



Tunnelbau 2019

 **Ernst & Sohn**
A Wiley Brand

DGGT 

Deutsche Gesellschaft
für Geotechnik e. V.
German Geotechnical Society

Taschenbuch für den Tunnelbau 2019

Kompodium 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

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 Datenverarbeitungsanlagen, 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 Alabastieg 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 Klingler, 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
<i>Daniela Schäfer, Joachim von Lukowicz, Ivan Čadež, Frank Bialas</i>	
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
<i>Florian P. Rauth, Olga Golovina, Jochen Teizer, Markus König</i>	
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
<i>Marc Meissner, Felix Meese, Stephan Schlegel</i>	
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 Tübbing im Projekt Cityringen, Branch Off to Nordhavn	237
<i>Carsten Schulte, Christiane Zimmermann, Andreas Koester, Mårten Larson</i>	
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
<i>DAUB-Arbeitskreis</i>	
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
<i>Markus Thewes, Peter Hoffmann, Götz Vollmann, Wolf-Dieter Friebe,</i>	
<i>Ingo Kaundinya, Anne Lehan, Andreas Wuttig, Werner Riepe</i>	
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 Universität 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, Rappelenstr. 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 Alabastieg 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 Alabastieg erfolgten zum Großteil in heterogen verkarstetem Weißjura-Gebirge 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 aufgeföhren 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, Alabastieg 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 Alabastieg 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-

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-

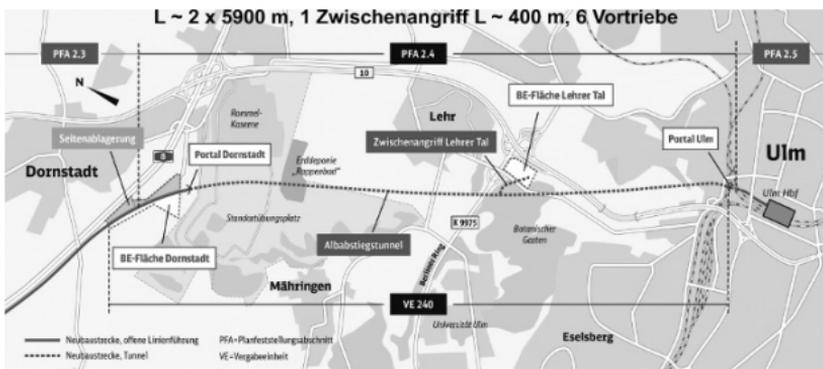


Bild 1. Lage des Tunnels Albabstieg

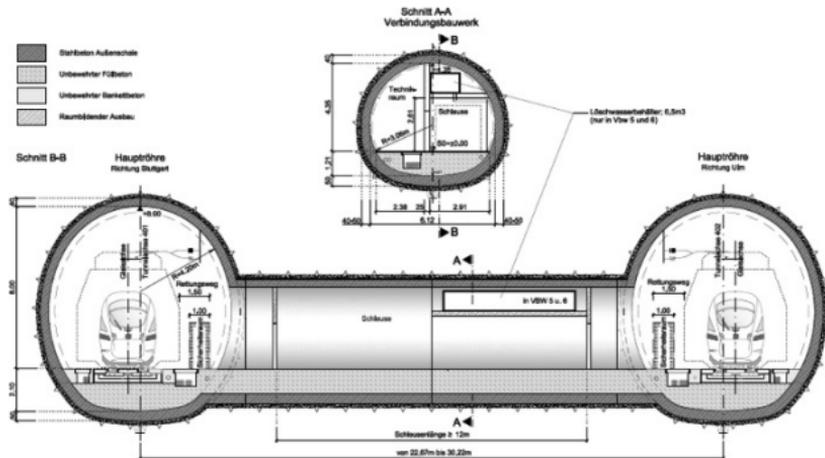


Bild 2. Querschnitt Haupttröhren und Verbindungsbauewerke

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

Die Vortriebe wurden überwiegend in heterogen, verkarstetem Weißjuraergebirge 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-/Sprengevortrieb 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 aufgeföhren 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 Alabastieg 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 Alabastieg 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 Massenkalk und der Zementmergel/Zwischenkalk durchfahren wurden. Bei den Gesteinen der Oberen Massenkalk 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).

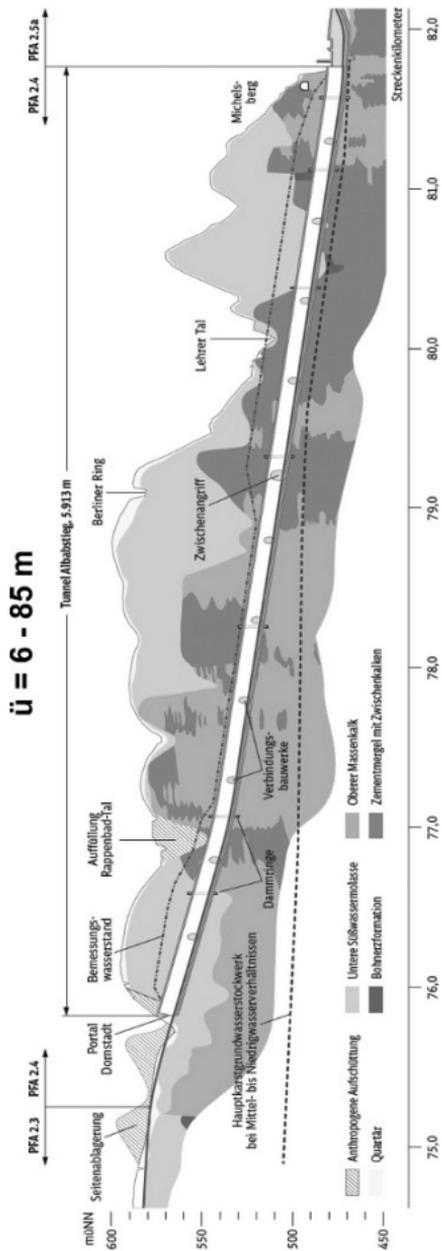


Bild 3. Geologischer Längsschnitt