

Sachstandsbericht zur Sanierung von Eisenbahntunneln

Die Sanierung und Instandsetzung alter Verkehrstunnel gewinnt seit einigen Jahrzehnten zunehmend an Bedeutung. Im Vergleich zu einem reinen Neubau stellt sie durch die direkte Abhängigkeit vom Eisenbahnbetrieb hohe Anforderungen an die Ingenieure. Um hier Entwicklungsimpulse und Leitideen zu geben, hat sich unter der Leitung der STUVA ein Arbeitskreis „Tunnelsanierung“ formiert und Anfang 2010 seine Arbeit aufgenommen. Der folgende Beitrag ist ein Sachstandsbericht und spiegelt die Beratungsergebnisse wider.

1 Hintergrund und Ziele des Arbeitskreises

Auslöser für den Arbeitskreis „Tunnelsanierung“ waren die Erfahrungen bei der Durchführung der ersten 2 Projekte zur Profilaufweitung alter Bahntunnel unter rollendem Bahnverkehr. Dies waren die Tunnel Mausemühlen und Jähröder auf der Nahe-Strecke zwischen Bingen und Saarbrücken (Bild 1). Die DB AG hat hierzu ein komplett neues Bauverfahren zur Tunnelerneuerung entwickelt. Dieses bot erstmals eine Lösung, die Tunnelerneuerung im 24h-Betrieb gleichzeitig mit dem Eisenbahnbetrieb durchzuführen. Das Bauverfahren ist gemeinsam mit einer Vorrichtung zur Umsetzung des Verfahrens patentiert worden [1]. Die beiden Projekte haben gezeigt, dass die Möglichkeiten des Verfahrens noch lange nicht ausgeschöpft und an vielen Stellen noch Weiterentwicklungen möglich sind.

Dipl.-Ing. Stefan Simon, DB ProjektBau GmbH, Abteilungsleiter Tunnel, Kompetenzmanager für Tunnelbau der DB ProjektBau GmbH, Frankfurt am Main/D, für den STUVA-Arbeitskreis „Tunnelsanierung“

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 beiden genannten Projekten im Bau und

Report on Redeveloping Railway Tunnels

The renovation and maintenance of old transport tunnels has become increasingly more important in the course of the last few decades. Compared with actually building a new tunnel as such engineers find themselves facing major challenges owing to the fact that rail services must be kept running. As a consequence a Working Group on “Tunnel Redevelopment” was formed under the aegis of the STUVA to provide impulses and recommendations. It started its work in early 2010. The following report is devoted to the progress attained and reflects the outcome of the deliberations.

1 Background and Aims of the Working Group

The Working Group on “Tunnel Redevelopment” was prompted by the findings obtained from carrying out the first 2 projects concerned with enlarging the cross-sections of old railway tunnels whilst train services continued to operate. The tunnels concerned were the Mausemühlen and Jähröd on the Nahe route between Bingen and Saarbrücken (Fig. 1). Towards this end

the DB AG developed a completely new method for tunnel renovation. This provided for the first time a solution whereby the tunnel is renovated on a 24 hour basis while train services continue to operate at the same time. The construction method was patented together with equipment for putting the procedure into practice [1]. The 2 projects have shown that the possibilities offered by the method are still far from being exhausted so that further developments are still possible in many cases.

The findings obtained are intended to provide the basis for analysing and more closely scrutinising further improvements. This on the one hand is designed to create a high degree of mechanisation for redevelopment activities and on the other to prepare planners and industry for the nature and extent of the volume of tunnel renovation that is anticipated. For this pur-

Mitglieder im Arbeitskreis „Tunnelsanierung“ sind:

STUVA (D), Deutsche Bahn AG (D), ÖBB-Infrastruktur AG (A), SBB Infrastruktur (CH), Furrer + Frey AG, Bern (CH), gbm, Limburg (D), GTA, Hamminkeln (D), Herrenknecht AG, Schwanau (D), IUB Ingenieur Unternehmung AG, Bern (CH), kpconsult, Hohenthann (D)

Members of the “Tunnel Redevelopment” Working Group:

STUVA (D), Deutsche Bahn AG (D), ÖBB-Infrastruktur AG (A), SBB Infrastruktur (CH), Furrer + Frey AG, Bern (CH), gbm, Limburg (D), GTA, Hamminkeln (D), Herrenknecht AG, Schwanau (D), IUB Ingenieur Unternehmung AG, Bern (CH), kpconsult, Hohenthann (D)



*"I sincerely recommend iSURE. Using this tool can easily save up to half a million Euros in just 1 kilometer of tunnel."**

TOMMI SALO | PRODUCT LINE MANAGER, TUNNELING JUMBOS | SANDVIK CONSTRUCTION

Intelligence expanded

Well planned is halfway done. To support you in your daily tunneling work, Sandvik has expanded the intelligent iSURE tunneling excavation management tool to be compatible with not only computer-controlled jumbos but also with instrumented models.

iSURE is designed for the people on site. Even if it is revolutionary in its approach, it still follows the natural way of thinking. The iSURE uses the most critical location of the round – the blast plane – as the basis for the whole planning process. As a result, hole locations, and thus blasting, are optimized. This means excellent accuracy, fast process and high profile quality. Not to mention large-scale savings. Sandvik – understanding underground.

*Learn more about iSURE at www.understandingunderground.sandvik.com



Jährder Tunnel während der Aufweitung mit der Tunnel-im-Tunnel Methode
 Jährod Tunnel being enlarged by the Tunnel-in-Tunnel method

in der Planung involvierten Firmen an den Beratungen und technischen Diskussionen im Arbeitskreis. Aus verschiedenen Anfragen und intensiven verfahrenstechnischen Erwägungen wurde schließlich deutlich, dass das bei beiden Projekten zum Einsatz gelangte Bauverfahren auch außerhalb Deutschlands Anwendung finden könnte. Aus diesem Grund sind neben der DB AG auch die Bahngesellschaften aus Österreich und der Schweiz mit einem ebenfalls großen Bedarf an Tunnelsanierungen in die Arbeit des Arbeitskreises einbezogen worden. Allein in Deutschland steht nach jüngsten statistischen Erhebungen der STUVA [2] die Erneuerung bzw. Profilerweiterung von gut 20 km Eisenbahntunneln an.

In der Schweiz wurden die bei der SBB erforderlichen Tunnelsanierungen der nächsten 10 Jahre in einem Tunnelkon-

zept zusammengefasst. Insgesamt sind danach 104 km zur Sanierung vorgesehen. Der Umfang reicht dabei von vereinzelt Maßnahmen am Gewölbe über tiefgreifende Erneuerungen der Struktur bis zum Neubau eines Tunnels mit Optimierung der Linienführung.

Bei den Privatbahnen in der Schweiz stehen ebenfalls Instandsetzungen bzw. sicherheitstechnische Nachrüstungen an. Beispiel hierfür ist der vorgesehene Neubau einer Parallelröhre zum Albulatunnel bei der Rhätischen Bahn. Der bestehende Tunnel kann dann als Fluchtstollen genutzt werden.

Nach einer Sondierung und umfangreichen Bestandsanalyse hat sich der Arbeitskreis deshalb schwerpunktmäßig mit folgenden Themen beschäftigt:

pose the companies involved in the construction and planning of the 2 projects mentioned participated in the Working Group's consultations and technical discussions. It ultimately emerged by dint of pertinent queries and intensive process engineering considerations that the construction method applied for both projects could also be used outside of Germany. As a result apart from the DB AG the railway companies of Austria and Switzerland whose tunnel redevelopment requirements are also high are also included in the Working Group's activities. According to the latest statistical survey undertaken by the STUVA [2] there is a need for the renewal or cross-sectional enlargement of at least 20 km of railway tunnels in Germany alone.

In Switzerland the tunnel renovations needed during the next 10 years were compiled in a SBB tunnel concept. Altogether

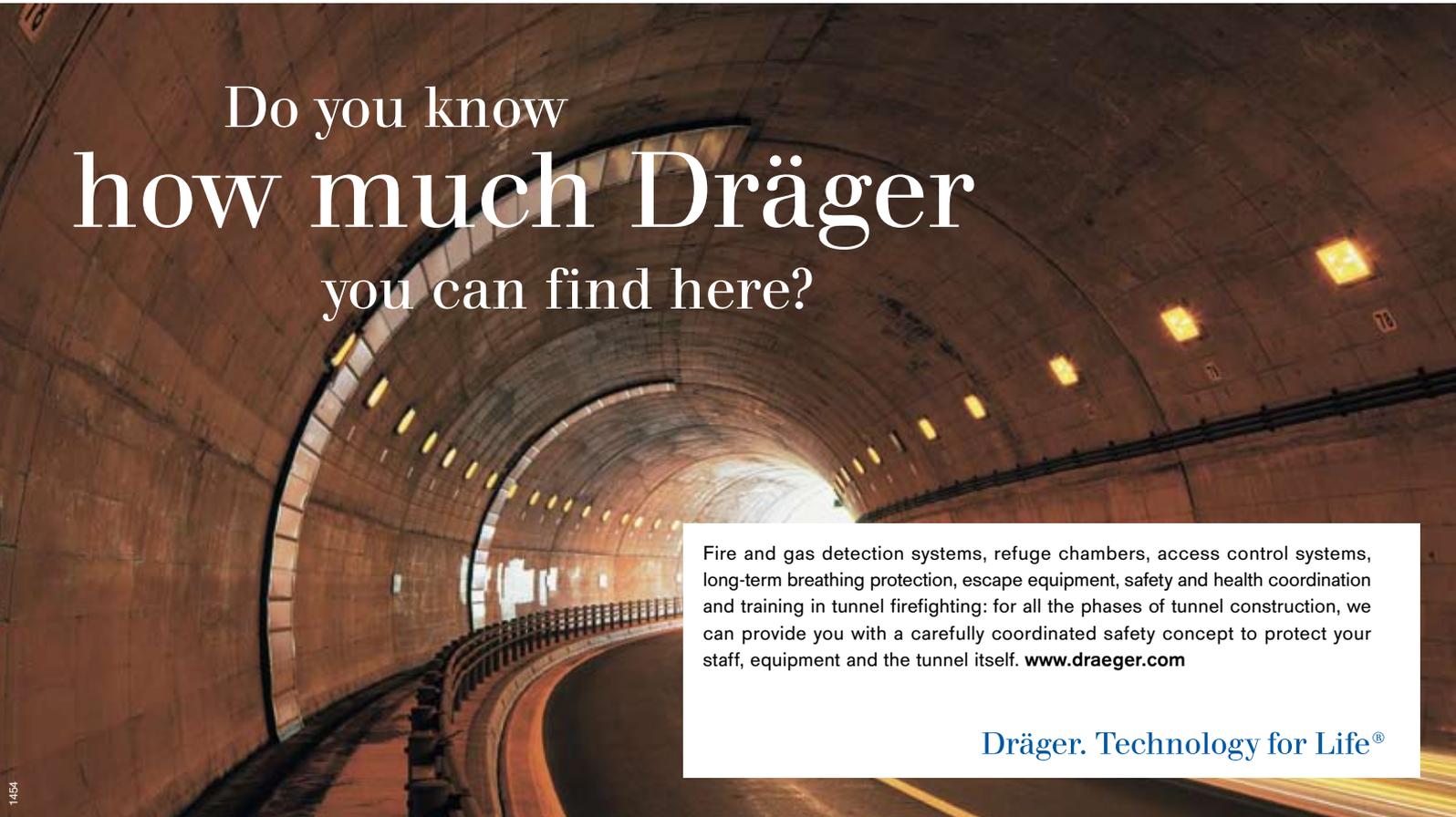
this means that accordingly 104 km is to be redeveloped. This takes into account individual measures for the vault by way of extensive structural renovation right up to building a new tunnel involving optimal route alignment.

Swiss private railways also wish to tackle maintenance projects as well as renewing safety technical installations. An example of this is the intended production of a new parallel bore for the Albula Tunnel for the Rhaetian Railway. The existing tunnel can then be used for evacuation purposes.

Following investigations and extensive analyses of the situation the Working Group decided to tackle the following main topics:

- The defining of framework conditions for tunnel redevelopments and renovations divided into: while train ser-

- Der Definition von Rahmenbedingungen für Tunnelsanierungen bzw. Tunnelerneuerungen unterschieden nach Arbeiten über rollendem Rad, unter eingeschränktem sowie ohne Bahnbetrieb. Bei den Arbeiten ohne Bahnbetrieb wird zwischen Teil- oder Totsperrungen unterschieden.
- Tunnelerneuerungen mit Profilaufweitung sowie den Möglichkeiten für den nachträglichen Einbau eines Sohlgewölbes.
- Beschreibung häufig wiederkehrender Problemstellungen bei der Sanierung alter Tunnel in Abhängigkeit von der Art des Ausbaus, wie z.B. Naturstein, Ziegelstein, freistehendes Gebirge.
- Mindestanforderungen an Sanierung bei laufendem Bahnbetrieb, bezogen auf Art und Standsicherheit des umgebenden Gebirges sowie den Bauwerkszustand.
- Zusammenstellen einer repräsentativen Auswahl bereits durchgeführter Tunnelerneuerungs- und Sanierungsverfahren und Aufzeigen von Lösungsansätzen für zukünftige Projektumsetzungen.
- Zusammentragen von technischen und betrieblichen Rahmenbedingungen in den Ländern Deutschland, Österreich und der Schweiz (D-A-CH), um standardisierte Verfahren in den Ländern zu ermöglichen.
- Erstellung einer Übersicht der zu beachtenden Rege-
- vices are operating, restricted services or no services at all. As far as the work without train services are concerned a distinction is drawn between partial and total closure.
- Tunnel renovations with enlargement of the cross-section as well as possibilities for the subsequent installation of a base invert.
- Description of frequently recurring problem complexes during the redevelopment of old tunnels depending on the type of support, as e.g. natural stone, brickwork, exposed rock.
- Minimum requirements for renovation given running train services relating to the nature and stability of the surrounding rock as well as the state of the structure.
- Compilation of a representative selection of already executed tunnel renovation and refurbishing methods and pointers for applying solutions to future projects.
- Collation of technical and operational framework conditions in the countries Germany, Austria and Switzerland (D-A-CH) to bring about standardised methods in these countries.
- Drawing up an overview of the regulations to be observed in the 3 countries involved.
- Preview of the technical developments to be expected in tunnel redevelopment and renewal in the years ahead.
- Summary of the results in a manual for tendering and planning.

Do you know
how much Dräger
you can find here?

Fire and gas detection systems, refuge chambers, access control systems, long-term breathing protection, escape equipment, safety and health coordination and training in tunnel firefighting: for all the phases of tunnel construction, we can provide you with a carefully coordinated safety concept to protect your staff, equipment and the tunnel itself. www.draeger.com

Dräger. Technology for Life®

lungen in den 3 involvierten Ländern.

- Ausblick auf die zu erwartenden technischen Entwicklungen bei der Tunnel-sanierung und -erneuerung in den nächsten Jahren.
- Zusammenfassen der Ergebnisse in einer Handlungshilfe für Ausschreibung und Planung.

2 Rahmenbedingungen für Tunnelsanierungen

2.1 Allgemeines

Der Überbegriff „Tunnelsanierung“ kann eine Vielzahl verschiedener Maßnahmen bedeuten. Das Spektrum der Sanierungsarbeiten beginnt bei der Verbesserung des Oberbaus durch Einbau einer Festen Fahrbahn, eines Masse-Feder-Systems oder einer Schotterbettverklebung. Am Gewölbe kann es von der bereichsweisen Sanierung der Tunnelauskleidung zur Vermeidung von Abplatzungen bis zu Profilaufweitungen in einzelnen Bereichen des Lichtraumprofils durch Mauerwerksabtrag oder Sohlabsenkung reichen. Hierbei kann zusätzlich ein neues Sohlgewölbe mit oder ohne Fester Fahrbahn eingezogen werden. Weiterhin kann die Tunnelsanierung aus einer Neuverfugung des Mauerwerks oder aus Mauerwerksaustausch, dem Einbau von Betonplomben, dem Auftrag von Spritzbeton sowie der Ankerung des alten Gewölbes bestehen. Zur Stabilisierung des Tunnels kann der Einbau von Spritzbetonrippen oder die Injizierung der Hinterpackung zwischen Gewölbemauerwerk und dem umgebenden Fels erforderlich werden.

Die Baumethoden und Bauverfahren bei der Sanierung,

Erneuerung oder Aufweitung von alten Tunneln sind sehr unterschiedlich. Entscheidend für die Wahl eines geeigneten Bauverfahrens sind neben den technischen Anforderungen besonders die Eingriffe in den Eisenbahnbetrieb durch erforderliche Streckensperrungen während der Bauausführung. In vielen Fällen ist eine Sperrung der Bahnstrecke, auch wenn es nur für eine kurze Zeit ist, nicht oder nur in geringem Umfang möglich. Ob Arbeiten unter Bahnbetrieb stattfinden können, wird maßgeblich durch das verfügbare Tunnelprofil bestimmt.

2.2 Rahmenbedingungen in Deutschland

In Deutschland muss die DB AG aufgrund der Vorgaben der Eisenbahn-Bau und Betriebsordnung (EBO) bei Neubauten und umfassenden Erneuerungen den Gleisabstand von bisher teilweise nur 3,5 auf 4,0 m vergrößern. Mit der Verbreiterung des Gleisabstandes ergeben sich teils umfangreiche Baumaßnahmen, die unter Umständen durch notwendige Sohlernerneuerungen zusätzlich erschwert werden. Bei der Sanierung des Jähroder und des Mausemühlen Tunnels kam daher erstmalig die sogenannte Tunnel-im-Tunnel (TiT) Methode zum Einsatz [3].

Bei der Erneuerung von Tunnelbauwerken mit einer Länge von über 1000 m muss bei diesen Vollsicherungen oder Erneuerungen aufgrund der Vorgaben der geltenden Sicherheitsrichtlinien der neue Tunnel als Zwei-Röhrenkonzept hergestellt werden. Das bedeutet den Bau einer neuen eingleisigen Röhre in Parallel-lage und Erneuerung der bestehenden alten zweigleisigen

2 Basic Conditions for Tunnel Redevelopments

2.1 General

The term “Tunnel Redevelopment” can signify a large number of different measures. The spectrum of the redevelopment work starts with improving the superstructure by installing a solid slab track, a mass-spring system or a ballast bed adhesive. As far as the vault is concerned this can range from redeveloping sections of the tunnel lining to avoid spalling right up to enlarging the cross-section in individual sections of the clearance profile by removing masonry or lowering the floor. In this connection a new base invert with or without a solid slab track can be installed. Furthermore tunnel redevelopment can entail repointing the masonry or replacing the masonry, installing concrete seals, placing shotcrete as well as anchoring the old vault. Shotcrete ribs installed or backfill injected between the vault masonry and the surrounding rock can be required to stabilise the tunnel.

The construction methods and processes applied for the redevelopment, renovation or enlargement of old tunnels are extremely varied. In addition to the technical requirements decisive for the choice of a suitable construction method are the interruptions to train services through necessary track closures during the execution of construction. In many cases closure of the rail route even although only for a short time is either completely impossible or can only be accomplished briefly. The available tunnel profile largely determines whether work can progress whilst train services are still running.

2.2 Basic Conditions in Germany

In Germany the DB AG is obliged on the given data of the EBO (ordinance regulating the construction and operation of the railways) to enlarge the track distance from in some cases only 3.5 m hitherto to 4.0 m for new and extensive upgrading projects. Widening the track distance results in part in protracted construction measures, which can be made even more difficult by having to renew the floor. As a result the so-called tunnel-in-tunnel (TiT) method was applied for the first time when redeveloping the Jährod and Mausemühlen tunnels [3].

When renovating tunnel structures in excess of 1,000 m the new tunnel must be produced with 2 bores for such total redevelopments or renovations to comply with the regulations now laid down in the valid safety guidelines. This signifies the construction of a new single-track bore parallel to the existing one, which must be renewed through transforming it from a twin-track to a single-track tunnel. These 2 tunnels are then connected every 500 m with cross-passages for evacuation purposes.

2.3 General Conditions in Austria

There are also numerous new tunnels being built or planned in Austria as well. These include some 350 km of mainline tunnels including the Brenner Base Tunnel with a total driven length of roughly 110 km. Redevelopment measures devised to improve the substance such as in the Arlberg Tunnel (Fig. 2) or the Tauern Tunnel also take place against the background of improving safety technology.

Röhre als zukünftig ebenfalls eingleisige Röhre. Diese beiden Tunnel werden dann alle 500 m mit Querstollen als Fluchtweg verbunden.

2.3 Rahmenbedingungen in Österreich

Auch in Österreich sind zahlreiche neue Tunnel im Bau oder in der Planung. Dazu gehören ca. 350 km Fernbahntunnel einschließlich des Brenner Basistunnels mit einer Gesamtaufahrlänge von allein ca. 110 km. Substanzverbessernde Sanierungsmaßnahmen wie im Arlbergtunnel (Bild 2) oder im Tauerntunnel erfolgen auch vor dem Hintergrund einer sicherheitstechnischen Aufrüstung. Die Maßnahmen zur Erhöhung



Gleiskörperabtragseinrichtung zur Erneuerung des Arlbergtunnels

Machine for removing the track superstructure during the renovation of the Arlberg Tunnel

der „Tunnelsicherheit“ sind vor rund 10 Jahren – durch die Brandereignisse im Montblanc-

gy. The measures to enhance “Tunnel Safety” were triggered some 10 years ago – owing to

the fire incidents in the Mont Blanc road tunnel (March 1999), in the Tauern motorway tunnel



fermacell®
AESTUVER

Safety first!

Baulicher Brandschutz mit maßgeschneiderten Lösungen und überzeugendem Service.

AESTUVER T – eine speziell für den Hochtemperaturbereich entwickelte Brandschutzplatte aus Glasfaserleichtbeton

- schützt Beton zuverlässig vor Brandbelastungen bis 1.350 °C.
- ist frost- und wasserbeständig.
- bietet vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten mit Farben und Beschichtungen.

Fire safety engineering with tailored solutions and convincing customer support.

AESTUVER T – glass-fibre reinforced light-weight concrete boards specifically developed for high-temperature environments.

- Reliable protection for concrete against effects of fire loads of up to 1,350 °C.
- Frost and water resistant.
- Painting and coating options for customized finishes.



Fermacell GmbH

FERMACELL Aestuver
Düsseldorfer Landstr. 395 · 47259 Duisburg
Telefon: +49 (0) 203 60880-8141
Telefax: +49 (0) 203 60880-8140
E-Mail: info@aestuver.de

www.aestuver.de

Straßentunnel (März 1999), im Tauern-Autobahntunnel (Mai 1999) und im Eurotunnel unter dem Ärmelkanal (November 1996) – ausgelöst worden.

Ein weiterer Impulsgeber für die Umgestaltung und Teil-Sanierung alter Tunnel sind die österreichischen Arbeitnehmerschutzbestimmungen.

2.4 Rahmenbedingungen in der Schweiz

In der Schweiz werden aufgrund von Entwässerungsschäden und quellenden Gebirgsformationen oftmals Sohlenerneuerungen vorgenommen, in vielen Fällen auch in Verbindung mit einer Sohlabenkung, um den Querschnitt für zukünftigen Huckepackverkehr anzupassen. Bei zweigleisigen Tunneln ist neben der aufwendigen Widerlagerunterfangung des Tunnelgewölbes auch der

Einbau einer Schotterhalterung zur Absicherung des Betriebsgleises notwendig, wenn der Tunnel in Betrieb bleiben soll.

3 Technische Verfahren und Methoden zur Sanierung und Erneuerung von Tunnelgewölben

3.1 Gewölbearbeiten

In den letzten Jahren sind Maschinensysteme entwickelt worden, die mehrere Arbeitsschritte 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, um auf unvorhergese-

(May 1999) and in the Channel Tunnel (November 1996).

Austria's regulations designed to protect the workforce represent a further source for modifying and partial redevelopment of old tunnels.

2.4 General Conditions in Switzerland

In Switzerland the floor is frequently renovated on account of damage resulting from drainage and heaving rock formations, in many cases also in conjunction with lowering the floor to adjust the cross-section for future piggyback transportation. In the case of twin-track tunnels it is also necessary to install a ballast retention system to secure the operational track if the tunnel is to remain in service quite apart from the complex process of underpinning the tunnel vault abutment.

3 Technical Processes and Methods for Re-developing and Renovating Tunnel Vaults

3.1 Vault Work

In recent years mechanised systems have been developed, which combine several working steps. Thus there are combinations for securing and excavating during vault enlargements or for excavating and mucking while working on the floor. For these various solutions apart from the factor of economy the required flexibility during the tunnelling operations plays a decisive role so that unforeseen disturbances during the construction cycle can be reacted to.

Table 1 presents the essential measures during work on the vault in conjunction with the operating conditions. In this connection a distinction

Arbeiten im Tunnel*	unter Betrieb ohne Sperrzeiten			unter Betrieb mit Sperrzeiten		
	1-gleisiger Tunnel	2-gleisiger Tunnel		1-gleisiger Tunnel	2-gleisiger Tunnel	
		wechselseitiger Gleisbetrieb	Umbau auf 1-Gleis im Tunnel für die Bauzeit		wechselseitiger Gleisbetrieb	Umbau auf 1-Gleis im Tunnel für die Bauzeit
Gewölbesicherung						
bergmännisch						
Vorbruchsicherung durch Stützplatte						
Gewölbesanierung und lokale Aufweitungen						
Anpassung Lichtraumprofil						
Gewölbeertüchtigung						
Gewölbeaufweitung						
Gewölbeabtrag						
Tunnelaufweitung im Fels						
bergmännisch, ggf. mit Sprengungen			TiT			TiT
Gewölbeausbau						
1-schalig						
2-schalig						
Tübbingausbau						
Stand der Technik/Referenzen vorhanden			Umsetzung zukünftig denkbar			
* Bei elektrifizierten Strecken sind die Einschränkungen und Auflagen durch die Oberleitung separat zu prüfen!						

Tabelle 1: Technische Möglichkeiten für Arbeiten im Tunnel bei laufendem Eisenbahnbetrieb

hene Störungen im Bauablauf zu reagieren.

In Tabelle 1 sind die wesentlichen Maßnahmen bei Gewölbearbeiten in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen dargestellt. Dabei wird zwischen bereits in der Praxis durchgeführten Verfahren (grün) und zukünftig möglichen Einsatzgebieten (blau) unterschieden. Für die Maßnahmen mit den farblich nicht hinterlegten Feldern gibt es derzeit nur ein geringes Optimierungspotential.

3.2 Gewölbesicherung

Die klassische Sicherungsmethode, die sowohl als temporäre oder auch als langfristige Sicherung im Fels zur Anwendung gelangt, umfasst den Einsatz von Ankern und Spritzbeton, unter Umständen unterstützt durch Bewehrungsmatten,



Stützplatten in der Firste zur Vorbruchsicherung
Support plates in the roof to prevent caving

Ausbaubögen oder Rippen. Oftmals wird auch eine Systemankerung eingebracht.

Im Lockergestein oder in Bereichen mit stark zerklüftetem, verwittertem Fels zählen konventionelle, vorseilende

is drawn between methods already carried out in practice (green) and future possible fields of application (blue). Currently there is only a slight potential for optimising the fields, which are not coloured.

3.2 Securing the Vault

The classical supporting method, which is used for securing the rock either temporarily as well as long-term, comprises the application of anchors and shotcrete possibly supported by reinforcement mats, support arches or ribs. An anchoring system is also sometimes applied.

In soft ground or in areas with highly fissured, weathered rock normally conventional, advance supporting measures such as grouting and pipe umbrellas, forepoling, lances, freezing or face sealing are applied.

When enlarging a tunnel, support plates can be used to prevent the risk of the old, existing vault collapsing (Fig. 3). As a result in many cases there is no need for advance cuts in conjunction with an anchoring system to secure the vault.

Work in tunnel*	operational without closure times			operational with closure times		
	Single-track tunnel	2-track tunnel		Single-track tunnel	2-track tunnel	
		Alternating track operation	Conversion to 1-track in tunnel for construction period		Alternating track operation	Conversion to 1-track in tunnel for construction period
Vault support						
Mining means						
Support plate against caving						
Redeveloping vault and local enlargements						
Adapting clearance profile						
Improving the vault						
Vault enlargement						
Removing the vault						
Enlarging tunnel in rock						
Mining means possibly blasting			TIT			TIT
Vault support						
1-layer						
2-layer						
Segment lining						
State of technology/references available			Future application feasible			
* The restrictions and regulations in conjunction with the overhead line must be checked separately in the case of electrified routes!						

Table 1: Technical Possibilities for Working in Tunnels with Rail Services in Operation



Abschrämen des alten Mauerwerks mit einer Fräse
Removing the old masonry with a cutter

Sicherungsmaßnahmen wie Injektions- und Rohrschirme, Vorpfändungen, Spieße, Vereisungen oder Ortsbrustversiegelungen zum Stand der Technik.

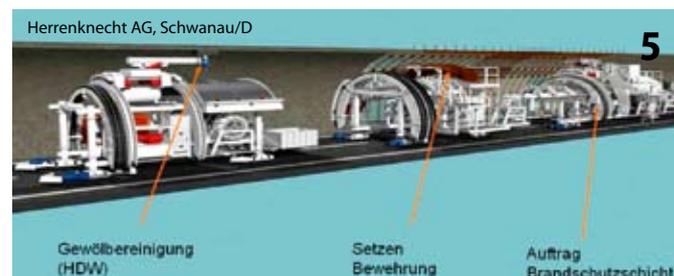
Bei der Tunnelaufweitung kann mittels Stützplatten das Risiko von vorlaufenden Verbrüchen im alten, bestehenden Gewölbe verhindert werden (Bild 3). Auf vorausseilende Sägeschnitte in Verbindung mit einer Systemankerung zur Gewölbesicherung kann hierdurch in vielen Fällen verzichtet werden.

3.3 Gewölbesanierung und lokale Aufweitung

Bei Arbeiten zur Gewölbesanierung kommen in der Regel Bauzüge zum Einsatz. Einragungen des Mauerwerks in das Lichtraumprofil werden mit Fräsen abgeschrämt (Bild 4). Der Einsatz von Bauzügen, bei der im Wesentlichen konventionelle Baumaschinenteknik montiert auf Bahnwagen genutzt wird, gilt als weitestgehend ausgereift.

Komplette Maschinensysteme mit Schutzeinhausungen, die das Gewölbe mit einem Hochdruckwasserstrahl abtragen, neue Innenschalen zur Ertüchtigung aufspritzen oder lokal das Profil auffräsen, sind möglich und würden einen zeitweise eingleisigen Bahnbetrieb während der auszuführenden Arbeiten ermöglichen.

Im Hinblick auf die Einhaltung der Brandschutzbestimmungen in Straßentunneln hat die Herrenknecht AG bereits ein System entwickelt, mit dem die Tunnelchale saniert werden kann (Bild 5). Das Maschinenkonzept ist in 3 wesentliche Einheiten untergliedert.



Beispiel zur Sanierung eines Straßentunnels
Example for redeveloping a road tunnel

3.3 Vault Redevelopment and local Enlargement

During vault redevelopment operations construction trains are generally used. Protrusions of the masonry affecting the clearance profile are removed by cutting (Fig. 4). The use of construction trains, in the case of which conventional engineering technology mounted on rail wagons is generally applied, is by and large regarded as at an advanced stage of development.

Complete mechanised systems with protective housings, which remove the vault by means of a high-pressure water jet, spray on new inner shells or cut the profile at a given spot, are possible

and would facilitate single-track rail services for a period whilst the work was being carried out.

With regard to complying with the fire protection regulations in road tunnels the Herrenknecht AG has developed a system by means of which the tunnel shell can be redeveloped (Fig. 5). The machine concept is split up into 3 main units.

The old vault shell is cleaned and partly removed by a water jet, which generates pressure of up to 1,400 bar. Once the reinforcement is installed a shotcrete and fire-protective layer is applied for the new tunnel inner shell. All mechanised components are self-propelled, rationally set up and can be used for road and rail tunnels with various tunnel diameters.

3.4 Removing the Vault in old Tunnels supported with Masonry

In twin-track tunnels vault operations and excavations are possible in the wall area depending on the vault thickness through the application of construction trains on the closed track. Work in the apex zone is associated with difficulties on account of insufficient vault stability or the overhead wire on electrified routes. In the event of tunnel vault stability problems and constricted space conditions there is at present no system that can be unrestrictedly applied, which can achieve an enlargement including the removal of rock without interrupting train services.

The essential advantages of a tunnel redevelopment project, during which one of the two tracks is closed, are to be seen in the fact that no modification of the tracks is needed. The operational track that is actually

Die alte Gewölbeschale wird mit einem Wasserstrahl, der bis zu bis 1400 bar Druck hat, gereinigt und teilweise abgetragen. Nach dem Einbringen der Bewehrung erfolgt der Auftrag einer Spritzbeton- und Brandschutzschicht als neue Tunnelinnenschale. Alle Maschinenkomponenten sind selbstfahrend, rationell aufgebaut und können für Straßen- und Bahntunnel mit verschiedenen Tunneldurchmessern verwendet werden.

3.4 Gewölbeabtrag in alten Tunneln mit gemauertem Ausbau

In zweigleisigen Tunneln sind Gewölbearbeiten und -ausbrüche im Ulmenbereich je

nach Gewölbedicke durch den Einsatz von Bauzügen in jeweils einem gesperrten Gleis möglich. Mit Schwierigkeiten verbunden sind Arbeiten im Scheitelpunkt aufgrund unzureichender Gewölbestabilität oder auf elektrifizierten Strecken durch den Fahrdraht. Bei Standsicherheitsproblemen des Tunnelgewölbes und bei beengten Platzverhältnissen gibt es derzeit kein uneingeschränkt einsetzbares System, das eine Aufweitung einschließlich Felsabtrag ohne Betriebsunterbrechung ermöglicht.

Die wesentlichen Vorteile einer Tunnelanierung, bei der eines der beiden Gleise gesperrt ist, bestehen darin, dass kein Gleisumbau durchgeführt

closed can be used for the logistics for the construction trains. In contrast to this problems arise when securing the vault by installing a partition wall between the tracks and the resultant issue of available space. The need to switch tracks substantially restricts continuous driving.

It is possible to enlarge a railway or road tunnel alternately by setting up a telescopic, radially adjustable cutting arm on a machine assembly suitable either for road or rail. A machine of this type was used in 1990/1991 to remove the masonry in the Hasenberg and Prag Tunnels near Stuttgart (Fig. 6).

From 1982 till 1990, two down-the-hole hammers were applied to remove the high-



Costruzione Macchine Marconi, Bologna/I

Gleisgebundene Fräse von Marconi zur wechselseitigen Aufweitung von Trackbound Marconi cutter for enlarging railway tunnels alternately

strength masonry in the Arlberg Tunnel. Both were fitted with a 200 mm core drill and were applied in such a way that the drill holes touched one another at the sides. Nowadays cutters or multirip saws with the subsequent use of hydraulic bits are used for removing the vault

rascor®



Wer richtig plant, bleibt trocken.

Als Pioniere in der Abdichtungstechnik entwickeln wir Produkte für die höchsten, trockensten Ansprüche Ihrer Tunnelprojekte – denn Trockenheit heisst auch Sicherheit! Problemorientierte und massgeschneiderte Abdichtungskonzepte sichern den Erfolg! **RASCOR - Pioniere der Bauabdichtung.**

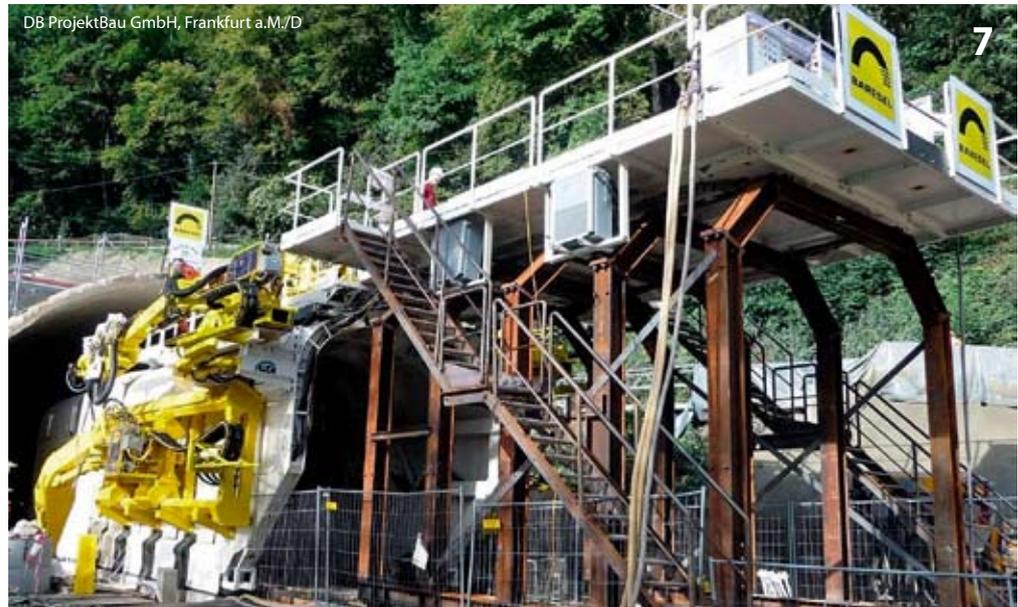
Rascor International AG
Gewerbstrasse 4
CH-8162 Steinmaur
Telefon +41 (0)44 857 11 11
Telefax +41 (0)44 857 11 00
info@rascor.com

werden muss. Das jeweils gesperrte Betriebsgleis kann für die Logistik der Bauzüge genutzt werden. Im Gegensatz dazu ergeben sich Probleme bei der Gewölbesicherung durch den Einbau einer Trennwand zwischen den Gleisen und die dadurch bedingten massiven Platzprobleme. Die notwendigen Gleiswechsel schränken einen kontinuierlichen Vortrieb erheblich ein.

Durch die Anordnung eines teleskopierbaren, radial anpassbaren Fräsarmes auf einem straßentauglichen oder gleisgebundenen Maschinengestell ist die wechselseitige Aufweitung eines Eisenbahn- bzw. Straßentunnels möglich. Eine solche Maschine kam in den Jahren 1990/91 beim Mauerwerksabtrag im Hasenberg- und im Pragtunnel bei Stuttgart zum Einsatz (Bild 6).

Zum Lösen von Mauerwerk mit höheren Festigkeiten wurden im Arlbergtunnel in den Jahren von 1982 bis 1990 zwei Imlochbohrhämmer verwendet. Beide waren mit einer 200 mm Stiftbohrkrone bestückt und wurden so angesetzt, dass sich die Bohrlöcher seitlich berührten. Heute kommen für den Gewölbeabtrag bei der Aufweitung eines Tunnels Anbaufräsen oder Mehrblattsägen mit anschließendem Einsatz von Hydraulikmeißeln für den Ausbruch zum Einsatz. Zukünftig denkbar ist der Einsatz von Fräsen oder der Hinterschneidetechnik auf mobilen Arbeitsplattformen zum Lösen oder Profilieren in sehr hartem Fels.

3.5 Tunnelaufweitung mit einem Tunnelvortriebsportal (Tunnel-im-Tunnel Methode)
Erstmalig kam die TiT Methode mit einem Tunnelvortriebs-



Tunnelvortriebsportal für die Aufweitung des Langenauer und Hollricher Tunnels
Tunnel driving portal for enlarging the Langenau and Hollrich Tunnels

portal bei der Aufweitung des Mäusenmühlen und des Jähroder Tunnels auf der nicht elektrifizierten Nahe-Bahnstrecke von Bingen nach Saarbrücken zum Einsatz. Weitere Einsätze mit optimierten Tunnelvortriebsportalen für die Aufweitung kamen ebenfalls auf der Nahe-Bahnstrecke beim Frauenberger und Kupferheck Tunnel [4] sowie auf der Lahn-Bahnstrecke beim Langenauer und Hollricher Tunnels zum Einsatz (Bild 7).

Während der Ausbruch- und Aufweitarbeiten konnte mit Hilfe von Stützplatten einem voreilenden Verbuch in der alten Gewölbeausmauerung vorgebeugt werden. Eine zusätzliche Ankerung zur Gewölbesicherung konnte dadurch entfallen.

Der Ausbruch des Gewölbes und das Ausräumen der Hinterpackung erfolgten mit Hydraulikhämmern, die seitlich an der Maschine angebracht waren. Ebenfalls seitlich angeordnete verfahrbare Bohrrarme ermöglichten das Bohren von Spre-

when enlarging a tunnel. In future the application of cutters or back-cutting technology on mobile working platforms for loosening or profiling in very hard rock is conceivable.

3.5 Tunnel Enlargement with a Tunnel Driving Portal (Tunnel-in-Tunnel Method)

The TIT method was applied for the first time using a tunnel driving portal to widen the Mäusenmühlen Tunnel and the Jährod Tunnel on the non-electrified route along the River Nahe between Bingen and Saarbrücken. Further applications involving tunnel driving portals optimised for the enlargement were also used on the Nahe route for the Frauenberg and Kupferheck Tunnels [4] as well as on the Lahn railway route for the Langenau and Hollrich Tunnels (Fig. 7).

It was possible to avoid caving taking place prematurely in the old vault masonry with the aid of support plates during the excavation and enlargement phase. Thus there was no need for additional anchoring to secure the vault.

The vault was excavated and the backfill removed by means of hydraulic hammers, which were fixed at the side of the machine. Mobile drilling arms that were also attached at the sides made it possible to drill blast holes to loosen the rock. After excavating the rock it was primarily supported from various working platforms on the machine using anchors, reinforcement and shotcrete. Subsequently a profile-free vault formwork car was used to install the in situ inner shell (Fig. 8). It was not necessary to install a base invert when these tunnels were renovated.

4 Summary

It was only possible to present a small portion of the extensive work carried out by the Working Group. In this connection, the special issue of "tunnel" published to coincide with the STUVA Conference '11 is referred to. The activities of the Working Group for the first time provide an insight of the level of tunnel redevelopments and renewals in the countries Germany, Austria and



Schalwagen bei der Betonage des Portalblocks und der Portalscheibe am Frauenberger Tunnel
Formwork car for concreting the portal block and the portal section at the Frauenberg Tunnel

glöchern, um den Fels zu lösen. Nach dem Felsausbruch erfolgte von verschiedenen Arbeitsbühnen auf der Maschine die Primärsicherung des Gebirges mit Anker, Bewehrung und Spritzbeton. Im Nachgang wurde ein ebenfalls profilfreier Gewölbeschalwagen zum Einbau der Ortbetoninnenschale verwendet (Bild 8). Der Einbau eines Sohlgewölbes war bei den genannten Tunnelerneuerungen nicht erforderlich.

4 Zusammenfassung

In diesem Beitrag kann nur ein kleiner Teil der umfangreichen Arbeit des Arbeitskreises vorgestellt werden. Aus diesem Grund wird auf das zur STUVA Tagung'11 veröffentlichte Sonderheft von „tunnel“ verwiesen. Die Arbeit des Arbeitskreises gibt erstmalig einen Überblick zum Stand der Tunnelanierungen und Erneuerungen in den Ländern Deutschland, Österreich und der Schweiz. Sie soll allen im Planungs- und Bauprozess Beteiligten neben den technischen Themen auch ein Verständnis für die bahnspezifischen Randbedingungen vermitteln. Daneben werden anhand einer Vielzahl von Projektbeispielen die Perspektiven für weitere technische Entwicklungen aufgezeigt. Der Bedarf hierfür ist gegeben und wird in den nächsten Jahren weiter steigen. 

Switzerland. It is intended to give all those involved in the planning and construction process an understanding of the rail-specific general conditions in addition to technical topics. Furthermore on the basis of a large number of examples of projects the perspectives for further technical developments are listed. The need as such exists and will continue to grow in the years ahead. 

Literatur / References

- [1] Patentschrift 10 2007 014 104; Verfahren zum Aufweiten eines Tunnel und Vorrichtung zum Durchführen des Verfahrens, Erfinder für die DB ProjektBau GmbH: Matthias Breidenstein
- [2] Haack, A.: Tunnelbau in Deutschland: Statistik (2009/2010), Analyse und Ausblick; Tunnel 29 (2010) 8, pp. 14-24
- [3] Breidenstein, M.: Neues Tunnelbauverfahren zur Streckenmodernisierung unter laufendem Betrieb; Tunnel 26 (2007) 2, pp. 20-30
- [4] Simon, S.: Erneuerung bestehender Eisenbahntunnel bei der Deutschen Bahn mit der Tunnel-im-Tunnel-Methode, Felsbau (2011), pp. 133-138



Injektion mit Rammverpresslanzen



Injektion im Erdreich und unter Bauteilen

- Verfestigen
- Stabilisieren
- Abdichten



Vorteile

- je nach Verpresstiefe individuell kombinierbar
- flexible Anordnung der Austrittsbohrungen möglich



Anwendervideos unter

[www.desoi.de
anwendervideos/
rammverpresslanzen](http://www.desoi.de/anwendervideos/rammverpresslanzen)



DESOI®

DESOI GmbH

Gewerbestraße 16

36148 Kalbach/Rhön

+49 6655 9636-0

info@desoi.de www.desoi.de