

Tunnelbau 2023

 **Ernst & Sohn**
A Wiley Brand

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

Taschenbuch für den **Tunnelbau** **2023**

**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
Prof. Dr.-Ing. A. Hettler
Dipl.-Ing. A. Hillebrenner
Dipl.-Ing. K. Kruschinski-Wüst
Prof. Dr.-Ing. D. Mähner
Prof. Dr.-Ing. B. Maidl
MR Prof. Dr.-Ing. G. Marzahn
Dipl.-Ing. M. Meissner
Dipl.-Ing. S. Schwaiger
Prof. Dr.-Ing. M. Thewes
Dr. G. Wehrmeyer
Dr.-Ing. B. Wittke-Schmitt

47. Jahrgang

This page is empty on purpose due to technical reasons

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.

© 2023 Ernst & Sohn GmbH, 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: 978-3-433-03394-4
ePDF ISBN: 978-3-433-61124-1
ePub ISBN: 978-3-433-61123-4
oBook ISBN: 978-3-433-61125-8

This page is empty on purpose due to technical reasons

Vorwort zum siebenundvierzigsten Jahrgang

Das Taschenbuch für den Tunnelbau dient Auftraggebern, Planern, Bauausführenden und Zulieferern seit mehr als vier Jahrzehnten als praxisnaher Ratgeber. Bei der Auswahl und Beschaffung der Beiträge werden Herausgeber und Verlag durch einen Beirat unterstützt, der alle am Tunnelbau Beteiligten vertritt und sich aus Vertretern der Bauherren, Bauindustrie, beratenden Ingenieure, Maschinenhersteller und Zulieferer sowie Hochschule und Wissenschaft zusammensetzt. Dieser Beirat wurde im zurückliegenden Jahr erweitert. Künftig bringen auch Dipl.-Ing. Axel Hillebrenner (Ed. Züblin AG), Dipl.-Wirt.-Ing. Kai Kruschinski-Wüst (DB Netz AG), Prof. Dr.-Ing. Dietmar Mähner (FH Münster) und MR Prof. Dr.-Ing. Gero Marzahn (Bundesministerium für Digitales und Verkehr) ihre Expertisen und Sichtweisen als Bauherren, Bauausführende und Hochschullehrer ein.

Für die diesjährige Ausgabe haben Herausgeberbeirat und Verlag aus einer größeren Anzahl an Beitragsvorschlägen eine Auswahl getroffen und einen interessanten Mix zusammengestellt. Die Beiträge behandeln Themen aus den Bereichen Tunnelbau in Spritzbetonbauweise, bergmännischer Tunnelbau, maschineller Tunnelbau, Digitalisierung im Tunnelbau, Maschinen und Geräte, Tunnelbetrieb und Sicherheit, Forschung und Entwicklung, Instandsetzung und Nachrüstung sowie Praxisbeispiele. 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 zum siebenundvierzigsten Jahrgang	V
Autorenverzeichnis	XVI

Konventioneller bergmännischer Tunnelbau

I. Geosynthetische Tondichtungsbahn und Kunststoffdichtungsbahn als doppellagiges Druckwasserabdichtungssystem mit planmäßiger Blockhinterlegung: Ein Drei-Komponenten-Ansatz für hohe Abdichtungsanforderungen	1
<i>Marc Meissner, Sebastian Schwaiger, Roland Herr</i>	
1 Einführung	2
2 Abdichtungssysteme im Tunnelbau	6
3 Doppellagige Druckwasserabdichtung mit drei Komponenten	15
4 Dichtigkeitsnachweis der Mehrkomponentendichtung bis zu einem permanenten Wasserdruck von 10 bar	20
5 Schutzwirksamkeitsnachweis der GTD gegen den Spritzbeton (Betonagebelastung)	22
6 Erweiterung zum „Vier-Komponenten-Ansatz“	25
7 Fazit und Ausblick	25
II. Injektionen im Tunnel- und Talsperrenbau – Theoretische Grundlagen und Anwendungsfälle	27
<i>Walter Wittke; Bettina Wittke-Schmitt, Martin Wittke, Dieter Schmitt</i>	
1 Einleitung	28
2 Grundlagen	28
3 Zementgebundene Injektionsmittel	37
4 Injektionen mit Kunstharzen	58
5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	77

This page is empty on purpose due to technical reasons

III. Unterfahrung der Autobahn bei Wendlingen – Vortrieb im Lockergestein 3 m unter der Fahrbahn	83
<i>Dieter Kirschke, Jens Hallfeldt, Marc Kemmler</i>	
1 Projektvorstellung	84
2 Entwurf und Vorgaben für die Ausführung	88
3 Umsetzung des Entwurfs in die Ausführungsplanung und Arbeitsvorbereitung	95
4 Überwachungskonzept für die Autobahn	100
5 Vortrieb	107
6 Abdichtung und Innenschale	122
7 Fazit	122

Maschineller Tunnelbau

I. Die technische Entwicklung des hydraulischen Rohrvortriebs in den letzten vier Jahrzehnten	127
<i>Günter Konrad, Theo Hundertpfund</i>	
1 Definition „hydraulischer Rohrvortrieb“	128
2 Geschichtlicher Ursprung und Entwicklung des Verfahrens	128
3 Stand der Technik vor 40 Jahren: ca. 1980	128
4 Motivation für die Forschung und Entwicklung der Maschinenteknik	132
5 Entwicklungsschritte hin zum Microtunneling als heutigem Stand der Technik	132
6 Anwendungsvariante steuerbarer Direkt-Rohrvortrieb	149
7 Anwendungsvariante rückziehbare Maschine mit verlorenem oder klappbarem Schneidrad	151
8 Anwendungsvariante Vortriebsmaschine mit kleinem Durchmesser und langen Strecken: „E-Power Pipe Verfahren“	153
9 Visionen für zukünftige Neuerungen / Verbesserungen	155
10 Schlussbemerkung	155

This page is empty on purpose due to technical reasons

Digitalisierung im Tunnelbau

- I. BIM im Tunnelbau – auf dem Weg zur Standardisierung 157**
*Heinz Ehrbar, Wolfgang Fentzloff, Stephan Frodl,
Peter-Michael Mayer, Florian Riedel, Klaus Würthele*
- 1 Einleitung 158
 - 2 Ziele des DAUB 160
 - 3 Objektkatalog 166
 - 4 Informationsmanagement 170
 - 5 Baugrundmodellierung 182
 - 6 Modellbasiertes Leistungsverzeichnis 194
 - 7 Vorhaltemaße und Überhöhungen 201
 - 8 Zusammenfassung und Ausblick 209
 - Literaturverzeichnis 211
- II. Entwicklung modelltheoretischer Grundlagen zur Anwendung eines BIM-basierten Betriebs- und Erhaltungsmanagements für Straßentunnel 213**
*Hendrik Wahl, Anne Lehan, Markus Thewes, Götz Vollmann,
Markus König, Marcel Stepien, Werner Riepe, Ferdinand Weißbrod*
- 1 Einleitung 214
 - 2 Grundlagen eines BIM-basierten Betriebs- und Erhaltungsmanagements 215
 - 3 Demonstration einer BIM-basierten Arbeitsweise 223
 - 4 Bericht und Handlungsempfehlungen 229
 - 5 Fazit und Ausblick 230

Maschinen und Geräte

- I. BIM aus Sicht des Lösungsanbieters für den maschinellen Tunnelbau 233**
*Kathrin Glab, Katharina Glück, Matthias Flora,
André Heim, Gerhard Wehrmeyer*
- 1 BIM im Tunnelbau: Tunnel Information Modelling (TIM) 234

This page is empty on purpose due to technical reasons

- 2 Sensordatenerfassung zur Erfassung der In-situ-Geologie 245
- 3 Geologie- und Aushubklassifizierung bei Erddruckschilden 253
- 4 Zusammenfassung und Fazit 255
- 5 Ausblick 256

Tunnelbetrieb und Sicherheit

- I. **Planung von Straßentunneln – Zusammenführung des bau- und ausstattungs-technischen Regelwerks** 259
Christof Sistenich, Dirk Lange, Ingo Kaundinya, Martin Kostrzewa
 - 1 Einleitung 260
 - 2 Regelwerksentwicklung 260
 - 3 Die RE-ING als Teil des Regelwerks für Ingenieurbauwerke der Bundesfernstraßen 266
 - 4 RE-ING Teil 3 270
 - 5 Zusammenfassung und Ausblick 281

Forschung und Entwicklung

- I. **Vermeidung chloridinduzierter Korrosion in Tunnelinnenschalen aus Stahlbeton** 283
Marko Orgass, Matthias Rudolph, Ingo Kaundinya, Mike Rammelt, Uwe Willberg
 - 1 Einleitung 284
 - 2 Grundlage 286
 - 3 Länderabfrage 291
 - 4 Eigene experimentelle Untersuchungen 297
 - 5 Empfehlung zur Beurteilung bestehender Tunnelbauwerke 313
 - 6 Empfehlung zur Vermeidung von chloridinduzierter Korrosion bei neuen Tunneln 316

This page is empty on purpose due to technical reasons

II. Experimentelle Untersuchungen zur zeitlichen Normalkraftentwicklung in der Ringfuge von Tübbingtunneln 318

Ansgar Korte, Dietmar Mähner

- 1 Einleitung 319
- 2 Motivation zur Durchführung der Versuche 320
- 3 Abgrenzung zu bisherigen Untersuchungen (In-situ-Messungen in Schlüchtern) 322
- 4 Erkenntnisse der bisherigen In-situ-Messungen 326
- 5 Experimentelle Bestimmung der Normalkraftentwicklung 328
- 6 Zusammenfassung und Ausblick 339

III. Annäherungsverfahren zur Bestimmung des Belastungszustands eines historischen Tunnels mit Ausbau aus Mauerwerk auf Grundlage von Spannungsmessungen nach der Kompensationsmethode 343

Bernd Gesing, Dietmar Mähner

- 1 Einleitung 343
- 2 Stand der Technik und Grundlagen 345
- 3 Untersuchungen und Ergebnisse 358
- 4 Fazit 371
- 5 Ausblick 372

Instandsetzung und Nachrüstung

I. Erfahrungen im Umgang mit PAK-haltigen Stäuben bei der Erneuerung des Kuckuckslay-Tunnels 375

Thomas Wittig, Timo Petry, Stefan Vetter

- 1 Einleitung 376
 - 2 Begriffsdefinitionen und Grundlagen 380
 - 3 Randbedingungen und Tunnelbautechnik 385
 - 4 Arbeitsschutzmaßnahmen (PAK) 393
 - 5 Abfalltechnik und Logistik 402
 - 6 Zusammenfassung und Ausblick 405
- Danksagung 406

Praxisbeispiele

I. Tunnel Baukau – Querung eines Bahndamms mit geringer Überdeckung	407
<i>Dennis Clostermann, Carsten Peter, Guido Meinzer</i>	
1 Bauvorhaben	407
2 Geotechnische Randbedingungen	413
3 Konstruktion und Standsicherheitsnachweise	414
4 Erfahrungen aus der Bauausführung	416
5 Zusammenfassung und Ausblick	420
II. Brenner Basistunnel – Projektvorstellung	421
<i>Walter Fahrnberger, Michael Rehbock-Sander, Romed Insam, David Marini, David Unteregger</i>	
1 Einleitung	422
2 Die alte Brennerbahn	424
3 Modernisierung der alten Brennerbahn	425
4 Der Brenner Basistunnel	426
5 Das Vortriebskonzept	433
6 Geologische Rahmenbedingungen	435
7 Baulogistische Rahmenbedingungen	438
8 Materialbewirtschaftung	446
9 Umweltschutz und Ausgleichsmaßnahmen	448
10 Die Projektgesellschaft	450
11 Finanzierung	450
Tunnelbaubedarf	453
Inserentenverzeichnis	463

Autorenverzeichnis

Dennis Clostermann, Dr. Spang Ingenieurgesellschaft mbH,
Rosi-Wolfstein-Straße 6, 58453 Witten 407

Dipl.-Ing. Heinz Ehrbar, HEINZ EHRBAR PARTNERS GmbH,
Geschäftsführer, Holzwiesstrasse 12, CH-8704 Herrliberg 157

Dipl. Geol. Walter Fahrnberger, Projektleiter Geotechnik
Bauabschnitt Österreich, Müller + Hereth, Ingenieurbüro für Tunnel-
und Felsbau GmbH, Laufener Strasse 16, 83395 Freilassing 421

Dipl.-Ing. Wolfgang Fentzloff, Implenia Construction GmbH,
Leitung Technischer Innendienst, Civil Engineering – Tunnelbau,
Landsberger Straße 290 a, 80687 München 157

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Matthias Flora, Vorstand Herrenknecht AG,
Schlehenweg 2, 77963 Schwanau 233

Dipl.-Ing. Stephan Frodl, Ed. Züblin AG, Zentrale Technik
Tunnelbau, Gruppenleiter, Albstadtweg 3, 70567 Stuttgart 157

M. Sc. Bernd Gesing, Fachbereich Bauingenieurwesen, Institut für
unterirdisches Bauen, FH Münster – University of Applied Sciences,
Corrensstraße 25, 48149 Münster 343

Dipl.- Ing. Kathrin Glab, Herrenknecht AG, Schlehenweg 2,
77963 Schwanau 233

Katharina Glück, Herrenknecht AG, Schlehenweg 2,
77963 Schwanau 233

Dipl.-Ing. Jens Hallfeldt, Technischer Projektleiter, DB Projekt
Stuttgart–Ulm GmbH, Rappelenstraße 19, 70191 Stuttgart 83

Dipl. geol. André Heim, Herrenknecht AG, Schlehenweg 2,
77963 Schwanau 233

Dipl.-Ing. Roland Herr, Internationaler Freier Journalist und Autor,
Hofstatt 15, 35578 Wetzlar 1

Theo Hundertpfund, Technical Consultant, Herrenknecht AG,
Schlehenweg 2, 77963 Schwanau 127

- Dipl.-Ing. Romed Insam**, Projektleiter Bauabschnitt Sillschlucht – Pfons, Brenner Basistunnel BBT-SE, Amraser Straße 8, A-6020 Innsbruck **421**
- Dr.-Ing. Ingo Kaundinya**, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Brüderstraße 53, 51427 Bergisch Gladbach **259, 283**
- Dipl.-Ing. Marc Kemmler**, Tunnelbausachverständiger, Prof. Dieter Kirschke GmbH & Co. KG, Gutenbergstraße 9, 76275 Ettlingen **83**
- Prof. Dr.-Ing. Dieter Kirschke**, Tunnelbausachverständiger, Prof. Dieter Kirschke GmbH & Co. KG, Gutenbergstraße 9, 76275 Ettlingen **83**
- Prof. Dr.-Ing. Markus König**, Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum **213**
- Günter Konrad**, Oberbauleiter, Ed. Züblin AG, Albstadweg 3, 70567 Stuttgart **127**
- Dr.-Ing. Ansgar Korte**, Projektingenieur, Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH, NINO-Allee 30, 48529 Nordhorn **318**
- Dipl.-Ing. Martin Kostrzewa**, Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Abteilung Bundesfernstraßen (BMDV), Robert-Schuman-Platz 1, 53175 Bonn **259**
- Dipl.-Ing. Dirk Lange**, Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen (Straßen.NRW), Referat Konstruktiver Ingenieurbau, Wildenbruchplatz 1, 45888 Gelsenkirchen **259**
- Dipl. Wirt.-Ing. Anne Lehan**, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Brüderstraße 53, 51427 Bergisch Gladbach **233**
- Prof. Dr.-Ing. Dietmar Mähner**, Fachbereich Bauingenieurwesen, Institut für unterirdisches Bauen, FH Münster – University of Applied Sciences, Corrensstraße 25, 48149 Münster **318, 343**
- Dr.-Ing. M. Sc. David Marini**, Leiter Ingenieurwesen und BIM Planung, Bau Brenner-Franzensfeste, Brenner Basistunnel BBT SE, Bahnhofstraße 3, I-39045 Franzensfeste **421**
- Dr.-Ing. Peter-Michael Mayer**, Ed. Züblin AG, Zentrale Technik, Tief- und Tunnelbau, Albstadweg 3, 70567 Stuttgart **157**
- Guido Meinzer**, Die Autobahn GmbH des Bundes, Niederlassung Westfalen | Außenstelle Bochum, Teamleitung Projektgruppe Ausbau A40/A42/A43, Philippstraße 3, 44803 Bochum **407**

Dipl.-Ing. Marc Meissner, M. BC., Arbeitskreis Tunnelabdichtung e. V.,
Adolf-Dembach-Straße 4a, 47829 Krefeld 1

Dipl.-Ing. Marko Orgass, , MFPA Leipzig GmbH, Leipzig 283

Dr. Carsten Peter, BUNG-PEB Tunnelbau-Ingenieure GmbH,
Stockumer Straße 475, 44227 Dortmund 407

M. Eng. Timo Petry, Baugrundinstitut, gbm Gesellschaft für
Baugeologie und -meßtechnik mbH, Robert-Bosch-Straße 7,
65549 Limburg an der Lahn 375

Dipl.-Ing. Mike Rammelt, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),
Bergisch Gladbach, seit 1.4.2020 Strabag AG, Köln 283

Dipl. Ing. Michael Rehbock-Sander, Projektleiter Planung Bauabschnitt
Österreich, Amberg Engineering AG, Trockenloosstrasse 21,
CH-8105 Regensdorf 421

M. Eng. Florian Riedel, BIM Manager, Digitales Planen und Bauen,
DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH,
Zimmerstraße 54, 10117 Berlin 157

Dipl.-Ing. Werner Riepe, BUNG Ingenieure AG, Englerstraße 4,
69126 Heidelberg 213

Dipl.-Ing. Matthias Rudolph, MFPA Leipzig GmbH, Leipzig 283

Dipl.-Ing. Dieter Schmitt, WBI GmbH, Im Technologiepark 3,
69469 Weinheim 27

Dipl.-Ing. Sebastian Schwaiger, Müller + Hereth, Ingenieurbüro für
Tunnel- und Felsbau GmbH, Laufener Straße 16, 83395 Freilassing 1

Dipl.-Ing. Christof Sistenich, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),
Brüderstraße 53, 51427 Bergisch Gladbach 259

M.Sc. Marcel Stepien, Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen,
Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum 213

Prof. Dr.-Ing. Markus Thewes, Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau
und Baubetrieb, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150,
44801 Bochum 213

Dr. Dipl.-Ing. David Unteregger, Leiter Ingenieur- und Bauvertragswesen,
Bau Innsbruck-Brenner, Brenner Basistunnel BBT-SE, Amraser Straße 8,
A-6020 Innsbruck 421

Dipl.-Ing. Stefan Vetter, Deutsche Bahn AG, Hahnstraße 49,
60528 Frankfurt 375

Dr.-Ing. Götz Vollmann, Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und
Baubetrieb, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150,
44801 Bochum 213

M. Sc. Hendrik Wahl, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt),
Brüderstraße 53, 51427 Bergisch Gladbach 213

Dr. Gerhard Wehrmeyer, Leiter Forschung und Entwicklung,
Herrenknecht AG, Schlehenweg 2, 77963 Schwanau 233

M. Eng. Ferdinand Weißbrod, BUNG Ingenieure AG, Englerstraße 4,
69126 Heidelberg 213

Prof. Dr.-Ing. Uwe Willberg, Die Autobahn GmbH des Bundes,
NL Südbayern, München. 283

M. Sc. Thomas Wittig, Baugrundinstitut, gbm Gesellschaft für
Baugeologie und -meßtechnik mbH, Robert-Bosch-Straße 7,
65549 Limburg an der Lahn 375

Dr.-Ing. Martin Wittke, Geschäftsführer, WBI GmbH,
Im Technologiepark 3, 69469 Weinheim 27

Prof. Dr.-Ing. Walter Wittke, Geschäftsführer, WBI GmbH,
Im Technologiepark 3, 69469 Weinheim 27

Dr.-Ing. Bettina Wittke-Schmitt, Geschäftsführerin, WBI GmbH,
Im Technologiepark 3, 69469 Weinheim 27

Dipl.-Ing., Dipl.-Wirt.Ing. Klaus Würthele, Ed Züblin AG, Bereichsleiter
Technische Stabsstellen, Albstadtweg 3, 70567 Stuttgart 157

Konventioneller bergmännischer Tunnelbau

I. **Geosynthetische Tondichtungsbahn und Kunststoffdichtungsbahn als doppel-lagiges Druckwasserabdichtungssystem mit planmäßiger Blockhinterlegung: Ein Drei-Komponenten-Ansatz für hohe Abdichtungsanforderungen**

Marc Meissner, Sebastian Schwaiger, Roland Herr

Der „Drei-Komponenten-Ansatz“ für hohe Abdichtungsanforderungen ist ein neues Abdichtungssystem insbesondere bei hohen Wasserdrücken. Er wird hier als in der Baupraxis umsetzbare Möglichkeit vorgestellt. Hinter der druckwasserhaltenden, 3 mm dicken Tunnel-Kunststoffdichtungsbahn wird anstelle des üblichen Schutz- und Drainagevlieses als erste Lage eine geosynthetische Tondichtungsbahn (GTD – oder auch Bentonitmatte) eingebaut. Sowohl Laborversuche als auch die Praxisanwendung auf der Tunnelbaustelle zeigen, dass die Verwendung von Bentonitmatten und Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) als doppel-lagige Druckwasserabdichtung bei gleichzeitiger erweiterter Firstspaltverpressung (planmäßige Blockhinterlegung) eine Erfolg versprechende Alternative zum Doppellagensystem mit KDB und einen neuen Stand der Technik darstellen könnte.

Geosynthetic clay liner and synthetic liner as a double-layer pressurised waterproofing system with planned block backing: a three-component approach for high waterproofing requirements

The “three-component approach” for high waterproofing requirements is a new waterproofing system especially for high water pressures and is presented here as a possibility that can be implemented in construction practice. A geosynthetic clay liner (GTD – or bentonite mat) is installed as the first layer behind the 3 mm

thick tunnel sealing membrane that retains water under pressure, instead of the usual protective and drainage fleece. Laboratory tests as well as practical application on the tunnel construction site show that the use of bentonite mats and plastic sealing membranes (PSM) as a double-layer pressurised waterproofing with simultaneous extended ridge gap injection (block backfill) is a promising alternative to the double-layer system with PSM and could represent a new state of the art.

1 Einführung

Neue Tunnelbauwerke führen immer häufiger durch ökologisch sensible Gebiete. Dabei nehmen die Anforderungen zum Schutz des Grundwassers immer weiter zu. Oft wird eine dauernde Bergwasserabsenkung aus ökologischen Gründen nicht genehmigt. In diesen Fällen müssen Tunnelbauwerke gegen drückendes Wasser, das heißt für hohe Wasserdrücke, ausgebildet werden. Mit dem Wasserdruck steigen jedoch auch die Ansprüche an die Tunnelabdichtungssysteme.

Gleichzeitig müssen auf der Baustelle immer komplexere Vorgaben zur Tunnelabdichtung umgesetzt werden. Bei Wasserdrücken über 30 m etwa sind entsprechend objektspezifische Maßnahmen festzulegen [2], wie doppelartige Abdichtungssysteme mit prüfbareren Kammern oder Abdichtungsbahnen mit 4 mm Dicke. Beide Möglichkeiten haben sich als in der Baupraxis schwer umsetzbar erwiesen.

Im vorliegenden Beitrag wird ein neues Abdichtungssystem für hohe Ansprüche, insbesondere bei hohen Wasserdrücken, als in der Baupraxis umsetzbare Möglichkeit vorgestellt: Hinter der druckwasserhaltenden, 3 mm dicken Tunnel-Kunststoffdichtungsbahn (KDB) wird anstelle des üblichen Schutz- und Drainagevlieses als erste Lage eine geosynthetische Tondichtungsbahn (GTD – oder auch Bentonitmatte) eingebaut (Bilder 1 und 2).

Zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit dieses Systems ist eine planmäßige Hinterlegung der Innenschale mit Zementsuspension Teil der vorgeschlagenen Lösung, da

1. bei hohen Wasserdrücken eine vollflächige Bettung der KDB gegen die Ortbetoninnenschale erforderlich ist und

This page is empty on purpose due to technical reasons



Bild 1. Einsatz des Abdichtungssystems mit drei Komponenten: geosynthetische Tondichtungsbahn (Bentonitmatte), Kunststoffdichtungsbahn, Blockhinterlegung und Betoninnenschale



Bild 2. Bei hohen Wasserdrücken ist das neue Mehrkomponentensystem eine sichere und in der Baupraxis umsetzbare Maßnahme.

This page is empty on purpose due to technical reasons

2. die Bentonitmatte kraftschlüssig zwischen Spritzbeton (Abdichtungsträger) und KDB eingespannt sein muss, um die Abdichtungsfunktion in vollem Umfang erfüllen zu können.

2 Abdichtungssysteme im Tunnelbau

Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen druckdichten und druckentlasteten Abdichtungssystemen. Letztere werden seit vielen Jahren erfolgreich eingesetzt und daher in diesem Beitrag nicht weiter behandelt.

Bei druckwasserhaltenden Systemen treten in der Praxis immer wieder Undichtigkeiten und Schäden auf, die nur sehr aufwendig zu sanieren sind. Oft ist die Sanierung auch nicht dauerhaft. Der Bauherr bekommt ein „repariertes Bauwerk“. Das Hauptaugenmerk der nachfolgenden Ausführungen liegt daher auf der Vermeidung von Schäden und nicht auf der Sanierung.

Das gebräuchlichste Verfahren zur Druckwasserabdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen gegen hohe Wasserdrücke im bergmännischen Tunnelbau ist, eine rundum dicht verschweißte KDB mit einer Innenschale aus Ortbeton herzustellen. Doch treten bei vielen ausgeführten Bauvorhaben Undichtigkeiten auf, die zahlreiche Ursachen haben können. Dabei sind die Ursachen zu unterscheiden in jene, die in einer mangelhaften Bauausführung zu suchen sind, und in solche, die systembedingt sind.

Folgende Undichtigkeiten sind der Bauausführung zuzurechnen [5]:

- Verletzungen der KDB beim Einbau der Bewehrung
- Beschädigungen bei der Schalwagenpositionierung
- Beschädigungen während des Betoneinbaus
- nicht fachgerechter Einbau des KDB-Systems, undichte Schweißnähte, Zerrungen bei Querschnittsübergängen usw.

Bei großen Wasserdrücken kann es darüber hinaus zu systembedingten Beschädigungen der KDB kommen [5]:

- Große Wasserdrücke erfordern statisch große Innenschalendicken. Die Verdichtung des Betons erfolgt meist mit Schalungsrüttlern. Häufig weist die Außenseite der Innenschale Lunker oder

Fehlstellen auf. Diese entstehen einerseits durch unzureichende Verdichtung mit Schalungsrüttlern infolge großer Innenschalendicken und durch hohe Bewehrungsgehalte, die ein fachgerechtes und vollständiges Betonieren sowie Verdichten erschweren, sowie andererseits aus Luftblasen, die an der KDB nicht entweichen können und deshalb teilweise mehrere Zentimeter große Lunker erzeugen.

- Im Endzustand wirkt der Wasserdruck von außen. Eine Beschädigung der KDB kann dann nicht ausgeschlossen werden bzw. ist sogar wahrscheinlich.

Als geeignetes Mittel zur Vermeidung dieser „systembedingten“ Schäden hat sich in vielen Projekten die Verpressung des Spalts zwischen KDB und Ortbetoninnenschale mit Zementsuspension, die sogenannte erweiterte Firstspaltverpressung oder planmäßige Blockhinterlegung, bewährt. Darüber hinaus kann diese Verpressung, die noch bei abgesenktem Bergwasserspiegel erfolgt, auch kleine ausführungsbedingte Schäden „reparieren“. Kleine Fehlstellen der KDB werden dabei mit der Zementsuspension verschlossen und so weit abgedichtet, dass die Undichtigkeiten praktisch nicht mehr vorhanden sind.

Grundsätzlich kommen für die sichere Abdichtung eines Tunnels langzeitbeständige Kunststoffdichtungsbahnen aus weichmacherfreien Polyolefinen oder weichmacherhaltigem Polyvinylchlorid (PVC-P) zum Einsatz. Um eine Auswanderung oder Ausspülung des Weichmachers zu vermeiden, sollte eine sorgfältige Prüfung des Abdichtungsmaterials im Hinblick auf die Langzeitbeständigkeit und die Unbedenklichkeit des Materials bezüglich der Umwelt durchgeführt werden.

2.1 Schichtenaufbau mit KDB

Die Schichten des Abdichtungssystems (von der Berg- zur Innenseite) sind gemäß ZTV-ING grundsätzlich aufgebaut wie in Bild 3 dargestellt.

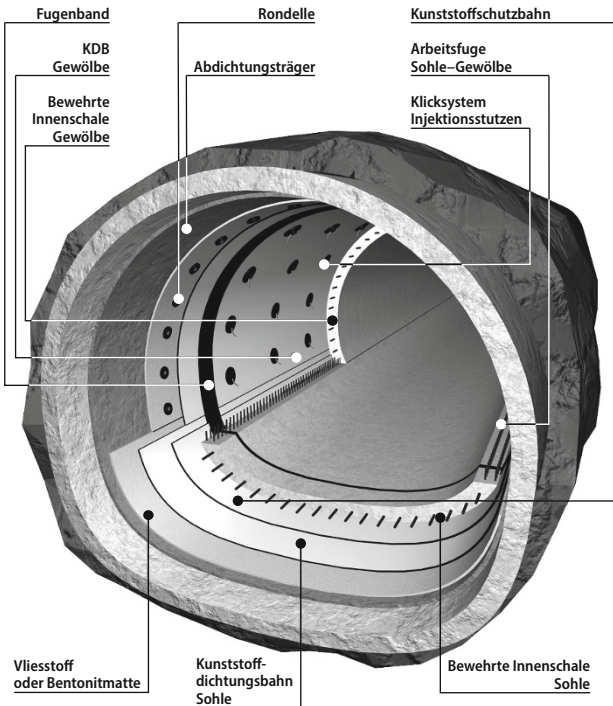


Bild 3. Abdichtungssystem mit Kunststoffdichtungsbahn

2.1.1 Abdichtungsträger

Mit einer ca. 4 bis 5 cm dicken Lage aus feinkörnigem, im Idealfall aus Rundkorn hergestellten Spritzbeton werden grobe Unebenheiten in der Spritzbetonschale ausgeglichen, Stahlteile wie Ankerköpfe eingespritzt und Löcher verschlossen. Ebenso werden Abschlauchungen

This page is empty on purpose due to technical reasons