Tunnelbau 2021

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

DGGT
Deutsche Gesellschaft
für Geotechnik e. V.
German Geotechnical Society

Taschenbuch für den Tunnelbau 2021

Kompendium der Tunnelbautechnologie
Planungshilfe für den Tunnelbau

Herausgegeben von der DGGT ·
Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.

Unter Mitwirkung von Dr. rer. nat. K. Laackmann (Federführung)
Prof. Dr.-Ing. H. Balthaus
Dipl.-Ing. M. Breidenstein
Dr. C. Camós-Andreu
Dr. S. Franz
Dipl.-Ing. W.-D. Friebel
Prof. Dr.-Ing. A. Hettler
Prof. Dr.-Ing. B. Maidl
Dipl.-Ing. M. Meissner
Dipl.-Ing. E. Scherer
Dipl.-Ing. S. Schwaiger
Prof. Dr.-Ing. M. Thewes
Dr.-Ing. G. Wehrmeyer
Dr.-Ing. B. Wittke-Schmitt

45. Jahrgang

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische
Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

© 2021 Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische
Wissenschaften GmbH & Co. KG, Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen,
vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung
des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein
anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere
von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder
übersetzt werden.

All rights reserved (including those of translation into other languages).
No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting,
microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine
language without written permission from the publisher.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen
Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von
jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um
eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen
handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Herstellung: pp030 – Produktionsbüro Heike Praetor, Berlin
Satz: Olaf Mangold Text & Typo, Stuttgart
Druck und Bindung:

Printed in the Federal Republic of Germany.
Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Print ISBN: 978-3-433-03319-7
ePDF ISBN: 978-3-433-61043-5
ePub ISBN: 978-3-433-61042-8
oBook ISBN: 978-3-433-61041-1

Advert not available in this digital edition

Advert not available in this digital edition

Vorwort zum fünfundvierzigsten Jahrgang

Mit der Eröffnung des Ceneri-Basistunnels Anfang September dieses Jahres wurde in der Schweiz die 1992 beschlossene Neue Eisenbahn-Alpentransversale (NEAT) vollendet, zu der auch die Basistunnel unter dem Gotthard-Massiv und dem Lötschberg gehören. Auch die weiteren Großprojekte in den Alpen machen gute Fortschritte; so erfolgte im Koralmtunnel in diesem Sommer der finale Durchschlag und beim Brenner Basistunnel sind mehr als die Hälfte aller Strecken ausgebrochen. Beim Projekt Stuttgart–Ulm sind mit Ausnahme der Tunnelröhren nach Obertürkheim alle Fernbahntunnel im Stadtgebiet von Stuttgart durchgeschlagen. Gleiches gilt für den Albvorlandtunnel und die Tunnelröhren des Albauf- und Albabstiegs. Solche Großprojekte sind Innovationstreiber. Sie erfordern oftmals neue Lösungen und Vorgehensweisen, definieren die Grenzen des technisch Machbaren neu und tragen so zu einer Weiterentwicklung der Tunnelbautechnik bei, von der wiederum eine Vielzahl an Projekten in aller Welt profitieren kann.

In bewährter Form werden auch in dieser Ausgabe des Taschenbuchs für den Tunnelbau interessante Projekte und innovative Lösungen vorgestellt. Mit Unterstützung eines sehr engagierten Beirats, der alle am Tunnelbau Beteiligten vertritt und sich aus Vertretern der Bauherren, Bauindustrie, beratenden Ingenieure, Maschinenhersteller und Zulieferer sowie Hochschule und Wissenschaft zusammensetzt, haben Herausgeber und Verlag elf spannende Beiträge aus den Themenbereichen konventioneller bergmännischer Tunnelbau, maschineller Tunnelbau, Digitalisierung im Tunnelbau, Maschinen und Geräte, Baustoffe und Bauteile, Forschung und Entwicklung, Praxisbeispiele sowie Vertragswesen, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz ausgewählt. Ein Einkaufsführer zum Thema Tunnelbaubedarf rundet das Buch ab.

Wir wünschen Ihnen eine interessante Lektüre und freuen uns über Rückmeldungen sowie Themenanregungen und Beitragsvorschläge für zukünftige Ausgaben aus Ihren Reihen. Wenden Sie sich dazu bitte an die Mitglieder des Herausgeberbeirats oder an die Redaktion des Verlags Ernst & Sohn.

Dr.-Ing. *B. Wittke-Schmitt* Dr. rer. nat. *K. Laackmann*

Inhalt

Vorwort zum fünfundvierzigsten Jahrgang ..... *V*

Autorenverzeichnis ..... *XV*

Konventioneller bergmännischer Tunnelbau

I. Bahnprojekt Stuttgart–Ulm, Anfahrbereich HBF Süd: Auffahren von Großquerschnitten im Vollausbruch *1*
Martin Wittke, Ralf Druffel, Günter Osthoff, Andreas Rath

1 Einleitung *2*
2 Projekt *4*
3 Baugrundverhältnisse *8*
4 Planung für Ausbruch und Sicherung *10*
5 CGV-Maßnahme *17*
6 Bauausführung *18*
7 Zusammenfassung *23*

II. Abdichtung druckwasserhaltender Eisenbahntunnel mit Kunststoffdichtungsbahnen in Deutschland – Diskussionsbeitrag zu einer planmäßigen Blockhinterlegung *26*
Anna-Lena Hammer, Carles Camós-Andreu, Elena Kosak, Markus Thewes

1 Einleitung *28*
2 Begriffsdefinitionen *32*
3 Dichtigkeitsanforderungen und konstruktive Umsetzung bei konventionell hergestellten Tunnelbauwerken in Deutschland *35*
4 Internationaler Vergleich des Abdichtungssystems *45*
5 Diskussion zu abdichtungsrelevanten Faktoren *52*
6 Diskussion zum Konzept des Prüf- und Injektionssystems *71*

Advert not available in this digital edition

7 Diskussion zur Zweckmäßigkeit einer planmäßigen Blockhinterlegung zur Bewältigung aktueller Herausforderungen bzgl. des Abdichtungssystems *80*
8 Zusammenfassung und Ausblick *98*

III. Herstellung einer hochbewehrten Innenschale im anhydritführenden Gebirge des Tunnels Feuerbach *106*
Niklas Hirche, Patricia Wittke-Gattermann, Claus Erichsen, Wolfgang Pitscheider, Thomas Beeck, Manfred Kicherer, Stefan Priß

1 Einleitung *107*
2 Untergrund und Grundwasser *108*
3 Tunnelbautechnische Maßnahmen für den Vortrieb und die Innenschalen im quellfähigen Gipskeuper *109*
4 Abdichtung entlang der Tunnelröhre *111*
5 Bewehrung Innenschale im quellfähigen Gebirge *114*
6 Neues Tragsystem für die Bewehrung: Gebetteter Spannbogen GSR *133*
7 Beton einer metrigen Innenschale *144*
8 Temporäre Edelstahldurchdringungen *145*
9 Fazit *146*

Maschineller Tunnelbau

I. Herstellung von Anlandungsstrecken von Unterwasser-Gaspipelines im Rohrvortrieb *148*
Josef Kofler, Günter Konrad, Ralf Wilhelm

1 Einleitung *150*
2 Projekt Nord Stream 2 im Überblick *150*
3 Besonderheiten dieses Projekts gegenüber konventionellen Rohrvortriebsbaustellen *152*
4 Herstellung der Pressgruben *155*
5 Rohrvortrieb und Besonderheiten bei der Planung und Ausführung *156*
6 Schlussbemerkungen *168*

Advert not available in this digital edition

Maschinen und Geräte

I. DAUB-Empfehlung zur Auswahl von Tunnelbohrmaschinen – Vorgehensweise und Beispiele ***169***
Ulrich Maidl, Christoph Budach, Janosch Stascheit, Gerhard Wehrmeyer

1 Einleitung ***170***
2 Anwendung und Struktur der Empfehlung ***171***
3 Einteilung von Tunnelbohrmaschinen (TBM) ***175***
4 Baugrund- und Systemverhalten ***176***
5 Anwendungsbeispiele ***189***
6 Abschließende Bemerkungen ***199***

Baustoffe und Bauteile

I. Verwertung von Ausbruchmaterial bei maschinellen Tunnelvortrieben im Lockergestein ***203***
Christian Thienert, Georg Breitsprecher, Christoph Budach

1 Einleitung ***204***
2 Eigenschaften von Tunnelausbruchmaterial ***208***
3 Maßnahmen zur Aufbereitung und Verwertung ***211***
4 Interessengruppen und Randbedingungen ***213***
5 Praxisbeispiele ***220***
6 Schlussfolgerungen ***223***

Forschung und Entwicklung

I. Aerodynamische Aspekte moderner Eisenbahntunnel ***228***
Hans-Joachim Wormstall-Reitschuster, Carles Camós-Andreu, Michael Hieke, Peter Deeg

1 Einführung ***228***
2 Druckwellen ***231***
3 Luftströmungen ***232***
4 Tunnelknall ***233***
5 Betriebliche Situationen ***235***
6 Auswirkungen auf Tunneleinbauten ***236***

Advert not available in this digital edition

7 Auswirkungen auf Fahrzeuge *237*
8 Auswirkungen auf Personen *238*

Digitalisierung im Tunnelbau

I. BIM-Pilotprojekt an der östlichen Tunnelkette A 44 in Hessen *243*
Stefan Franz

1 Vorbemerkung *243*
3 Anwendungsfälle *252*
4 Vergabestrategie für die Bauleistung *258*
5 Fazit und Ausblick *259*

Praxisbeispiele

I. Unterirdischer Wendevorgang einer Hartgesteins-Schildmaschine in 20 Tagen – ein Erfahrungsbericht aus dem Fildertunnel *261*
Andreas Rath, Matthias Türtscher

1 Einleitung *262*
2 Der Fildertunnel im Überblick *262*
3 Entwicklung von Vortriebs- und Logistikvarianten *264*
4 Beauftragtes alternatives Auffahr- und Logistikkonzept *265*
5 Bau und Ausrüstung der Wendekaverne *267*
6 Der Wendevorgang zwischen Durchschlag und Wiederanfahrt *268*
7 Logistik-Installationen in der Wendekaverne *274*
8 Schlussbetrachtung *274*

II. Unterfahrung der denkmalgeschützten DB-Direktion im Großprojekt Stuttgart 21 ..... *277*
Tomas Vardijan, Michael Pradel

1 Ehemaliges Direktionsgebäude der DB *278*
2 Planung der Abfangung *281*
3 Stand der Arbeiten *290*
4 Ergebnisse der Verformungsmessung *290*
5 Schlusswort *291*

Advert not available in this digital edition

Vertragswesen

I. Konfliktarmer Bauvertrag im Untertagebau ***293***
DAUB-Arbeitskreis mit einem Vorwort von Matthias Breidenstein

Präambel ***296***
1 Einleitung ***297***
2 Genehmigungen und Gestattungen („Baurecht“) ***298***
3 Anforderungen an die technische Planung („Ausführbarer Entwurf“) ***299***
4 Gestaltung der LV-Positionen ***301***
5 Baugrundmodell mit Verfahrensbereichen/ Interaktionsmodell ***302***
6 Klare und faire Risikoverteilung ***305***
7 Planungsfreigabeprozesse ***306***
8 Personelle Ausstattung und Organisationsstruktur ***307***
9 Regeln der Zusammenarbeit ***308***
10 Außergerichtliche Streitbeilegung ***309***
11 Zusammenfassung und Ausblick ***310***

Tunnelbaubedarf ***313***

Inserentenverzeichnis ***321***

Autorenverzeichnis

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Beeck, GSR Spannring GmbH, Zotzenheimerstraße 64a, 55576 Sprendlingen ***106***

Dipl.-Ing. Georg Breitsprecher, Niederlassungs- und Bereichsleiter, CDM Smith, Bouchéstraße 12, 12435 Berlin ***203***

Prof. Dr. Ing. Christoph Budach, Fakultät für Bauingenieurwesen und Umwelttechnik, Lehr- und Forschungsgebiet Geotechnik und Tunnelbau, Technische Hochschule Köln, Campus Deutz, Betzdorfer Straße 2, 50679 Köln ***169, 203***

Dr. Carles Camós-Andreu, DB Netz AG, Tunnel- und Erdbau Technik, Richelstraße 3, 80634 München ***26, 228***

DAUB-Arbeitskreis: Thorsten Weiner (Leitung), Matthias Breidenstein, Heinz Ehrbar, Dieter Handke, Rainer Rengshausen, Edgar Schömig, Jürgen Schwarz, Klaus Würthele ***293***

Dipl.-Ing. Peter Deeg, DB Systemtechnik, Völckerstraße 5, 80939 München ***228***

Dipl.-Ing. Ralf Druffel, Prokurist, WBI GmbH, Im Technologiepark 3, 69469 Weinheim ***1***

Dr.-Ing. Claus Erichsen, WBI GmbH, Im Technologiepark 3, 69469 Weinheim ***106***

Dr.-Ing. Stefan Franz, DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH, Zimmerstraße 54, 10117 Berlin ***243***

Dr.-Ing. Anna-Lena Hammer, Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum ***26***

Dipl.-Ing. Michael Hieke, DB Systemtechnik, Völckerstraße 5, 80939 München ***228***

Dipl.-Ing. Niklas Hirche, Alfred Kunz Untertagebau, Frankfurter Ring 213, 80807 München ***106***

Dipl.-Ing. Manfred Kicherer, Alfred Kunz Untertagebau, Frankfurter Ring 213, 80807 München ***106***

Dipl.-Ing. Josef Kofler, Bereichsleiter Pipe jacking, Ed. Züblin AG, Direktion IU-Tunnelbau, Altstadtweg 5, 70567 Stuttgart ***148***

Dipl.-Ing. Günter Konrad, Oberbauleiter, Ed. Züblin AG, Direktion IU-Tunnelbau, Altstadtweg 5, 70567 Stuttgart ***148***

M. Sc. Elena Kosak, Zetcon Ingenieure GmbH, Lennershofstr. 162, 44801 Bochum ***26***

Dr.-Ing. Ulrich Maidl, MTC – Maidl Tunnelconsultants, Goethestraße 74, 80336 München ***169***

Dipl.-Ing. Günter Osthoff, Leiter Technisches Projektmanagement, Stuttgart Tunnel Süd IGT(2), DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH, Räpplenstr. 17, 70191 Stuttgart ***1***

Dipl.-Ing. Wolfgang Pitscheider, Ferro-Technic GmbH, Auwerkstraße 2a, A-6460 Imst ***106***

Dipl.-Ing. (FH) Michael Pradel, Projektleiter, Technisches Projektmanagement Stuttgart Hbf (I.GT (1)), DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH, Räpplenstr. 17, 70191 Stuttgart ***277***

Dipl.-Ing. Stefan Priß, Alfred Kunz Untertagebau, Frankfurter Ring 213, 80807 München ***106***

DI Andreas Rath, PORR Bau GmbH, Techn. Geschäftsführung ARGE ATCOST 21, Absberggasse 47, A-1100 Wien ***1, 261***

Dr.-Ing. Janosch Stascheit, MTC – Maidl Tunnelconsultants, Fuldastraße 11, 47051 Duisburg ***169***

Prof. Dr.-Ing. Markus Thewes, Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum ***26***

Dr.-Ing. Christian Thienert, Bereichsleiter Tunnelbau und Bautechnik, STUVA e.V., Mathias-Brüggen-Straße 41, 50827 Köln ***203***

Dr. Matthias Türtscher, G. Hinteregger & Söhne Baugesellschaft m.b.H., Bergerbräuhofstraße 27, A-5020 Salzburg ***261***

Dipl.-Ing. (FH) Tomas Vardijan, Team Manager und Authorised Signatory Ed. Züblin AG, Zentrale Technik, Technisches Büro Tiefbau Stuttgart (TBT-S), Albstadtweg 3, 70567 Stuttgart ***277***

Dr.-Ing. Gerhard Wehrmeyer, Leiter Forschung und Entwicklung, Herrenknecht AG, Schlehenweg 2, 77963 Schwanau ***169***

Dipl.-Ing. Ralf Wilhelm, Projektleiter, Ed. Züblin AG, Direktion IU-Tunnelbau, Altstadtweg 5, 70567 Stuttgart ***148***

Dr.-Ing. Martin Wittke, Geschäftsführer, WBI GmbH, Im Technologiepark 3, 69469 Weinheim ***1***

Dr.-Ing. Patricia Wittke-Gattermann, WBI GmbH, Im Technologiepark 3, 69469 Weinheim ***106***

Dipl.-Ing. univ. Hans-Joachim Wormstall-Reitschuster, DB Systemtechnik, Völckerstraße 5, 80939 München ***228***

Advert not available in this digital edition

Konventioneller bergmännischer Tunnelbau

I. Bahnprojekt Stuttgart–Ulm, Anfahrbereich HBF Süd: Auffahren von Großquerschnitten im Vollausbruch

Martin Wittke, Ralf Druffel, Günter Osthoff, Andreas Rath

Im Hangbereich des Anfahrbereichs HBF Süd des Projekts Stuttgart 21 wurden zwei zweigleisige Eisenbahntunnelröhren mit Längen von ca. 220 bis 230 m aufgefahren. Die Tunnel liegen bei Überdeckungen von ca. 7 bis 45 m im ausgelaugten Gipskeuper unter Bebauung. Die bis zu 20 m breiten und ca. 16 m hohen Tunnelröhren wurden im Vollausbruch mit abgetreppter Ortsbrust aufgefahren. Die Ausbruchsleibung wurde mit einer 50 bis 60 cm dicken stahlfaserbewehrten Spritzbetonschale gesichert. Die vorauseilende Sicherung erfolgte mit Ortsbrustankern, Sohlankern und Rohrschirmen. Zum Schutz der Bebauung wurden Hebungsinjektionen durchgeführt. Dazu wurden bis zu ca. 100 m lange Bohrungen aus zwei Schächten hergestellt. Die Vortriebsarbeiten konnten im Jahr 2020 erfolgreich abgeschlossen werden. Es wurden im Mittel Nettovortriebsleistungen von ca. 0,6 m/d erreicht.

Railway project Stuttgart–Ulm, launching area Station South: Full face heading with large cross sections

For the launching area Station South of the railway project Stuttgart 21, two 220 m and 230 m long two-track railway tunnels have been constructed. The tunnels are located in the leached Gypsum Keuper. The overburden varies from approx. 7 to 45 m. The tunnel cross sections are up to 20 m wide and up to approx. 16 m high. Heading was carried out by full face excavation with a stepped temporary face. The tunnel contour was supported by a 50 to 60 cm thick membrane of steel fibre reinforced shotcrete. The advancing support consisted of face anchors, invert anchors and forepoling. In order to protect the buildings at the surface against inadmissible subsidence compensation grouting was carried out. For this purpose up to approx. 100 m long drillings were carried out from

two shafts. Excavation works were successfully completed in the year of 2020. An average net advance rate of 0.6 m was achieved.

1 Einleitung

Für das Projekt Stuttgart 21 wurden im zum Fildertunnel gehörenden Anfahrbereich HBF Süd vom Verzweigungsbauwerk HBF Süd zum Südkopf des neuen Hauptbahnhofs zwei ca. 220 bis 230 m lange Tunnelröhren gebaut. Die für einen zweigleisigen Eisenbahnbetrieb ausgelegten Tunnelröhren besitzen ein Maulprofil.

Ursprünglich war vorgesehen, die Tunnelröhren in diesem Bereich in jeweils drei Abschnitten aufzufahren. In den einzelnen Abschnitten sollte vor Beginn der Vortriebsarbeiten in den Nachbarabschnitten zunächst die Innenschale eingebaut werden, um eine mögliche Beeinflussung des Druckspiegels des Mineralwassers unter der Stadt Stuttgart gering zu halten.

Im Zuge der Ausführung konnte u. a. durch 3D-Finite-Elemente-(FE)-Berechnungen der Sickerströmung gezeigt werden, dass es möglich ist, eine Beeinflussung des Druckspiegels im Mineralwasseraquifer auch dann zu vermeiden, wenn die Sicherung des Tunnels durch Stahlfaserspritzbeton erfolgt. Dieser muss jedoch eine geringe Durchlässigkeit besitzen und gegen Wasserdruck bemessen werden. Auf eine außen liegende Dränage muss dann verzichtet werden. Durch diese Maßnahmen war es möglich, auf den ursprünglich vorgesehenen schrittweisen Einbau der Innenschale zu verzichten.

Die zweigleisigen Tunnelröhren im Anfahrbereich HBF Süd sollten nach den ursprünglichen Planungen ebenso wie die Röhren unter dem Kriegsberg im Ulmenstollenvortrieb aufgefahren werden. Bei Ulmenstollenvortrieben kommt es jedoch, insbesondere bei hohen Überlagerungen, zu einer sehr ungünstigen Biege- und Querkraftbeanspruchung der Spritzbetonschale im Bereich der Anschlüsse der Ulmenstiele an das Gewölbe. Auch bei den Vortrieben für die Großquerschnitte unter dem Kriegsberg für die Tunnel des Planfeststellungsabschnitts (PFA) 1.5 des Projekts Stuttgart 21 hat sich gezeigt, dass sich an diesen Stellen eine sehr ungünstige Beanspruchung ergibt, gegen die die Spritzbetonschale nur schwer zu bemessen ist.

Advert not available in this digital edition

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde entschieden, die Vortriebe für die Großquerschnitte im Anfahrbereich HBF Süd im Vollausbruch mit abgetreppter Ortsbrust auszuführen.

Im vorliegenden Beitrag werden das Projekt, die Baugrundverhältnisse sowie die Planung beschrieben, und es wird über die Erfahrungen beim Bau berichtet.

2 Projekt

Für das Bahnprojekt Stuttgart–Ulm werden im Stadtgebiet von Stuttgart mehr als 50 km Tunnel gebaut. Der neue Hauptbahnhof wird über die Tunnel nach Feuerbach, Bad Cannstatt sowie Ober- und Untertürkheim u. a. mit dem bestehenden Streckennetz der Deutschen Bahn (DB) verbunden. Über den vom Südkopf des neuen Hauptbahnhofs, Bauabschnitt (BA) 25, auf die Filderebene laufenden ca. 2 × 9,5 km langen Fildertunnel erfolgt die Anbindung an den Flughafen und die Neubaustrecke nach Ulm [1, 2].

Für den Anfahrbereich HBF Süd des Fildertunnels werden zwei zweigleisige Tunnelröhren, die Röhren 815 und 825, gebaut (Bild 1). Diese

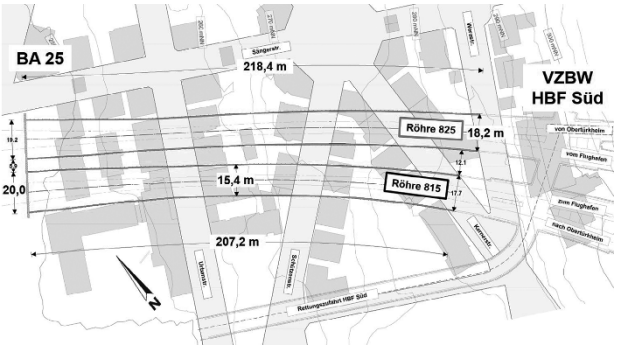

Bild 1. Anfahrbereich HBF Süd, Lageplan

Advert not available in this digital edition

verbinden den Hauptbahnhof mit dem Verzweigungsbauwerk HBF Süd, in dem die Tunnel nach bzw. von Obertürkheim vom Fildertunnel abzweigen. Im Verzweigungsbauwerk mündet auch die Rettungszufahrt HBF Süd, über die u. a. der Anfahrbereich HBF Süd aufgefahren wurde.

Die Tunnelröhren haben im Anfahrbereich einen bis zu 20,0 m breiten und 15,6 m hohen Ausbruchquerschnitt (Bild 2) [3]. Der Querschnitt wird durch eine 50 bis 60 cm dicke Schale aus stahlfaserbewehrtem Spritzbeton gesichert. Aus statischen Gründen wurde die Sohle stärker ausgerundet, als es das Lichtraumprofil erfordert.

Der Tunnelquerschnitt verjüngt sich ausgehend vom BA 25 zunächst und weitet sich in Richtung Verzweigungsbauwerk wieder auf. Die geringste Ausbruchbreite von ca. 15,4 m wird östlich der Urbanstraße erreicht (vgl. Bild 1). Hier besitzt der Tunnel auch die geringste Querschnittshöhe (Bilder 2 und 3). Zur Vereinfachung der Schalung der ständig wechselnden Querschnitte werden die Sohle und die Innenseite der Firste der Innenschale horizontal ausgeführt. Die Innenradien in Höhen der Ulmen können auf diese Weise unverändert

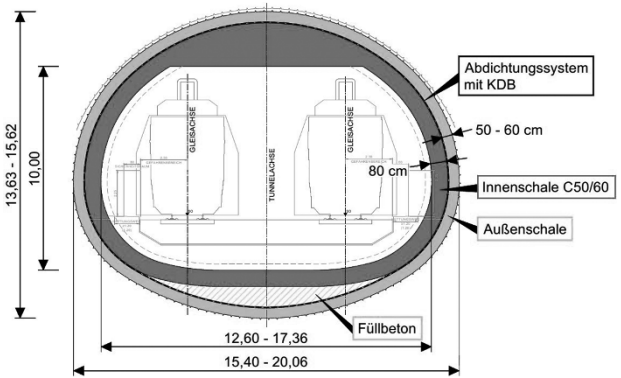

Bild 2. Tunnelquerschnitt

Advert not available in this digital edition

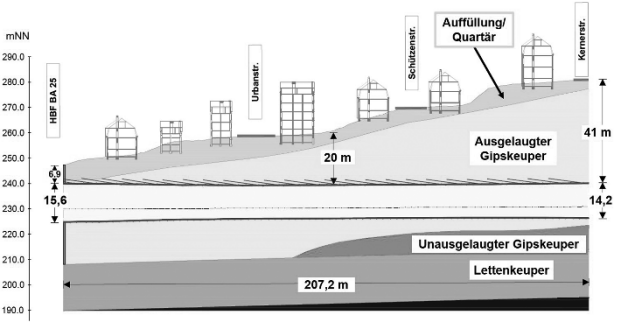

Bild 3. Weströhre (815), Längsschnitt

bleiben. Unterhalb der horizontalen Sohle wird der verbleibende Zwischenraum zwischen Innen- und Außenschale mit Füllbeton ausgefüllt. Der Tunnel wird mit einer KDB abgedichtet.

Die Überlagerung des Tunnels wächst von ca. 7 m an der Bohrpfahlwand des BA 25 auf ca. 40 bis 50 m im Bereich des Verzweigungsbauwerks an. Der Tunnel liegt über die gesamte Länge des Anfahrbereichs unter mehrgeschossiger Bebauung (Bilder 1 und 3).

3 Baugrundverhältnisse

Im Anfahrbereich HBF Süd liegen die Tunnel nahezu ausschließlich in den Schichten des ausgelaugten Gipskeupers (vgl. Bild 3). An der Geländeoberfläche stehen Hangschutt und Auffüllungen an, die nach den Ergebnissen der Erkundungen im Bereich des BA 25 bis unmittelbar über die Firste reichen.

Am Übergang zum Verzweigungsbauwerk steht unterhalb der Tunnelsohle anhydritfreier, unausgelaugter Gipskeuper an. Der Lettenkeuper liegt nach den Ergebnissen der Erkundungen ca. 15 m unter der Tunnelsohle. Daran schließt sich unterhalb der Obere Muschelkalk an, der Mineralwasser führt.

Advert not available in this digital edition

Der ausgelaugte Gipskeuper ist ein sulfatfreies Residualgestein des Gipskeupers, das eher Lockergesteinscharakter besitzt, weil die durch das Sulfat bedingte Festigkeit des Gipskeupers durch Auslaugung verloren gegangen ist [4]. Auf der Grundlage von Erfahrungen kann der ausgelaugte Gipskeuper nach dem Wassergehalt in vier Klassen eingeteilt werden:

– Klasse I: gesteinsartig,
– Klasse II: mürbe,
– Klasse III: sehr mürbe,
– Klasse IV: vollständig entfestigt.

Der E-Modul des ausgelaugten Gipskeupers kann für die Klassen II und III mit 150 MN/m^2 angenommen werden. Bei größerem Anteil der Klasse IV liegt der E-Modul nur noch in der Größenordnung von 80 MN/m^2 [4]. Die Festigkeit des ausgelaugten Gipskeupers kann nach Mohr-Coulomb mit $\varphi = 30°$ und $c = 0$ kN/m^2 oder $\varphi = 25°$ und $c = 20$ kN/m^2 angesetzt werden.

Insbesondere im Bereich von Störzonen und in der Nähe der Auslaugungsfront, d. h. in der Nähe des Übergangs zum unausgelaugten Gebirge, können im ausgelaugten Gipskeuper Dolinen vorhanden sein.

4 Planung für Ausbruch und Sicherung

Als Grundlage für die Planung wurden räumliche FE-Berechnungen mit den Programmsystemen FEST03 und HYD03 durchgeführt. Beispielhaft zeigt Bild 4 das FE-Netz des Berechnungsquerschnitts für den Bereich mit der größten Überlagerung. Es wurden beide Tunnelröhren nachgebildet, um die gegenseitige Beeinflussung der beiden Röhren untersuchen zu können.

Der E-Modul des ausgelaugten Gipskeupers wurde in den Berechnungen variiert, E = 80 MN/m^2 und E = 150 MN/m^2. Für den unterhalb der Sohle anstehenden unausgelaugten Gipskeuper wurde elastisches Verhalten angenommen. Der E-Modul des Spritzbetons wurde in den Berechnungen ebenfalls variiert. Aufgrund der vergleichsweise geringen Vortriebsgeschwindigkeit wurde der Bemes-