

Tunnelbau 2018

 **Ernst & Sohn**
A Wiley Brand

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

Taschenbuch für den Tunnelbau 2018

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. O. Braach
Dipl.-Ing. M. Breidenstein
Ltd. Baudirektor Dipl.-Ing. R. Frenzl
Dipl.-Ing. W.-D. Friebel
Dipl.-Ing. G. Glatzle
Ministerialrat Dipl.-Ing. K. Goj
Prof. Dr.-Ing. habil. A. Hettler
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. B. Maidl
Dipl.-Ing. M. Meissner, M.BC.
Dipl.-Ing. E. Scherer
Dipl.-Ing. S. Schwaiger
Prof. Dr.-Ing. M. Thewes
Dr.-Ing. G. Wehrmeyer
Dr.-Ing. B. Wittke-Schmitt

42. 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 ande-
res 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 langu-
age 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 jeder-
mann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um
eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen han-
deln, 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: 978-3-433-03217-6
ePDF ISBN: 978-3-433-60878-4
ePub ISBN: 978-3-433-60876-0
eMobi ISBN: 978-3-433-60877-7
oBook ISBN: 978-3-433-60875-3

NEUE WEGE ERSCHLIESSEN

„Wir begleiten Projekte im Tunnelbau von der ersten Idee über die Ausführungsplanung bis hin zur Überwachung des Baus.“



Mehr als
60 Jahre BUNG
Kompetenz und
Erfahrung

Die Unternehmensgruppe BUNG ist eine der führenden Planungs- und Consultinggesellschaften für Tunnelbau, Verkehrswege, Ingenieurbauwerke und viele andere Bereiche des Bauwesens. Wir übernehmen Verantwortung und beraten, planen, überwachen, prüfen und erhalten. Immer mit Blick auf die Welt von morgen und dem nachhaltigen Erfolg Ihres Projektes. Sprechen Sie uns an, wir sind für Sie da.

Unternehmensgruppe BUNG
Englerstr. 4 | 69126 Heidelberg
Tel.: +49 6221 306-0
info@bung-gruppe.de
www.bung-gruppe.de

BUNG

Implenia® Die Tunnelbauexperten.



Implenia denkt und baut fürs Leben. Gern.

www.implenia.com

Vorwort zum zweiundvierzigsten Jahrgang

Während des World Tunnel Congress, der im Mai 2017 in Bergen, stattfand, präsentierte die International Tunnelling Association (ITA) die Ergebnisse einer Marktumfrage. Mit einem Umsatz von rund 86 Mrd. \$ verzeichnet die Tunnelbau-Industrie im Jahr 2016 ein sehr gutes Ergebnis; das entspricht einer Steigerung von rund 23 % gegenüber der letzten Marktumfrage in 2013. Auch der Ausblick in die Zukunft ist vielversprechend. Die ITA prognostiziert für die kommenden acht Jahre einen Gesamtumsatz von 680 Mrd. \$. Die erwarteten Umsätze in Indien, China und Süd-Ost-Asien entsprechen denen von Europa und machen zusammen rund 75 % des globalen Marktes aus.

Um die anstehenden Aufgaben und die zukünftigen Herausforderungen bewältigen zu können, ist es unerlässlich, die Technik, Baumethoden, Baustoffe und Bemessungsverfahren stetig weiterzuentwickeln. Das Taschenbuch für den Tunnelbau dokumentiert diesen Fortschritt seit mehr als vier Jahrzehnten. Die Summe aller Einzelausgaben bildet somit ein wertvolles Kompendium des Tunnelbaus. Eine thematisch gegliederte Übersicht aller bisher veröffentlichten Beiträge ist auf der Homepage des Verlags zu finden.

Die Beiträge in der Ausgabe 2018 behandeln die Themenbereiche Konventioneller bergmännischer Tunnelbau, Maschinen und Geräte, Baustoffe und Bauteile, Instandsetzung und Nachrüstung, Forschung und Entwicklung sowie Vertragswesen, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz. 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

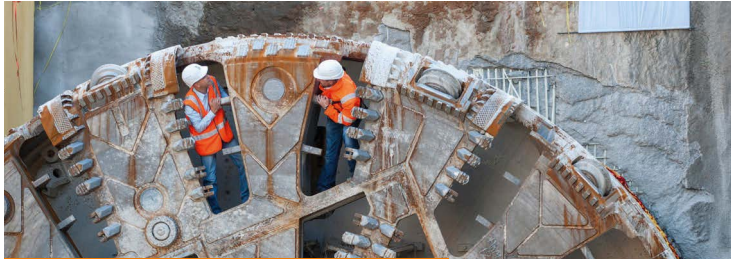
Autorenverzeichnis

Konventioneller bergmännischer Tunnelbau

- I. Tunnel nach Bad Cannstatt des Großprojekts Stuttgart-Ulm –
Senkungen und Setzungen im Stadtgebiet von Stuttgart,
Prognosen und Messergebnisse 1
Wadim Strangfeld, Patricia Wittke-Gattermann, Claus Erichsen
 - 1 Einleitung 2
 - 2 Ausgelaugter Gipskeuper 6
 - 3 Unterfahrung der Presselstraße 10 10
 - 4 Unterfahrung der Gleisanlagen, des Gäubahn-Viadukts
und der Gäubahn-Brücke 20

Maschinen und Geräte

- I. Supersize TBM – Designaspekte bei sehr großen Tunnelvor-
triebsmaschinen (TVM) 28
Werner Burger, Markus Thewes, Gerhard Wehrmeyer
 - 1 Beweggründe für Großdurchmessertunnel 30
 - 2 Ortsbruststützung und Tunnelauskleidung 31
 - 3 Technische Aspekte für TVM sehr großer Durchmesser 33
 - 4 Transport und Montage 44
 - 5 Zusammenfassung 45
- II. Tunnelbohrmaschinen (TBM) unter hohen Wasserdrücken
im Fels 49
Gerhard Wehrmeyer
 - 1 Einleitung 49
 - 2 Entscheidungskriterien zur Wahl des Maschinentyps 50
 - 3 Anforderungen an Bohrkopf/Schneidrad, Bohrkopfantrieb und
Schildschwanzdichtung (SSW-Dichtung) 53



Die komplette Kompetenz für Ihre Projekte im Tunnel- und Tiefbau:

- Kombilösung Karlsruhe
- Tunnel Rastatt
- U-Bahnhof Sendlinger Tor
- Tunnel Pforzheim
- Wehrhahn-Linie Düsseldorf
- Abwasserkanal Emscher
- Haltestelle Staatsgalerie
- Tunnel Altbaustieg

Und in vielen weiteren Projekten bundesweit.

Informationen zu allen Projekten und Karrierechancen:
www.zetcon.de/tunnelbau

Beratung,
Planung,
Management.
Seit über 40 Jahren.
www.zetcon.de



ZETCON
INGENIEURE

- 4 Projekterfahrungen ausgeführter Projekte 55
- 5 Zusammenfassung und Ausblick 77

Baustoffe und Bauteile

- I. **Praxisrelevante Korrelationen der Ausgangsstoffe und der Zusammensetzung mit den Eigenschaften von einkomponentigen Ringspaltmörteln** 79
Bou-Young Youn-Čale, Rolf Breitenbücher
 - 1 Einleitung 80
 - 2 Anforderungen an einkomponentige Ringspaltmörtel 82
 - 3 Mörtelsysteme für einkomponentige Ringspaltmörtel 84
 - 4 Charakterisierung der untersuchten Einkomponentenmörtel 86
 - 5 Eigenschaften der untersuchten Einkomponentenmörtel 93
 - 6 Bewertung der Einflussparameter und Empfehlungen für die Konzeption von einkomponentigen Ringspaltmörteln 107

- II. **Berechnungsmodelle für Bau- und Endzustände von Tübbingtunneln** 111
Mario Smarslik, Thomas Putke, Ahmed Marwan, Vojtech Ernst Gall, Günther Meschke, Peter Mark
 - 1 Einleitung 112
 - 2 Modellvarianten 114
 - 3 Parameterstudie 127
 - 4 Schlussfolgerungen 141

Instandsetzung und Nachrüstung

- I. **Tunnel Pfaffenstein – Nachrechnung eines Straßentunnels im Bestand** 147
Karl Goj, Oliver Fischer, Bernhard Ettelt
 - 1 Einleitung 148
 - 2 Tunnel Pfaffenstein 154
 - 3 Statisch-konstruktive Beurteilung, Tunnelnachrechnung 162
 - 4 Zusammenfassung 177

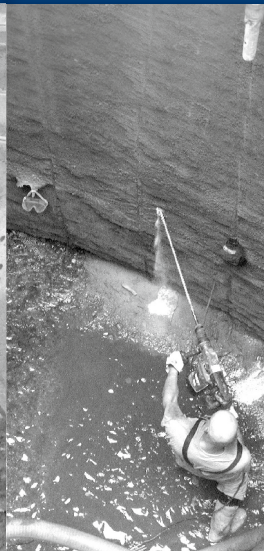
Komplett-Systeme
zur Tunnelabdichtung



Polymerstabilisierende
Geoinjektion (PSGi)



Systeme zum Stoppen
von Wasserzuflüssen



- Produktübersicht
- Datenblätter
- Videos
- Referenzen

www.tph-bausysteme.com

Produktion und Vertrieb:

TPH Bausysteme GmbH

Nordportbogen 8

D-22848 Norderstedt

Tel. +49 (0) 40 / 52 90 66 78-0

Fax +49 (0) 40 / 52 90 66 78-78

II. A 96 Lindau–München, Tunnel Eching und Etterschlag – Erhaltungsmaßnahmen und Konzept zur Betoninstandset- zung bei Tunnelnacrüstungen nach den Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT)	180
<i>Angelika Schießl-Pecka, Ulrich Schneck, Uwe Willberg, Karl Goj, Christian Hocke</i>	
1 Anlass	182
2 Bauwerksbeschreibungen	184
3 Chloridbelastungen in Tunnelbauwerken	186
4 Pilotprojekte Tunnel Eching und Etterschlag – Lösungsstrategien bei der Instandsetzung von Straßentunneln	191
5 Lösungsstrategien für Neubauprojekte	209
6 Ausblick	218

Forschung und Entwicklung

I. BIM-Einsatz am Alborlandtunnel – Erfahrungen und Umgang mit digitalen Prozessen bei Planung und Bau	220
<i>Jens Hallfeldt, Michael Frahm</i>	
1 Einführung	222
2 Projektvorstellung	222
3 Umfang von BIM am Alborlandtunnel	223
4 Erfahrungen aus der praktischen Umsetzung	235
5 Besondere Erkenntnisse bei der Umsetzung von BIM am Alborlandtunnel	238
6 Fazit und Ausblick	239

Vertragswesen, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz

I. Leitfaden für die Behandlung von zeitgebundenen Kosten (ZGK) im Tunnelbau	242
<i>Wolf-Dieter Friebe, Ulrich Biber, Daniel Eickmeier, Stefan Franz, Jan Gramer, Dieter Handke, Klaus Seeger, Roland Sedlmeir, Daniel Spöndlin, Johannes Wageneder, Bodo Wiczorek</i>	
1 Vorbemerkung	243
2 Geltungsbereich	244
3 Einleitung	244
4 Begriffsbestimmungen	245
5 Flexibles Bauzeitenmodell	249
6 Verfeinerte Modelle	256

DURCHBRUCH MIT INNOVATIVEN SYSTEMLÖSUNGEN



Wir sind Ihr Partner im Tunnelbau und bieten Ihnen geprüfte Produktsysteme, kompetente Beratung und einen hochqualifizierten technischen Service durch unsere Spezialisten für:

- Kunststoffdichtungsbahnen
- Betonschutz und -instandsetzung
- Injektionstechnologie
- Betonzusatzmittel
- Kleb- und Dichtstoffe



SIKA DEUTSCHLAND GMBH

Kornwestheimer Str. 103-107 · 70439 Stuttgart

Tel. 0711 8009-0 · Fax 0711 8009-321

info@de.sika.com · www.sika.de

BUILDING TRUST



7 Gestaltung des Bauvertrags	259
8 Abrechnung	263
9 Hinweise für die Ausschreibung von flexiblen Bauzeitenmodellen	265
10 Anhang: Berechnungsbeispiele	269
II. Innerstädtischer Tunnelbau im hydrogeologischen und gesellschaftlichen Kontext	285
<i>Ingo Pähler, Stephan Gutjahr</i>	
1 Einleitung	286
2 Projektentwicklung und -durchführung	290
3 Hydrogeologie	298
4 Zusammenfassung	311
Tunnelbaubedarf	315
Inserentenverzeichnis	329

www.dichte-bauwerke.de

BPA

WATERPROOFING SYSTEMS

100% **DICHT
HALTEN**

Hochtechnische
Abdichtungslösungen
für Gebäude, Tunnel
und Fundament.
Weltweit im Einsatz.

BPA GmbH | Behringstraße 12 | 71083 Herrenberg
TEL +49 (0)7032 89399-0 | info@dichte-bauwerke.de



Ernst & Sohn
A Wiley Brand

Bernhard Maidl, Martin Herrenknecht,
Ulrich Maidl, Gerhard Wehrmeyer

Maschineller Tunnelbau im Schildvortrieb

2., vollst. überarb. u. erw. Auflage 2011.

492 S.

€ 119,-*

ISBN: 978-3-433-02948-0

Auch als  eBook erhältlich

Online Bestellung: www.ernst-und-sohn.de

Ernst & Sohn

Verlag für Architektur und technische
Wissenschaften GmbH & Co. KG

Kundenservice: Wiley-VCH
Boschstraße 12
D-69469 Weinheim

Tel. +49 (0)6201 606-400
Fax +49 (0)6201 606-184
service@wiley-vch.de

*Der €-Preis gilt ausschließlich für Deutschland. Inkl. MwSt. zzgl. Versandkosten. Irrtum und Änderungen vorbehalten. 1095106_dp

Autorenverzeichnis

- Dipl.-Ing. Ulrich Biber, Ingenieurbüro Bung, Heidelberg S. 242
- Dr.-Ing. Bou-Young Youn-Čale, Lehrstuhl für Baustofftechnik, Ruhr-Universität Bochum S. 79
- Prof. Dr.-Ing. Rolf Breitenbücher, Institute of Building Materials, Ruhr-Universität Bochum S. 79
- Werner Burger, Konstruktionsleiter Traffic Tunnelling, Herrenknecht AG, Schwanau S. 28
- Dipl.-Ing. Daniel Eickmeier, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch-Gladbach S. 242
- Dr.-Ing. Claus Erichsen, WBI Beratende Ingenieure für Grundbau und Felsbau GmbH, Im Technologiepark 3, 69469 Weinheim S. 1
- BD Bernhard Ettelt, Regierung von Niederbayern, Landshut S. 147
- Prof. Dr. Oliver Fischer, Technische Universität München, Lehrstuhl für Massivbau, B+S Prüffingenieure GbR, München S. 147
- Dipl.-Ing. Michael Frahm, Teamleiter PFA 2.1, DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH, Stuttgart S. 220
- Dr.-Ing. Stefan Franz, Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES), Berlin S. 242
- Dipl.-Ing. Wolf-Dieter Friebe, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Bonn S. 242
- M. Sc. Vojtech Ernst Gall, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Statik und Dynamik, Bochum S. 111
- MR Prof. Dipl.-Ing. Karl Goj, Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Inneren, für Bau und Verkehr, Leiter des Sachgebiets Brücken- und Tunnelbau, München S. 147, 180
- Dipl.-Ing. Jan Gramer, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Bonn S. 242
- Dr.-Ing. Stephan Gutjahr, geoteam Ingenieurgesellschaft mbH S. 285
- Dipl.-Ing. Jens Hallfeldt, Projektleiter PFA 2.1, DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH, Stuttgart S. 220
- Dr.-Ing. Dieter Handke, Ingenieurbüro Maidl & Maidl (IMM) Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, Bochum S. 242



Zur Bewetterung Ihres Tunnelsystems

Für frische Atemluft und garantierte Sicherheit.

Wettertechnik GmbH

Der führende Ansprechpartner für Wetter- und weichtechnische Anlagen im Tunnel- und Bergbau.

Ansprechpartner

Werner Rittmann

Tel +49 172 846 76 30

Fax +49 201 855 14 46

E-mail info@wettertechnik.de

Web www.wettertechnik.de

Wettertechnik GmbH

Adlerstraße 16

45307 Essen

Deutschland

- Dr.-Ing. Christian Hocke, Staatliches Bauamt, Kempten, Abteilungsleiter
Konstruktiver Ingenieurbau S. 180
- Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Mark, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für
Massivbau, Bochum S. 111
- M. Sc. Ahmed Marwan, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Statik und
Dynamik, Bochum S. 111
- Prof. Dr. Techn. Günther Meschke, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für
Statik und Dynamik, Bochum S. 111
- Dipl.-Geol. Ingo Pähler, Leiter Amt für Verkehrsmanagement,
Landeshauptstadt Düsseldorf S. 285
- Dr.-Ing. Thomas Putke, HochTief Engineering GmbH, Consult Infrastructure,
Essen S. 111
- Dr.-Ing. Angelika Schießl-Pecka, Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat
GmbH, München, Gesellschafterin S. 180
- Dr.-Ing. Ulrich Schneck, CITec Concrete Improvement Technologies GmbH,
Dresden, Geschäftsführer S. 180
- Dipl.-Ing. Roland Sedlmeir, Autobahndirektion Südbayern, München S. 242
- Dr.-Ing. Klaus Seeger, Hessen Mobil Straßen- und Verkehrsmanagement,
Wiesbaden S. 242
- Dipl.-Ing. Mario Smarslik, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Massivbau,
Bochum S. 111
- Dipl.-Ing. Daniel Spöndlin, ILF Beratende Ingenieure, Innsbruck S. 242
- Dipl.-Ing. Wadim Strangfeld, Hochtief Infrastructure GmbH, NL Deutschland
Südost, St.-Martin-Straße 57, 81669 München S. 1
- Prof. Dr.-Ing. Markus Thewes, Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und
Baubetrieb, Ruhr-Universität Bochum S. 28
- Dr.-Ing. Johannes Wageneder, Geoconsult Zt GesmbH, Wien S. 242
- Dr.-Ing. Gerhard Wehrmeyer, Bereichsleiter Projektmanagement PM1 Traffic
Tunnelling, Herrenknecht AG, Schwanau S. 28, 49
- Dipl.-Ing. Bodo Wiczorek, Ingenieurbüro Maidl & Maidl (IMM) Beratende
Ingenieure GmbH & Co. KG, Bochum S. 242
- Prof. Dr.-Ing. Uwe Willberg, Autobahndirektion Südbayern, München,
Abteilungsleiter Brücken- und Ingenieurbau S. 180
- Dr.-Ing. Patricia Wittke-Gattermann, WBI Beratende Ingenieure für Grundbau
und Felsbau GmbH, Im Technologiepark 3, 69469 Weinheim S. 1

Konventioneller bergmännischer Tunnelbau

I. Tunnel nach Bad Cannstatt des Großprojekts Stuttgart-Ulm – Senkungen und Setzungen im Stadtgebiet von Stuttgart, Prognosen und Messergebnisse

Wadim Strangfeld, Patricia Wittke-Gattermann, Claus Erichsen

Mit den bergmännisch vorgetriebenen Tunneln nach Bad Cannstatt im PFA 1.5, Los 3 wurden u. a. das etwa 100 Jahre alte Gäubahn-Viadukt und das Überwerfungsbauwerk unterfahren. Der Abstand zwischen Tunnelfirste und Bauwerksfundamenten betrug örtlich nur 2 m. Zur Begrenzung der Senkungen wurden kurze Abschlaglängen gewählt, die Sohle des Querschnitts in kurzen Abständen zur temporären Ortsbrust nachgezogen, die Ortsbrust gesichert und Rohrschirme zur vorauseilenden Sicherung angeordnet. Darüber hinaus wurden örtlich Hebungsinjektionen ausgeführt.

Für die Unterfahrung der Gebäude Presselstraße 10 und 12 waren ursprünglich Hebungsinjektionen zum Ausgleich vortriebsbedingter Senkungen vorgesehen. Durch Messungen und Beobachtungen in den angrenzenden Tunnelabschnitten und durch 3D-Finite-Elemente-Berechnungen (3D-FE) konnte gezeigt werden, dass eine Unterfahrung der Gebäude ohne Hebungsinjektionen möglich ist. Auch hier wurde die Ausbruch- und Sicherungsfolge so festgelegt, dass die Senkungen minimiert werden konnten.

In diesem Beitrag werden die Bauwerke vorgestellt. Es werden die Ergebnisse der Senkungsprognosen dargestellt sowie die auf dieser Basis geplanten bautechnischen und baubetrieblichen Maßnahmen erläutert. Darüber hinaus wird über die Ergebnisse der Messungen und Beobachtungen während des Vortriebs berichtet und ein Vergleich mit den Ergebnissen der Prognosen gezogen.

Tunnel to Bad Cannstatt of the large-scale railway project Stuttgart–Ulm – subsidence and settlements in the urban area of Stuttgart, prediction and measurement results

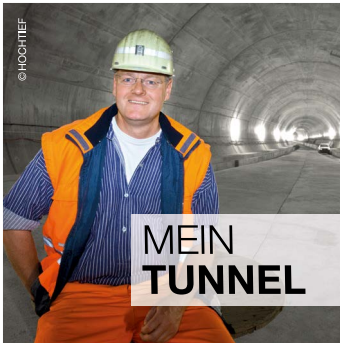
The tunnels to Bad Cannstatt in PFA 1.5, lot 3, driven by the conventional tunneling method (CTM), underpass the approximately 100-year-old Gäubahn-Viaduct and -Bridge. The distance between the tunnel's roof and the foundations of the building structures was only 2 m in some sections. In order to limit the subsidence to a minimum short pullout lengths and a small distance of the temporary face and the invert were selected. Furthermore a support of the temporary face by means of anchors and shotcrete and a pipe umbrella were installed. In addition, compensation grouting was carried out locally.

For underpassing the buildings Presselstraße 10 and 12, originally compensation grouting was planned as well. By means of monitoring and observation in the adjacent tunnel sections and by means of 3D-FE-analyses it was shown that undercrossing of these buildings without compensation grouting is feasible, if additional design measures to minimize the subsidence were taken.

In the article the building structures are presented. The results of the prediction of subsidence and the design measures selected on this basis are presented. Additionally the measurement results and observations during construction are reported and the predicted and measured displacements are compared.

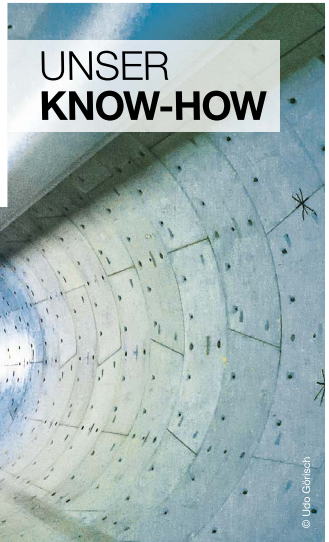
1 Einleitung

Von den rd. 3,5 km langen, bergmännisch vorgetriebenen Tunneln nach Bad Cannstatt wurden inzwischen rd. 3,3 km im unausgelaugten und ausgelaugten Gipskeuper aufgefahren (Bild 1). Dabei wurden mit den im ausgelaugten Gipskeuper liegenden Tunnelabschnitten u. a. Gleisanlagen der Deutschen Bahn (DB), das etwa 100 Jahre alte Gäubahn-Viadukt und das Überwerfungsbauwerk unterfahren (Bild 1 und 2). Der Abstand zwischen Tunnelfirste und Bauwerksfundamenten betrug örtlich nur 2 m. Zur Begrenzung der Senkungen wurden kurze Abschlaglängen gewählt, die Sohle des Querschnitts in kurzen Abständen zur temporären Ortsbrust nachgezogen, die Ortsbrust gesichert und Rohrschirme zur vorauseilenden Sicherung angeordnet. Darüber hinaus wurden örtlich Hebungsinjektionen ausgeführt.



© HOCHTIEF

MEIN
TUNNEL



UNSER
KNOW-HOW

© Udo Görtsch



Wer mobil ist, profitiert von gut ausgebauten Tunneln. Die Experten von HOCHTIEF haben in den vergangenen Jahrzehnten zahlreiche Projekte im maschinellen und konventionellen Vortrieb realisiert. Kunden bauen auf die technische Erfahrung und Expertise in Planung und Bau, die HOCHTIEF jeden Tag aufs Neue unter Beweis stellt. Innovationen und projektspezifische Sondervorschläge von HOCHTIEF machen Ihre Projekte nicht nur effizienter, sondern auch nachhaltiger.

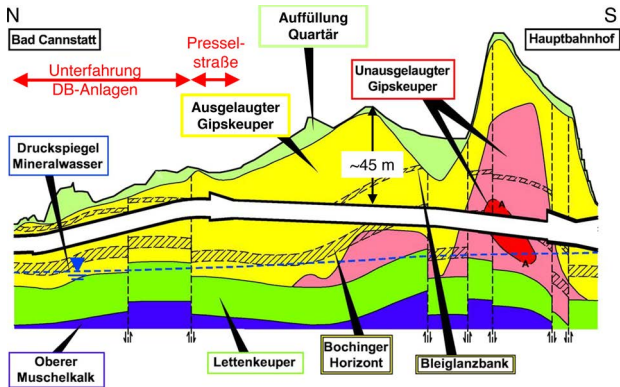


Bild 1. Geologischer Längsschnitt, Achse 176

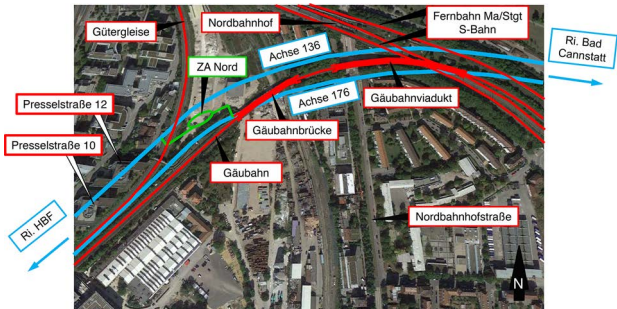


Bild 2. Unterfahrung Bahnanlagen und Gebäude, Tunnel nach Bad Cannstatt

Außerdem wurden die Gebäude der Presselstraße 10 und 12 unterfahren. Auch hier waren ursprünglich Hebungsinjektionen zum Ausgleich vortriebsbedingter Senkungen vorgesehen. Durch Messungen und Beobachtungen in den angrenzenden Tunnelabschnitten und



ALFRED KUNZ

HEGEMANN CONSTRUCTION



IHR SPEZIALIST IM TUNNELBAU

ALFRED KUNZ Untertagebau München
NL der August Reiners Bauunternehmung GmbH

Frankfurter Ring 213 | 80807 München
T +49 89 32361-4
E info@alfredkunz.de

www.alfredkunz.de

Bild: Falkenbergtunnel | Umfahrung Schwarzkopftunnel

durch 3D-FE-Berechnungen konnte gezeigt werden, dass eine Unterfahrung der Gebäude ohne Hebungsinjektionen möglich ist. Auch hier wurden die Ausbruch- und Sicherungsmaßnahmen so festgelegt, dass die Senkungen minimiert werden konnten.

In diesem Beitrag wird zunächst der ausgelaugte Gipskeuper beschrieben. Außerdem werden die Bauwerke vorgestellt. Es werden die Ergebnisse der Senkungsprognosen dargestellt sowie die auf dieser Basis geplanten bautechnischen und baubetrieblichen Maßnahmen erläutert. Darüber hinaus wird über die Ergebnisse der Messungen und Beobachtungen während des Vortriebs berichtet und ein Vergleich mit den Ergebnissen der Prognosen gezogen.

2 Ausgelaugter Gipskeuper

Der Gipskeuper ist ein sulfatführendes Tongestein. Der Sulfatanteil in den einzelnen Schichtgliedern dieser Formation ist sehr unterschiedlich. Im Ausgangsgestein steht das Sulfat in Form von Anhydrit (CaSO_4) an. Dieser wird in geologischen Zeiträumen infolge Wasserzutritts aufgrund von Diffusion in Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) umgewandelt. Im Grundwasser geht der Gips in Lösung über und wird in die Vorfluter, wie den Nesenbach und den Neckar, abtransportiert. Übrig bleibt ein sogenanntes sulfatfreies Residualgestein, der ausgelaugte Gipskeuper [1].

Bild 3 zeigt ein Foto des ausgelaugten Gipskeupers. Neben gesteinsfesten Schluffsteinlagen (Klasse I), die tlw. als Folge der Auslaugung und des damit verbundenen Volumenverlusts darunterliegender Bereiche einen gestörten Schichtverlauf aufweisen, finden sich Gipslinsen (Klasse I), mürbe und sehr mürbe Schluffsteine (Klassen II und III) und Auslaugungsschluffe (Klasse IV). Ein Gefügemodell des ausgelaugten Gipskeupers ist in Bild 4 dargestellt.

Erfahrungen haben gezeigt, dass die mechanischen Eigenschaften der Gesteine der Gipskeuperformation von deren Wassergehalt abhängen. Im Rahmen der Vorerkundungen für das Projekt Stuttgart–Ulm wurden deshalb an den Kernen der Erkundungsbohrungen in einem Abstand von 1 m Proben zur Bestimmung des Wassergehalts entnommen. Für Proben aus dem ausgelaugten Gipskeuper, die der



Tunnelbau bei Baresel:

Kompetent. Erfahren. Leidenschaftlich.

Baresel GmbH
Postfach 1004 52
70003 Stuttgart
Telefon (07 11) 25 84-0
www.baresel.de



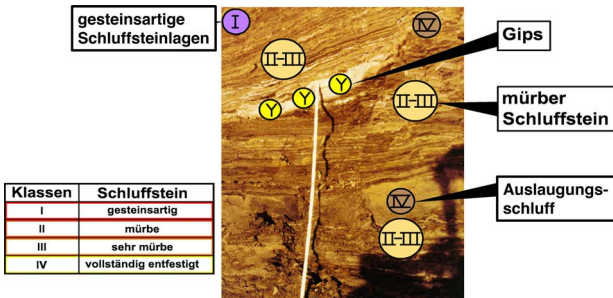


Bild 3. Ausgelaugter Gipskeuper

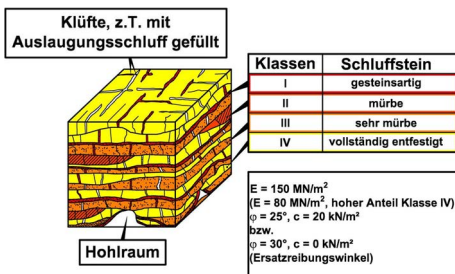


Bild 4. Gefügemodell ausgelaugter Gipskeuper

Klasse I zugeordnet werden können, ergaben sich mittlere Wassergehalte von etwa 5 % (Bild 5). Proben der Klassen II und III ergaben mittlere Werte von 8,5 bzw. rd. 14 %. Die größten Werte wurden für die der Klasse IV zuzuordnenden Auslaugungsschluffe mit etwa 20 % ermittelt.

Die in Bild 4 dargestellten geotechnischen Kennwerte wurden im Wesentlichen durch Rückrechnung von Messungen an ausgeführten Bauwerken gewonnen [2]. So wurde der Verformungsmodul von

Mit innovativen Lösungen für die Zukunft bauen



U5 - Bärinde

Bauwerks- und Baugruben-
abdichtungen

Injektionen im Tunnelbau

Bodenverfestigungen

Hebungsinjektionen

Spritzbetonarbeiten

Bohrungen für Injektionen

Vereisungen und Anker

Kraftwerks- und Tal-
sperrinjektionen



Metro Doha, Crosspassage

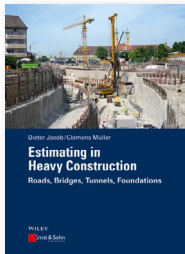
DMI Injektionstechnik GmbH, Warmensteinacher Str. 60, 12349 Berlin, Tel: +49 30 4174423-40

Fax: +49 30 4174423-44 E-Mail: info@d-m-i.net

DMI Spezialinjektionen Süd GmbH, Kaistener Str. 33, 97450 Arnstein, Tel: +49 9728 907026-0

Fax: +49 9728 907026-9 E-Mail: info.sued@d-m-i.net

www.d-m-i.net



Ernst & Sohn
A Wiley Brand

Hrsg.: Dieter Jacob, Clemens Müller

Estimating in Heavy Construction

Roads, Bridges, Tunnels, Foundations

2016. 260 pages

€ 59,-*

ISBN 978-3-433-03130-8

Also available as  eBook

Order online: www.ernst-und-sohn.de

Ernst & Sohn

Verlag für Architektur und technische
Wissenschaften GmbH & Co. KG

Customer Service: Wiley-VCH
Boschstraße 12
D-69469 Weinheim

Tel. +49 (0)6201 606-400
Fax +49 (0)6201 606-184
service@wiley-vch.de

*€ Prices are valid in Germany, exclusively, and subject to alterations. Prices incl. VAT, excl. shipping. 1131126_dp

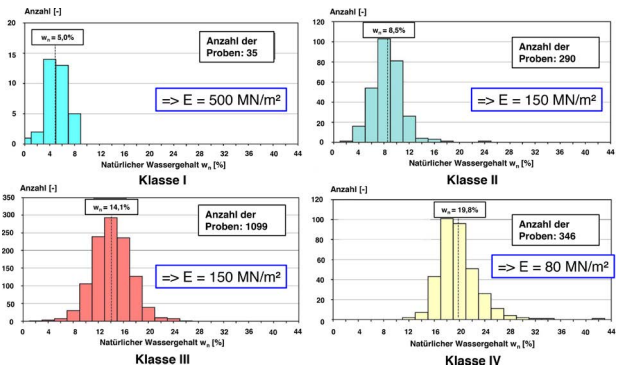


Bild 5. Ausgelaugter Gipskeuper, PFA 1.5, Wassergehalte

$E = 150 \text{ MN/m}^2$ durch Rückrechnung beim Bau des S-Bahn-Tunnels im Bereich der Schwabstraße ermittelt. Der Wert konnte durch einen Vergleich von Rechen- mit Messergebnissen auch in zahlreichen anderen im ausgelaugten Gipskeuper liegenden Tunneln im Stuttgarter Raum bestätigt werden. Lediglich in Abschnitten, in denen hohe Anteile der Klasse IV angetroffen wurden, ist der E-Modul mit $E = 80 \text{ MN/m}^2$ geringer.

Auch die in Bild 4 angegebenen Scherparameter konnten durch Rückrechnung von Messergebnissen bestätigt werden.

3 Unterfahrung der Presselstraße 10

3.1 Bauwerk

Die tief liegende Röhre (Achse 136) unterfährt die Gebäude der Presselstraße 10 und 12, während die hoch liegende Röhre (Achse 176) unmittelbar neben diesen Gebäuden verläuft und ebenfalls die Senkungen beeinflusst (vgl. Bild 2) (Bild 6 und 7). Wegen der sogenannten P-Option, die als Vorwegmaßnahme für eine spätere Anbindung der



Bild 6. Gebäude Presselstraße 10 und 12

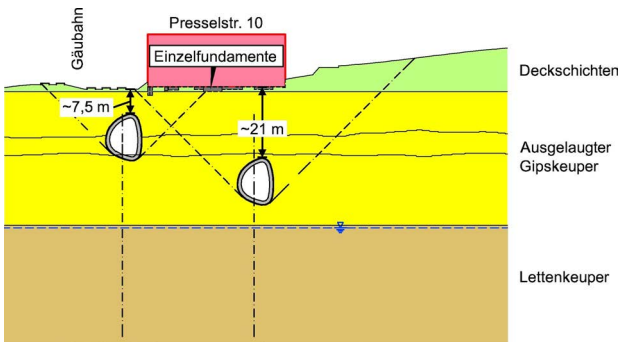


Bild 7. Querschnitt, Presselstraße 10

Tunnel nach Bad Cannstatt an die bestehende Strecke nach Feuerbach geplant wurde, ist der Tunnelquerschnitt im Bereich der Unterfahrung der Presselstraße 10 größer und vor allem höher als in den ande-

ren Abschnitten mit kreisförmigen Tunnelquerschnitten (vgl. Bild 1) (Bild 7).

Für die Unterfahrung der Gebäude waren ursprünglich Hebungsinjektionen zum Ausgleich vortriebsbedingter Senkungen vorgesehen. Durch 3D-FE-Berechnungen mit dem Programmsystem Fest03 konnte von WBI allerdings gezeigt werden, dass eine Unterfahrung der Gebäude ohne Hebungsinjektionen möglich ist, insbesondere dann, wenn für die Schichten des ausgelaugten Gipskeupers die charakteristischen Kennwerte angenommen werden können. Der Nachweis der charakteristischen Kennwerte erfolgte mithilfe der an vortriebsbegleitend genommenen Proben bestimmten Wassergehalte und über einen Vergleich der für die angrenzenden Tunnelabschnitte gewonnenen Messergebnisse mit den prognostizierten Werten.

3.2 FE-Berechnungen

In den Prognoseberechnungen wurde zunächst die tief liegende Röhre mit dem Querschnitt der P-Option berücksichtigt (Bild 8). Der obere, horizontale Rand des Berechnungsausschnitts wurde dabei in Höhe der Gründungssohle des Gebäudes Presselstraße 10 angenommen. Die Belastung durch das auf Einzel- und Streifenfundamenten gegründeten Gebäudes wurde in Form einer Gleichlast simuliert (vgl. Bild 7) (Bild 8) [3].

Die Senkungen im Bereich der Gründungsebene des Gebäudes hängen u. a. von den angenommenen Scherparametern und dem Verformungsmodul des anstehenden ausgelaugten Gipskeupers ab. Der Verformungsmodul ist von der Zusammensetzung des ausgelaugten Gipskeupers bzw. vom Wassergehalt abhängig (vgl. Abschnitt 2) [1]. Für die Überprüfung der Machbarkeit eines Vortriebs ohne Hebungsinjektionen wurde zunächst davon ausgegangen, dass der ausgelaugte Gipskeuper der schlechtesten Klasse IV zugeordnet werden muss und damit einen E-Modul von $E = 80 \text{ MN/m}^2$ aufweist (vgl. Bild 4).

In den dreidimensionalen Berechnungen wurde ein vorausseilender Kalottenvortrieb und ein nachfolgender Strossen- und Sohlvortrieb simuliert. Für den Kalottenvortrieb wurde eine Abschlaglänge von 1 m angenommen. Der Sohlschluss des Kalottenvortriebs wurde

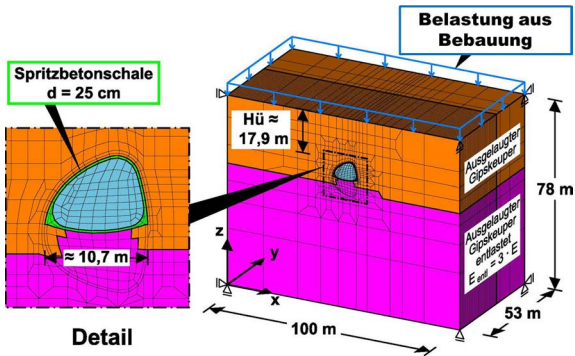


Bild 8. Räumliche Berechnungen, FE-Netz und Randbedingungen

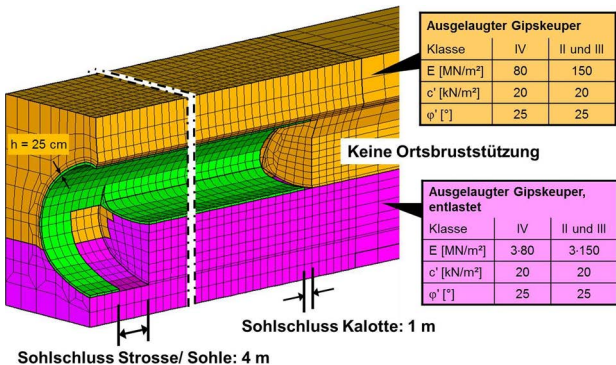


Bild 9. Referenzfall, Simulation der Sicherungsmittel

ebenfalls nach 1 m simuliert. Es wurde eine 25 cm dicke Spritzbetonschale berücksichtigt. Der Sohlschluss beim Strossen- und Sohlbruch wurde mit 4 m deutlich größer gewählt (Bild 9).