Tunnelbau 2019

DGGT

Deutsche Gesellschaft
für Geotechnik e. V.
German Geotechnical Society

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

Taschenbuch für den Tunnelbau 2019

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. S. Franz
Dipl.-Ing. W.-D. Friebel
MR Dipl.-Ing. K. Goj
Prof. Dr.-Ing. A. Hettler
Prof. Dr.-Ing. B. Maidl
Dipl.-Ing. M. Meissner
Dipl.-Ing. E. Scherer
Dipl.-Ing. W. Schuck
Dipl.-Ing. S. Schwaiger
Prof. Dr.-Ing. M. Thewes
Dr.-Ing. G. Wehrmeyer
Dr.-Ing. B. Wittke-Schmitt

43. 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.

© 2018 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: Reemers Publishing Services GmbH, Krefeld
Druck und Bindung:

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

Print ISBN: 978-3-433-03262-6
ePDF ISBN: 978-3-433-60976-7
ePub ISBN: 978-3-433-60974-3
oBook ISBN: 978-3-433-60973-6

Vorwort zum dreiundvierzigsten Jahrgang

Das Taschenbuch für den Tunnelbau ist seit vielen Jahren ein praxisnaher Ratgeber für Auftraggeber, Planer und Bauausführende. Es greift aktuelle Entwicklungen und Problemstellungen auf und dokumentiert dabei den erreichten Stand der Technik. In bewährter Art haben Herausgeberbeirat und Verlag einen interessanten Themenmix zusammengestellt, bei dem erfahrene Autoren über innovative Lösungen und Erfahrungen aus aktuellen Projekten berichten.

Nach dem im Dezember 2015 veröffentlichten Stufenplan zur Einführung von Building Information Modeling (BIM) im Verkehrsbereich durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) soll ab dem Jahr 2020 die Methodik von BIM in der Planung und Ausführung von neu zu erstellenden Verkehrsinfrastrukturprojekten angewendet werden. Seitdem wurden mehrere Pilotprojekte initiiert. Die neue Planungsmethodik – nach dem Grundsatz erst virtuell und dann real zu bauen – und ihre Umsetzung in der Praxis stellen Planer und Ausführende vor neue Herausforderungen. Diese Entwicklungen werden ab der Ausgabe 2019 in der neu eingeführten Rubrik Digitalisierung im Tunnelbau betrachtet. Weitere Beiträge der Ausgabe 2019 befassen sich mit dem konventionellen bergmännischen Tunnelbau, dem maschinellen Tunnelbau, Baustoffen und Bauteilen sowie Vertragswesen, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz. Ein Einkaufsführer für den Tunnelbaubedarf ergänzt den redaktionellen Teil.

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

Autorenverzeichnis

Konventioneller bergmännischer Tunnelbau

I. Bahnprojekt Stuttgart–Ulm, Tunnel Albabstieg im Karstgebirge: Vortriebsbegleitende Karsterkundung, Schlussfolgerungen für Bau und Bemessung, Brandbemessung *1*
Frank Könemann, Stefan Kielbassa, Klaus-Dieter Höwing, Matthias Abele

1 Einleitung *2*
2 Baugrund und Grundwasser *8*
3 Verteilung der Vortriebsklassen *11*
4 Auswirkung der Karststrukturen *12*
5 Vortriebsbegleitende Karsterkundung und -behandlung *13*
6 Bemessung infolge Karst *25*
7 Brandbemessung *30*
8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen *33*

II. Geotechnische Herausforderungen beim Bau des Tunnels Oberau – Spritzbetonvortrieb im Lockergestein mit geringer Überdeckung und Hebungsinjektionen im Bereich des Gießenbachtals *35*
Karl Goj, Stephan Geuder, Jochen Fillibeck, Martin Sailer, Andy Klinger, Erik Neun

1 Einleitung *36*
2 Geologische und hydrogeologische Verhältnisse *38*
3 Vortriebskonzept *40*
4 Besonderheiten beim Lockergesteinsvortrieb in den Kiesen des Gießenbachtals *42*
5 Hebungsinjektionen im Gießenbachtal *55*
6 Besonderheiten bei der Planung der unbewehrten Innenschale *70*
7 Zusammenfassung *74*

Maschineller Tunnelbau

I. Maschineller Tunnelvortrieb mit sehr kleinem Durchmesser – Erfolgreiches Generationenprojekt im Ruhrgebiet mit einer der kleinsten EPB-TVM der Welt *79*
Rainer Rengshausen, Bernd Schockemöhle

1 Einleitung *80*
2 Montage der TVM *92*
3 Ringspaltmörtel *94*
4 Bewetterung *94*
5 Schlussfolgerung *95*

II. Anwendung eines phosphatbasierten Ringspaltmörtels beim Bau des Fildertunnels im anhydritführenden Gebirge *97*
Lars Bayer, Thomas Berner, Martin Wittke

1 Einleitung *97*
2 Bauwerk *99*
3 Baugrundverhältnisse *101*
4 Vortriebskonzept *102*
5 Anforderungen an den Ringspaltmörtel *104*
6 Phosphatbasierter Ringspaltmörtel *113*
7 Voruntersuchungen *114*
8 Erfahrungen aus dem Vortrieb *118*
9 Zusammenfassung *119*

Digitalisierung im Tunnelbau

I. Einsatzmöglichkeiten von Building Information Modelling (BIM) in der Planungs- und Bauphase im maschinellen Schildvortrieb *123*
Felix Hegemann, Jelena Ninić, Günther Meschke, Janosch Stascheit, Ulrich Maidl

1 Einleitung *124*
2 BIM in der Planungsphase im Tunnelbau *128*
3 BIM in der Ausführungsphase im Tunnelbau *135*
4 BIM in der Betriebsphase im Tunnelbau *141*
5 Beispielszenarien *142*
6 Fazit *145*

II. Nutzung von BIM für das Asset Management von Verkehrsinfrastruktur am Beispiel des ÖPP-Projekts A7 ..... *149*
Daniela Schäfer, Joachim von Lukowicz, Ivan Čadež, Frank Bialas

1 Entwicklung von BIM in Deutschland *150*
2 P3IM – Lösung für ein BIM-System zum Asset Management *154*
3 BIM-Anwendung im Asset Management *158*
4 Erste Schlussfolgerung zum Einsatz der BIM-Methodik in der Betriebsphase *171*
5 Zusammenfassung und Ausblick *172*

III. Erhöhung der Arbeitssicherheit im Tunnelbau durch proaktive Kollisionsvermeidung *175*
Florian P. Rauth, Olga Golovina, Jochen Teizer, Markus König

1 Einleitung *176*
2 Historie *177*
3 Gefahren im Tunnelbau *179*
4 Hintergrund Arbeitsschutz *185*
5 Konzept und Methode *200*
6 Experimente und Resultate *207*
7 Diskussion, Zusammenfassung und Ausblick *216*

Baustoffe und Bauteile

I. Bergmännische Tunnel mit KDB-Abdichtung: Lagesicherung der Innenschalenbewehrung mit innovativen Ankern *221*
Marc Meissner, Felix Meese, Stephan Schlegel

1 Motivation *221*
2 Ausbildung druckwasserhaltender KDB-Abdichtungen *224*
3 Innovativer Abdichtungsanker *231*
4 Anwendung in Bahn- und Straßentunneln *235*
5 Fazit und Ausblick *235*

II. Erfolgreicher Einsatz von rein stahlfaserbewehrten Tübbingen im Projekt Cityringen, Branch Off to Nordhavn *237*
Carsten Schulte, Christiane Zimmermann, Andreas Koester, Mårten Larson

1 Einleitung *238*
2 Vorstellung des Projekts Nordhavn *240*
3 Bemessung und Nachweisführung im Rahmen der Ausführungsplanung *246*

4 Ausführung *257*
5 Schlussfolgerung und Ausblick *264*

Vertragswesen, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz

I. DAUB-Empfehlungen für die Ermittlung von Lebenszyklus-kosten für Straßentunnel *267*
DAUB-Arbeitskreis

1 Einleitung *268*
2 Lebenszyklus von Tunnelbauwerken *270*
3 Nutzungsdauern *276*
4 Kapitalwertverfahren *289*
5 Berechnung der Lebenszykluskosten *295*
6 Auswertungen und Analysen *311*

II. Entwicklung eines Kostenmodells zur exakteren Abschätzung der Herstellkosten von Tunnelbauwerken – Teil 1 ..... *321*
Markus Thewes, Peter Hoffmann, Götz Vollmann, Wolf-Dieter Friebel, Ingo Kaundinya, Anne Lehan, Andreas Wuttig, Werner Riepe

1 Einleitung *322*
2 Untersuchungskonzept und Struktur der Kostenanalyse *323*
3 Analyse ausgewählter Projekte *334*
4 Risikokostenanalyse und Risikomodell *340*
5 Entwickelte Hilfsmittel für die Kostenprognose einschließlich erster Validierung *343*
6 Zusammenfassung und Ausblick *354*

Tunnelbaubedarf *359*

Inserentenverzeichnis *373*

Autorenverzeichnis

Dipl.-Ing., Matthias Abele, Ed. Züblin AG, Albstadtweg 3, 70567 Stuttgart *S. 1*

Dipl. Ök. Hans Adden, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum *S. 267*

Dipl.-Ing. Lars Bayer, ARGE ATCOST21, Am Ostkai 35, 70327 Stuttgart *S. 97*

Frank Bialas, M.Sc., Technische Universität Dortmund, Lehrstuhl Immobilienwirtschaft und Bauorganisation, August-Schmidt-Str. 8, 44227 Dortmund *S. 149*

Dipl.-Ing. Thomas Berner, DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH, Räpplenstr. 17, 70191 Stuttgart *S. 97*

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Ivan Čadež, Technische Universität Dortmund, Lehrstuhl Immobilienwirtschaft und Bauorganisation, August-Schmidt-Str. 8, 44227 Dortmund *S. 149*

Dr.-Ing. Stephan Engelhardt, Alfred Kunz – Niederlassung der August Reiners Bauunternehmung GmbH, Frankfurter Ring 213, 80807 München *S. 267*

Dr.-Ing. habil. Jochen Fillibeck, Technische Univerität München, Zentrum Geotechnik, Baumbachstr. 7, 81245 München *S. 35*

Dipl.-Ing. Wolf-Dieter Friebel, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Robert-Schuman-Platz 1, 53175 Bonn *S. 267, 321*

Dipl.-Ing. Stephan Geuder, Autobahndirektion Südbayern, Seidlstr. 7–11, 80335 München *S. 35*

Prof. Dipl.-Ing. Karl Goj, Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr, Franz-Josef-Strauß-Ring 4, 80539 München *S. 35*

Dipl.-Ing. Olga Golovina, Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum *S. 175*

Dr.-Ing. Felix Hegemann, Maidl Tunnelconsultants GmbH & Co. KG, Fuldastr. 11, 47051 Duisburg *S. 123*

Dr. Klaus-Dieter Höwing, Geschäftsführer, DHB Beraten & Planen GbR, Oberdorfstr. 12, 91747 Westheim *S. 1*

M. Eng. Peter Hoffmann, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum *S. 321*

Dipl.-Ing. Ingo Kaundinya, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Brüderstr. 53, 51427 Bergisch Gladbach *S. 321*

Dr.-Ing., Stefan Kielbassa, Projektleiter, DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH, Räpplenstr. 17, 70191 Stuttgart *S. 1*

Dipl.-Ing. Andy Klinger, Technische Universität München, Zentrum Geotechnik, Baumbachstr.7, 81245 München *S. 35*

Prof. Dr.-Ing. Frank Könemann, geoteam Ingenieurgesellschaft mbH, Geotechnik, Tunnelbau und Umwelttechnik, Brandschachtstr. 2, 44149 Dortmund *S. 1*

Prof. Dr.-Ing. Markus König, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum *S. 175*

Dipl.-Ing. Andreas Koester, Metroselskabet & Hovedstadens Letbane, Metrovej 5, DK-2300 København S *S. 237*

PhD Mårten Larson, Metroselskabet & Hovedstadens Letbane, Metrovej 5, DK-2300 København S *S. 237*

Dipl. Wirt.-Ing. Anne Lehan, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Brüderstr. 53, 51427 Bergisch Gladbach *S. 267, 321*

Joachim von Lukowicz, Hochtief PPP Solutions, Transport Infrastructure Europe, Alfredstr. 236, 45133 Essen *S. 149*

Dr.-Ing. Ulrich Maidl, Maidl Tunnelconsultants GmbH & Co. KG, Goethestr. 74, 80336 München *S. 123*

Felix Meese, Meese GmbH, Irlenfelder Weg 49, 51467 Bergisch Gladbach *S. 221*

Dipl.-Ing. Marc Meissner, Arbeitskreis Tunnelabdichtung e. V., NAUE Sealing GmbH & Co. KG, Kreuzbreite 29, 31675 Bückeburg *S. 221*

Prof. Dr. techn. Günther Meschke, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Statik und Dynamik, Universitätsstr. 150, 44780 Bochum *S. 123*

Dipl.-Ing. Erik Neun, EDR GmbH, Dillwächterstr. 5, 80686 München *S. 35*

Dr.-Ing. Jelena Ninić, University of Nottingham, Faculty of Engineering, Dept of Civil Engineering, Coates Building B67, University Park Nottingham NG7 2RD, UK *S. 123*

M.S. Florian P. Rauth, Marti GmbH Deutschland, Zettachring 10A, 70567 Stuttgart *S. 175*

Dipl. Ing. Rainer Rengshausen, Porr Bau GmbH, Franz-Rennfeld-Weg 1, 40472 Düsseldorf *S. 79*

Dipl.-Ing. Werner Riepe, BUNG Ingenieure AG, Englerstr. 4, 69126 Heidelberg *S. 321*

M. Sc. Martin Sailer, Technische Universität München, Zentrum Geotechnik, Baumbachstr. 7, 81245 München *S. 35*

Dr. Daniela Schäfer, Hochtief Engineering GmbH, Alfredstr. 236, 45133 Essen *S. 149*

Dipl.-Ing. Stephan Schlegel, Hochtief Construction AG ARGE Tunnel Cannstatt S21, Innerer Nordbahnhof 1, 70191 Stuttgart, *S. 221*

Dr.-Ing. Bernd Schockemöhle, Porr Bau GmbH, Hörder Str. 36, 58239 Schwerte *S. 79*

Dipl.-Ing. Carsten Schulte, Hochtief Engineering GmbH, Alfredstr. 236, 45133 Essen *S. 237*

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schwarz, Universität der Bundeswehr München, Institut für Baubetrieb-BAU 8, Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg *S. 267*

Prof. Dr.-Ing. Ludger Speier, ZPP Ingenieure AG, Lise-Meitner-Allee 11, 44801 Bochum *S. 267*

Dr.-Ing. Janosch Stascheit, Maidl Tunnelconsultants GmbH & Co. KG, Fuldastr. 11, 47051 Duisburg *S. 123*

Ph.D. Dipl.-Ing. Jochen Teizer, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum *S. 175*

Prof. Dr.-Ing. Markus Thewes, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum *S. 267, 321*

Prof. Dr.-Ing. Peter Vogt, Institut Bauingenieurwesen, Duisburger Straße 100, 45479 Mülheim an der Ruhr *S. 267*

Dr.-Ing. Götz Vollmann, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum *S. 321*

Dr.-Ing. Martin Wittke, WBI GmbH, Im Technologiepark 3, 69469 Weinheim *S. 97*

Dipl.-Ing. Andreas Wuttig, Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH, Sankt-Franziskus-Str. 148, 40470 Düsseldorf *S. 321*

Dipl.-Ing. Christiane Zimmermann, Hochtief Infrastructure GmbH, Alfredstr. 236, 45133 Essen *S. 237*

Konventioneller bergmännischer Tunnelbau

I. Bahnprojekt Stuttgart–Ulm, Tunnel Albabstieg im Karstgebirge: Vortriebsbegleitende Karsterkundung, Schlussfolgerungen für Bau und Bemessung, Brandbemessung

Frank Könemann, Stefan Kielbassa, Klaus-Dieter Höwing, Matthias Abele

Die Vortriebe des im Planfeststellungsabschnitt (PFA) 2.4 der Neubaustrecke (NBS) Wendlingen–Ulm liegenden rd. 5,9 km langen Tunnels Albabstieg erfolgten zum Großteil in heterogen verkarstetem Weißjuragebirge und untergeordnet in tertiären Ablagerungen der Unteren Süßwassermolasse. Es werden die geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten beschrieben und aufgezeigt, wie in dem anstehenden Karstgebirge die Tunnelröhren mit der ausgeschriebenen vortriebsbegleitenden Karsterkundung erfolgreich aufgefahren wurden. Zudem wird dargestellt, wie angetroffene bauwerksrelevante Karststrukturen im Hinblick auf den Endausbau saniert wurden und welche Auswirkungen dies auf die Innenschalenbemessung hatte. Abschließend werden Hinweise für die Brandbemessung gegeben und Empfehlungen abgeleitet.

Major Project Stuttgart–Ulm, Albabstieg Tunnel in Karst Rock Mass: Karst Investigation during Tunnelling, Conclusions for Design and Construction, Fire Design

The tunnelling works for the approx. 5.9 km long Albabstieg Tunnel in planning section (PFA) 2.4 on the new line from (NBS) Wendlingen to Ulm were mostly carried out in heterogeneous karstified White Jurassic with some Tertiary deposits of the lower freshwater Molasse. Described are the geological and hydrogeological conditions as well as the successful driving of the tunnels through the prevailing karst rock mass with the specified karst exploration during tunnelling. The paper also describes the improvement of karst struc-

Tunnelbau 2019, Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2018 Ernst & Sohn GmbH & Co. KG. Published 2018 by Ernst & Sohn GmbH & Co. KG.

tures that were significant for construction with regard to the final lining and their effects on the structural design of the inner lining. The paper finishes with remarks about fire protection design and with derived recommendations.

1 Einleitung

Im Rahmen der Ausbau- und Neubaustrecke (NBS) Stuttgart–Augsburg entsteht im Bereich Wendlingen–Ulm innerhalb des Planfeststellungsabschnitts (PFA) 2.4 das Tunnelbauwerk Albabstieg mit einer Länge von ca. 5,9 km. Das Bauwerk besteht aus zwei eingleisigen Tunnelröhren, beginnend auf der Albhochfläche am Nordportal in Dornstadt und endend in der Donauniederung am Südportal des Hauptbahnhofs (Hbf) Ulm. In Abständen von jeweils 500 m sind zwischen beiden Tunnelröhren elf Verbindungsbauwerke angeordnet (Bild 1 und 2).

Die eng begrenzten Platzverhältnisse am tiefliegenden Südportal erlaubten es nicht, die beiden Tunnelröhren von hier aus steigend aufzufahren. Die Vortriebe mussten vielmehr fallend vom Nordportal aus erfolgen (zwei Vortriebe), unterstützt durch einen ca. 400 m langen Zwischenangriff (zwei steigende Vortriebe in Richtung Dornstadt und zwei fallende Vortriebe in Richtung Ulm), um bei der Länge des Tunnels zusätzliche Angriffsmöglichkeiten zu schaffen und die Aufwen-

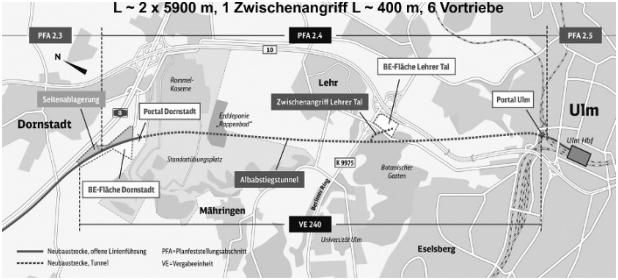

Bild 1. Lage des Tunnels Albabstieg

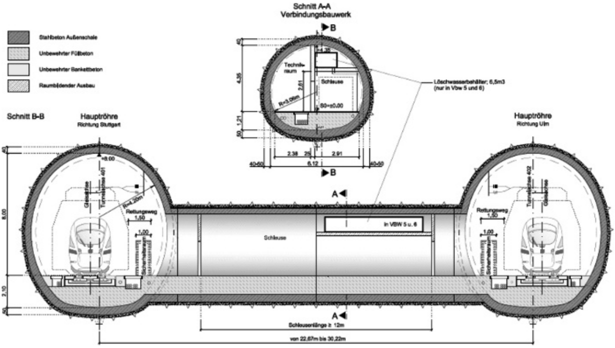

Bild 2. Querschnitt Hauptröhren und Verbindungsbauwerke

dungen für die Ver- und Entsorgung der Vortriebsorte zu minimieren, sodass insgesamt sechs Vortriebe gleichzeitig durchgeführt wurden.

Die Vortriebe wurden überwiegend in heterogen, verkarstetem Weißjuragebirge und untergeordnet in tertiären Ablagerungen der Unteren Süßwassermolasse durchgeführt. Die Überlagerungshöhen der Tunnelröhren reichen von 6 bis 85 m. Weiterhin werden mächtige Auffüllungen im Bereich einer Erdstoffdeponie unterfahren.

Unabhängig von den wechselnden Gebirgsverhältnissen, der Verkarstung und den hydrogeologischen Verhältnissen sowie den unterschiedlichen Überdeckungshöhen waren beim Vortrieb und Ausbau Problemzonen zu beherrschen, die einer besonderen Betrachtung und Lösung bedurften.

Hierzu zählen im Wesentlichen

- die Unterfahrung der Erd- und Baustoffdeponie Rappenbad mit mächtigen Auffüllungen,
- die Unterfahrung des Lehrer Tals mit z. T. sehr geringen Überdeckungshöhen von nur 6 m und zeitweiser Wasserführung,
- die Unterfahrung der Bundesstraße B 10,

– die Unterfahrung von Bauwerken im Stadtbereich Ulm mit den alten Kelleranlagen Michelsberg und
– der enge Achsabstand der Tunnelröhren am Südportal.

Unter Abwägung aller maßgebenden Faktoren, insbesondere der erforderlichen Flexibilität beim Ausbruch und Sichern der herzustellenden Tunnelquerschnitte sowie der Erkundung und Behandlung der Karstproblematik wurde der Ausbruch der zwei eingleisigen Tunnelröhren sowie der elf Verbindungsbauwerke als Universeller Vortrieb (Spritzbetonbauweise) im Bagger-/Sprengvortrieb ausgeführt, um das Ausführungsrisiko im Hinblick auf die Karstproblematik zu minimieren.

Im vorliegenden Beitrag werden die geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten im Projektgebiet beschrieben, die Gesteins- und Gebirgsverhältnisse bewertet und Wege aufgezeigt, wie in dem anstehenden Karstgebirge die geplanten Tunnelröhren, die Verbindungsbauwerke und der Zwischenangriffsstollen erfolgreich aufgefahren und ausgebaut worden sind.

Es werden insbesondere die ausgeführten Verfahren zur umfangreichen, vortriebsbegleitenden Karsterkundung, die Auswertung der Karsterkundung und die Behandlung von angetroffenen Karsterscheinungen wie gefüllte Karststrukturen und größere Hohlräume sowohl baupraktisch als auch bemessungstechnisch aufgezeigt und beschrieben.

Weiterhin wird erläutert, wie die Karsterscheinungen bei der Berechnung der Innenschale berücksichtigt werden. Hierzu zählt die Interpretation der Ergebnisse der Karsterkundungsbohrungen als Interaktion zwischen Geologie, Bohrprotokollen und MWD-Daten (MWD = Measurement While Drilling).

Für die endgültige Bemessung der Innenschale wurde aus den während der Vortriebsarbeiten angetroffenen Gebirgsverhältnissen sowie den gemessenen Gebirgsverformungen der maßgebende Gebirgsdruck abgeleitet und mit den Prognosewerten aus der Planung gemäß Lastenheft verglichen.

Abschließend werden Hinweise für die Bemessung im Lastfall Brand gegeben.

2 Baugrund und Grundwasser

Die Gebirgsverhältnisse im Bereich des Tunnels Albabstieg sind durch einen Gebirgsaufbau, bestehend aus Schichtabfolgen des Weißjuras, im Liegenden und überlagernden tertiären Schichtabfolgen der Unteren Süßwassermolasse gekennzeichnet. Die Gesteine der Unteren Süßwassermolasse überlagern dabei fast durchgängig die engen bis weiten, im Streckenbereich bis zu 50 m tiefen, Taleinschnitte des Weißjuragebirges. Da der Tunnel Albabstieg im Niveau der alten Weißjuralandoberfläche liegt, durchfährt er sowohl Schichtabfolgen des Weißjuras als auch in Taleintiefungen die Weißjuraoberfläche und Schichtabfolgen der Unteren Süßwassermolasse (Bild 3).

Bei den auf etwa ein Viertel der Tunnelstrecke durchfahrenen Schichtabfolgen der Unteren Süßwassermolasse handelt es sich um unregelmäßige Wechselfolgen von heterogen verwitterten Mergel- und Kalksteinen. Verkarstung in Form von Kluftkarst ist in diesen Schichtabfolgen nur schwach ausgebildet und beschränkt sich auf Kalksteinlagen.

In der übrigen Tunnelstrecke liegt der Tunnel im Weißjuragebirge, wobei etwa zur Hälfte Gesteine der Oberen Massenkalke und der Zementmergel/Zwischenkalke durchfahren wurden. Bei den Gesteinen der Oberen Massenkalke handelt es sich vorwiegend um bankige bis massige Kalksteine. Diese Kalksteine sind stark verkarstungsanfällig und wurden im Gebirge unverkarstet bis stark verkarstet angetroffen. Die Verkarstung trat dabei überwiegend in Form von plombiertem Kluftkarst mit Öffnungsweiten im Zentimeter- bis Dezimeterbereich sowie im Nahbereich zur alten Weißjuralandoberfläche auch in Form von bis zu 30 m breiten gefüllten Karstrinnen auf. Im Bereich der Karstrinnen besteht die Möglichkeit, dass, lokal begrenzt, ein Viertel, die Hälfte oder drei Viertel des Ausbruchsquerschnitts in den Gesteinen des Weißjuras liegen, während der übrige Teil des Tunnels in den Karststrukturen aufzufahren und auszubauen ist. Diese Rinnen sind fast durchgängig mit Lockergesteinen aufgefüllt, im Wesentlichen sandig/kiesige Tone und Schluffe von fester, untergeordnet steifer bis halbfester Konsistenz mit wechselnden Anteilen an Kalksteinbruchstücken in Stein- bis Blockgröße (Bild 4).

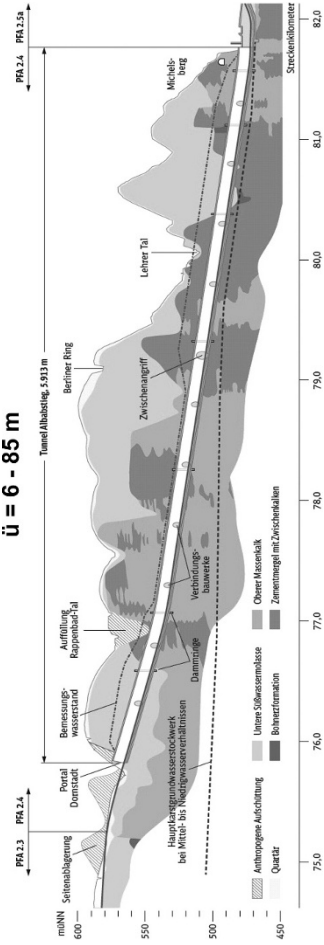

Bild 3. Geologischer Längsschnitt