Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (Hrsg.)

Taschenbuch für den Tunnelbau 2023

- **Tunnel Information Modelling**
- **Grundlagen und Anwendungen für Injektionen**
- **Bau- und ausstattungstechnische Regelwerke für Straßentunnel**

Das Taschenbuch für den Tunnelbau ist seit vielen Jahren ein praxisnaher Ratgeber für Auftraggebende, Planende und Bauausführende. Es greift aktuelle Entwicklungen und Problemstellungen auf, präsentiert innovative Lösungen und dokumentiert dabei den erreichten Stand der Technik.

BESTELLEN
+49 (0)30 470 31–236
marketing@ernst-und-sohn.de
www.ernst-und-sohn.de/3394

* Der €-Preis gilt ausschließlich für Deutschland, inkl. MwSt.

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

vorl. Abb.

10 / 2022 · ca. 400 Seiten ·
ca. 150 Abbildungen · ca. 25 Tabellen

Hardcover
ISBN 978-3-433-03394-4 ca. **€ 39.90***

Bereits vorbestellbar.

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

ÜBER DAS BUCH

Das Taschenbuch für den Tunnelbau ist seit vielen Jahren ein praxisorientierter Ratgeber für Auftraggeber, Planer und Bauausführende. Es greift aktuelle Entwicklungen und Problemstellungen auf, präsentiert innovative Lösungen und dokumentiert dabei den jeweils erreichten Stand der Technik. Die Beiträge in der Ausgabe 2023 behandeln die Themenbereiche Konventioneller bergmännischer Tunnelbau, Maschineller Tunnelbau, Digitalisierung im Tunnelbau, Maschinen und Geräte, Tunnelbetrieb und Sicherheit, Forschung und Entwicklung, Instandsetzung und Nachrüstung sowie Praxisbeispiele.

BESTELLUNG

Anzahl	ISBN /	Titel	Preis
	978-3-433-03394-4	Taschenbuch für den Tunnelbau 2023	ca. € 39.90*

☐ Privat ◯ Geschäftlich

Bitte richten Sie Ihre Bestellung an:
Tel. +49 (0)30 47031-236
Fax +49 (0)30 47031-240
marketing@ernst-und-sohn.de

Firma, Abteilung _____ UST-ID Nr. _____

Name, Vorname _____ Telefon _____ Fax _____

Straße, Nr. _____

PLZ / Ort / Land _____ E-Mail _____

Datum / Unterschrift _____

www.ernst-und-sohn.de/3394

Irrtum und Änderungen vorbehalten. Stand: 8/2022

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*
Marc Meissner, Sebastian Schwaiger, Roland Herr

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*
Walter Wittke; Bettina Wittke-Schmitt, Martin Wittke, Dieter Schmitt

1 Einleitung *28*
2 Grundlagen *28*
3 Zementgebundene Injektionsmittel *37*
4 Injektionen mit Kunstharzen *58*
5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen *77*

III. Unterfahrung der Autobahn bei Wendlingen – Vortrieb im Lockergestein 3 m unter der Fahrbahn *83*
Dieter Kirschke, Jens Hallfeldt, Marc Kemmler

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*
Günter Konrad, Theo Hundertpfund

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 Maschinentechnik *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*

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*

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 ausstattungstechnischen 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*

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*
Dennis Clostermann, Carsten Peter, Guido Meinzer

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*
Walter Fahrnberger, Michael Rehbock-Sander, Romed Insam, David Marini, David Unteregger

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*

Konventioneller bergmännischer Tunnelbau

I. Geosynthetische Tondichtungsbahn und Kunststoffdichtungsbahn als doppellagiges 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 doppellagige 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

Tunnelbau 2023, Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2023 Ernst & Sohn GmbH. Published 2023 by Ernst & Sohn GmbH.

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 doppellagige Abdichtungssysteme mit prüfbaren 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

II. Injektionen im Tunnel- und Talsperrenbau – Theoretische Grundlagen und Anwendungsfälle

Walter Wittke; Bettina Wittke-Schmitt, Martin Wittke, Dieter Schmitt

Injektionen dienen der Abdichtung und Verfestigung des Baugrunds in Boden und Fels. Angewendet werden sie insbesondere im Spezialtiefbau, Tunnelbau und Talsperrenbau. Injektionsmaßnahmen können Bauzeit und Baukosten erheblich beeinflussen. Dabei herrscht häufig Unsicherheit, welche Verpressmittel und Verfahren zielführend und kostengünstig sind.

In dem Beitrag werden die Grundlagen für die Planung von Verpressarbeiten und die Auswahl geeigneter Verpressmittel sowie die Eigenschaften und Anwendungsbereiche verschiedener zementgebundener Verpressmittel sowie Kunstharze erläutert. Anhand ausgewählter Beispiele aus dem Tunnel- und Talsperrenbau werden Planung, Ausführung und Überwachung skizziert. Gezeigt wird, dass die verfügbaren Verpressmittel für verschiedene Anwendungszwecke geeignet sind und auch Kombinationen verschiedener Verpressmittel sinnvoll sein können. Es bedarf für jeden Einzelfall erneut einer sorgfältigen Planung unter Berücksichtigung der Ziele der Verpressung, der vorliegenden Randbedingungen und der Eigenschaften der Verpressmittel.

Grouting for tunnels and dams – basic principles and case histories

Grouting is used for sealing and consolidation of the subsoil – both in soil and rock mass. Especially in connection with tunneling, dam structures and special deep construction, grouting works are required. In many cases, grouting works significantly influence construction time and cost. On the other hand, there is often uncertainty as to which grouting agents and methods are appropriate and cost-effective for certain ground conditions.

In the given article, the basic principles required for the design of grouting works and for the selection of suitable grouts, are discussed. Furthermore, the properties and ranges of application of various cementitious grouts and synthetic resins are dealt with. With the aid of selected case histories from tunnel and dam construction, planning, execution and supervision are outlined. It becomes clear that the different grout agents available in the market, are suitable for different applications. Moreover, it may be reasonable to use a combination of different

Tunnelbau 2023, Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2023 Ernst & Sohn GmbH. Published 2023 by Ernst & Sohn GmbH.

grout agents. At the end, careful planning is required for every individual case, taking into account the objectives of the grouting measure, the existing boundary conditions and the properties of the grout agents.

1 Einleitung

Injektionen dienen der Abdichtung und Verfestigung des Baugrunds – sowohl im Boden als auch im Fels. Sie finden insbesondere im Spezialtiefbau, Tunnelbau und Talsperrenbau Anwendung. Der Einfluss von Injektionsmaßnahmen auf die Bauzeit und die Baukosten ist zum Teil erheblich. Dabei herrscht unter Planern häufig Unsicherheit, welche Verpressmittel und Verfahren bei bestimmten Baugrundverhältnissen zielführend und kostengünstig sind.

Die Autoren waren in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten bei einer Reihe von Bauvorhaben mit der Planung und Umsetzung von Injektionsmaßnahmen betraut. In dem folgenden Artikel wird über die dabei gesammelten Erfahrungen berichtet.

Es werden verschiedene Verpressmittel, deren Eigenschaften und Anwendungsbereiche sowie die wesentlichen Grundlagen für die Auswahl der für den jeweiligen Fall geeigneten Verpressmittel und -verfahren behandelt. Außerdem werden die Planung, die Ausführung und die Überwachung anhand verschiedener Beispiele aus dem Tunnel- und Talsperrenbau beschrieben.

2 Grundlagen

2.1 Durchlässigkeit und Strömung

Bei Lockergesteinen handelt es sich in der Regel um Porengrundwasserleiter. Das Grundwasser strömt in den Poren zwischen den Körnern. Die Porengröße ist abhängig von der Korngröße und bestimmt die Fließgeschwindigkeit des Wassers und die Durchlässigkeit. Die Zusammenhänge sind hinlänglich in der einschlägigen Fachliteratur behandelt und sollen hier nicht weiter vertieft werden.

Bei Festgesteinen besitzt das unzerklüftete Gestein erfahrungsgemäß eine sehr geringe Wasserdurchlässigkeit und kann – von wenigen

III. Unterfahrung der Autobahn bei Wendlingen – Vortrieb im Lockergestein 3 m unter der Fahrbahn

Dieter Kirschke, Jens Hallfeldt, Marc Kemmler

Bei der Herstellung einer Kreuzung zwischen einem bestehenden Verkehrsweg und einem unter diesem in geringem Abstand hindurchführenden neuen Verkehrsweg kommt es vor allem darauf an, die Beeinträchtigung des Verkehrs möglichst gering zu halten. Im Regelfall wählt man hierfür die offene Bauweise unter vorübergehender Verlegung des Verkehrswegs um den Kreuzungsbereich herum. Die mit noch weniger Einschränkungen verbundene Untertunnelung in geschlossener Bauweise stößt ab einem bestimmten Mindestabstand an die Grenzen der Machbarkeit.

Im Fall der Unterquerung des Damms der Autobahn A 8 mit einem eingleisigen, von der Neubaustrecke Wendlingen – Ulm abzweigenden Tunnel im schleifenden Schnitt waren die räumlichen Voraussetzungen für eine Umverlegung der Autobahn äußerst ungünstig, weil in unmittelbarer Nähe eine Straße, eine Eisenbahnlinie und ein Fluss das Anschütten von Dämmen unmöglich machten. Dies gab letztlich den Anlass für die im vorliegenden Beitrag beschriebene bergmännische Unterfahrung der Autobahn. Ein Abstand von nur 3 m zwischen Tunnelfirste und Fahrbahn machte den Vortrieb zu einer äußerst anspruchsvollen Ingenieuraufgabe. Der erfolgreiche Abschluss dieser Maßnahme sollte die Planer vergleichbarer Aufgaben ermutigen, eine solche Lösung als die störungsärmste Variante ernsthaft in ihre Überlegungen einzubeziehen.

Undercutting of the motorway near Wendlingen – excavation in loose ground 3 m below the roadway

When constructing an intersection between an existing traffic route and a new traffic route passing under it at a short distance, it is most important to keep the disruption to traffic to a minimum. As a rule, the open construction method is chosen for this purpose, with temporary relocation of the traffic route around the intersection area. Undertunneling using the closed construction method, which entails even fewer restrictions, reaches the limits of feasibility at a certain minimum distance.

Tunnelbau 2023, Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2023 Ernst & Sohn GmbH. Published 2023 by Ernst & Sohn GmbH.

In the case of tunneling under the embankment of the A 8 freeway with a single-track tunnel branching off from the new railway line Wendlingen – Ulm, the spatial conditions for rerouting the freeway were extremely unfavorable because a road, a railroad line and a river in the immediate vicinity made it impossible to place embankments. This ultimately gave rise to the conventional method of undercutting of the highway described in this article. A distance of only 3 m between the tunnel crest and the roadway made driving an extremely demanding engineering task. The successful completion of this measure should encourage planners of comparable tasks to seriously consider such a solution as the least disruptive variant.

1 Projektvorstellung

Die Neubaustrecke (NBS) Wendlingen – Ulm ist Teil des Bahnprojekts Stuttgart – Ulm. Die rund 60 km lange NBS verläuft zwischen Wendlingen am Neckar und Ulm etwa zur Hälfte in Tunneln. Um den Flächenverbrauch so gering wie möglich zu halten, wird die Schnellfahrstrecke weitestgehend in paralleler Lage zur Bundesautobahn (BAB) A 8 gebaut ([1]).

Am Westportal des mehr als 8 km langen Albvorlandtunnels bei Wendlingen am Neckar (Bild 1) wird die NBS mit einer eingleisigen Strecke über das Gegenrichtungsgleis Ulm – Stuttgart an die bestehende Bahnstrecke 4600 angebunden. Diese 1132 m lange Anbindung wird Güterzuganbindung (GZA) genannt.

Die Bahnstrecke 4600, auch Neckartalbahn genannt, führt von Stuttgart über Plochingen nach Tübingen und Reutlingen.

Über diese GZA wird die NBS Wendlingen – Ulm im Dezember 2022 an die Bestandsstrecken angebunden und in Betrieb gehen. Im Jahr 2025 wird dann die endgültige Anbindung der NBS über die Filderebene, entlang des Stuttgarter Flughafens und durch den Fildertunnel bis zum neuen Hauptbahnhof des Projekts „Stuttgart 21“ fertiggestellt sein.

Die Hauptbauwerke der GZA sind (in Kilometrierungsrichtung) eine ca. 59 m lange Stützwand, eine 51 m lange Grundwasserwanne, ein 173 m langer eingleisiger Tunnel unter der Autobahn A 8 (GZA-BAB-

Maschineller Tunnelbau

I. Die technische Entwicklung des hydraulischen Rohrvortriebs in den letzten vier Jahrzehnten

Günter Konrad, Theo Hundertpfund

In der jahrzehntelangen Anwendung des hydraulischen Rohrvortriebs gab es zahlreiche Entwicklungsschritte, die das Verfahren als einen hoch technisierten Prozess etabliert haben. Gerade die besonderen Anforderungen einzelner Bauaufgaben forcierten die Weiterentwicklung und führten zu speziellen Varianten der Bohrtechnik.

In dem Beitrag wird über die Entwicklung des Rohrvortriebs und insbesondere des Microtunnellings von den Anfängen bis zur Gegenwart berichtet. Erläutert werden die Entwicklungsschritte in den Bereichen Vortriebstechnik, Maschinentechnik, Mess- und Regeltechnik sowie Vermessung. Zudem wird das heutige Spektrum der Anwendungsmöglichkeiten aufgezeigt.

The technological development of hydraulic pipe jacking in the past four decades

In the decades of application of hydraulic pipe jacking, there have been numerous development steps that have established the method as a highly technical process. In particular, it was the special requirements of individual construction tasks that forced further development and led to special variants of the drilling technique. The article explains the history of pipe jacking, and in particular of microtunnelling, from its beginnings to the present day and describes development steps with regard to jacking technology, machine technology, measurement and control technology as well as surveying, and shows the current spectrum of possible applications.

Tunnelbau 2023, Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2023 Ernst & Sohn GmbH. Published 2023 by Ernst & Sohn GmbH.

Digitalisierung im Tunnelbau

I. BIM im Tunnelbau – auf dem Weg zur Standardisierung

Heinz Ehrbar, Wolfgang Fentzloff, Stephan Frodl, Peter-Michael Mayer, Florian Riedel, Klaus Würthele

Für die effektive Anwendung von BIM, insbesondere im Tunnelbau, ist eine Standardisierung unerlässlich. Mithilfe von standardisierten Modell- und Datenstrukturen, einheitlichen Begrifflichkeiten und Benennungen von Merkmalen und Attributen lässt sich eine (teil-)automatisierte Verknüpfung von Modellen mit Prozessen umsetzen. Diese Prozesse können beispielsweise die Erstellung von modellbasierten Kostenschätzungen und Kalkulationen anhand von standardisierten Leistungsverzeichnissen oder auch Visualisierung von Bauabläufen sein.

Der Deutsche Ausschuss für unterirdisches Bauen (DAUB) bemüht sich um eine derartige Standardisierung. Zahlreiche Bauherren, Planer und Unternehmer arbeiten als Mitwirkende intensiv an der Erstellung von Objektkatalogen sowie Merkmaldefinitionen und widmen sich dem Thema der Baugrundmodellierung. Nach den ersten Veröffentlichungen im Jahr 2019 und 2020 folgen als Fortsetzung weitere Teile im Jahr 2022.

Der Beitrag verdeutlicht die Entwicklungen und Bemühungen zur Standardisierung und die Umsetzung von BIM im Tunnelbau.

BIM in tunnelling – On the way to standardisation

Standardisation is essential for the effective application of BIM and especially in using BIM in tunnelling construction. With the help of standardised model and data structures, uniform terminology and the designation of properties and attributes, a (partially) automated linking of models with processes can be implemented. These processes can be, for example, the creation of model-based cost estimates and calculations based on standardised service specifications or the visualisation of construction processes.

The German Committee for Underground Construction (DAUB) is striving for such standardisation.

Tunnelbau 2023, Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2023 Ernst & Sohn GmbH. Published 2023 by Ernst & Sohn GmbH.

Numerous contributors of clients, planners and contractors are working intensively on the creation of object catalogues and property definitions and are dedicated to the topic of subsoil modelling. After the first publications in 2019 and 2020, additional sections will follow in 2022.

The article illustrates the developments and efforts towards standardisation and the implementation of BIM in tunnelling construction.

1 Einleitung

Seit vielen Jahren beschäftigt sich die Wirtschaft intensiv mit der Digitalisierung, mit der ein durchgängiger, maschinenlesbarer und verlustfreier Datenfluss und ein effizientes Informationsmanagement erreicht werden sollen. Die Bauwirtschaft im Speziellen hat das Ziel, so den gesamten Lebenszyklus von Bauwerken (Bild 1) abzubilden.

Damit soll die Grundlage für eine gegenüber dem aktuellen Ausgangszustand wesentlich verbesserte Kooperation zwischen allen Projektbeteiligten aus der Planung, dem Bau und dem Betrieb geschaffen werden. Projekte sollen damit effektiver (bessere Zielerreichung) und effizienter (weniger Aufwand, höhere Produktivität) geplant, gebaut und betrieben werden können.

Building Information Modelling (BIM) ist einer der Pfeiler, um diese Potenziale nutzen zu können. Der zweite, ebenso wichtige Pfeiler ist die partnerschaftliche Projektzusammenarbeit.

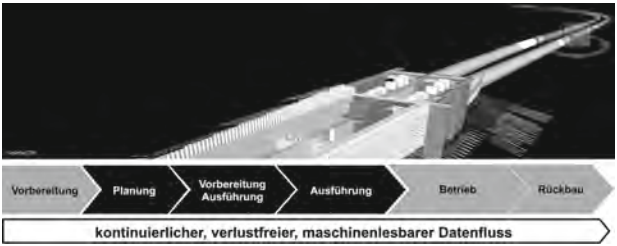

Bild 1. Zielsetzung bezüglich Daten und Informationen

II. Entwicklung modelltheoretischer Grundlagen zur Anwendung eines BIM-basierten Betriebs- und Erhaltungsmanagements für Straßentunnel

Hendrik Wahl, Anne Lehan, Markus Thewes, Götz Vollmann, Markus König, Marcel Stepien, Werner Riepe, Ferdinand Weißbrod

In der Betriebsphase eines Tunnelbauwerks sind die Aufrechterhaltung bzw. die Erhöhung der Verfügbarkeit im Netz sowie die ökonomische Optimierung im Hinblick auf die Lebenszykluskosten des Bauwerks prioritär. Eine konsequente Anwendung der BIM-Methodik („Building Information Modelling") kann dabei theoretisch einen sinnvollen und zielgerichteten Beitrag leisten, da hierdurch ein vollständiges digitales Modell des Bauwerks mit allen verbauten Elementen und den für die Betreiberaufgaben notwendigen Informationsgrundlagen zur Verfügung gestellt wird.

Im Rahmen des Forschungsprojekts FE 15.0623/2016/RRB „Building Information Modelling (BIM) im Tunnelbau" wurden mit Förderung der Bundesanstalt für Straßenwesen im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr vom Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb und vom Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen (beide Ruhr-Universität Bochum) in Zusammenarbeit mit der BUNG Ingenieure AG die Grundlagen für ein BIM-basiertes Betriebsmodell von Straßentunneln entwickelt. Im Beitrag werden die Untersuchungsergebnisse dargestellt und die Umsetzung anhand einer beispielhaften Erstellung eines BIM-basierten Betriebsmodells wird demonstriert. Zudem wird die BIM-basierte Arbeitsweise mit besonderem Fokus auf die Betreiberanforderungen dargestellt.

Development of model-theoretical foundations for the application of a BIM-based operation and maintenance management for road tunnels

In the operating phase of a road tunnel, maintaining or increasing the availability in the network but also the economic optimization regarding the life cycle costs of the structure are important priorities. A consistent application of the BIM methodology ("Building Information Modelling") can theoretically make a useful and targeted contribution, as it provides a complete digital model of the

Tunnelbau 2023, Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2023 Ernst & Sohn GmbH. Published 2023 by Ernst & Sohn GmbH.

structure with all installed elements and the information required for the operator tasks.

In the research project FE 15.0623/2016/RRB "Building Information Modelling (BIM) in Tunneling", the Institute of Tunneling and Construction Management and the Institute of Computing in Engineering (both Ruhr University Bochum) in cooperation with BUNG Ingenieure AG developed the basics for a BIM-based operating model of road tunnels with funding from the Federal Highway Research Institute commissioned by the Federal Ministry of Digital and Transport. The article presents the research results and demonstrates the implementation by means of an exemplary generation of a BIM-based operating model. In addition, it outlines the application of BIM with a special focus on the operator's requirements.

1 Einleitung

In Zeiten zunehmender Digitalisierung und gefördert durch politische Initiativen wie den „Stufenplan Digitales Planen und Bauen" [1] und den daran anknüpfenden „Masterplan BIM Bundesfernstraßen" [2] – beide veröffentlicht vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr – gewinnt die kooperative Arbeitsmethodik „Building Information Modelling (BIM)" zunehmend an Bedeutung. Neben der Unterstützung der Planungs- und Ausführungsphase kann ein konsistentes Datenmodell im Rahmen einer ganzheitlichen Lebenszyklusbetrachtung auch genutzt werden, um Betriebs- und Erhaltungsprozesse zu optimieren.

Derzeitige Entwicklungen zeigen jedoch, dass der bisherige Fokus bei der Anwendung der BIM-Methodik verstärkt auf der Ausführungs- und Planungsphase lag. Der „Masterplan BIM Bundesfernstraßen" gibt jedoch vor, dass BIM bis 2025 flächendeckend als Regelprozess einzusetzen ist, und adressiert dabei auch explizit den Betrieb der Bundesfernstraßeninfrastruktur.

Nachfolgend werden die Anforderungen an ein BIM-basiertes Betriebs- und Erhaltungsmanagement für Straßentunnel beschrieben. Dies umfasst auch die Berücksichtigung von bereits bestehenden modelltheoretischen Grundsätzen sowie eine ergänzende Erfassung von Anforderungen des Betreibers unter Berücksichtigung der be-

Maschinen und Geräte

I. BIM aus Sicht des Lösungsanbieters für den maschinellen Tunnelbau

Kathrin Glab, Katharina Glück, Matthias Flora, André Heim, Gerhard Wehrmeyer

Die Digitalisierung im Bauwesen wird im Tunnelbau für die Bauplanung, die Bauausführung bis zum Betrieb vorangetrieben. Das digitale Abbild, das sogenannte Tunnel Information Modelling (TIM), kann in die Teilmodelle Bauwerksmodell, Baugrundmodell sowie das Bauprozess- bzw. das Baustellenmodell untergliedert werden. Auf Basis der Beschreibung dieser Teilmodelle stellt der Beitrag sowohl die notwendigen Voraussetzungen wie die Chancen vor, die sich bei der Umsetzung ergeben. So können z. B. mit einer redundanten Sensordatenerfassung die in-situ Geologie erfasst sowie Methoden der künstlichen Intelligenz eingesetzt werden. Durch den Einsatz von intelligenten Sensoren auf einer Tunnelbaustelle ergeben sich neue Anforderungen und Möglichkeiten für digitalisierte Werte und deren Signalübergabe und -verarbeitung. Der iterative Prozess zur Erstellung eines Prognosemodells auf Basis des Maschinelles Lernen (ML) wird vorgestellt und dessen konkrete Umsetzung in einem Pilotprojekt zur Erfassung von Änderungen der in-situ Geologie bei einem Mixschildvortrieb. Daneben werden aktuelle Aktivitäten zur Geologie- und Aushubklassifizierung bei Erddruckschilden als Basis für Materialcharakterisierung und Prozessoptimierung aufgezeigt. Abschließend zeigt der Ausblick den begonnenen Weg der Automatisierung der TBM über die schrittweise Umsetzung mit ersten Assistenzsystemen, die notwendige Standardisierung der Schnittstellen und die notwendige Erfassung der Baustellenlogistik auf.

BIM from the point of view of the solution provider for mechanized tunnel construction

Digitalisation in the construction industry is expanding regarding design, construction, and operation phase of tunnelling projects. The digital copy, known as tunnel information modelling (TIM), is divided into the submodels of tunnel construction, building ground as well as construction process and site model. Based

Tunnelbau 2023, Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2023 Ernst & Sohn GmbH. Published 2023 by Ernst & Sohn GmbH.

on these submodels, the present article discusses the required preconditions as well as the opportunities arising during their implementation. This comprises e.g., recording of the in-situ geology based on redundant sensor data acquisition systems as well as the application of artificial intelligence. Employing intelligent sensors at tunnelling construction sites result in new requirements and opportunities for digitalised values, signal transfer and signal processing. The iterative process of estimation models based on machine learning (ML) is presented as well as its application on a slurry shield pilot project to record changes of the in-situ geology. Furthermore, current activities on geology and excavated ground material classification are presented forming the basis for material characterisation and process optimisation on future earth pressure balanced tunnelling projects. Finally, the outlook pictures the path into TBM automation via gradual implementation of assistant systems, necessary standardisation of interfaces and data transfer formats as well as the necessary expansion of data acquisition on construction site logistics.

1 BIM im Tunnelbau: Tunnel Information Modelling (TIM)

Building Information Modelling (BIM) bezeichnet im Allgemeinen eine auf parametrisierten dreidimensionalen (3D-)Modellen basierende Methode zur Digitalisierung der Bauplanung und der Bauausführung bis hin zum Betrieb, also über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks hinweg. Das Modell umfasst neben physikalischen Objekten, wie zum Beispiel Bauwerksteile, Bodenkörper oder Verpressmaterial, auch nicht-physikalische Objekte, die mit semantischen Informationen verknüpft sind [1]. Diese Informationen können beispielsweise die Beziehung zwischen den Objekten oder den Prozessablauf betreffen. BIM stellt somit ein digitales Abbild des Bauwerks einschließlich Bauprozess dar und vermindert den bis dato auftretenden Informationsverlust, insbesondere an den Übergängen zwischen den einzelnen Projektphasen. Doch die Digitalisierung verläuft im Bauwesen deutlich langsamer als in anderen Industrien, was insbesondere für den Infrastruktur- bzw. Untertagebau gilt [2]. Im Wesentlichen ist dies auf fehlende Standards, den prototypischen Charakter eines Tunnelbauprojekts sowie die proprietären Datenformate individueller Softwarelösungen zurückzuführen [3].

Tunnelbetrieb und Sicherheit

I. Planung von Straßentunneln – Zusammenführung des bau- und ausstattungstechnischen Regelwerks

Christof Sistenich, Dirk Lange, Ingo Kaundinya, Martin Kostrzewa

Die Neustrukturierung des für Ingenieurbauwerke des Straßenwesens maßgebenden Regelwerks eröffnete für die Straßentunnel die Möglichkeit, einerseits ein sich auf die Planung fokussierendes Regelwerk aufzustellen und andererseits die bei den Regelwerken herrschende Trennung zwischen Bau und technischer Ausstattung zu überwinden. Der Beitrag zeichnet diesen Weg nach.

Ausgehend von den jeweiligen Entwicklungsschritten bei der bautechnischen und ausstattungstechnischen Regelwerkssetzung folgt die Darstellung der Überführung wesentlicher bau- und ausstattungstechnischer Vorgaben in das Planungsregelwerk RE-ING. Auf hierdurch entstehende neue inhaltliche Abgrenzungen zwischen den RE-ING und dem Bauausführungsregelwerk ZTV-ING sowie Wechselwirkungen mit weiteren Planungsregelwerken wird ebenfalls eingegangen. Der Beitrag schließt mit einem Ausblick auf zukünftige Regelwerksanpassungen.

Design of road tunnels – consolidation of the structural and equipment engineering rules and regulations

The restructuring of the rules and regulations governing the construction of road tunnels has opened up the possibility of establishing a set of rules and regulations focusing on planning and overcoming the separation between construction and technical equipment that prevails in the rules and regulations. The article traces this path.

Starting from the respective development steps in the setting of building and equipment regulations, the transfer of essential building and equipment specifications into the RE-ING planning regulations is described. The resulting new demarcations between the RE-ING and the ZTV-ING as well as interactions with

Tunnelbau 2023, Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2023 Ernst & Sohn GmbH. Published 2023 by Ernst & Sohn GmbH.

other planning regulations are also discussed. The article concludes with an outlook on future amendments to the regulations.

1 Einleitung

Mit der Umstrukturierung des bautechnischen Regelwerks für Straßentunnel werden die bisher in Regelwerken der Baudurchführung, insbesondere den „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauwerke“ (ZTV-ING), enthaltenen planerischen Aspekte in einen neuen, auf Straßentunnel fokussierenden Teil in den „Richtlinien für den Entwurf, die konstruktive Ausbildung und Ausstattung für Ingenieurbauten“ (RE-ING) überführt. Die hiervon betroffenen Aspekte werden in diesem Beitrag beschrieben.

Die durch einen Tunnel zu gewährleistende nachhaltige, langlebige und für den Tunnelnutzer sichere Aufgabenerfüllung bedingt neben der Aufstellung planerischer Anforderungen an die Konstruktion gleichermaßen Anforderungen an die betriebs- und sicherheitstechnische Ausstattung. Ausgehend von den in Abschnitt 2 beschriebenen Rahmenbedingungen, die eine Neuaufstellung des ausstattungstechnischen Regelwerks notwendig werden ließen, werden die aus den derzeitigen betriebstechnischen Regelwerken, den „Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln“, Ausgabe 2006 (RABT 2006), und den „Empfehlungen für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln mit einer Planungsgeschwindigkeit von 80 km/h oder 100 km/h“, Ausgabe 2019 (EABT-80/100 2019), in die RE-ING übertragenen planerischen Vorgaben dargestellt und erläutert.

2 Regelwerksentwicklung

2.1 Bautechnik

Der Ursprung der hier besprochenen RE-ING Teil 3 Tunnel liegt für die konstruktiven Inhalte in den „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen für Kunstbauten“ (ZTV-K). Diese galten sowohl für Straßen- und Eisenbahnbrücken als auch für Tunnelbauwerke und

Forschung und Entwicklung

I. Vermeidung chloridinduzierter Korrosion in Tunnelinnenschalen aus Stahlbeton

Marko Orgass, Matthias Rudolph, Ingo Kaundinya, Mike Rammelt, Uwe Willberg

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollten auf der Basis bekannter Zusammenhänge sowie ergänzend durchzuführender Untersuchungen vor Ort Grundlagen zur Abschätzung der Chlorideindringung in Tunnelinnenschalenbeton geschaffen werden. Hierfür standen ausgefüllte Fragebögen der Straßenbauverwaltungen zu Chloridbelastungen in Straßentunneln zur Verfügung.

Das Ziel der hier ausgeführten Berechnungen bestand nicht in der Dauerhaftigkeitsbemessung neu zu errichtender Bauteile, sondern in der Prognose der weiteren Entwicklung des Chloridgehaltes in einem bestehenden Bauwerk, für das Chloridprofile aus Bauwerksuntersuchungen vorliegen.

Mit den Erkenntnissen des Forschungsvorhabens bzw. mit der darin beschriebenen Herangehensweise ist es möglich, Bestands-Tunnelbauwerke hinsichtlich der Gefahr einer chloridinduzierten Korrosion zu charakterisieren und eine Prognose für den tiefen- und zeitabhängigen Chloridgehalt im Beton für die geplante (Rest-)Nutzungsdauer abzuschätzen.

Preventing chloride-induced corrosion in final tunnel linings made of reinforced concrete

In the research project, the basics for an assessment of the chloride penetration in the concrete of the final lining of tunnels were to be defined based on known correlations and additional analyses on site. For the project, questionnaires on the chloride contamination of road tunnels were available.

The goal of the calculations which were performed in this case was not to measure the durability of parts which are to be newly constructed but to forecast the further development of the chloride content in an existing structure for which chloride profiles from structure analyses are available.

Tunnelbau 2023, Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2023 Ernst & Sohn GmbH. Published 2023 by Ernst & Sohn GmbH.

Based on the insights gained in the research project and/or the approach which is described here, it is possible to characterise existing tunnel structures regarding the hazard of chlorideinduced corrosion and to forecast for the depth- and time-dependent chloride content in the concrete for the planned (residual) operating life.

1 Einleitung

Um die Funktionsfähigkeit der Verkehrsinfrastruktur bei winterlichen Witterungsverhältnissen aufrecht zu erhalten, werden Tunnelbauwerke mithilfe von Taumitteln schnee- und eisfrei gehalten. Da als Taumittel überwiegend Natriumchlorid zum Einsatz kommt, gelangt im Tauwasser gelöstes Salz als Spritzwasser oder als Sprühnebel an die Bauteiloberfläche. Die Chloridionen aus der Tausalzlösung können dann über unterschiedliche Transportmechanismen in das Bauteil eindringen und – unter bestimmten Randbedingungen – bei Stahl- oder Spannbetonbauwerken Korrosion an der Bewehrung auslösen. Dies kann zu einer Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit des Bauwerkes führen.

Im Rahmen eines durch BMVI/BASt-veranlassten Forschungsvorhabens sollten auf der Basis bekannter Zusammenhänge sowie ergänzend durchzuführender Untersuchungen vor Ort Grundlagen zur Abschätzung der Chlorideindringung in Tunnelinnenschalenbeton geschaffen werden [1]. Hierfür stand eine Länderabfrage zur Chloridbelastung in Straßentunneln zur Verfügung.

Im Ergebnis der im Jahre 2013 initiierten Länderabfrage gingen Rückmeldungen zu insgesamt 53 Tunnelbauwerken ein, was etwa 13 % des gesamten Straßentunnelbestandes in 2019 entsprach.

Außerdem wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens Untersuchungen an drei bayrischen Tunnelbauwerken durchgeführt, welche ein Bauwerksalter zwischen 17 und 41 Jahren aufwiesen. Zur Untersuchung wurden in jedem Tunnel mindestens vier Ulmenabschnitte ausgewählt.

Auf Basis bekannter Modelle wurde für die Modellierung der Chlorid-Eindringvorgänge in den Innenschalenbeton der drei Tunnelbau-

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

Ansgar Korte, Dietmar Mähner

Bei der Herstellung von Tunnelschalen in der Tübbingbauweise stützt sich die Tunnelbohrmaschine im Bauzustand an der bereits hergestellten Tunnelschale ab und leitet dabei über die Ringfugenoberfläche hohe Normalkräfte in die Tunnelschale ein. Hinsichtlich der Fragestellung, wie sich diese Normalkraft im weiteren zeitlichen Verlauf verändert, gibt es größtenteils noch Unklarheit.

Im Rahmen einer Forschungsarbeit [1] wurde die Aktivierung einer Reibungskopplung in der Ringfuge untersucht. Da die Entwicklung der Normalkraft für diese Reibungskopplung von großer Bedeutung ist, wurde auch diese Thematik im Rahmen der Arbeit experimentell untersucht. Die durchgeführten Versuche erfolgten dabei an einem in Längsrichtung vorgespannten Tübbingsystem. Die wesentlichen Erkenntnisse werden im Folgenden dargestellt.

Experimental investigations into the development of normal forces over time in the annular gap of segment tunnels

During the production of tunnel linings in the segmental construction method, the tunnel boring machine is supported by the already produced tunnel lining in the construction state and thereby introduces high normal forces into the tunnel lining via the annular joint surface. With regard to the question of how this normal force changes in the further course of time, there is still a lack of clarity for the most part.

Within the scope of a research work [1], the activation of a friction coupling in the annular joint was investigated. Since the development of the normal force is of great importance for this friction coupling, this topic was also investigated experimentally within the scope of the work. The tests were carried out on a tubbing system prestressed in the longitudinal direction. The main findings will be presented below.

Tunnelbau 2023, Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2023 Ernst & Sohn GmbH. Published 2023 by Ernst & Sohn GmbH.

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

Bernd Gesing, Dietmar Mähner

Der Beitrag befasst sich mit praxisnahen Möglichkeiten zur näherungsweisen Nachrechnung gemessener Spannungen an der Innenleibung der Tunnelschale eines historischen Tunnelbauwerks mit Ausbau aus Mauerwerk. Hierzu werden die mit der sogenannten Kompensationsmethode gemessenen Innenrandspannungen mit elastisch gebetteten Stabwerkmodellen über Last- und Bettungsvariationen angenähert. Unterschiedliche Berechnungsansätze werden miteinander verglichen.

Modelling of ancient masonry railway tunnels and approaching measured stresses on the inboard lining by means of parameter studies in structural analyses

This article deals with practical methods for approaching measured stresses on the inboard lining of an ancient masonry tunnel by means of parameter studies regarding variations of load and bedding conditions in structural analyses.

1 Einleitung

Der Bauwerksbestand historischer Eisenbahntunnel, die aus dem 19. bis frühen 20. Jahrhundert stammen und einen Ausbau aus Mauerwerk besitzen, umfasste im Jahr 2020 allein in Deutschland etwa 300 Tunnelbauwerke [1]. Im Zuge der Instandhaltung sowie gegebenenfalls erforderlicher baulicher Anpassungen müssen Instandsetzungen, Teil- oder Vollerneuerungen geplant werden. Für die Instandsetzungen und Teilerneuerungen, bei denen das Bestandsbauwerk mindestens zum Teil erhalten bleibt, ist eine Einschätzung des aktuellen Tragverhaltens durchzuführen. Angesichts der vielen unbekannten Parameter, die für eine solche Einschätzung erforderlich sind – wie beispielsweise die Wechselwirkung zwischen Ausbau und

Tunnelbau 2023, Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2023 Ernst & Sohn GmbH. Published 2023 by Ernst & Sohn GmbH.

Instandsetzung und Nachrüstung

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

Thomas Wittig, Timo Petry, Stefan Vetter

Etwa die Hälfte der rund 750 Tunnelbauwerke der DB Netz AG ist älter als 100 Jahre. Diese Altersstruktur lässt heute und in Zukunft eine Vielzahl an Tunnelerneuerungen erwarten. Viele der erneuerungsbedürftigen Eisenbahntunnel wurden im Laufe ihrer Nutzungszeit mit teer- bzw. PAK-haltigen Materialien abgedichtet. Die Abdichtungen erfolgten nicht nur in der offenen, sondern auch in der bergmännischen Bauweise, zum Beispiel in Form einer sogenannten Regenschirmabdichtung. Muss ein derart abgedichteter Tunnel erneuert oder aufgeweitet werden, ist im Zuge der Ausführung meist der direkte Kontakt mit der schadstoffhaltigen Abdichtung gegeben. Durch die große Anzahl der zu erwartenden Tunnelerneuerungen hat der wirtschaftliche und sichere Umgang mit schadstoffhaltigen Ausbaumaterialien eine hohe Bedeutung. Vor diesem Hintergrund berichten wir von den Erfahrungen im Projekt „Erneuerung Kuckuckslay-Tunnel" von der Erkundung bis hin zur Ausführung.

Experiences dealing with dust containing PAH during the renewal of the Kuckuckslay-Tunnel

About half of the approximately 750 tunnels operated by DB Netz AG are more than 100 years old. This age distribution results in a large number of tunnel renewals today and in the future. Many of the railway tunnels in need of renewal have been sealed with materials containing tar or PAH in their service life. The sealing was carried out in the cut-and-cover construction method as well as in the mined tunnel section in the roof as an umbrella. If such tunnels have to be renewed or their cross-section has to be expanded, a contact to the contaminated sealing during construction is unavoidable. Due to the expected number of tunnel renewals, the economic and safe handling of lining materials containing PAH is of vital importance. Therefore, we report on the experiences gained in the

Tunnelbau 2023, Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2023 Ernst & Sohn GmbH. Published 2023 by Ernst & Sohn GmbH.

project „Renewal of the Kuckuckslay-Tunnel" considering all phases from exploration to the final execution.

1 Einleitung

Der 450 m lange Kuckuckslay-Tunnel ist ein zweigleisiger Eisenbahntunnel, der erstmalig im Jahr 1871 in Betrieb genommen wurde. Er befindet sich in Deutschland im Bundesland Rheinland-Pfalz auf der Strecke 2631 Kalscheuren – Ehrang in Höhe des Trierer Stadtteils Ehrang. Die Strecke ist im Bereich des Tunnels nicht elektrifiziert. Der Tunnel durchfährt mit einer Überdeckung von etwa 87 m einen Gebirgsausläufer des Kylltals. Bei der vorliegenden Stratigrafie handelt es sich um Gesteinsformationen des Unteren und Mittleren Buntsandsteins. Unterlagert werden die Sandsteine vom Rotliegenden (Altrich-Formation) in Form von Siltsteinen mit Feinsandlagen und siltigen Tonsteinen. Die Rotliegend-Schichten treten bereichsweise zutage.

Die ursprüngliche Tunnelauskleidung bestand aus einem sohloffenen Mauerwerksgewölbe aus Sandsteinen. Zwischen Mauerwerk und Gebirge lag verfahrensbedingt eine Hinterpackung vor. Durch den Wiederaufbau der Portalblöcke nach dem Zweiten Weltkrieg und durch andere Instandsetzungsmaßnahmen kam es in den letzten Jahrzehnten wiederholt zur abschnittsweisen Erneuerung und Trockenlegung der Tunnelauskleidung. In der Regel wurde hierbei eine teerhaltige bzw. PAK-haltige (Regenschirm-)Abdichtung im Bereich des Firstgewölbes (auf etwa 10 Uhr bis 2 Uhr) eingebaut. Die alte Auskleidung des Kuckuckslay-Tunnels wies zahlreiche Schäden in Form von Ausbrüchen, Ausbauchungen, Hohlstellen, Nassstellen, entfestigten Steinen und offenen Fugen auf. Aufgrund des Schadensbilds wurde der Tunnel im Jahr 2012 seitens des Fachbeauftragten der DB in die Zustandskategorie 4 eingestuft. Der Zustand des Tunnels erforderte damit eine Erneuerung, da eine wirtschaftliche Instandsetzung nicht mehr möglich war.

Die Vollerneuerung des Tunnels sah zur Gewährleistung der aktuellen Regelwerksanforderungen (unter anderem 4 m Gleisabstand, GC-Lichtraum, Rand- und Rettungsweg) einen größeren Regelquerschnitt vor sowie damit einhergehend den Abbruch des Bestandsausbaus und

Praxisbeispiele

I. Tunnel Baukau – Querung eines Bahndamms mit geringer Überdeckung

Dennis Clostermann, Carsten Peter, Guido Meinzer

Der Tunnel Baukau unterfährt in einem Teilabschnitt mit komplexen Randbedingungen einen dreigleisigen Bahndamm in einer schiefwinkligen Kreuzung. Die Arbeiten müssen unter dem „rollenden Rad", das heißt unter Aufrechterhaltung des Bahnbetriebs, ausgeführt werden. Aufgrund der geringen Überdeckung mussten umfangreiche Sondermaßnahmen wie beispielsweise eine Injektion und die Herstellung eines Großrohrschirms vorgesehen werden.

Im Beitrag wird ein Überblick über die Planungs- und Genehmigungsphase sowie Erfahrungen bei der Bauausführung gegeben.

Baukau tunnel – Crossing of a railway embankment with a small overburden

In a section with complex boundary conditions, the Baukau Tunnel passes under a three-track railroad embankment in an oblique crossing. The work had to be carried out under the "rolling wheel", i.e. while railroad operations were maintained. Due to the low overburden, extensive special measures had to be provided, such as grouting and the construction of a large pipe umbrella. The article provides an overview of the planning and approval phase as well as experience gained during construction.

1 Bauvorhaben

Im Zuge des sechs-streifigen Ausbaus der A 43 ist der Umbau des Autobahnkreuzes Herne (A 42/A 43) erforderlich. Hier wird die stark frequentierte Fahrbeziehung Süd-West mit einem neu zu errichtenden 745 m langen zweistreifigen Trog- und Tunnelbauwerk von der A 43 auf die A 42 geführt.

Tunnelbau 2023, Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2023 Ernst & Sohn GmbH. Published 2023 by Ernst & Sohn GmbH.

II. Brenner Basistunnel – Projektvorstellung

Walter Fahrnberger, Michael Rehbock-Sander, Romed Insam, David Marini, David Unteregger

Der aktuell in Bau befindliche Brenner Basistunnel bildet das Kernstück der zum transeuropäischen Verkehrsnetz gehörenden Eisenbahnachse München – Verona und stellt mit einer Gesamtlänge von 64 km das künftig längste unterirdische Eisenbahnbauwerk der Welt dar. Die neu konzipierte Flachbahnstrecke unter dem Brennerpass ersetzt nach ihrer Fertigstellung die seit mehr als 150 Jahren in Betrieb stehende Brenner Scheitelstrecke. Das Konzept des künftigen Brenner Basistunnels beruht auf zwei parallel verlaufenden eingleisigen Haupttunnelröhren, die über Querschläge miteinander verbunden sind. Mittig unter den beiden Haupttunnelröhren – auf Teilstrecken auch neben diesen – verläuft über die gesamte Tunnellänge eine dritte Röhre. Diese wird als Erkundungsstollen den beiden Haupttunnelröhren vorauseilend zur Evaluierung der geologischen und hydrologischen Verhältnisse sowohl in bergmännischer als auch in maschineller Bauweise aufgefahren. In der Betriebsphase des Brenner Basistunnels wird der Erkundungsstollen als Logistik- und Servicestollen sowie als zentraler Entwässerungsstollen fungieren.

Entsprechend den aktuell gültigen Sicherheitsstandards der EU verfügt der Brenner Basistunnel über drei entlang der Strecke verteilte Nothaltestellen. Diese sind jeweils mit einem autarken Brandschutzsystem, bestehend aus Zu- und Abluftkanälen, ausgestattet und über befahrbare Zufahrtstunnel von über Tage aus erreichbar. Diese Zufahrtstunnel sind nicht nur wesentlicher Bestandteil des Rettungs- und Sicherheitskonzepts, sondern bilden während der Bauphase auch die zentralen Logistikdrehscheiben für die Zwischenangriffe in den einzelnen Bauabschnitten.

Beim Bau des Brenner Basistunnels fallen insgesamt etwa 21,5 Mio. m^3 Tunnelausbruchmaterial an, das je nach Güte deponiert oder zur Schonung natürlicher Ressourcen wiederverwertet wird. Die Bauarbeiten werden zudem von einem umfangreichen Beweissicherungsprogramm mit flächendeckendem Grundwassermonitoring sowie umweltökologischen Begleit-, Ausgleichs- und Renaturierungsmaßnahmen begleitet.

Tunnelbau 2023, Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2023 Ernst & Sohn GmbH. Published 2023 by Ernst & Sohn GmbH.

Brenner Base Tunnel –Project Presentation

The Brenner Base Tunnel (BBT), which is currently under construction, forms the core of the Munich–Verona railway line which is part of the trans-European transport network. Once completed, the in total 64 km long BBT will comprise the longest underground railway structure in the world, and replace the Brenner crown line, which has been in operation for more than 150 years. The concept of the BBT is based on two parallel single-track tunnel tubes which are connected to each other via cross passages. A third tube runs underneath the two main tubes along the entire length of the future BBT. This additional tube will be excavated as an exploratory gallery ahead of the two main tunnel tubes to evaluate the geological and hydrological conditions using both mining and mechanical methods. In the future operating phase of the BBT the exploratory gallery will serve as a logistics and service gallery as well as a central drainage.

In accordance with EU safety standards, the BBT comprised three emergency stations distributed along the route. Each of them is equipped with a fire protection system consisting of supply and exhaust air ducts, and is accessible from above ground via access tunnels. These tunnels are not only an essential part of the rescue and safety concept, but also form the central logistics hubs for the intermediate attacks of the individual construction sections.

During construction of the BBT a total of approximately 21.5 million m^3 of excavated tunnel material will be produced, which, depending on its quality, will be deposited in landfills or recycled to conserve natural resources. The construction of the BBT is furthermore accompanied by extensive evidence preservation measures including groundwater monitoring as well as accompanying environmental compensation and renaturation measures.

1 Einleitung

Der zwischen Österreich und Italien liegende Brennerpass ist mit 1370 m Seehöhe einer der niedrigsten Alpenpässe und damit seit jeher eine der wichtigsten Nord-Süd-Verkehrsverbindungen im Alpenraum. Bereits in der frühen Bronzezeit, um 1700 v. Chr., wurde dieser Gebirgsübergang als wichtige Handelsverbindung zwischen der Nordsee und dem Mittelmeer genutzt. Im Jahr 2008 überschritt das Güteraufkommen auf der Brennerstrecke erstmals die Marke von 50 Mio. t, wobei lediglich knapp 25 % des Gesamtaufkommens über die seit mehr als 150 Jahren in Betrieb stehende Brennerbahn abge-