6.3.1 Gewölbesicherung

Um zu verhindern, dass der Sohlaushub die Standfestigkeit des Tunnelgewölbes mindert, müssen im Vorfeld unter Umständen die Widerlager seitlich gesichert werden. Im Pilgerschrittverfahren findet die klassische Widerlagerunterfangung Anwendung, die ein Abrutschen des Tunnelgewölbes verhindert.

Eine in Tunnelrichtung verschiebbare Gewölbesicherung ist durch einen mobilen Längsverbau möglich (**Bild 6.20**). Der Längsverbau kam bei der Sanierung des Tüllinger Tunnels bei Weil am Rhein unter Vollsperrung zum Einsatz. Nach dem Verschieben und dem Aushub der Baugrube wurden sukzessiv 2,50 m lange Regelblöcke betoniert (**Bild 6.21**). Aufgrund der komplexen Arbeitsfolge bei der Widerlagerunterfangung ist das Prinzip des verschiebbaren Längsverbaus sinnvoll.

Bei einer massiven Ausbildung der seitlichen Widerlager ist der mobile Gleislängsverbau beispielsweise in Verbindung mit einer Kleinhilfsbrücke denkbar, um das System auch unter Betrieb anwenden zu können. Um seitlich den entsprechenden Platz zu generieren, ist unter Umständen im Vorfeld eine Aufweitung zweckmäßig. Mit einem zusätzlichen Fundament in Tunnelmitte lässt sich die wechselseitige Sohlgewölbeherstellung gewährleisten. Dann ist der Einsatz des Längsverbaus bei zweigleisigen Tunneln denkbar [6.4].

6.3.2 Sohlabsenkung ohne Sohlschluss

Bei Sohlsanierungen ist in der Regel ein Sohlaushub zweckmäßig, um die Gradiente abzusenken und/oder den Einbau eines Sohlgewölbes zu ermöglichen. Die Sohlabsenkung ohne Sohlgewölbeeinbau findet in der Regel Anwendung, wenn aus statischen Gründen keine Kräfte oder Momente von der Sohle aufgenommen werden müssen (z. B. kein quellendes Gebirge). Der Gleisschotter liegt in diesem Fall direkt auf der Felssohle auf.

Der Fels wird häufig mit Kaltfräsen abgearbeitet. Zum Aushub des Schotters bzw. Oberbaus kommen spezielle, auf die Anforderungen im Tunnel konzipierte Durchladebagger oder Gleisaushubmaschinen wie der Puscal T (Bild 6.22) zum Einsatz. Außerdem ist durch den Anbau von massiven Hydraulikhämmern bei beiden Systemen der Felsabtrag möglich. Die Baumaschinen

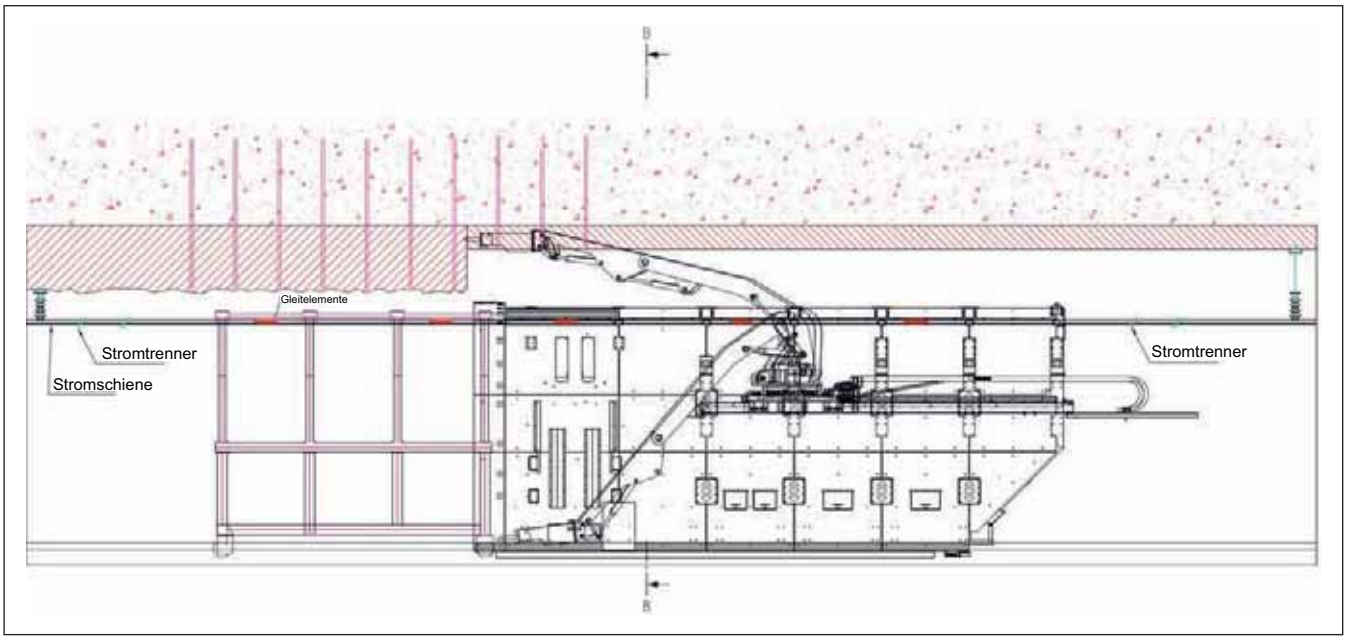


Bild 6.18: Variante B, Längsschnitt. Als „Stromtrenner" schematisch eingezeichnete Streckentrennerpaare oder Streckentrenner mit befahrbarem Isolator. In Wirklichkeit befinden sie sich in größerer Entfernung vom Schutztunnel; Quelle: GTA, Hamminkeln (D)

kombinieren dabei Arbeitsabläufe des Aushubs und der Schutterung. Beim Ein- bzw. Neubau des Sohlgewölbes ist es mitunter notwendig, das alte, bewehrte Sohlgewölbe auszubrechen.

Mechanisierte Verfahren könnten für das Lösen von hartem Fels angestrebt werden (Kapitel 6.4).

6.3.3 Sohlabsenkung mit Sohlschluss

Zur Herstellung des Sohlgewölbes kommt Ortbeton zum Einsatz, gegossen in Blöcken von üblicherweise 2 bis 8 m Länge. Dies kann nur in den Wochenendsperrpausen geschehen, die je nach Tunnellänge in ausreichender Zahl zur Verfügung stehen müssen.

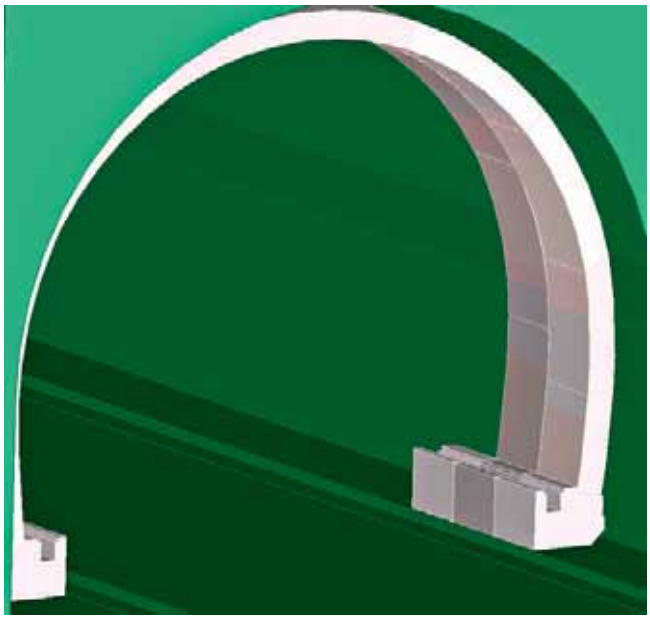


Bild 6.19: Tübbingausbau; Quelle: Herrenknecht, Schwanau (D)

Sofern der Bahnbetrieb auf dem betreffenden Gleis nicht gesperrt werden kann, müssen zusätzlich, bis die geforderte Frühfestigkeit erreicht ist, Kleinhilfsbrücken verlegt werden. Die Schwächung der Gleise durch die notwendigen Gleistrennungen beim Gleisausbau, sowie das Setzen der Auflager für die Hilfsbrücken erschweren die Sohlarbeiten.

Der Einsatz von nivellierbaren Betonfertigteilen stellt eine Alternative dar. In dem Fall gilt es, einen günstigen Kompromiss aus Baugröße und Gewicht zu finden, um die geforderten Lastannahmen aufnehmen zu können. Entscheidenden Einfluss auf die notwendige Größe der Elemente hat der Radius des Sohlgewölbes. Das Setzen der Elemente sowie die Verbindung untereinander bzw. zum alten oder neuen Sohlgewölbe stellt eine weitere Schwierigkeit dar. Prinzipiell ist auch der Einsatz von Halbfertigteilen denkbar. Beim Verfüllen etwaiger Hohlräume der Elemente gilt es, die Problemstellungen der Maßhaltigkeit und der Betonverdichtung zu lösen. Das Ziel ist es, das neu hergestellte Gewölbesegment unmittelbar nach dem Setzen belasten und u.U. auch als Auflager für Hilfsbrücken nutzen zu können.

Ein Maschinenkonzept, das die Bereiche Sicherung, Aushub und Ausbau in einem System unter laufendem Betrieb vereinigt, gibt es bislang noch nicht.

Im Hinblick auf die Entwicklung kompletter Maschinensysteme zur Erneuerung von Tunneln mit Sohlschluss gibt es Anregungen, entsprechende Maschinenkomponenten in einem Tunnel-im-Tunnel System zu integrieren. Da das System den zeitweise eingleisigen Betrieb bedingt, ist ein Sohlaushub im Bereich des Betriebsgleises ohne Vollsperrung nicht möglich. Aufgrund der Abbindezeiten des Ortbetons können die Sohlarbeiten nur in den Wochenendsperrpausen stattfinden.

Sohlarbeiten	unter Betrieb ohne Sperrzeiten		unter Betrieb mit Sperrzeiten		
	zweigleisig		eingleisig	zweigleisig	
	wechselseitiger Gleisbetrieb	Umbau auf 1 Gleis im Tunnel für die Bauzeit		wechselseitiger Gleisbetrieb	Umbau auf 1 Gleis im Tunnel für die Bauzeit
Gewölbesicherung					
Widerlagerunterfangung					
Kontinuierlich verschiebbarer Längsverbau					
Sicherung Gleislage					
Träger-Bohlwand					
Sohlabsenkung					
mit Einbau Sohlgewölbe					
ohne Einbau Sohlgewölbe					
Einbau Sohlschluss					

Referenz vorhanden	Umsetzung zukünftig denbkar

Tabelle 6.2: Beispiele von Arbeitsmaßnahmen in der Sohle in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen

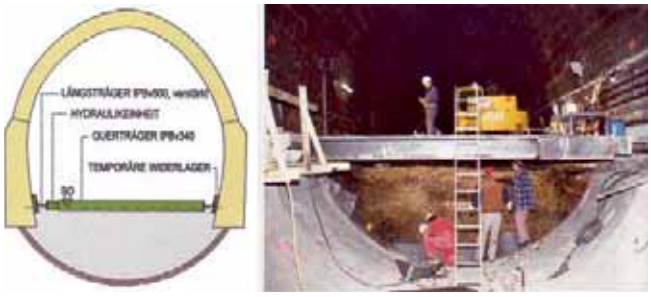


Bild 6.20: Mobiler Längsverbau in Tunnelrichtung, Tüllinger Tunnel; Quelle: Felsbau 6/1999 (D)

6.4 Abbautechniken für Felsausbruch/-abtrag

Einen entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Sanierungsprojekten übt die Möglichkeit des kontinuierlichen Gewölbe- und Felsausbruchs aus. Dadurch kann parallel zum Bahnbetrieb rund um die Uhr der Ausbruch erfolgen. Es ist keine Unterbrechung oder Sperrung des Bahnbetriebs, wie beim Sprengvortrieb, notwendig.

Bei der Aufweitung von Tunneln oder bei Sohlabsenkungen können Felsformationen mit maximaler Gesteinsfestigkeit von bis zu 200 bis 250 MPa auftreten. Zum Vergleich erreicht man beim mechanisierten Tunnelvortrieb mit Teilschnittmaschinen einen wirt-

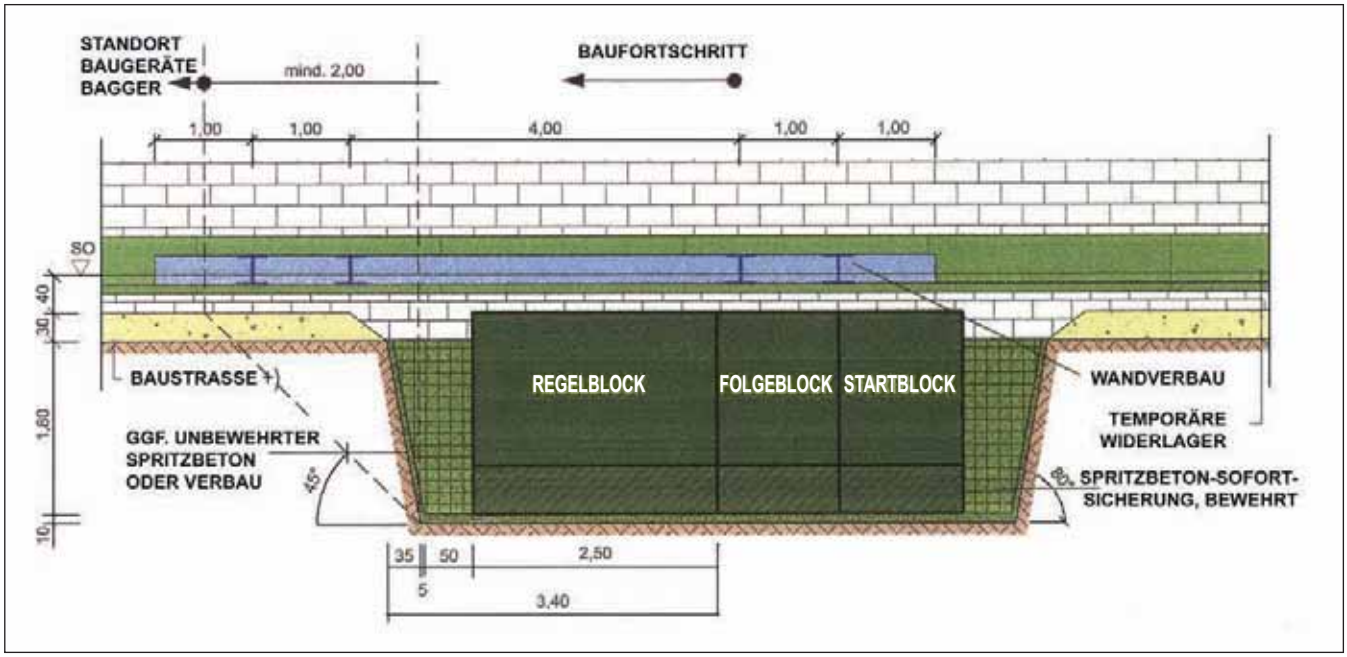


Bild 6.21: Schnittansicht Mobiler Längsverbau, Tüllinger Tunnel; Quelle: Felsbau 6/1999 (D)

Bild 6.22: Unterbausanierung; Quelle: Scheuchzer System Puscal T[2]

schaftlichen Felsabtrag nur bis maximal 120 MPa, der allerdings nur mit sehr schweren und massiven Querfräsköpfen realistisch ist.

Mechanische Löseverfahren wie z. B. Anbaufräsen oder Mehrblattfräsen kommen derzeit oft beim lokalen Gewölbeabtrag und bei Ausbesserungen zum Einsatz.

Bei der Tunnelaufweitung hat sich in der Praxis eine Werkzeugkombination aus Hydraulikhämmern und Bohrgeräten durchgesetzt. Das alte Gewölbe und die Hinterpackung werden mechanisch ausgebrochen. Zum Lösen des Gebirgsfelsens werden Bohrungen für Lockerungssprengungen gesetzt. Allerdings ist die Anwendung von Sprengmitteln immer mit einem gewissen Risiko und mit nächtlichen Sperrpausen verbunden.

Mögliche Alternativen zum Sprengen könnten zukünftig u.a. Abbautechniken wie Fräsen oder alternative Schneidtechniken darstellen. Derzeit wird für den Langenauer und den Hollricher Tunnel das Abspaltverfahren erprobt (Kapitel 6.2.4.1).

Zum Abbau von Fels mit hoher Druckfestigkeit laufen Versuche bei der Herrenknecht AG mit alternativen Schneidtechniken. Das Ziel ist es, Gesteinsfestigkeiten jenseits von 150 MPa schneiden zu können bei einer Abbauleistung von größer 10 m^3/h.

Erfahrungen bei der Herrenknecht AG mit Vertikalschachtmaschinen zeigen, dass Gesteinsdruckfestigkeiten bis 120 MPa bei einem Walzendurchmesser von 1.200 mm mit einer Fräswalze wirtschaftlich beherrschbar sind. Diverse Referenzprojekte liegen aus dem Bereich der Schachtabsenkung mit Maschinentechnik vor (**Bild 6.23**).

Bild 6.23: Vertikale Schacht Maschine mit Fräswalze (VSM); Quelle: Herrenknecht, Schwanau (D)

Bild 6.24: Bodensäge auf Maschinengerüst, Nazzano Tunnel; Quelle: Autostrade – Italien[3] (I)

6.5 Baugrundsicherung bei Tunnelaufweitung im Lockergestein

Wesentliche Unterschiede zu Aufweitungsarbeiten im Fels sind beim Vortrieb im Lockergestein aufgrund der Erfordernis einer vorauseilenden Gebirgssicherung und Ortsbruststützung gegeben.

Für die Aufweitung des Straßentunnels Nazzano, Italien, im Lockergestein mit geringer Standzeit/-festigkeit wurde zur Gebirgsstützung und -sicherung ein Bodenschlitz in Halbschalenform mit Beton verfüllt, damit ein tragender Ausbaubogen entsteht. Dies geschieht in Anlehnung an konventionelle Vorsicherungen mit Rohrschirmen [6.6]. Der Bodenschlitz wurde umläufig mit einer Bodensäge hergestellt (**Bild 6.24**). Die Säge kann je nach Geologie z. B. mit Rundschaftmeißeln bestückt werden.

Die einzeln hergestellten Vorgewölbe überlappen sich um etwa 2 m. Unter dem überlappenden Vorgewölbe wurden als endgültiger Ausbau Tübbingsegmente eingebaut. Die Herrenknecht AG hat dazu ein Konzept für den Tunnel Montedomini in Italien erarbeitet (**Bild 6.25**).

Innerhalb des Tunnels kann eine Schutzeinhausung, welche den Straßenverkehr im Arbeitsbereich vor herabfallenden Gegenständen sichert, verschoben und positioniert werden.

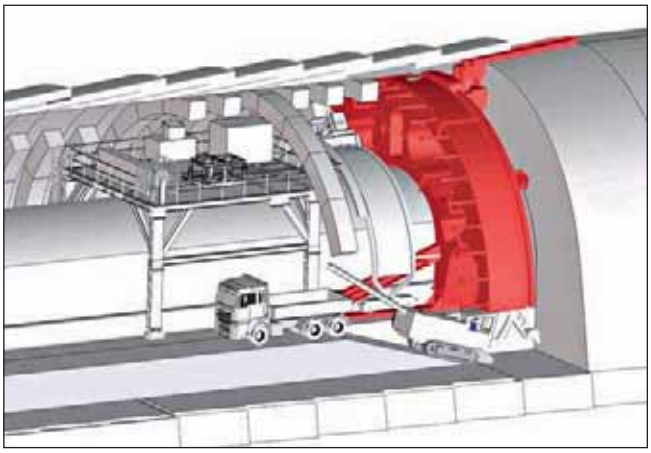


Bild 6.25: Konzept: Ortsbrustsicherung und Bodensäge; Quelle: Herrenknecht, Schwanau (D)

[2] http://www.scheuchzer.ch/2006/index.php?sel=201010&IdM=1
[3] http://www.tunnelbuilder.com/Nazzano_Leaflet.pdf

7 Zukünftiger Sanierungs- und Erneuerungsbedarf

J.D. Chabot, C. Draschitz, R. Gabriel, A. Haack, G. Pagliari, S. Simon

7.1 Vorbemerkung 93
7.2 Deutsche Bahn AG (DB) 94
7.3 Österreichische Bundesbahnen AG (ÖBB) 96
7.4 Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB) 103

7.1 Vorbemerkung

Die nachstehenden Listen in den Kapiteln 7.2 bis 7.4 lassen differenziert nach den 3 Bahngesellschaften DB, ÖBB und SBB den beachtlichen Bedarf an Sanierungs- und Erneuerungsarbeiten innerhalb der nächsten 10 bis 15 Jahre erkennen. Das Ausgangsproblem ist in vielen Fällen mit dem alterungsbedingten schlechten Zustand des gemauerten Tunnelgewölbes verbunden. Häufig ist neben der erforderlichen Ertüchtigung des Tunnelgewölbes aber auch eine Gleisabsenkung erforderlich, da das bestehende Lichtraumprofil für die künftigen Anforderungen nicht mehr genügt. In den meisten Fällen kann das letztlich anzuwendende Sanierungsverfahren derzeit noch nicht bestimmt werden. Die Entscheidung hängt wesentlich auch von den maschinentechnischen Entwicklungen in den kommenden Jahren und von den inzwischen in der Praxis gewonnenen Erfahrungen ab.

7.2 Deutsche Bahn AG (DB)

A. Haack, S. Simon

Geplante Grundsanierung von Fernbahntunneln
(Baubeginn ab Januar 2010)

Art/Name des Tunnels	Lage des Tunnels	Länge [km]	Anzahl Gleise	Elektrizität	Freier Querschnitt [m²]	Querschnittsform	Geologie	Bauweise	Geplantes Ausführungsjahr	Geplante Maßnahme
Fernbahn Tunnel Oberstaufen	Oberstaufen (Strecke Immenstadt-Oberstaufen)	1 x 0,124	2	nein	60	Hufeisen	Nagelfluh, Mergelstein	geschlossen (bergmännisch)		Profilaufweitung + Sohlerneuerung
Fernbahn Pforzheimer Tunnel	Pforzheim	1 x 0,904	2	ja	43	Hufeisen	Mittlerer und oberer Muschelkalk	geschlossen (bergmännisch)	12-15	zweigleisiger Neubau in Parallellage
Fernbahn Alter Cornberger Tunnel	Strecke 3600 Cornberg	1 x 0,700	2	ja	47	Gewölbe	dolomitischer Kalk, Tonstein, Sandstein, Anhydrit	geschlossen (bergmännisch)		1 Röhre Erneuerung, 1 Röhre neu
Fernbahn Alter Bebenroth-Tunnel	Strecke 3600 Eichenberg	1 x 0,935	2 (neu 1+1)	ja	48	Gewölbe	Buntsandstein, Muschelkalk, Keuper	geschlossen (bergmännisch)	10-12	1 Röhre Erneuerung, 1 Röhre neu
Fernbahn Alter Schlüchterner Tunnel	Strecke 3600 Frankfurt/M–Göttingen	1 x 3,636	2 (neu 1+1)	ja	47	Hufeisen	Mittlerer und oberer Buntsandstein	geschlossen (bergmännisch)	10-13	neue Innenschale, Umbau von zwei- auf eingleisig, neue Parallelröhre
Fernbahn Eppsteiner Tunnel	Strecke 3610 Frankfurt (M) Hbf (Tief)-Eschhofen	1 x 0,325	2	ja	47	Hufeisen	Silur	geschlossen (bergmännisch)	10-12	zweigleisiger Neubau in Parallellage
Fernbahn Brandenstein-Tunnel	Strecke Flieden-Gemünden (M)	1 x 1,740	2	ja	48	Hufeisen	Muschelkalk, Mergel, Tonstein	geschlossen (bergmännisch)		Neubau, Ersatzmaßnahme für Ebertsberg- u. Brandenstein-Tunnel
Fernbahn Zierenberger-Tunnel	Strecke Volkmarsen-Obervellmar	1 x 0,816	1	nein	24	Hufeisen	Tonstein, Mergel	geschlossen (bergmännisch)		Spritzbetonschale ~ 15 cm
Fernbahn Kammereck-Tunnel	Strecke Köln-(Koblenz)- Bingerbrück	1 x 0,289	2	ja	48	Hufeisen	Oberdevon	geschlossen (bergmännisch)		Teilerneuerung
Fernbahn Hollericher Tunnel	Strecke Wetzlar-Koblenz	1 x 0,319	2	nein	41	Hufeisen	Diabas, Tonschiefer	geschlossen (bergmännisch)	10-12	zweigleisiger Tunnel Erweiterung unter laufendem eingleisigen Betrieb
Fernbahn Langenauer Tunnel	Strecke Wetzlar-Koblenz	1 x 0,332	2	nein	41	Hufeisen	Diabas, Tonschiefer	geschlossen (bergmännisch)	10-12	Zweigleisiger Tunnel Erweiterung unter laufendem eingleisigen Betrieb
Fernbahn Alter Kaiser-Wilhelm-Tunnel	ABS 3010 Koblenz-Perl/Saarland	1 x 4,103	2 (neu 1+1)	ja	50	Hufeisen	Grauwacke, Schiefer mit Ton durchsetzt	geschlossen (bergmännisch)	10–13	1 Röhre Erneuerung, 1 Röhre neu
Fernbahn Bett-Tunnel	Strecke Koblenz-Mainz-Bingerbrück	1 x 0,236	2	ja	48	Hufeisen	Sandstein, Tonstein, Grauwacke	geschlossen (bergmännisch)		Teilerneuerung
Fernbahn Bank-Tunnel	Strecke Koblenz-Mainz-Bingerbrück	1 x 0,367	2	ja	48	Hufeisen	Sandstein, Tonstein, Grauwacke	geschlossen (bergmännisch)		Teilerneuerung
Fernbahn Harras-Tunnel	Strecke Hainichen-Niederwiesa	1 x 0,860	1	nein	28	Kreis, unten offen	Glimmer, Hornblende	geschlossen (bergmännisch)		Ertüchtigung Tunnelschale und Entwässerung
Fernbahn Bildstock Tunnel	Strecke 3511 Bingen-Saarbrücken	1 x 0,340	2	ja	54	Hufeisen	Sandstein, Schieferton, Kohleflöze	geschlossen (bergmännisch)		

noch Deutsche Bahn AG (DB)

Art/Name des Tunnels	Lage des Tunnels	Länge [km]	Anzahl Gleise	Elektri-zität	Freier Querschnitt [m²]	Quer-schnitts-form	Geologie	Bauweise	Geplantes Ausfüh-rungsjahr	Geplante Maßnahme
Fernbahn Frauenberg Tunnel	Strecke 3511 Bingen-Saarbrücken	1 x 0,407	2	nein	44	Hufeisen	Oberkarbon	geschlossen (bergmännisch)	10-12	zweigleisiger Tunnel Erweiterung unter laufendem eingleisigen Betrieb
Fernbahn Kupferheck Tunnel	Strecke 3511 Bingen-Saarbrücken	1 x 0,226	2	nein	44	Hufeisen	Oberkarbon	geschlossen (bergmännisch)	10-12	zweigleisiger Tunnel Erweiterung unter laufendem eingleisigen Betrieb
Fernbahn Bockspieler Tunnel	Strecke 3511 Bingen-Saarbrücken	1 x 0,120	2	nein	54	Hufeisen	Oberkarbon	geschlossen (bergmännisch)	11-12	zweigleisiger Tunnel Erweiterung unter laufendem eingleisigen Betrieb
Fernbahn Brämericher Tunnel	Strecke 3511 Bingen-Saarbrücken	1 x 0,209	2	nein	54	Hufeisen	Oberkarbon	geschlossen (bergmännisch)	11-12	zweigleisiger Tunnel Erweiterung unter laufendem eingleisigen Betrieb

Quelle: STUVA/DB

7.3 Österreichische Bundesbahnen AG (ÖBB)

C. Draschitz

Zukünftiger Sanierungs- und Erneuerungsbedarf ab 2011

Linie (Strecken-nummer)	Name Eisenbahn-Tunnel	Länge [m]	Gleise	Grund der Projektaus-lösung	Geplante Maßnahmen - Anwendungs-möglichkeit für TiT-Methode	Inbe-trieb-nahme	Elek-trisch	Quer-schnitts-form	Minimale Quer-schnitts-fläche [m²]	Geologie Übersicht	Ausfüh-rungs-zeitraum
3023	ALPFAHRT	60	1	Gewölbe-zustand	Sanierung	1874	N			Mesozoikum der nördlichen Kalkalpen, Ein-schlüsse der Gosaugruppe	offen
2056	ALTER SEMMERING	1.434	1	Gewölbe-zustand	Neue Innenschale		E	Hufeisen	36	Karbonatische Sediment-gesteine, Grenze zu den Quarzphylliten und Pa-ragneisen des ostalpinen Kristallin	offen
6011	AU	210	2	Profil	Gleisabsenkung	1875	E	Hufeisen	40	Paleozoische Sediment-gesteine, mesozoisches Dolomit-Mergelfenster	offen
6022	BERG ISEL	662	2	Profil	Gleisabsenkung	1867	E	Maulprofil	46	Ostalpines Kristallin	offen
4017	BLAUE WAND	370	1	Gewölbe-zustand		1910	N	Maulprofil	24	Paleozoische Sedimente, Salzachbruch, teilweise metamorph	offen
3043	BOSRUCK	4.767	1	2. Röhre	Innenschale, Sohl-absenkung - wird geprüft	1902	N	Maulprofil	38	Haselgebirge, dolomi-tischer Kalk	2012
5511	BRUNNTAL	99	1	Gewölbe-zustand		1910	N			Ostalpine Kalke, Dolomite, Mergel, klastische Sedi-mentgesteine	offen
3060	BURGSTALL	335	1	Gewölbe-zustand, Profil		1876	N	Hufeisen	22	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
2057	EICHBERG	89	2	Sicherheitsan-passung, Profil	Gleisabsenkung nach Inbetriebnahme Semmeringbasis-tunnel	1854	E	Maulprofil	53	Ostalpines Paleozoikum, metamorphe Sediment-gesteine	2020
5016	ENGELWÄLDCHEN	209	1	Profil		1883	N	Maulprofil	24	Kalk, Dolomit, Mergel, tertiärer Hangschutt, teilweise Gips	offen
5016	ENGELWAND Tunnel	280	1	Profil		1883	N	Maulprofil	25	Kalk, Dolomit, Mergel, tertiärer Hangschutt, teilweise Gips	offen
3022	ENNSMAUER-Tunnel I	75	1	Gewölbe-zustand		1870	N	Maulprofil	28	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
3022	ENNSMAUER-Tunnel II	101	1	Gewölbe-zustand		1870	N	Maulprofil	28	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
7571	EULOFEN	110	1	Gewölbe-zustand		1899	N	Maulprofil	22	Ostalpines Kristallin	offen
3062	FORST	110	1	Gewölbezu-stand, Profil		1876	N	nord. Profil	23	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
2057	GAMPERL	78	2	Sicherheitsan-passung, Profil	Gleisabsenkung nach Inbetriebnahme Semmeringbasis-tunnel	1854	E	Maulprofil	55	Ostalpines Paleozoikum, metamorphe Sediment-gesteine	2020

noch Österreichische Bundesbahnen AG (ÖBB)

Linie (Strecken-nummer)	Name Eisenbahn-Tunnel	Länge [m]	Gleise	Grund der Projektaus-lösung	Geplante Maßnahmen - Anwendungs-möglichkeit für TiT-Methode	Inbe-trieb-nahme	Elek-trisch	Quer-schnitts-form	Minimale Quer-schnitts-fläche [m²]	Geologie Übersicht	Ausfüh-rungs-zeitraum
3022	GESÄUSE-EINGANG	238	1	Gewölbezu-stand, Profil		1870	N			Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
2057	GEYEREGGER	81	2	Sicherheitsan-passung, Profil	Gleisabsenkung nach Inbetriebnahme Semmeringbasis-tunnel	1854	E	Maulprofil	52	Ostalpines Paleozoikum, metamorphe Sediment-gesteine	2020
6022	GRIESER	173	2	Profil	Gleisabsenkung nach Inbetriebnahme Semmeringbasis-tunnel	1867	E	Maulprofil	56	Ostalpines Kristallin, Quarzphyllit, Deckengren-ze zum Paragneis	offen
1672	GROSSER HARTBERG	2.477	1	Gewölbe-zustand		1910	N	Maulprofil	28	Tertiäre Becken, klastische Sedimente der Molasse-zone	offen
3021	GROSSREIFLINGER	349	1	Gewölbe-zustand		1870	N	Maulprofil	24	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
3063	HAUSRUCK **)	710	1	Gewölbezu-stand, Profil		1876	N	Maulprofil	22	Kies, Sande, Tone der Molassezone der inner-alpinen Becken	offen
3021	HIEFLAUER	171	1	Gewölbezu-stand, Profil		1870	N	Maulprofil	25	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
3022	HOCHSTEG-TUNNEL	121	1	Gewölbe-zustand		1870	N	Maulprofil	23	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
3023	HÜTTAUER	98	1	Gewölbe-zustand		1874	N			Mesozoikum, Einschlüsse der Gosaugruppe	offen
3061	ISCHLER	69	1	Gewölbe-zustand		1876	N	Hufeisen	24	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums, Einschluß der Gosauzone	offen
7101	JOHANNESBERG	480	1	Sicherheitsan-passung	Neubau nach Inbetriebnahme Koralmbahn	1962	N	Hufeisen	31		2022
3062	KALVARIENBERG II	159	1	Gewölbezu-stand, Profil		1876	N	Hufeisen	23	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
2057	KANTNERKOGEL	203	2	Sicherheitsan-passung, Profil	Gleisabsenkung nach Inbetriebnahme Semmeringbasis-tunnel	1854	E	Maulprofil	53	Kkarbonatische Sediment-gesteine, Grenze zu den Quarzphylliten und Pa-ragneisen des ostalpinen Kristallin	2020
8069	KARAWANKEN	4.373	2	Gewölbezu-stand, Sicher-heitsanpassung, Profil	Rückbau auf eingglei-sig nur auf österrei-chischer Seite	1906	E	Maulprofil	47	Werfener Schiefer, Kalkstein	offen, jedoch dringend
3032	KASTENREITHER	324	1	Gewölbezu-stand, Profil		1870	N	Hufeisen	21	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen

noch Österreichische Bundesbahnen AG (ÖBB)

Linie (Strecken-nummer)	Name Eisenbahn-Tunnel	Länge [m]	Gleise	Grund der Projektaus-lösung	Geplante Maßnahmen - Anwendungs-möglichkeit für TiT-Methode	Inbe-trieb-nahme	Elek-trisch	Quer-schnitts-form	Minimale Quer-schnitts-fläche [m²]	Geologie Übersicht	Ausfüh-rungs-zeitraum
2057	KLAMM I	192	2	Sicherheitsan-passung, Profil	Gleisabsenkung nach Inbetriebnahme Semmeringbasis-tunnel	1854	E	Maulprofil	50	Ostalpines Paleozoikum, metamorphe Sediment-gesteine	2020
5521	KLAUSEN	513	1	Gewölbe-zustand		1911	N			Ostalpine Kalke, Dolomite, Mergel, klastische Sedi-mentgesteine	offen
2014	KLEINER DÜRREBERG	247	2	Gewölbe, Profil	neue Innenschale, Gleisabsenkung kaum möglich - Prüfung TiT	1858	E	Hufeisen	52	Flyschzone, Deckengrenze zur subalpinen Molasse	2016
2057	KLEINER KRAUSEL	14	2	Sicherheitsan-passung, Profil	Gleisabsenkung nach Inbetriebnahme Semmeringbasis-tunnel	1854	E	Maulprofil	56	Paleozoische, metamor-phe Sedimentgesteine, Deckengrenze zu permamesozoischen, karbonatischen Sediment-gesteinen	2020
3023	KREUZBERG	711	1	Gewölbe-zustand		1874	N	Hufeisen	32	Mesozoikum, Einschlüsse der Gosaugruppe	offen
3021	LANDL-TUNNEL	67	1	Gewölbe-zustand		1870	N	Hufeisen	29	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
7101	LANGENBERG	1.443	1	Sicherheitsan-passung	Neubau nach Inbetriebnahme Koralmbahn	1961	N	Hufeisen	31		2022
6011	LEIDEGG	327	2	Profil	Gleisabsenkung	1875	E	Hufeisen	45	Paleozoische Sediment-gesteine, mesozoisches Dolomit-Mergelfenster	offen
7091	LESSACHER	111	1	Gewölbe-zustand		1905	N	Hufeisen	26	Tertiäre, klastische Sedi-mentgesteine	offen
3021	LOVER-TUNNEL	395	1	Gewölbezu-stand, Profil		1870	N	Hufeisen	23	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
5511	MARTINSWAND II	1.810	1	Profil		1911	N	Hufeisen	26	Ostalpine Kalke, Dolomite, Mergel, klastische Sedi-mentgesteine	offen
6022	MATREI	124	2	Profil	Gleisabsenkung	1867	E	Maulprofil	47	Ostalpines Kristallin, Quarzphyllit, Deckengren-ze zum Paragneis	offen
6022	MOSERWIESE	74	2	Allgemein-zustand	Gleisabsenkung	1867	E			Ostalpines Kristallin, Quarzphyllit, Deckengren-ze zum Paragneis	offen
6022	MÜHLTAL	872	2	Profil	Gleisabsenkung	1867	E	Maulprofil	45	Ostalpines Kristallin, Quarzphyllit, Deckengren-ze zum Paragneis	offen

noch Österreichische Bundesbahnen AG (ÖBB)

Linie (Strecken-nummer)	Name Eisenbahn-Tunnel	Länge [m]	Gleise	Grund der Projektaus-lösung	Geplante Maßnahmen - Anwendungs-möglichkeit für TiT-Methode	Inbe-trieb-nahme	Elek-trisch	Quer-schnitts-form	Minimale Quer-schnitts-fläche [m²]	Geologie Übersicht	Ausfüh-rungs-zeitraum
7061	OBERER KLAMM	744	1	Gewölbe-zustand		1905	N	Maulprofil	26	Metasedimentgesteine der penninischen Zone, Salzachablagerungen	offen
6022	PATSCHER	176	2	Allgemein-zustand	Gleisabsenkung	1867	E	Maulprofil	46	Ostalpines Kristallin, Quarzphyllit, Deckengren-ze zum Paragneis	offen
2057	PETTENBACH	185	2	Sicherheitsan-passung, Profil	Gleisabsenkung nach Inbetriebnahme Semmeringbasis-tunnel	1854	E	Maulprofil	49	Ostalpines Paleozoikum, metamorphe Sediment-gesteine	2020
5016	PLATTENTOBEL	162	1	Profil		1883	N	Maulprofil	23	Kalk, Dolomit, Mergel, tertiärer Hangschutt, tw. Gips	offen
2057	POLLEROSTWAND	337	2	Sicherheitsan-passung, Profil	Gleisabsenkung nach Inbetriebnahme Semmeringbasis-tunnel	1854	E	Maulprofil	45	Paleozoische, metamor-phe Sedimentgesteine, Deckengrenze zu permamesozoischen, karbonatischen Sediment-gesteinen	2020
6012	RATTENBERG	182	2	Profil	Gleisabsenkung, Abdichtung	1858	E	Maulprofil	46	Paläozoikum - Grenze zum ostalpinen Mesozoikum, tw. Kristallin	offen
2014	REKAWINKLER	307	2	Profil	Neue Innenschale, Gleisabsenkung kaum möglich - TiT wird geprüft	1885	E	Hufeisen	49	Flyschzone, Deckengrenze zur subalpinen Molasse	2016
1721	ROTHENHOF *)	77	1	Allgemein-zustand		1910	N	Hufeisen	27	Übergang tertiäres Becken zum Paragneis der böhmischen Masse	offen
2057	RUMPLER	53	2	Sicherheitsan-passung, Profil	Gleisabsenkung nach Inbetriebnahme Semmeringbasis-tunnel	1854	E	Maulprofil	51	Ostalpines Paleozoikum, metamorphe Sediment-gesteine	2020
3021	SALZA	296	1	Gewölbezu-stand, Profil		1870	N	Hufeisen	24	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
3061	SARSTEIN	201	1	Gewölbe-zustand		1876	N	Hufeisen	25	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
7611	SCHICHTTURM	132	1	Gewölbe-zustand		1891	N			Paleozoische Sediment-gesteine	offen
3021	SCHÖNAU-FOCKENAUER	224	1	Gewölbe-zustand		1871	N	Hufeisen	27	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
6022	SCHÖNBERG	89	2	Allgemein-zustand	Gleisabsenkung	1867	E			Ostalpines Kristallin, Quarzphyllit, Deckengren-ze zum Paragneis	offen

noch Österreichische Bundesbahnen AG (ÖBB)

Linie (Strecken-nummer)	Name Eisenbahn-Tunnel	Länge [m]	Gleise	Grund der Projektaus-lösung	Geplante Maßnahmen - Anwendungs-möglichkeit für TiT-Methode	Inbe-trieb-nahme	Elek-trisch	Quer-schnitts-form	Minimale Quer-schnitts-fläche [m²]	Geologie Übersicht	Ausfüh-rungs-zeitraum
6022	SCHUPFEN	35	2	Allgemein-zustand	Gleisabsenkung	1867	E			Ostalpines Kristallin, Quarzphyllit, Deckengren-ze zum Paragneis	offen
6022	SCHÜRFES	118	2	Profil	Gleisabsenkung	1867	E	Hufeisen	46	Ostalpines Kristallin, Quarzphyllit, Deckengren-ze zum Paragneis	offen
4017	SCHWARZACHER	190	2	Gewölbezu-stand, Profil	Gleisabsenkung	1870	E	Maulprofil	46	Paleozoische Sedimente, Salzachbruch, teilweise metamorph	offen
3062	SIEGESBACH	224	1	Gewölbezu-stand, Profil		1876	N	Hufeisen	21	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
6022	SONNENBURG	315	2	Profil	Gleisabsenkung	1867	E	nord. Profil	45	Ostalpines Kristallin	offen
3062	SONNSTEIN	1.428	1	Gewölbezu-stand, Profil		1876	N	nord. Profil	24	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
4017	SPRITZBACH	346	1	Gewölbe-zustand		1910	N	Hufeisen	24	Paleozoische Sedimente, Salzachbruch, tw. meta-morph	offen
6022	ST. JODOK	480	2	Profil	Gleisabsenkung	1867	E	Maulprofil	46	Paragneis, Einschluß von permamesozoischen karbonatischen Sediment-gesteinen	offen
6022	STAFFLACHER	283	2	Profil	Gleisabsenkung	1867	E	Maulprofil	45	Penninische Zone, Altkristallin, Alttertiär	offen
3062	STEIN	90	1	Gewölbe-zustand		1876	N	Hufeisen	25	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
2057	STEINBAUER	88	2	Sicherheitsan-passung, Profil	Gleisabsenkung nach Inbetriebnahme Semmeringbasis-tunnel	1854	E	Maulprofil	52	Ostalpines Paleozoikum, metamorphe Sediment-gesteine	2020
8064	TAUERN	8.551	2	Gewölbe-zustand	Instandsetzung Spritzbeton, Bach-überleitung Nord-portal, 2. Röhre oder Rettungsstollen	1909	E	Maulprofil	45	Zentralgneis, paleozoische Sedimente, Hangschutt	wird geprüft
4017	TAXENBACH	277	2	Gewölbezu-stand, Profil		1870	E	Maulprofil	46	Paleozoische Sedimente, Salzachbruch, teilweise metamorph	offen
4017	THUMERSBACHER	380	1	Gewölbe-zustand		1910	N	Maulprofil	24	Paleozoische Sedimente, Salzachbruch, tw. meta-morph	offen
4017	TRATTENBACH	58	1	Gewölbe-zustand		1910	N			Ppaleozoische Sedimente, Salzachbruch, teilweise metamorph	offen

noch Österreichische Bundesbahnen AG (ÖBB)

Linie (Strecken-nummer)	Name Eisenbahn-Tunnel	Länge [m]	Gleise	Grund der Projektaus-lösung	Geplante Maßnahmen - Anwendungs-möglichkeit für TiT-Methode	Inbe-trieb-nahme	Elek-trisch	Quer-schnitts-form	Minimale Quer-schnitts-fläche [m²]	Geologie Übersicht	Ausfüh-rungs-zeitraum
7571	TWIMBERG	255	1	Gewölbe-zustand		1899	N	Maulprofil	22	Ostalpines Kristallin	offen
6022	UNTERBERG	49	2	Allgemein-zustand	Gleisabsenkung	1867	E			Ostalpines Kristallin, Quarzphyllit, Deckengren-ze zum Paragneis	offen
3060	UNTERBURG	185	1	Gewölbezu-stand, Profil		1876	N	nord. Profil	21	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
7061	UNTERER KLAMM	739	1	Gewölbe-zustand		1905	N	Maulprofil	26	Metasedimentgesteine der penninischen Zone, Salzachablagerungen	offen
4017	UNTERSTEIN I (Gleis 1)	464	1	Gewölbe-zustand		1910	N	Maulprofil	24	Paleozoische Sedimente, Salzachbruch, teilweise metamorph, Hangschutt	offen
4017	UNTERSTEIN II (Gleis 2)	851	1	Gewölbe-zustand		1910	N	Maulprofil	23	Paleozoische Sedimente, Salzachbruch, teilweise metamorph, Hangschutt	offen
3201	WAAG	93	1	Gewölbe-zustand		1873	N			Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
2016	WACHBERG I	292	2	Gewölbe-zustand		1858	E	Hufeisen	48	Kiese, Sande, Ton der Molassezone	offen
3021	WANDAU-TUNNEL	104	1	Gewölbe-zustand		1870	N	nord. Profil	24	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
2057	WEBERKOGEL	407	2	Sicherheitsan-passung, Profil	Gleisabsenkung nach Inbetriebnahme Semmeringbasis-tunnel	1854	E	Maulprofil	53	Paleozoische, metamor-phe Sedimentgesteine, Deckengrenze zu permamesozoischen, karbonatischen Sediment-gesteinen	2020
3061	WEHRGRABEN	165	1	Gewölbezu-stand, Profil		1876	N	nord. Profil	22	Kalk, Dolomit, Mergel des Mesozoikums	offen
2057	WEINZETTELFELD	239	2	Sicherheitsan-passung, Profil	Gleisabsenkung nach Inbetriebnahme Semmeringbasis-tunnel	1854	E	Maulprofil	50	Paleozoische, metamor-phe Sedimentgesteine, Deckengrenze zu permamesozoischen, karbonatischen Sediment-gesteinen	2020
2057	WEINZETTELWAND	688	2	Sicherheitsan-passung, Profil	Gleisabsenkung nach Inbetriebnahme Semmeringbasis-tunnel	1854	E	Maulprofil	53	Ostalpines Paleozoikum, metamorphe Sediment-gesteine	2020
1672	WIESENHÖF	1.212	1	Gewölbe-zustand		1910	N	Hufeisen	21	Tertiäre Becken, klastische Sedimente der Molasse-zone	offen

noch Österreichische Bundesbahnen AG (ÖBB)

Linie (Strecken-nummer)	Name Eisenbahn-Tunnel	Länge [m]	Gleise	Grund der Projektaus-lösung	Geplante Maßnahmen - Anwendungs-möglichkeit für TiT-Methode	Inbe-trieb-nahme	Elek-trisch	Quer-schnitts-form	Minimale Quer-schnitts-fläche [m²]	Geologie Übersicht	Ausfüh-rungs-zeitraum
5016	WILDENTOBEL	1.158	1	Gewölbezu-stand, Profil	Neue Spritzbeton-schale, Sohlabsen-kung	1914	E	Hufeisen	27	Kalk, Dolomit, Mergel, tertiärer Hangschutt, teilweise Gips	offen
2057	WOLFSBERG	440	2	Sicherheitsan-passung, Profil	Gleisabsenkung nach Inbetriebnahme Semmeringbasis-tunnel	1854	E	Maulprofil	51	Paleozoische, metamor-phe Sedimentgesteine, Deckengrenze zu permamesozoischen, karbonatischen Sediment-gesteinen	2020

*) Betreiber NÖVOG des Landes Niederösterreich
**) zukünftiger Eigentümer Land Oberösterreich

Quelle: ÖBB

7.4 Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB)

J. D. Chabot, G. Pagliari

Geplante Tunnelsanierungen von 2011 bis 2021

Tunnelname	Lage des Tunnels Strecke	Linie	Länge [m]	Gleise/ Quer-schnitt*	Inbe-trieb-nahme	Geologie	Bauweise	Eignung TIT?	vorgese-hene Um-setzung	Maßnahmen-beschreibung/ Bemerkungen
Bertholod	Lausanne - Vevey	100	136	2	1861	Molasse/ Sandstein	geschlossen (bergmännisch)		2016	Gewölbeinstandsetzung, Gleisabsenkung
Crêtes (Burier)	Vevey - Martigny	100	302	2	1880	Molasse/ Sandstein	geschlossen (bergmännisch)		2015	Gewölbeinstandsetzung, Gleisabsenkung
Sierre	Martigny - Brig	100	300	2	1877	Locker-gestein	geschlossen (bergmännisch)		2012 bis 16	Neubau, optimierte Linienfüh-rung, Verfüllung alter Tunnel
Simplon I+II (2 parallele Tunnel)	Brig - Iselle - Domodossola	100	2 x 19.801	1+1	1906/1922	Kalke/Gneis/ Anhydrit (L = 150 m)	geschlossen (bergmännisch)		2012 bis 14	Gleisabsenkung 2 x 600 m, Entwässerung 11 km, Kabelrohrblock 2 x 19,8 km, Sicherheitsnachrüstung
St.-Maurice	Vevey - Martigny	100	490	2	1859	Kalke/Locker-gestein	geschlossen (bergmännisch)		2013	Neues Gewölbe, Aufweitung auf EBV3/4-Profil
Epoisats (Mont d'Orzeires)	Le Day - Le Pont	201	454	1	1886	Kalke/Mergel	geschlossen (bergmännisch)		2016	Gewölbeinstandsetzung, leichte Aufweitung
Gibet	Neuchâtel - La Chaux-de-Fonds	223	678	1	1859	Kalke/Mergel	geschlossen (bergmännisch)		2016	Gewölbeinstandsetzung, leichte Aufweitung
La Luche	Neuchâtel - La Chaux-de-Fonds	223	116	1+FW	1859	Kalke/Mergel	geschlossen (bergmännisch)		2018	zweigleisiger Tunnel mit 1 Gleis
La Sauge	Neuchâtel - La Chaux-de-Fonds	223	117	1+FW	1859	Kalke/Mergel	geschlossen (bergmännisch)		2018	zweigleisiger Tunnel mit 1 Gleis
Col-des-Roches	La Chaux-de-Fonds - Le Locle	224	315	1	1884	Kalke/Mergel	geschlossen (bergmännisch)		2019	Gewölbeinstandsetzung, leichte Aufweitung
Combes Convers	La Chaux-de-Fonds - Biel	224	254	1	1858	Malmkalk	geschlossen (bergmännisch)		2015	Gewölbeinstandsetzung, leichte Aufweitung
Des Loges	Neuchâtel - La Chaux-de-Fonds	224	3.260	1	1860	Malmkalk/ Mergel	geschlossen (bergmännisch)		2016	Gewölbeinstandsetzung, leich-te Aufweitung, Sicherheits-nachrüstung
Mont Sagne	Neuchâtel - La Chaux-de-Fonds	224	1.356	1	1859	Malmkalk/ Mergel	geschlossen (bergmännisch)		2016	Gewölbeinstandsetzung, leichte Aufweitung
Angenstein	Basel - Delémont	230	65	1	1875	Malmkalk/ Mergel	geschlossen (bergmännisch)		2016	Gewölbeinstandsetzung
Bärschwil	Basel - Delémont	230	116	1	1875	Malmkalk/ Mergel	geschlossen (bergmännisch)		2013	Gewölbeinstandsetzung, Gleisabsenkung
Liesberg	Basel - Delémont	230	185	1	1875	Malmkalk/ Mergel	geschlossen (bergmännisch)		2013	Gewölbeinstandsetzung, Gleisabsenkung
Moutier 1 bis 9 (insgesamt 9 Tunnel)	Delémont - Biel	230	230	1	1876	Kalke	geschlossen (bergmännisch)		2017	Gewölbeinstandsetzung, 9 Tunnel, L = 6,8 bis 59 m
Wolf	Basel - Delémont	230	212	2	1913	Schüttung	offen		2013	Gewölbeinstandsetzung
Villangeaux	Lausanne - Payerne	251	424	1	1876	Molasse/ Sandstein	geschlossen (bergmännisch)		2016	Gewölbeinstandsetzung
Burgdorfer	Olten - Bern Stamm-linie	450	510	2	1857	Sandsteine	geschlossen (bergmännisch)	x ? möglich	2013	Gewölbeinstandsetzung, > 2019 auch Sohlsanierung
Wiggen – Wolhusen (insgesamt 6 Tunnel)	Bern - Luzern	460	397	1	1875	Molasse	geschlossen (bergmännisch)		2012	Gewölbeinstandsetzung, 6 Tunnel, L = 48 bis 67 m

noch Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB)

Tunnelname	Lage des Tunnels Strecke	Linie	Länge [m]	Gleise/ Quer-schnitt*	Inbe-trieb-nahme	Geologie	Bauweise	Eignung TIT?	vorgese-hene Um-setzung	Maßnahmen-beschreibung/ Bemerkungen
Aarburger	Olten - Luzern	500	87	2	1856	Molasse/ Kalke	geschlossen (bergmännisch)		2014	Gewölbeinstandsetzung
Hauenstein Basis	Basel - Olten	500	8.135	2	1916	Kalke/Mer-gel/Anhydrit	geschlossen (bergmännisch)		2017	Gewölbeinstandsetzung, Druckzonen im Anhydrit
Kannenfeld	Basel - Mulhouse	510	1.001	2	1901	Schüttung/ Sandstein	geschlossen (bergmännisch)		2011	Gewölbeinstandsetzung, Sicherheitsnachrüstung, leichte Gleisabsenkung
Schützenmatt	Basel - Mulhouse	510	286	2	1901	Schüttung	offen		2011	Gewölbeinstandsetzung, leichte Gleisabsenkung
Bristen	Erstfeld - Göschenen	600	710	2	1882	Granit	geschlossen (bergmännisch)		2018	Gewölbeinstandsetzung, lokales Schrämen
Coldrerio	Lugano - Chiasso	600	96	1	1874	Gneise/Kalke	geschlossen (bergmännisch)		2011 bis 12	Gewölbeinstandsetzung, Sohl-erneuerung, Gleisabsenkung
Costa + Precassino	Bellinzona - Lugano	600	710	1	1934	Gneise	geschlossen (bergmännisch)			Gewölbeinstandsetzung, evtl. Gleisabsenkung
Crocetto, Giustizia	Airolo - Bellinzona	600	339	2	1874	Gneise	geschlossen (bergmännisch)		2014 bis 16	Gewölbeinstansetzung, Sohlerneuerung, Aufweitung auf EBV 3
Gotthard-Tunnel	Flüelen - Bellinzona	600	15.195	2	1882	Granite/ Gneise/ Tertiär	geschlossen (bergmännisch)		> 2019	Gewölbeinstandsetzung, lo-kales Schrämen, (Haupttunnel 15.003 m)
La Lume + Piano-tondo	Airolo - Bellinzona	600	1.509	2	1882	Gneise	geschlossen (bergmännisch)		2021	Gewölbeinstandsetzung
Leggistein	Erstfeld - Göschenen	600	1.090	2	1882	Granite	geschlossen (bergmännisch)		2020	Gewölbeinstandsetzung, z.T. unverkleidet
Pfaffensprung	Erstfeld - Göschenen	600	1.475	2	1882	Granit/ Gneise	geschlossen (bergmännisch)		2020	Gewölbeinstandsetzung
Rindelfluh (Gleis 100 + G 200)	Rotkreuz - Arth-Goldau	600	2 x 200	1+1	1882/1904	Molasse	geschlossen (bergmännisch)		2014	Gewölbesanierung, Hohlräu-me von Bergsturz 1806
Stalvedro	Airolo - Bellinzona	600	194	2	1882	Gneise	geschlossen (bergmännisch)		2021	Gewölbeinstandsetzung
Svitto + Dragonato	Bellinzona - Lugano	600	321	2	1874	Kalke	geschlossen (bergmännisch)		2018	Gewölbeinstands., Gleis-absenkung evtl. Paralleltunnel
Travi	Airolo - Bellinzona	600	1.548	2	1882	Kalke	geschlossen (bergmännisch)		2021	Gewölbeinstandsetzung
Zug Süd - Goldau, (insgesamt 8 Tunnel)	Zug - Ath-Goldau	665	1.124	1	1896	Molasse	geschlossen (bergmännisch)		2018	8 Tunnel; L = 38 bis 585 m
Villnachern	Basel - Baden	700	185	2	1875	Kalke/Sand-steine	geschlossen (bergmännisch)	x?		Gewölbeinstandsetzung, Gleisabsenkung
Landikon	Zürich - Urdorf - Zug	711	482	1	1864	Sandstein	geschlossen (bergmännisch)		2012	Gewölbeinstandsetzung, 15 cm Spritzbeton, Verstär-kungen, Gleisabsenkung, Stromschiene
Schloss Laufen	Schaffhausen - Eglisau	762	66	1	1857	Kalke	geschlossen (bergmännisch)		2012	Gewölbeinstandsetzung, Einbau Verkleidung, Entwässe-rung (bisher unverkleidet)

noch Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB)

Tunnelname	Lage des Tunnels Strecke	Linie	Länge [m]	Gleise/ Quer-schnitt*	Inbe-trieb-nahme	Geologie	Bauweise	Eignung TIT?	vorgese-hene Um-setzung	Maßnahmen-beschreibung/ Bemerkungen
Ricken	St. Gallen - Rapperswil	853	8.604	1	1910	Sandstein/ Molasse	geschlossen (bergmännisch)		2015	Sohlerneuerung auf 1,2 km, Entwässerung
Rosenberg	St- Gallen - St. Margarethen	880	1.466	2	1912	Sandstein	geschlossen (bergmännisch)		2016	Sanierung Portaldecke, Nach-rüstung Kabelrohrblock
Bommerstein	Ziegelbrücke - Sargans	890	454	1	1941	Kalke/ Molasse	geschlossen (bergmännisch)		2017	Gewölbeinstandsetzung, Gleisabsenkung, leichte Auf-weitung im Widerlagerbereich
Kerenzerberg	Ziegelbrücke - Sargans	890	3.955	2	1961	Kalke/ Molasse	geschlossen (bergmännisch)	gering	2016	Leichte Gewölbeinstand-setzung
Tunnel Nord-Süd Korridor Aufweitung auf 4,0 m Eckhöhe - zur Zeit in Studie										
Axenberg	Brunnen - Flüelen	600	1.128	1	1880	Malmkalke	geschlossen (bergmännisch)	x?	bis ca. 2020	Aufweitung auf EBV3-Profil
Morschachtunnel	Brunnen - Flüelen	600	1.003	2 (1+1)	1880/1947	Kalke	geschlossen (bergmännisch)	x	bis ca. 2020	Aufweitung auf EBV3-Profil
Stutzeck	Brunnen - Flüelen	600	988	1	1880	Kalke	geschlossen (bergmännisch)	x?	bis ca. 2020	Aufweitung auf EBV3-Profil
Stutzeck	Brunnen - Flüelen	600	128	1	1880	Kalke	geschlossen (bergmännisch)	x?	bis ca. 2020	Aufweitung auf EBV3-Profil
Tellsplatte	Brunnen - Flüelen	600	171	1	1880	Kalke	geschlossen (bergmännisch)	x?	bis ca. 2020	Aufweitung auf EBV3-Profil
Bözberg	Basel - Baden	700	2.400	2	1875	Kalke/Mergel	geschlossen (bergmännisch)	x?	offen	Evtl. Paralleltunnel und/oder umfassende Gewölbeinstand-setzung, Entwässerung

Bemerkung:
- alle Tunnel elektrifiziert
- alle Tunnel Hufeisenprofil außer Tunnel Schloss Laufen + Rindelfluh, Leggistein, Naxberg: Teilweise/ganz unverkleidet

Quelle: SBB

8 Anhänge

8.1 Abkürzungen ... 107
8.2 Literaturhinweise ... 112
8.2.1 Zu Kapitel 1: Einführung und Zielsetzung ... 112
8.2.2 Zu Kapitel 2: Rahmenbedingungen aus Sicht des Betreibers ... 112
8.2.3 Zu Kapitel 3: Planungsgrundsätze zur Regelung der Schnittstelle zwischen Bauherrn und Planer ... 113
8.2.3.1 DB ... 113
8.2.3.2 ÖBB ... 113
8.2.3.3 SBB ... 113
8.2.4 Zu Kapitel 4: Handlungshilfen für Planung und Ausschreibung ... 113
8.2.5 Zu Kapitel 5: Bauverfahren und -methoden sowie Erfahrungen und Projektbeispiele zur Sanierung und Erneuerung von Eisenbahntunneln ... 113
8.2.6 Zu Kapitel 6: Entwicklung von technischen Ansätzen geeigneter Verfahren zur Sanierung und Erneuerung von Eisenbahntunneln ... 114
8.2.7 Zu Kapitel 7: Zukünftiger Sanierungs- und Erneuerungsbedarf ... 114
8.2.8 Zu Kapitel 8: Anhänge ... 114
8.3 Referenzprojekte, Projektsteckbriefe ... 115
8.3.1 Alter Buschtunnel (D) ... 115
8.3.2 Büdesheimer (D) ... 116
8.3.3 Ennericher (D) ... 117
8.3.4 Gummambs (D) ... 118
8.3.5 Jähroder/Mausenmühlen (D) ... 119
8.3.6 Klein-Winternheimer (D) ... 120
8.3.7 Nittel (D) ... 121
8.3.8 Weinsberger (D) ... 122
8.3.9 Arlberg (A) ... 123
8.3.10 Tauerntunnel (A) ... 124
8.3.11 Axentunnel (CH) ... 125
8.3.12 Grenchenberg (CH) ... 126
8.3.13 Hauenstein-Basistunnel (CH) ... 127
8.3.14 Zimmeregg (CH) ... 128

8.1 Abkürzungen

Begriff		Bahn–Gesellschaft		
		DB	ÖBB	SBB
A	AA	Arbeitsanweisung		
	AB–EBV	–	–	Ausführungsbestimmungen zur EBV
	ABW	–	Außenbogenweiche	
	AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz	–	–
	AG	Auftraggeber		
	AGB	Allgemeine Geschäftsbedingungen		
	AK	Arbeitskreis		
	AN	Auftragnehmer		
	ASchG	ArbeitnehmerInnenschutzgesetz		
	ASI		Austrian Standards Institute	
	ASTRA	–	–	Bundesamt für Strassen
	AVB	Allgemeine Vertragsbedingungen		
	AWS	–	Automatisches Rottenwarnsystem	–
	OD	Outside Diameter – Außendurchmesser		
B	BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen	–	–
	BauKG	–	Bauarbeitenkoordinationsgesetz	–
	BauV	–	Bauarbeiterschutzverordnung	–
	BAV	–	–	Bundesamt für Verkehr, Bern
	Betra	Betriebs– und Bauanweisung		–
	Betra SYS	–	Bau– und Betriebsplanung (Software)	–
C	CEN	Europäisches Komitee für Normung – European Committee for Standardization		
	CENELEC	Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung – European Committee for Electrotechnical Standardization		
	CFF	Chemins de fer fédéraux suisses (SBB)		
D	DAUB	Deutscher Ausschuss für Unterirdisches Bauen e.V., Köln	–	–
	DB	–	Dienstbehelf	–
	DB AG	Deutsche Bahn AG		
	DBPB	Deutsche Bahn ProjektBau GmbH		
	DEP.VO	–	Deponieverordnung	–
	DEM	Distinct Element Method		
	DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.	–	–
	DKW	–	Doppelte Kreuzungsweiche	
	DN	Diameter Nominal – Nenndurchmesser		
	DV	–	Dienstvorschrift	

Begriff		Bahn–Gesellschaft		
		DB	ÖBB	SBB
E	EBA	Eisenbahn–Bundesamt, Bonn	–	–
	EBC EB–Cert	Anerkannte Stelle zur Zertifizierung von Bahnsystemen und Komponenten (TSI)	–	–
	EBO	Eisenbahn Bau– und Betriebsordnung	–	–
	EBG	–	–	Eisenbahngesetz
	EBV	–	–	Eisenbahnverordnung
	EisbAV	–	Eisenbahn–ArbeitnehmerInnenschutz–verordnung	–
	EisbG	–	Eisenbahngesetz	–
	EK	–	Eisenbahnkreuzung	–
	EKrG	Eisenbahnkreuzungsgesetz	–	–
	EKSA	–	Eisenbahnkreuzungs–Sicherungsanlage	–
	EKVO	–	Eisenbahnkreuzungsverordnung	–
	EKW	–	Einfache Kreuzungsweiche	–
	EN	Europäische Normen		
	ERL	–	Erweiterter Regellichtraum	–
	ESTW	Elektronisches Stellwerk		
	ETCS	European Train Control System		
	ETCS2	European Train Control System – Level 2		
	EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen		
	EW	–	Einfache Weiche	–
	EVzG	–	Elektronisches Verzeichnis über örtlich zulässige Geschwindigkeiten	–
F	FEM	Finite Element Methode		
	FF	–	Feste Fahrbahn	
	FFB	Feste Fahrbahn	–	–
	FFH	Fauna Flora Habitat		
	FFS	Ferrovie Federali Svizzere (SBB)		
	FL	Fahrleitung	–	Fahrleitung
	FL–Tragwerk	Fahrleitungs–Tragwerk	–	–
	FSS	–	Frostschutzschicht	–
	FSV	–	Österreichische Forschungsgesellschaft Straße und Verkehr	–
	FW	–	Fahrweg	
G	gbm	gbm Gesellschaft für Baugeologie und –meßtechnik mbH Baugrundinstitut, Ettlingen (D)		
	GSA	–	Gewässerschutzanlage	–
	GSch	–	–	Gewässerschutzverordnung
	GSM–R GSM–Rail	Global System for Mobil Communications – Rail(way)		
	GTA	GTA Maschinensysteme GmbH, Hamminkeln (D)		
	GTP	–	Gleistragplatte	–
	GUV	Vorschriften der gesetzlichen Unfallversicherung	–	–
	GWSO	–	–	Grundwasserschutzordnung

Begriff		Bahn–Gesellschaft		
		DB	ÖBB	SBB
H	HGT	Hydraulisch gebundene Tragschicht		
	HMT	–	–	Heissmischtragschicht (Sperrschicht)
I	IB	–	Inbetriebnahme	–
	IBE	–	Infrastrukturbenützungsentgelt	–
	IBN	Inbetriebnahme	–	Inbetriebnahme
	IBW	–	Innenbogenweiche	
	INDUSI	Induktive Zugsicherung		
	ISO	International Organization for Standardization (CH)		
J	JOS Verfahren	Niederdruck–Rotationswirbel–Reinigungsverfahren		
K	KDB	Kunststoffdichtungsbahn		
	KOM	–	–	Kommentar/Erläuterung zu den Ausführungsbestimmungen einer Verordnung
	KS	Kontrollschacht (Entwässerung)		
	KSW	–	Kleinstellwerk	–
L	LA	Langsamfahrstelle		–
	LB	Leistungsbeschreibung		
	LBP	Landschaftspflegerischer Begleitplan	–	Landschaftspflegerischer Begleitplan
	LCC	Life Cycle Cost		
	LDB	–	Links der Bahn	
	LRP	–	Lichtraumprofil	
	LS	–	Leit– und Sicherungstechnik	–
	Lst	Leit– und Sicherungstechnik	–	–
	LÜ	Lademaßüberschreitung		–
	LV	Leistungsverzeichnis		
	LZB	Linienzugbeeinflussung		–
M	MFS	Masse–Feder–System		
	MKF	–	Mehr–Minderkostenforderung	–
N	NATM	New Austrian Tunnelling Method		
	NBA	–	–	Notbremsanforderung
	NBS	Neubaustrecke		
	NBÜ	Notbremsüberbrückung		–
	NHS	–	–	Nothaltestelle in Tunneln
	NÖT	Neue Österreichische Tunnelbaumethode		
O	OB	–	Oberbau	
	ÖBB	Österreichische Bundesbahnen AG, Wien (A)		
	ÖGG	–	Österreichische Gesellschaft für Geomechanik	–
	OL	–	Oberleitung	–
	ON	–	Österreichisches Normungsinstitut – nun – Austrian Standards Institute (ASI)	–
	ÖNORM	–	Österreichische Norm	–
	ÖNORM EN	–	Österreichische Norm – übernommene Europäische Norm	–
	ÖVBB	–	Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik	–

Begriff		Bahn–Gesellschaft		
		DB	ÖBB	SBB
P	PFV	Planfeststellungsverfahren	–	–
	PP	–	Preisperiode	–
	PPP	Public–Private–Partnership Finanzierung		
	PSS	Planumsschutzschicht		
	PGV	–	–	Plangenehmigungsverfahren
	PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung		–
Q	QM	Qualitätsmanagement		
R	RADN	–	–	Streckentabellen für die CH Zugreihen R,A,D und N
	RBBP	–	Regionale Baubetriebsplanung	–
	RdB	–	Rechts der Bahn	
	R.E.M.	–	Rail Emergency Management	–
	RIA	–	Regionaler Instandhaltungsausschuss	–
	Ril	Richtlinie	–	–
	RL/Rili	–	Richtlinie	
	RLS	–	Regionale Leitstelle	–
	ROTEC Verfahren	Niederdruck–Rotationswirbel–Reinigungsverfahren		
	RTE	–	–	Regelwerk Technik Eisenbahn
	RZÜ	–	Rechnergesteuerte Zugüberwachung	–
	RVE	–	Richtlinien und Vorschriften für das Eisenbahnwesen	–
	RVS	–	Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen	–
S	SAS	–	Schaltantragsteller	–
	SBB	Schweizerische Bundesbahnen AG, Bern (CH)		
	SFK	–	Sicherheitsfachkraft	–
	SIA	–	–	Schweizerischer Ingenieur– und Architektenverein
	SiCo	–	–	Sicherheits– und Gesundheitsschutzcoach
	SiGeKo	Sicherheits– und Gesundheitsschutz–koordinator	–	–
	SiWä	–	–	Sicherheitswärter
	Skl	Schwerkleinwagen – z.B. Baufahrzeug		–
	sMFS	–	Schweres Masse–Feder–System	–
	SN	–	–	Schweizer Norm
	SNV	–	–	Schweizerische Normen–Vereinigung
	SO	Schienenoberkante	–	–
	SOK	Schienenoberkante		
	STUVA	Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V., Köln (D)		
	SUVA	–	–	Schweizerische Unfallversicherungs-anstalt
	SuvaPro	–	–	ein Produkt der „SUVA“ betreffend Arbeitssicherheit
	SUZ	–	Schnellumbauzug	–
	SwO	Schwellenoberkante	–	–
	SWOK (SchWOK)		Schwellenoberkante	
	SwU	Schwellenunterkante	–	–
	SWUK	–	Schwellenunterkante	–

Begriff		Bahn–Gesellschaft		
		DB	ÖBB	SBB
T	TBM	Tunnelbohrmaschine		
	TiT	Tunnel–in–Tunnel Methode		
	TK	–	T–KOM Services	–
	TSI Teilsysteme für High–Speed Rail (HS) und Conventional Rail System (CR)	TSI – Technische Spezifikation für die Interoperabilität * Energie (energy) – ENE * Fahrzeuge (rolling stock) – RST * Fahrzeuge – Lärm (rolling stock–noise) – NOI * Fahrzeuge – Güterwagen (rolling stock–freight wagons) – WAG * Infrastruktur (infrastructure) – INS * Instandhaltung (maintenance) – MAI * Eingeschränkt mobile Menschen (persons with reduced mobility) – PRM * Telematikanwendungen für den Güterverkehr (rolling stock–telematic applications for freight) – TAF * Telematikanwendungen für den Personenverkehr (telematic applications for passengers) – TAP * Tunnelsicherheit (safety in railway tunnels) – SRT * Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung (operation) – OPE * Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung (control–command and signalling) – CCS		
	TSV	–	Tunnelbautechnischer Sachverständiger	–
	TUSI	–	Tunnelsicherheit	
	TVA	–	–	Technische Verordnung über Abfälle
	TVM	Tunnelvortriebsmaschine		
	TW	–	–	Tragwerk – z.B. Fahrleitungs–TW/ Stromschienen–TW/….
U	UfW	–	Umformerwerk	–
	UIC	Union Internationale des Chemins de fer		
	UIG	Unternehmensinterne Genehmigung	–	–
	U–K	–	Umweltkoordinator	–
	USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung		
	UVE	–	Umweltverträglichkeitserklärung	–
	UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung		
	UW	Unterwerk		
V	VAI	–	Verkehrsarbeitsinspektorat	–
	VIBÖ	–	Vereinigung Industrieller Bauunternehmungen Österreichs	–
	VÖV (UTP)	–	–	Verband öffentlicher Verkehr
	VSS	–	–	Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute
	VzG	Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten		–
W	WDB			Wasserdichter Beton (Bauweise)
	WDI	–	Wasserundurchlässige Innenschale	–
	WRG	–	Wasserrechtsgesetz	
	WUB	Wasserundurchlässiger Beton	–	–

Begriff		Bahn–Gesellschaft		
		DB	ÖBB	SBB
Z	ZBBP	–	Zentrale Baubetriebsplanung	–
	ZEB	Zeitweise eingleisiger Betrieb	Zukünftige Entwicklung der Bahninfrastruktur	–
	ZIE	Zustimmung im Einzelfall	–	–
	ZKE	–	–	Zugkontrolleinrichtung
	ZOV	–	Zusatzbestimmungen zu den Oberbauvorschriften	–
	ZUB	Zugbeeinflussung	–	Zugbeeinflussung
–	§31a §34b §40Pers	–	gem. Eisenbahngesetz 2006 * § 31a Gutachten * § 34b Gutachten * § 40 Person * ……	–

8.2 Literaturhinweise

Die nachstehenden Literaturstellen sind mit ihrer ersten Kennziffer dem jeweils zugehörigen Kapitel zugeordnet. Die folgenden Kennziffern dienen der Zählung.

8.2.1 Zu Kapitel 1: Einführung und Zielsetzung

[1.1] Siedentop, I.: Tunnel in Deutschland; Orell Füssli Verlag, Zürich 1980

[1.2] Haack, A.: Tunnelbau in Deutschland: Statistik (2009/20010), Analyse und Ausblick; Tunnel 29 (2010) 8, S. 14–24

[1.3] Haack, A.: Statistik, Analyse und Ausblick in „Unterirdisches Bauen Deutschland 2010"; Bauverlag, Gütersloh Dezember 2009; herausgegeben von STUVA und DAUB, Köln, zur STUVA-Tagung 2009 in Hamburg; S. 87–93

[1.4] Breidenstein, M.: Neues Tunnelbauverfahren zur Streckenmodernisierung unter laufendem Betrieb; Tunnel 26 (2007) 2, S. 20–30

[1.5] Saelhoff, G.: Stand der Technik beim Einsatz von Tunnelaufweitungsmaschinen; Sonderausgabe der Zeitschrift tunnel zur IUT '11, S. 41–47

[1.6] TUNCONSTRUCT – Technology Innovation in Underground Construction; Forschungsprojekt im 6. Europäischen Forschungsrahmenprogramm;[1]

[1.7] Haack, A.: Zukunftsweisende Entwicklungen bei Bau und Betrieb von Tunneln; Tunnel 26 (2007) 8, S. 12–22; ähnlich lautend auch in: Tiefbau 120 (2008) 4, S. 224–230, Fachzeitschrift der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft Prävention

8.2.2 Zu Kapitel 2: Rahmenbedingungen aus Sicht des Betreibers

[2.1] Technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Infrastruktur" des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems

[2.2] EN 13803-2, Bahnanwendungen – Oberbau – Linienführung in Gleisen – Spurweiten 1.435 mm und größer – Teil 2: Weichen und Kreuzungen sowie vergleichbare Trassierungselemente mit unvermitteltem Krümmungswechsel

[2.3] EN 15273-1, Bahnanwendungen – Begrenzungslinien – Teil 1: Allgemeines – Gemeinsame Vorschriften für Infrastruktur und Fahrzeuge

[2.4] EN 15273-2, Bahnanwendungen – Begrenzungslinien – Teil 2: Fahrzeugumgrenzungslinien

[2.5] EN 15273-3, Bahnanwendungen – Begrenzungslinien – Teil 3: Lichtraumprofile

[2.6] 505-1 Kinematische Begrenzungslinie für die im internationalen Verkehr eingesetzten Triebfahrzeuge

[2.7] 505-2 Kinematische Begrenzungslinie für die im internationalen Verkehr eingesetzten Reisezug- und Gepäckwagen

[2.8] 505-3 Kinematische Begrenzungslinie für die im internationalen Verkehr eingesetzten Güterwagen

[2.9] 505-4 Auswirkungen der Anwendung der kinematischen Begrenzungslinien nach den UIC-Merkblättern 505 auf den Abstand fester Gegenstände vom Gleis und auf den Gleisabstand

[2.10] 505-5 Gemeinsame Grundbedingungen für die Merkblätter 505-1 bis 505-4 – Kommentar über die Ausarbeitung und die Vorschriften dieser Merkblätter

[2.11] UIC 606-1:1989, Gestaltung des Oberleitungssystems unter Berücksichtigung der Auswirkungen der Kinematik der Fahrzeuge nach den UIC-Merkblättern der Reihe 505

[2.12] EN 13232-1, Bahnanwendungen – Oberbau – Weichen und Kreuzungen – Teil 1: Definitionen

[2.13] ENV 13803-1, Bahnanwendungen – Oberbau – Linienführung in Gleisen – Spurweiten 1.435 mm und größer – Teil 1: Durchgehendes Hauptgleis

[2.14] EBO Eisenbahn Bau- und Betriebsordnung vom 8. Mai 1967
[2.15] DB-Richtlinien 853.9001, Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten; Richtzeichnungen Tunnel
[2.16] ZOV 7 Zusatzbestimmungen zu den Oberbauvorschriften
[2.17] AB EBV Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung, Ausgabe 1.7.2010
[2.18] Regelwerk Technik Eisenbahn RTE 20012, Lichtraumprofil Normal- und Meterspur
[2.19] VEAB Verordnung über elektrische Anlagen von Bahnen
[2.20] AB VEAB Ausführungsbestimmungen zur Verordnung über elektrische Anlagen von Bahnen

8.2.3 Zu Kapitel 3: Planungsgrundsätze zur Regelung der Schnittstelle zwischen Bauherrn und Planer

8.2.3.1 DB

[3.1] Ril 406 Fahren und Bauen
[3.2] Ril 800 Netzinfrastruktur Technik entwerfen
[3.3] DS 80001 Vorschrift für das Entwerfen von Bahnanlagen – Allgemeine Entwurfsgrundlagen – (VEB 1)
[3.4] Ril 823 Oberbauarbeiten planen
[3.5] Ril 824 Oberbauarbeiten durchführen
[3.6] Ril 825 Baumaschinen einsetzen
[3.7] Ril 836 Erdbauwerke planen, bauen und Instand halten
[3.8] Ril 853 Eisenbahntunnel planen, bauen und instandhalten
[3.9] VV BAU Verwaltungsvorschrift über die Bauaufsicht im Ingenieurbau, Oberbau und Hochbau sowie maschinentechnische Anlagen
[3.10] VV BAU-STE Verwaltungsvorschrift für die Bauaufsicht über Signal-, Telekommunikations- und Elektrotechnische Anlagen
[3.11] Leitfaden EBA Leitfaden für den Brandschutz in Personenverkehrsanlagen der Eisenbahnen des Bundes
[3.12] ELTB Eisenbahnspezifische Liste Technischer Baubestimmungen
[3.13] ZTV Ing Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien Ingenieurbauten
[3.14] GUV-V D33 Arbeiten im Bereich von Gleisen
[3.15] GUV-R 2150 Sicherungsmaßnahmen bei Arbeiten im Gleisbereich von Eisenbahnen
[3.16] Ril 132.0118 Grundsätze der Gesundheitsförderung, des Arbeitsschutzes und der Unfallverhütung; Arbeiten im Gleisbereich
[3.17] Ril 132.0123 Arbeiten an oder in der Nähe von elektrischen Anlagen und an Betriebsmitteln

8.2.3.2 ÖBB

[3.18] HL-AG, ÖBB, BEG, Richtlinien für das Entwerfen von Bahnanlagen HOCHLEISTUNGSSTRECKEN, Wien, im Mai 2002, Anlage 3 – Tunnel- und Wannenquerschnitte, Anlage 4 – Baulicher Brandschutz in unterirdischen Verkehrsbauten von Eisenbahn-Hochleistungsstrecken, Dezember 2002, interne Richtlinie, unveröffentlicht
[3.19] Österr. Forschungsges. Straße-Schiene-Verkehr, RVS 09,01 bis 04 Tunnelbau/Tunnelausrüstung/Sicherheit/Erhaltung und Betrieb, Wien, zwischen November 1977 und November 2010
[3.20] ÖBB, GB Fahrweg-Technik, B 50 – Teil 2, Oberbau – Technische Grundsätze/Linienführung von Gleisen , Wien, 1. Dez. 2004, Dienstvorschrift
[3.21] ÖBB Infrastruktur, Dienstbehelf IS 2, Instandhaltungsplan, Teil 2: Konstruktiver Ingenieurbau, Wien 1. Januar 2009

8.2.3.3 SBB

[3.22] Norm SIA 197 Projektierung Tunnel, Grundlagen, Ausgabe 2004
[3.23] Norm SIA 197/1 Projektierung Tunnel, Bahntunnel, Ausgabe 2004
[3.24] Norm SIA 260 Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, Ausgabe 2003
[3.25] Norm SIA 272 Abdichtungen und Entwässerungen von Bauten unter Terrain und im Untertagbau, Ausgabe 2009
[3.26] Leistungsmodell SIA 112, Ausgabe 2001
[3.27] AQV 122.1: Ausführungs- und Qualitätsvorschriften Tunnelentwässerung, Ausgabe April 2011
[3.28] AQV 125.1: Ausführungs- und Qualitätsvorschriften Tunnelabdichtung, Ausgabe April 2011
[3.29] R 20036: Reglement SBB Selbstrettungsmaßnahmen in Tunnel, – Infrastrukturmaßnahmen zur Erleichterung der Selbstrettung in Tunnel, Ausgabe August 2011

8.2.4 Zu Kapitel 4: Handlungshilfen für Planung und Ausschreibung

[4.1] DAUB-Empfehlungen: Empfehlungen des Deutschen Ausschusses für Unterirdisches Bauen e. V. (DAUB) zu Planung von Tunnelbauwerken; J. Naumann und Dr. G. Brem; STUVA-Tagung 2003 in Dortmund
[4.2] DIN 4020: Deutsche Norm, Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke, Sept. 2003
[4.3] DIN 18312: Deutsche Norm Untertagebauarbeiten
[4.4] UIC-Katalog von Schäden und ihren Ursachen: INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS/UNION INTERNATIONALE DES CHEMIN DE FER – Paris, Working Group „Tunnelmaintenance", erstellt durch gbm im Mai 2003
[4.5] RiL 853, März 2011: Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten – Richtlinie der DB AG
[4.6] ÖBB Infrastruktur – Managementsystem, Qualitätsmanagement, 6,02,03-01 bis 04 Planungsumfang, Umweltrechtliches Prüfverfahren, allgemeine Behördenverfahren, Eisenbahnbaurecht, Wien, 2010/2011, interne Richtlinie

8.2.5 Zu Kapitel 5: Bauverfahren und -methoden sowie Erfahrungen und Projektbeispiele zur Sanierung und Erneuerung von Eisenbahntunneln

[5.1] Projektblatt Amberg Engineering „Erneuerungsarbeiten im Tunnel Stutzeck-Axenberg" – Willi Schmidlin, SBB AG I-PM-LZ-GF/Marc Hohermuth, Amberg Engineering AG.[2]

[5.2] Produktbroschüre – Ballast-Lademaschine ITC 312 VLII, Inter Techno Commerce SA[3]
[5.3] Produktbroschüre – Die Neue Umbaulösung im Gleisbau – Das System Vanoliner, Vanoli Gleisbau.[4]
[5.4] Projektbeschreibung Alter Loreley & Alter Rossstein Tunnel, gbm, Limburg
[5.5] Projektbeschreibung Alter Buschtunnel, gbm,Limburg
[5.6] Programme and Risk Management in Tunnel Refurbishment, Tunnels Management Supplier Conference – Douglas Madson, Network Rail – Parsons Brinckerhoff Ltd.[5]
[5.7] Problematiken bei der Erneuerung von Tunneln im Bestandsnetz der DB AG, Stefan Simon, Eisenbahningenieur 6/2004
[5.8] Vortrag Schadensbewertung und Erneuerung von alten Tunneln der DB, Bodo Tauch – DB AG; IQPC Tunnelsanierung und Nachrüstung 2010
[5.9] Maschinensysteme zur Tunnelsanierung, Helmut Heisterkamp, GTA Maschinensysteme GmbH; Vortrag zu IQPC Konferenz: Tunnelsanierung und Nachrüstung 2010
[5.10] Projektbeschreibung zur Sanierung Tunnel Gummambs, Krebs und Kiefer,[6]
[5.11] Projektbeschreibung Berghautunnel, gbm, Limburg
[5.12] Die Sanierung des Hauenstein-Basistunnels, Alfred Etterlin, Schweizer Eisenbahn-Revue 5/1985
[5.13] Instandsetzung des Klein-Winternheimer Tunnels – Bautechnik 72 (1995), Andreas Rustemeier DB AG/Dr. Wolfgang Berwanger BPI – Büro für Planung und Ingenieurtechnik
[5.14] Sanierung und Sicherheitstechnische Nachrüstung des Arlberg-Eisenbahntunnels, Vortrag der ÖBB im Rahmen des Arbeitskreises
[5.15] Umbau Arlbergeisenbahntunnel – ÖBB Infrastruktur Bau – Juni 2000[7]
[5.16] Bilder Arlbergtunnel, GTA Maschinensysteme GmbH
[5.17] Esslinger, C.; Topic, R.: Die sicherheitstechnische Nachrüstung des Arlbergbahntunnels – Ein Vorhaben zwischen Geschwindigkeit und Geschichte. PORR-Nachrichten 155-2009, S. 13–24
[5.18] Schilder, R.; Pichler, D.: Feste Fahrbahn und Masse Feder-Systeme aus der Sicht des Betreibers und aus der Sicht des Planers. PORR-Nachrichten Nr. 140, 2002, S. 17–22
[5.19] Expertengutachten Standsicherheit Karawankentunnel, 3G Gruppe Geotechnik Graz im Auftrag der ÖBB Infrastruktur, Januar 2002
[5.20] Beurteilung von Sprengarbeiten zum Absenken der Sohle im Arlberg Eisenbahntunnel von Peter Moser, Montanuniversität Leoben im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Arlberg Bahntunnel, Leoben, im April 2007
[5.21] Sicherheit in Eisenbahntunneln, Schlussbericht von Ernst Basler & Partner AG, Zürich im Auftrag der ÖBB Infrastruktur, Geschäftsbereich Netz vom 24.9.2001
[5.22] Projektbroschuere_Umbau_Arlbergeisenbahntunnel.pdf der ÖBB Infrastruktur AG Projektleitung Arlbergtunnel vom 29.5.2009
[5.23] Fertigstellungsbroschüre Umbau Arlbergeisenbahntunnel.pdf der ÖBB Infrastruktur AG Projektleitung Arlbergtunnel vom 22.11.2010
[5.24] „Arlbergtunnel Thaumasituntersuchungen durch TU Graz Mittermayr" – Zwischenbericht unveröffentlicht, Draschitz vom 24.11.2008

8.2.6 Zu Kapitel 6: Entwicklung von technischen Ansätzen geeigneter Verfahren zur Sanierung und Erneuerung von Eisenbahntunneln

[6.1] Projektdatenblatt Cavadürli-Tunnel, Amberg Engineering[8]
[6.2] Flächiges Abtragen von Mauerwerk und Beton der Leibungen von Eisenbahntunneln und anderen Bauwerken, K. Martinek, J. Spang, BMT Heft 6/1991
[6.3] Produktinformation FGF 75-110, Cutting unit for railway tunnels , Marconi[9]
[6.4] Gilsdorf, A.; Fröhlich, B.; Schröder, K. – H.; Wullschläger; D. – Die Teilerneuerung des Tüllinger Tunnels – Gebirgsmechanische Anforderungen und bautechnische Lösungen, Felsbau 17 (1999), Nr. 6, S. 534ff, 1999
[6.5] Produktinformation Puscal T, Scheuchzer[10]
[6.6] Widening the road at Nazzano, Tunnels&Tunnelling International July/2007

8.2.7 Zu Kapitel 7: Zukünftiger Sanierungs- und Erneuerungsbedarf

[7.1] Simon, S.: Sachstandsbericht zur Sanierung von Eisenbahntunneln – Beratungsergebnisse des STUVA-Arbeitskreises; Vortrag zur STUVA-Tagung '11, Dezember 2011, Berlin

8.2.8 Zu Kapitel 8: Anhänge

[8.1] Simon, S.: Erneuerung alter Eisenbahntunnel am Beispiel des Ennericher Tunnels; tunnel 27 (2008) 3, S. 29–36
[8.2] Simon, S; Schmidt N.: Nitteler Tunnel – Vollständige Erneuerung eines 130 Jahre alten Eisenbahntunnels während einer 14-monatigen Vollsperrung; felsbau (1/2011), S. 32–39

[1] www.tunconstruct.org
[2] (http://www.amberg.ch/ae/fileadmin/content_pics/03_Referenzprojekte/Bahn/Bahn_News/Maerz09_AXBE_Projektblatt.pd
[3] (http://www.terex-cmt.de/pdf/VL2_2009.pdf)
[4] (http://www.vanoli-ag.ch/pdf/system_vanoliner.pdf)
[5] (http://www.pbworld.co.uk)
[6] (http://www.kuk.de/content/pro/2006-5064/2006-5064-d.pdf)
[7] (http://www.oebb.at)
[8] (http://www.ambergengineering.com/fileadmin/content_pics/03_Referenzprojekte/Bahn/Bahn_Erhaltung/Cavaduerli.pdf)
[9] (http://www.macchinemarconi.com/PAG%203%20ING.htm)
[10] (http://www.scheuchzer.ch/2006/index.php?sel=201010&ldM=1)

8.3 Referenzprojekte, Projektsteckbriefe

8.3.1 Alter Buschtunnel (D)

Tunnelprojekt	**Alter Buschtunnel**				
Streckenführung	Strecke 2600 Köln – Aachen Bundesgrenze km 73.560 – 74.251				
Bauherrschaft/Land	DB Netz AG Regionalbereich West / Deutschland				
Anzahl Gleise	1	Ausführungszeitraum		2009 – 2011 (noch nicht abgeschlossen)	
Tunnellänge	691 m	Elektrifiziert	ja	Geologie	Aachener Sand
Maßnahmen Gleisbetrieb	Gleisrückbau und Neubau Feste Fahrbahn bei Vollsperrung des Tunnels				
Bauüberwachung/Tunnelbausachverständiger	DB PB/gbm	Kosten		ca. 11 Mio. Euro	
Bauausführung	Oevermann GmbH & Co				
Schäden vor Baumaßnahmen	Ausbrüche, Abschalungen, Nassstellen am alten Ziegelmauerwerk				
Tunnelerneuerung					
Gewölbesicherung	Rückverankerung der Widerlager mit Injektionsbohrankern, Bettungsinjektionen				
Gewölbesanierung	Keine				
Tunnelportale	Neuverfugung und Teilerneuerung des Ziegelmauerwerks				
Tunnelaufweitung	In Teilbereichen Nachprofilierung des alten Tunnelausbaus 10 - 20 cm				
Tunnelausbau	35 cm Schalbeton mit Sohlgewölbe unter das alte Tunnelmauerwerk Aussenliegende Abdichtung (KDB)				
Sohlabsenkung/-neubau	Abschnittsweiser Rückbau der alten Mauerwerks- und Betonsohle (Abschnitte 3 m); Neubau einer geschlossenen Ortbetonsohle (d = 45 cm)				
Entwässerung	Keine				
Fahrleitung	Deckenstromschiene				
Sicherheitseinrichtungen	Sicherheitsraum (GC – Profil), Löschwassereinrichtung				

Quelle: gbm, Limburg

8.3.2 Büdesheimer (D)

Tunnelprojekt	Büdesheimer Tunnel				
Streckenverlauf	Strecke 3745 Bad Vilbel – Lauterbach km 10.929 – 11.129				
Bauherrschaft/Land	DB ProjektBau/Deutschland				
Anzahl Gleise	1	Ausführungszeitraum	2003 - 2005		
Tunnellänge	170 m	Elektrifiziert	Nein	Geologie	Basalt/ Kontaktgestein/ oberes Rotliegendes
Maßnahmen Gleisbetrieb	Sperrzeiten werktags 20:30 bis 5:30 Uhr, WE Freitag 20:30 bis Montag 5:30				
Bauleitung		Kosten			
Bauausführung	Beton- und Monierbau, Feldhaus Bergbau, Dr. Spang Ingenieurgesellschaft (nur Planung)				
Schäden vor Baumaßnahmen	allgemeine Durchfeuchtung und sukzessive Entfestigung des Gewölbes, Längsrisse im Widerlager				
Arbeitsablauf	keine				
Gewölbesicherung	Hohlraumreiche Hinterpackung durch Zementinjektionen vergütet				
Gewölbesanierung	–				
Tunnelportale	Sohlgewölbe in Portalbereichen zur Aufnahme von Horizontalkräften				
Tunnelaufweitung	Aufweitung um ca. 1,50 m um spätere Elektrifizierung zu ermöglichen, Tunnelbagger				
Tunnelausbau	Spritzbetonschale, Ortbetoninnenschale mit Gewölbeschalwagen auf Betonwiderlagerbalken gegründet bzw. direkt in die Sohle eingebaut				
Sohlabsenkung/-neubau	Sohlneubau im Bereich einer Gebirgeverwitterung auf 50 m in Portalbereichen, nur am WE, Entnahme der Gleise (8 m), Ausbruch der Sohle (4 m), Einbau Bewehrungskorb und Betonierung, 12 m lange Gleishilfsbrücke überbrückt neuen Sohleinbau				
Entwässerung	Erneuerung der Bahnseitengräben, Entwässerung Portalblöcke mit Raubettrinne, Sammelleitung DN 400 in Sohle bzw. Widerlager eingebaut				
Fahrleitung	Keine				
Sicherheitseinrichtungen	Sicherheitsräume (GC-Profil), Fluchtwege				

Quelle: gbm, Limburg

8.3.3 Ennericher (D)

Tunnelprojekt	**Ennericher Tunnel**				
Streckenverlauf	Strecke 3710 Wetzlar – Niederlahnstein km 47.054 – 47.548				
Bauherrschaft/Land	DB ProjektBau/Deutschland				
Anzahl Gleise	2	Ausführungszeitraum		2006 – 2007 (19 Monate)	
Tunnellänge	494 m	Elektrifiziert	Nein	Geologie	Schalstein
Maßnahmen Gleisbetrieb					
Bauleitung		Kosten			
Bauausführung	Franz Kassecker GmbH				
Schäden vor Baumaßnahmen	Durchfeuchtung, Mauerwerksschäden durch ungleichmäßige Belastungen, klaffende Fugen				
Tunnelerneuerung, Tunnelsanierung					
Gewölbesicherung	Spießschirme				
Gewölbesanierung					
Tunnelportale	Sanierung (Erosion, Durchfeuchtung), Freilegung, Reinigung Natursteinmauerwerk, Ertüchtigung mit Anker, Spritzputzauftrag				
Tunnelaufweitung	gemäß Lichtraumprofil, Einsatz Tunnelsäge um Ausbruch zu definieren, Gleisabstand 3,50 m beibehalten, Abtrag mit Baggerfräse und -meißel				
Tunnelausbau	15 x 36 h Sperrpausen an WE für Schalungsarbeiten, 90 m Länge mit Ortbeton, sonst Spritzbetonausbau (10 cm), durch tragende Rippen aus Spritzbeton ergänzt (Pilgerschrittverfahren), Systemankerung (5 – 6 m) auf vollem Querschnitt zur Stabilisierung des Gebirgstragringes, IBO – Fussanker zur Sicherung der Ulme Betonnage: 9 Gewölbeblöcke mit 9,70 m Länge, Beheizung Tunnel und der Schalkomponenten Schalwagen: zweiteilig, schienengebunden (Doka), Stirnschalung, 10 h zum Erhärten, Absenkung der Schale rd. 2 h vor Wiederaufnahme Schienenverkehr Portalnachbehandlungswagen (Gefahr der Austrocknung und Rissbildung) von Doka				
Sohlabsenkung/-neubau	keine				
Entwässerung	Drainagesystem für Bergwasser (Noppenbahnen und Kammerdrains), Spülschächte				
Fahrleitung	keine				
Sicherheitseinrichtungen	Sicherheitsnischen				

Quelle: Erneuerung alter Eisenbahntunnel am Beispiel des Ennericher Tunnels, S. Simon – DB1 [8.1]*)
[1]) http://six4.bauverlag.de/sixcms_4/sixcms_upload/media/293/tu3_s29_37.pdf
*) Literaturverzeichnis siehe Kapitel 8.2

8.3.4 Gummambs (D)

Tunnelprojekt	Gummambs Tunnel				
Streckenverlauf	Strecke 4250 Offenburg – Singen km 58.000 – 58.340				
Bauherrschaft/Land	DB ProjektBau/Deutschland				
Anzahl Gleise	2	Ausführungszeitraum		2006	
Tunnellänge	340 m	Elektrifiziert	Ja	Geologie	Granit
Maßnahmen Gleisbetrieb	wechselseitig, Vollsperrung in Nachtsperrpausen ab 23:50 Uhr				
Bauleitung		Kosten		290.000 Euro	
Bauausführung	Krebs und Kiefer (Planung)				
Schäden	Mauerwerksschäden, Entwässerungsprobleme				
Arbeitsablauf					
Gewölbesicherung					
Gewölbesanierung	Abbruch alter Spritzbetonschale, Spritzbetonausbau, Stabilisierung von Felszonen, Bauzug				
Tunnelportale					
Tunnelaufweitung					
Tunnelausbau	Rückverankerte, bewehrte Spritzbetonschale in Abschnitten ohne Ausbau				
Sohlabsenkung/-neubau					
Entwässerung	Einbau Vollsickerrohre, Drainageleitungen				
Fahrleitung					
Sicherheitseinrichtungen					

Quelle: [5.10]

8.3.5 Jähroder/Mausenmühlen (D)

Tunnelprojekt	**Jähroder/Mausenmühlen Tunnel**				
Streckenverlauf	Strecke 3511 Bingen – Saarbrücken Jähroder: km 81.278 – 81.416 Mausenmühlen: km 82.061 – 82.226				
Bauherrschaft/Land	DB ProjektBau/Deutschland				
Anzahl Gleise	2	Ausführungszeitraum		2006 – 2008 (18 Monate)	
Tunnellänge	278 m (149 m/129 m)	Elektrifiziert	Nein	Geologie	Basalt
Maßnahmen Gleisbetrieb	Gleisrückbau, TVP				
Bauleitung		Kosten		30 Mio €	
Bauausführung	Kirchner Baugesellschaft mbH				
Schäden vor Baumaßnahmen	Ausbrüche, Abschalungen, Wasserstellen				
Tunnelerneuerung					
Gewölbesicherung	6 m langer Schild				
Gewölbesanierung	–				
Tunnelportale	Neubau aus Stahlbeton mit Sandsteinverkleidung				
Tunnelaufweitung	Gleisrückbau (50 h WE – Sperrung) Aufweitung (Arbeitsbereich 2 m) um ca. 1,5 m, Abbrucharme (Meißel und Zange), Bohrarme für Spreng- und Ankerbohrungen, Bagger im seitlichen Aufweitungsbereich, Materialabtransport mit 2 GHH Ladern Abschnittsweises Ausräumen der Hinterpackung, anschließend abschnittsweise das Mauerwerk, Sprengen in Betriebspausen				
Tunnelausbau	zweilagig bewehrter Spritzbeton mit Ankern, 10 m langer Arbeitsbereich im aufgeweiteten Tunnel, 35 cm Schalbeton (Schalwagen) Gleisrückbau				
Sohlabsenkung/-neubau	keine				
Entwässerung	bergseitige Längsentwässerung				
Fahrleitung	keine				
Sicherheitseinrichtungen	Sicherheitsraum (GC-Profil)				

Quelle: [1.4]

8.3.6 Klein-Winternheimer (D)

Tunnelprojekt	Klein-Winternheimer Tunnel				
Streckenverlauf	Strecke 3523 Mainz – Armsheim km 37.572 – 37.951				
Bauherrschaft/Land	DB ProjektBau/Deutschland				
Anzahl Gleise	1 (2)	Ausführungszeitraum		1992 - 1994	
Tunnellänge	379 m	Elektrifiziert	Nein	Geologie	Tone, Schluffe, Mergel, Kalkstein
Maßnahmen Gleisbetrieb	wechselseitig, zweigleisig konzipiert, aber eingleisig befahren				
Bauleitung		Kosten			
Allgemeines	Sicherstellung eines eingleisigen Betriebes, eine abschnittsweise Instandsetzung sowie Teilerneuerung (Rippenbauweise) unter Betrieb schieden aus (Wasserwegigkeiten, Standsicherheitsgründe, etc.)				
Schäden vor Baumaßnahmen	Durchfeuchtung, Eisbildungen, Hohlstellen, Abschalungen				
Arbeitsablauf					
Gewölbesicherung					
Gewölbesanierung	Spritzbetonausbesserungen, Abdichtungsträger (Spritzputz)				
Tunnelportale					
Tunnelaufweitung					
Tunnelausbau	freitragende Bewehrung auf Bewehrungswagen, Portalschalwagen für Gewölbebetonierung, 2 Gewölbeblöcke pro Woche, neue Ortbetoninnenschale, Schalung während Nachtsperrpausen				
Sohlabsenkung/-neubau	1) Betriebsgleis um 45 cm versetzt, Schotterhalterung aus IPB-Trägern in vorhandene Sohle, Verankerung mit Zugeisen im Widerlager, Freilegung Sohlgewölbe (Unebenheiten), Abschrämen der Sohle (nur 5 cm aus Sicherheitsgründen), Ausgleichsschicht aus Spritzbeton, Einbau Sohlabdichtung, Sohlbewehrung, Einbau Sohlgewölbe (10 m Blöcke), Schotterung, Gleiseinbau 2) Gleisverschwenkung, Vorgehen analog zu Schritt 1), Verschweißen bzw. Verschrauben der Bewehrung beider Sohlhälften 3) Gleisverschwenkung in die Mitte auf Betonsohle (wegen LRP und Schalwagen, Ausbau Schotterung/Gleise), Vollsperrung am WE				
Entwässerung	Doppellagige, parzellierte Rundumabdichtung (drückendes Wasser), Abdichtungsträger (Mauerwerk, Spritzputz), Schutzvlies, ECB-Kunststoffdichtungsbahnen (ein- oder mehrlagig)				
Fahrleitung	keine				
Sicherheitseinrichtungen					

Quelle: [5.13]

8.3.7 Nittel (D)

Tunnelprojekt	**Nittel Tunnel km 133.400 – 133.974**				
Streckenverlauf	Strecke 3010 Koblenz – Perl				
Bauherrschaft/Land	DB ProjektBau/Deutschland				
Anzahl Gleise	2	Ausführungszeitraum		2009 – 2012	
Tunnellänge	574	Elektrifiziert	Ja	Geologie	Muschelkalk
Maßnahmen Gleisbetrieb	Wechselseitiger Ausbau, Einbau geschlossener Sohle unter Vollsperrung (ca. 12 Monate)				
Bauleitung		Kosten		12 Mio. Euro	
Bauausführung	Dr. Spang GmbH (Planung)				
Schäden	Gewölbeschäden, morscher Spritzbeton, Risse, Feuchtstellen				
Arbeitsablauf					
Gewölbesicherung	rückverankerte Spritzbetonschicht, rückverankerte Stahlprofile, Rückverankerung der Kämpferhinterpackung (Zementsuspensionsinjektion)				
Gewölbesanierung					
Tunnelportale					
Tunnelaufweitung	Aufweitung im Ulmenbereich, Abbruch Mauerwerk, Nachprofilierung Fels				
Tunnelausbau	Ortbetonschale				
Sohlabsenkung/-neubau	geschlossenes Sohlgewölbe bis zu 2 m				
Entwässerung					
Fahrleitung					
Sicherheitseinrichtungen					

Quelle: [8.2]

8.3.8 Weinsberger (D)

Tunnelprojekt	Weinsberger Tunnel				
Streckenverlauf	Strecke 4950 Heilbronn – Öhringen km 113.031 – 113.923				
Bauherrschaft/Land	–/Deutschland				
Anzahl Gleise	2	Ausführungszeitraum		2003 – 2005	
Tunnellänge	891	Elektrifiziert	Ja	Geologie	gipshaltige Schichten, starker Schwelldruck
Maßnahmen Gleisbetrieb	Gleistieferlegung unter Vollsperrung				
Bauleitung		Kosten			
Bauausführung					
Schäden	alter Tunnelausbau stark beschädigt durch Schwelldruck				
Teilerneuerung Tunnelschale					
Gewölbesicherung	Zementmörtel in die Hinterpackung injiziert, Kalotte 6 bis 8 m lange IBO-Anker (10 Stück/m Tunnellänge), Sprengsicherung				
Gewölbesanierung					
Tunnelportale					
Tunnelaufweitung	Sprengvortrieb auf 110 m, Abschlagslänge 1 bis 1,2 m				
Tunnelausbau	Stahlbetoninnenschale (70 cm, kreisförmig), Knautschzone aus Polystyrol-Platten (20 cm) zwischen Außen- und Innenschale				
Sohlabsenkung/-neubau	Absenkung um 60 cm im mittleren Abschnitt (3,50 m Abschlagslänge), Aufbruch Sohlgewölbe (Sprengen, 70 MN/m^2 Betonfestigkeit), Sohlgewölbe aus bewehrtem Spritzbeton (20 cm), Einbau Sohle (1,40 m dick), Einbau Knautschzone in der Ulme – an Spritzbeton der Außenschale angeheftet, Einbau Abdichtung, Gewölbeschalwagen (Portal), Einbau Innenschale, Y-Stahlschwellen, Schotteroberbau (FF ungünstig in quellfähigem Gebirge)				
Entwässerung	Längskanal in Tunnelmitte, Kiesfilter im Nischenboden, Drainagebohrungen				
Fahrleitung	Seitenhalterlose Fahrdrahtaufhängung (Einbau Stromschiene wurde wegen komplizierter Instandhaltung verworfen)				
Sicherheitseinrichtungen					

Quelle: gbm, Ettlingen

8.3.9 Arlberg (A)

Tunnelprojekt	**Arlberg Tunnel**				
Streckenverlauf	Strecke 101.05 Innsbruck (A) – Lindau (D)				
Bauherrschaft/Land	ÖBB-Infrastruktur Bau AG/Österreich				
Anzahl Gleise	2	Ausführungszeitraum		2005 – 2010	
Tunnellänge	10.500 m	Elektrifiziert	Ja	Geologie	Gesteine unterschiedlicher Härtegrade
Maßnahmen Gleisbetrieb	wechselseitig, Betonierarbeiten während Nachtsperrpausen				
Bauleitung		Kosten		182 Mio. Euro	
Bauausführung					
Schäden	allgemeine Verwitterungen am Mauerwerk				
Arbeitsablauf					
Gewölbesicherung	Spritzbeton				
Gewölbesanierung	selektiv und im Bestand aufgeweitet, Arbeitszug mit Dichtungstreifen im Firstbereich, Spritzbetonabtrag mit HDW, Mauerwerksreinigung				
Tunnelportale					
Tunnelaufweitung	Anpassung Lichtraumprofil				
Tunnelausbau	Einbau einer Festen Fahrbahn (5 m lang, 70 m pro Woche), Montage mittels Spindeln und Stockwinden, mit Beton vergossen				
Sohlabsenkung/-neubau	Absenkung um 30 cm, betonierte Tunnelsohle				
Entwässerung	Ringfugen, Drainage-/Sickerleitungen in Sohle				
Fahrleitung	Einbau Stromschiene				
Sicherheitseinrichtungen	Errichtung von Flucht- und Rettungswegen, Nischen, Erneuerung Sicherheitstechnik Signal-, Telekom- und Funkanlagen				

Quelle: [5.14 bis 5.17 sowie 5.20 bis 5.24] und ÖBB

8.3.10 Tauerntunnel (A)

Tunnelprojekt	Tauerntunnel				
Streckenverlauf	Strecke 8064				
Bauherrschaft/Land	ÖBB Planung-Engineering – Bauleitung Süd/Salzburg-Kärnten				
Anzahl Gleise	2	Ausführungszeitraum		2001 – 2003	
Tunnellänge	8.551 m	Elektrifiziert	Ja	Geologie	Zentralgneis, paleozoische Sedimente
Maßnahmen Gleisbetrieb	Feste Fahrbahn Gleis 1; Feste Fahrbahn Gleis 2 Lückenschluß, Geschwindigkeitserhöhung auf 100 km/h; Überleitstelle mit gegenläufiger Weichenverbindung) für 60 km/h; Tunnelabtrag 180 m Nordportal; Handlauf; Handlaufbeleuchtung, Orientierungs-Beleuchtung; Fluchtweg zwischen den Gleisen; Lotschacht im km 34,843; Nischeneintiefung				
Bauüberwachung/Tunnelbausachverständiger		Kosten		ca. 8 Mio. Euro	
Bauausführung	Alpine/Porr Technobau				
Schäden vor Baumaßnahmen	Zu geringes Schotterbett; Begrenzung der Fahrgeschwindigkeit auf 60-80 km/h; Feucht- und Tropfstellen auf Gleis und Fahrleitung				
Tunnelerneuerung					
Gewölbesicherung	keine				
Gewölbesanierung	keine				
Tunnelportale	Spritzbeton, neues Nordportal				
Tunnelaufweitung	Keine				
Tunnelausbau	10 – 15 cm Spritzbeton, keine Abdichtung				
Sohlabsenkung/-neubau	Feste Fahrbahn				
Entwässerung	Neue Mitten-Entwässerung mit Mehrzweckrohr statt gemauertem Sohlkanal				
Fahrleitung	Kette				
Sicherheitseinrichtungen	Gem. EisBAV Anpassung Bestandstunnel (ebene Standfläche = Fluchtweg; Handlauf, Beleuchtung, Stromversorgung), Löschwasserleitung				

Quelle: ÖBB

8.3.11 Axentunnel (CH)

Tunnelprojekt	**Erneuerung der Bahntunnel am Axen (Morschach (zweigleisig), Fronalp (eingleisig), Stutzeck – Axen (eingleisig)) Zufahrtslinie Nord zum Gotthard-Basistunnel, Teil der Neuen Eisenbahn – Alpentransversale (NEAT)**				
Streckenverlauf	Strecke 490 (Stutzeck – Axen) Brunnen – Flüelen Strecke 481 Morschach 2				
Bauherrschaft/Land	SBB/Schweiz				
Anzahl Gleise	1 - 2	Ausführungszeitraum		09/2007 – 09/2009	
Tunnellänge	8.100 m (556 + 1.376, 2.793 + 3.375 m)	Elektrifiziert	Ja	Geologie	Fels
Maßnahmen Gleisbetrieb	provisorischer Spurwechsel für Vollsperrungen in eingleisigen Tunneln, Gleisverschwenkung im zweigleisigen Morschach				
Bauleitung	Amberg Engineering AG	Kosten		30 Mio. CHF	
Bauausführung	Marti Bauunternehmen AG (Sanierungsarbeiten), Furrer & Frey (Fahrleitung)				
Schäden	starker Wassereintritt, Eisbildungen im Winter ungenügende Schotterdicken, Risse im Ortbeton, undichte Ringfugen, Abplatzungen, mangelhafte Entwässerung Unebenheiten der Tunnelsohle, verstopfte Anschlussöffnungen				
Arbeitsablauf					
Gewölbesicherung	–				
Gewölbesanierung	Reinigung mit HDW, Abdichtung mit Spritzbetondünnschalen, Drainage durch Gewölbeableitungen (Schlitze) in Tunnelsohle, Rissinjektionen				
Tunnelportale	Ausbesserungen, Felssicherungen				
Tunnelaufweitung	–				
Tunnelausbau	–				
Sohlabsenkung/-neubau	Ausbau Gleiskörper mit Gleisbaukran (18 m Joche), neue Kabelkanäle, Auskoffern und Laden des Schotterbetts mit System Vanoliner II (120 m^3/h, Tagesetappe 250 m) Absenkung konventionell mit 50-t-Kaltfräse (zwischen 5 und 30 cm), Reinigung Fräsfläche, Einbau Unterbau (Sohlenbeton) mit Quergefälle, Versiegelung mit Beton Schotterung mit Maschinenkonzeption PUMA 90, Einbau Schienen und Schwellen				
Entwässerung	Unterbau mit Quergefälle, Sickerleitungen für Längsentwässerung, Kontrollschächte				
Fahrleitung	Einbau Stromschiene				
Sicherheitseinrichtungen	Einbau Selbstrettungseinrichtungen, Notbeleuchtungen, Beschilderungen, Umnutzung eines Schutterstollens beim Fronalptunnel zu einem Notausgang				

Quelle: SBB I-PJ-NPN und Sanierung Axentunnel, Marti AG

8.3.12 Grenchenberg (CH)

Tunnelprojekt	Grenchenberg Tunnel				
Streckenverlauf	Strecke 1212 Biel – Delémont				
Bauherrschaft/Land	BLS AG/Schweiz				
Anzahl Gleise	1	Ausführungszeitraum		2005 - 07	
Tunnellänge	8.500 m	Elektrifiziert	Ja	Geologie	Malm-, Dogger-, Liaskalke, Anhydrit
Maßnahmen Gleisbetrieb	Nachtsperrpausen (< 8 h)				
Bauleitung	Henauer Gugler AG	Kosten		43 Mio. CHF	
Bauausführung	Arge TUGREN (Marti Bauunternehmung AG, Sersa AG, Solothurn)				
Schäden	Lokale Gewölbeschäden, Sohlschäden, Entwässerungsleitungen				
Arbeitsablauf					
Gewölbesicherung					
Gewölbesanierung	Bauzug, RoLa-Wagen (Huckepackwagen) als Transport und Schutterwagen				
Tunnelportale					
Tunnelaufweitung	leichte Sohlabsenkung				
Tunnelausbau					
Sohlabsenkung/-neubau	Taktverfahren (600 m), Sohlaushub per Bagger, neue Betonsohle, Einbau unter Nutzung von Hilfsbrücken, Neubau Oberbau, Sanierung Tunnelwasserkanal, Neubau Wasserleitungen (Fassung von Quellwasser)				
Entwässerung	Totalerneuerung				
Fahrleitung	Neue konventionelle Fahrleitung				
Sicherheitseinrichtungen	Fluchtwege, neue Niederspannungs- und Kabelanlagen, Erneuerung Kommunikations- und Notrufeinrichtungen, Tunnelorientierungsbeleuchtung				

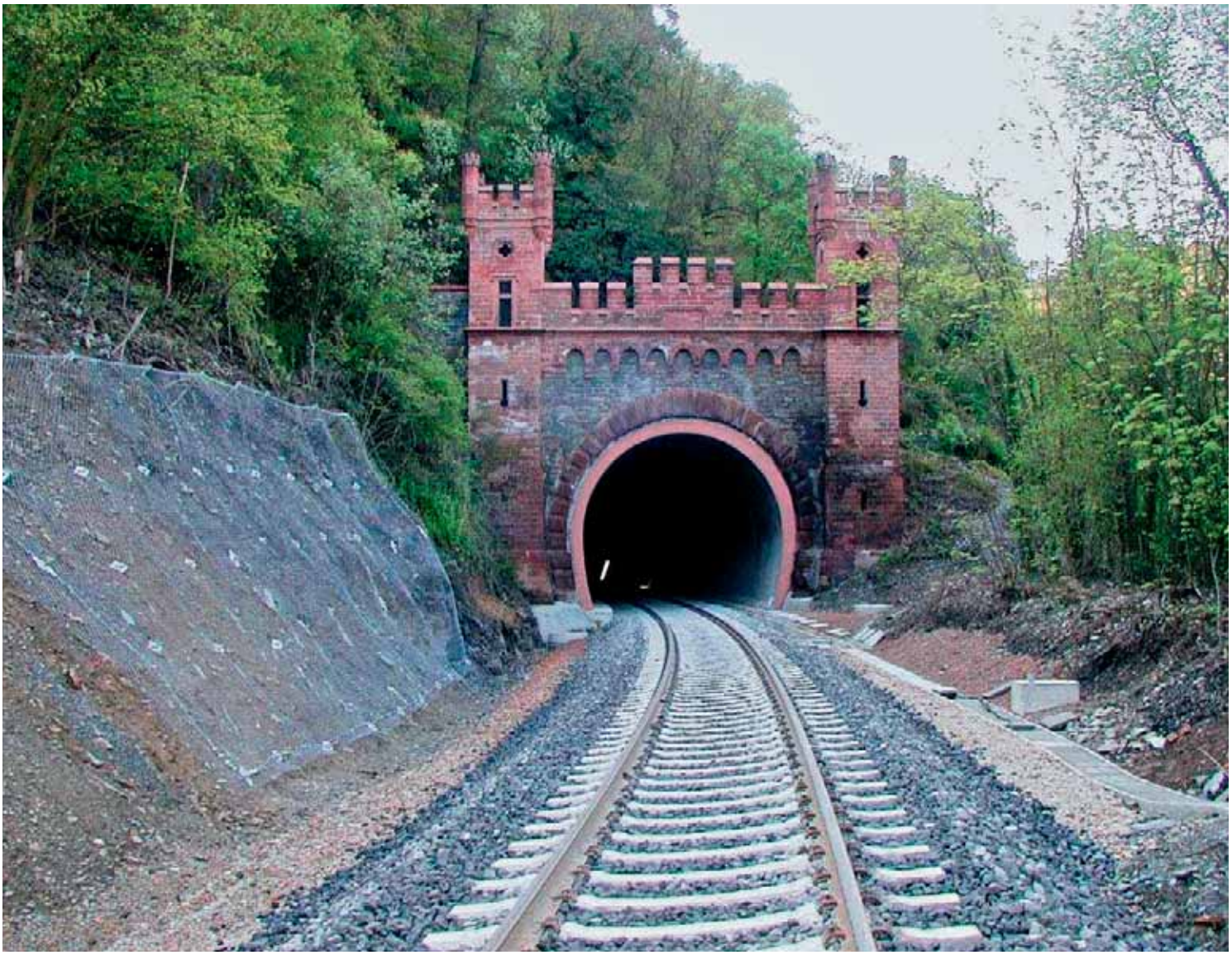
Quelle: SBB I PJ-RME und Datenblatt Sanierung Grenchenbergtunnel, Marti AG
http://www.martiag.ch/data/news/files/Sanierung_Grenchenbergtunnel.pdf

8.3.13 Hauenstein – Basistunnel (CH)

Tunnelprojekt	**Hauenstein – Basistunnel**				
Streckenverlauf	Strecke 433/434/435/436 Tecknau – Olten				
Bauherrschaft/Land	SBB AG/Schweiz				
Anzahl Gleise	2	Ausführungszeitraum		1980 – 87	
Tunnellänge	8.135 m	Elektrifiziert	Ja	Geologie	Gipshaltig
Maßnahmen Gleisbetrieb	Wechselseitig, Spurwechsel im Tunnel (3 Sanierungsabschnitte)				
Bauleitung	Rothpletz und Lienhard	Kosten		150 Mio. CHF	
Bauausführung	ARGE HBT (Zschokke, Marti, Fluhbacher)				
Schäden	Sohlhebungen (1 cm pro Jahr), Verengungen, Wassereinbrüche				
Arbeitsablauf					
Gewölbesicherung					
Gewölbesanierung	Ersatz des beschädigten Mauerwerks, Spritzbetonauftrag, Neubau + Vergrößerung von Nischen, Ausführung mit Bauzug				
Tunnelportale					
Tunnelaufweitung					
Tunnelausbau	Einbau von doppelten Spurwechselverbindungen (permanent, auch für zukünftige Sanierungen)				
Sohlabsenkung/-neubau	Gleisabsenkung (30 cm), Schienendemontage (90 m), Tunnelbagger Schotter, Sprengung Fels, Einbau Filterschichten, Einbau Sohlgewölbe, Einbau Sickerkanäle, Ersatz vorhandener Gewölbe, Unterfangen der Widerlager				
Entwässerung	Einbau Tunnelentwässerung (durchgehende birnenförmige Schlitzrinne in Gleismitte)				
Fahrleitung	neue Fahrleitung				
Sicherheitseinrichtungen	neue Kabel- und Sicherungsanlagen, Nischen, 2001 Einbau Tunnelorientierungsbeleuchtung				

Quelle: SBB I-PJ-RME, Buch Rekonstruktion Hauenstein Basistunnel, Alfred Etterlin
http://www.amberg.ch/ae/fileadmin/content_pics/03_Referenzprojekte/Bahn/Bahn_Erhaltung/Zimmereggtunnel.pdf

8.3.14 Zimmeregg (CH)

Tunnelprojekt	Zimmeregg Tunnel				
Streckenverlauf	Littau – Luzern				
Bauherrschaft/Land	SBB AG/Schweiz				
Anzahl Gleise	1	Ausführungszeitraum		2005 – 2006	
Tunnellänge	1.133 m	Elektrifiziert	Ja	Geologie	Molasse, Sandstein
Maßnahmen Gleisbetrieb	14 Wochen Totalsperrung zur Sohlerneuerung, andere Arbeiten während Nachtsperrpausen				
Bauleitung	Amberg Engineering AG	Kosten		28 Mio. CHF	
Bauausführung	Specogna Bau AG				
Schäden	mangelhafte Bausubstanz Verkleidung und Sohle, Sohlentwässerung, unzureichende Profilverhältnisse				
Arbeitsablauf					
Gewölbesicherung					
Gewölbesanierung	Neumauerungen, Profilschrämen, Spritzbetonauftrag				
Tunnelportale					
Tunnelaufweitung					
Tunnelausbau	Natursteinverkleidung, teilweise auch unverkleidet				
Sohlabsenkung/-neubau	Sohlabsenkung, Sohlerneuerung im Pilgerschrittverfahren				
Entwässerung	Totalerneuerung				
Fahrleitung	Neue konventionelle Fahrleitung				
Sicherheitseinrichtungen	Fluchtnischen				

Quelle: SBB I-PJ-NPN, Projektdatenblatt Erneuerung Zimmereggtunnel, Amberg Engineering;
http://www.amberg.ch/ae/fileadmin/content_pics/03_Referenzprojekte/Bahn/Bahn_Erhaltung/Zimmereggtunnel.pdf