

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

Taschenbuch für den Tunnelbau 2024

- **Stets wechselnde Themen zu hochaktuellen Branchenthemen**
- **Hilfestellung und Lösungen für viele Herausforderungen im Tunnelbau**
- **Große Praxisnähe**

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



10 / 2023 · ca. 380 Seiten ·
ca. 70 Abbildungen · ca. 25 Tabellen

Hardcover
ISBN 978-3-433-03419-4 ca. € 44,90*

Bereits vorbestellbar.

BESTELLEN

+49 (0)30 470 31-236

marketing@ernst-und-sohn.de

www.ernst-und-sohn.de/3419

* Der €-Preis gilt ausschließlich für Deutschland. Inkl. MwSt.

ÜBER DAS BUCH

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

BESTELLUNG

Anzahl	ISBN /	Titel	Preis
	978-3-433-03419-4	Taschenbuch für den Tunnelbau 2024	ca. € 44,90*

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/3419

Irrtum und Änderungen vorbehalten. Stand: 8/2023

Vorwort zum achtundvierzigsten Jahrgang

Die Welt befindet sich im Wandel! Diese Erkenntnis ist sicher nicht neu. Dennoch werden aktuell Wandel- und Wende-Begriffe zunehmend, nahezu inflationär, benutzt. Dabei sind Weiterentwicklungen – und damit auch ein Wandel der Prozesse, Verfahren, Ressourcen und Verantwortlichkeiten – in unserer Branche ebenso wie in anderen technischen und wissenschaftlichen Disziplinen grundlegend für den Fortschritt. Weiterentwicklungen im Tunnelbau werden häufig durch technische und wirtschaftliche Projektanforderungen und Vorgaben aus dem Genehmigungsprozess initiiert, oder sie ergeben sich aus der Analyse zurückliegender Projekte und deren besonderen Herausforderungen. Bei der Umsetzung der Weiterentwicklungen ist der rationale Ingenieursverstand gefordert. Es gilt, nicht nur die Chancen und Risiken von Innovationen zu bewerten, sondern auch die erforderlichen Voraussetzungen zu schaffen und die Aus- und Wechselwirkungen, beispielsweise mit dem Baugrund, zu beachten.

Das Taschenbuch für den Tunnelbau dient Auftraggebern, Planern, Bauausführenden und Zulieferern seit fast fünf Jahrzehnten als praxisnaher Ratgeber. Es greift seit vielen Jahren die aktuellen Entwicklungen und Problemstellungen auf, dokumentiert den anerkannten Stand der Technik und zeigt die neuen Erkenntnisse aus der universitären Forschung. 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 bergmännischer Tunnelbau, maschineller Tunnelbau, Digitalisierung im Tunnelbau, Baustoffe und Bauteile, Tunnelbetrieb und Sicherheit, Forschung und Entwicklung, Vertragswesen und betriebswirtschaftliche Aspekte sowie Praxisbeispiele.

Wir wünschen Ihnen eine interessante Lektüre und freuen uns über Rückmeldungen sowie Themenanregungen und Beitragsvorschläge für zukünftige Ausgaben aus Ihren Reihen.

Dr.-Ing. *B. Wittke-Schmitt*

Dr. rer. nat. *K. Laackmann*

Inhalt

Vorwort zum achtundvierzigsten Jahrgang	V
Autorenverzeichnis	XVII

Konventioneller bergmännischer Tunnelbau

I. Die Herausforderungen am Kramertunnel, Garmisch-Partenkirchen	1
<i>Martin Zeindl, Jochen Fillibeck, Raphael Zuber, Martin Wohlketter, Alexander Thieme</i>	
1 Projektvorstellung	2
2 Geologische und hydrogeologische Verhältnisse	12
3 Wasserhaltung und Vortrieb im Bergsturzgebiet	17
4 Lockergesteinsvortrieb im Murschuttgebiet Süd	28
5 Festgesteinsvortrieb	32
6 Herstellung des Abluftbauwerks	36
7 Innenausbau des Tunnels mit Folgerungen hinsichtlich der Abdichtung, der Blockhinterlegung und der Dichtblöcke mit Dichtschotts	42
8 Fazit	47

Maschineller Tunnelbau

I. Zehn Jahre Variable Density (VD) – wo sind wir heute?	53
<i>Gerhard Wehrmeyer</i>	
1 Entwicklungsgeschichte	54
2 Variable-Density-Technologie	56
3 Projektvergleich und -erfahrungen	60
4 Bestandsaufnahme und Ausblick	80

II. Maschineller Tunnelvortrieb in gashaltigem Baugrund	85
<i>Ulrich Maidl, Janosch Stascheit, Richard A. McLane, Josh Jonasen</i>	
1 Einleitung	86
2 Grundlagen	86
3 Auswahl einer geeigneten Tunnelbohrmaschine (TBM)	95
4 Verfahrenstechnik	99
5 Gefahren- und Risikomanagement	106
6 Abschließende Bemerkungen	107
III. High Speed 2: Innovative dauerhafte Querschlag- abfangung mit Tübbing	110
<i>Dominik Hörrle, Fernando Acosta Urrea, Heiko Neher, Xavier Torelló Ciriano</i>	
1 Projektüberblick: High Speed 2	112
2 Herkömmliche Querschlagsysteme	119
3 Anforderungen an die Querschlagabfangung	124
4 Innovative Sondersegmente HS2	128
5 FEM-basiertes Design und Validierung	132
6 Versuchsprogramm	136
7 Umsetzung	146
8 Fazit	148

Digitalisierung im Tunnelbau

I. Nutzung digitaler Methoden für das ganzheitliche Datenmonitoring während der Ausführung der Vortriebs- arbeiten der zweiten S-Bahn-Stammstrecke in der Münchener Innenstadt	150
<i>Kai Kruschinski-Wüst, Markus Springer, Maximilian Weiß</i>	
1 Einleitung	153
2 Projekthistorie und Streckenverlauf	154
3 Risiko „Geologie/Hydrogeologie“	155
4 Risiko „innerstädtische Lage“	158
5 Erfordernis eines Risikodatenmanagements	165

- 6 Konzeptionierung vortriebsbegleitender Datenerhebung und -beurteilung 172
- 7 GIS-Anwendung zur Visualisierung, Verknüpfung und Interpretierbarkeit des Datenmonitorings 176
- 8 Fazit und Ausblick 178

Baustoffe und Bauteile

- I. Verbundkonstruktionen mit permanenten Spritzmembranabdichtungen im Tunnelbau – eine nachhaltige Bauweise 181**
Gereon Behnen, Wolfgang Aldrian, Oliver Fischer, Götz Tintelnot
 - 1 Einleitung 182
 - 2 Materialtechnologie von Spritzmembranen 192
 - 3 Systembauweisen, Anwendungsbereiche und -grenzen, Anforderungen 196
 - 4 Statik der Verbundbauweise 209
 - 5 Mechanische Eigenschaften und deren Prüfung 213
 - 6 Konstruktionen, Praxisanwendungen 228
 - 7 Nachhaltigkeit 237
 - 8 Zusammenfassung 247

Tunnelbetrieb und Sicherheit

- I. Neuerungen in der risikoanalytischen Betrachtungsweise von Straßentunneln 252**
Christof Sistenich, Anne Lehan, Harald Kammerer, Georg Mayer, Christoph Zulauf, Regina Schmidt, Patrik Föbleitner
 - 1 Einleitung und Zielsetzungen der Untersuchungen 254
 - 2 Fortschreibung der risikoanalytischen Methodik 256
 - 3 Anwendung der fortgeschriebenen Methodik auf aktuelle sicherheitstechnische Fragestellungen 267
 - 4 Erkenntnisse und Schlussfolgerungen 276
 - 5 Ausblick 277

Forschung und Entwicklung

- I. Hydrogeothermische Anlagen an Tunneln – Potenzial, Nutzungskonzepte und Anwendungserfahrungen am Beispiel des Grenztunnels Füssen 280**
Christian Moormann, Till Kugler, Ingo Kaundinya, Tim Hochstein
- 1 Einleitung 281
 - 2 Tunnelgeothermie: geschlossene und offene Systeme 282
 - 3 Potenzial für den Einsatz hydrogeothermischer Verfahren an deutschen Straßentunneln 285
 - 4 Konzept der direkten passiven geothermischen Freiflächenheizung 288
 - 5 Pilotanlage am Grenztunnel Füssen 291
 - 6 Implementierungshilfe 317
 - 7 Resümee 318
- II. Zeitabhängige Stützdruckübertragung an der flüssigkeitsgestützten Ortsbrust unter zyklischem Bodenabbau 323**
Britta Schöber, Zdeněk Žižka, Markus Thewes
- 1 Einführung 324
 - 2 Methodik 332
 - 3 Fall (A): Schneidtiefe Bodenabbau größer als Tiefe Stützdruckübertragung 336
 - 4 Fall (B): Schneidtiefe Bodenabbau kleiner als Tiefe Stützdruckübertragung 349
 - 5 Vergleich der Effizienz der Stützdruckübertragung 358
 - 6 Zusammenfassung und Ausblick 362

Vertragswesen und betriebswirtschaftliche Aspekte

- I. Empfehlungen des DAUB für das Projektrisikomanagement im Untertagebau 369**
Heinz Ehrbar, Götz Vollmann, Atusa Ranjbar, Lars Babendererde, Klaus Rieker
- 1 Ziele und Anwendungsbereich der Empfehlungen 371
 - 2 Methodik des Projektrisikomanagements 372
 - 3 Aufgaben und Verantwortlichkeiten der Projektpartner 392
 - 4 Umsetzung des Risikomanagements in den Projektphasen 395
 - 5 Umgang mit den untertagebauspezifischen Risiken 403
 - 6 Management von Risikoereignissen 410

Praxisbeispiele

- I. Brenner Basistunnel: Projektbereich Sillschlucht – ein komplexer Bauabschnitt am Stadtrand von Innsbruck 416**
Walter Fahrnberger, Reinhard Huber, David Unteregger, Martin Keinprecht
- 1 Überblick 418
 - 2 Bauwerk Stützwand Sillschlucht 423
 - 3 Tunnel Silltal 429
 - 4 Eisenbahnüberführung Sill 439
 - 5 Tunnelabschnitt Viller Berg 440
 - 6 Flussbau, Zufahrtsbrücke, Fußgängerbrücke 455
 - 7 Schlusswort 458
- II. Elbquerungen – Tunnelbau unter herausfordernden Bedingungen 460**
Tim Babendererde, Per Dost, Paul Erdmann, Michael Henzinger, Gudrun Karpa, Gerhard Zehetmaier
- 1 Einführung 462
 - 2 Randbedingungen und Herausforderungen 463
 - 3 Tunnel mit kleinen Durchmessern – Versorgungstunnel 468

-
- 4 Tunnel mit großen Durchmessern – Straßentunnel 481
 - 5 Weitere Besonderheiten 494
 - 6 Schlussbemerkung 506

**III. Bautechnische Herausforderungen bei der Herstellung
des unterirdischen Fernbahnhofs am Stuttgarter Flughafen .. 509**
Armin Semmelmann, Andreas Auchter, Bernd Wiesiolek

- 1 Einleitung 511
- 2 Bauvorhaben Fernbahnhof 513
- 3 Bauabfolge und -logistik 516
- 4 Stationsröhren 523
- 5 Entrauchungsbauwerk 527
- 6 Zentraler Zugang 532
- 7 Empfangsgebäude 542
- 8 Zugang Ost 546
- 9 Planungsprozess 549
- 10 Fazit 552

Tunnelbaubedarf	555
Inserentenverzeichnis	565

Konventioneller bergmännischer Tunnelbau

I. Die Herausforderungen am Kramertunnel, Garmisch-Partenkirchen

Martin Zeindl, Jochen Fillibeck, Raphael Zuber, Martin Wohlketzetter, Alexander Thieme

Der zur Entlastung des Ortsteils Garmisch geplante Kramertunnel führt auf einer Länge von rund 3,6 km durch das westlich von Garmisch-Partenkirchen gelegene Kramer massiv. Aufgrund der begrenzten Erkundungsmöglichkeiten wurde zunächst in den Jahren 2011–2013 ein Erkundungsstollen und ab 2019 dann der Haupttunnel aufgefahren.

Im Rahmen dieser Veröffentlichung wird nach einer allgemeinen Projekteinführung insbesondere auf die tunnelbautechnischen Herausforderungen eingegangen, die der Spritzbetonvortrieb im Lockergestein (Bergsturz- und Murschuttbereich) sowie im Festgestein (Hauptdolomits- und Kramerüberschiebung) mit sich brachte. Weiterhin wird die Ausführung eines großen Abluftbauwerks beschrieben und es werden die durch die Vorabherstellung des Erkundungsstollens erhaltenen Erkenntnisse dargelegt, die für den sicheren Vortrieb des Haupttunnels unabdingbar waren.

The challenges at the Kramer Tunnel, Garmisch-Partenkirchen

The Kramer Tunnel, planned to relieve the Garmisch district, runs over a length of around 3.6 km through the Kramer Massif to the west of Garmisch-Partenkirchen. Due to the limited exploration possibilities, an exploratory tunnel was first excavated between 2011 and 2013, followed by the main tunnel from 2019 onwards.

In this publication, after a general introduction to the project, particular attention is paid to the tunnel construction challenges posed by the shotcrete heading in soft rock (rockslide area and debris area) and in solid rock (main dolomite section and Kramer overthrust). Furthermore, the execution of a large ventila-

tion structure is described and the findings obtained from the preliminary construction of the exploratory tunnel, which were indispensable for the safe excavation of the main tunnel, are presented.

1 Projektvorstellung

Der Kramertunnel ist Teil der Ortsumgehung der Bundesstraße 23 (B 23) um Garmisch-Partenkirchen. Seit 2019 laufen die Bauarbeiten für den Tunnelrohbau, nach der Durchführung der Vorwegmaßnahme mit dem Erkundungstollen in den Jahren 2011 – 2013 [1]. Nach der mehrjährigen Zwangspause bei den Bauarbeiten waren der Vortrieb durch einen rund 300 m langen Bergsturzereich [2] und der Wechsel von Fest- und Lockergesteinsschichten mit eingelagerter Großstörung während der Projektlaufzeit besonders herausfordernd. Nach seiner Fertigstellung wird der Kramertunnel mit einer Länge von 3.609 m der längste Straßentunnel in Bayern sein.

1.1 Lage und Streckenzug

Garmisch-Partenkirchen ist verkehrlich geprägt durch die durch den Ort führenden Bundesstraßen B 2 und B 23 und den damit verbundenen Nachteilen, wie Verkehrslärm, Beeinträchtigungen bei der Aufenthaltsqualität im Ortsbereich und den Einschränkungen im Verkehrsfluss. Die B 2 und die B 23 bilden nach dem Autobahnende der A 95 bei Eschenlohe zwischen Bayern und Tirol – und damit insbesondere zwischen den Landeshauptstädten München und Innsbruck – die zentrale und länderübergreifende Verkehrsverbindung.

Die B 23 zweigt nördlich von Garmisch-Partenkirchen von der B 2 nach Westen ab und verläuft durch den Ortsteil Garmisch über Grainau und weiter in südwestlicher Richtung nach Griesen sowie über den Fernpass nach Tirol. Neben dem Reiseverkehr zieht die Region um das Loisachtal mit Garmisch-Partenkirchen als bekannter Berg- und Wintersportdestination zusätzlich Individualverkehr in die gesamte Region. Dabei führt die B 23 durch den Ortsteil Garmisch derzeit bis zu 16.000 Fahrzeuge pro 24 h. Stauungen und Verkehrsbehinderungen machen daher eine Umgehung dringend erforderlich.

Maschineller Tunnelbau

I. Zehn Jahre Variable Density (VD) – wo sind wir heute?

Gerhard Wehrmeyer

Die Entwicklungsgeschichte der Variable-Density-Technologie (VD-Technologie) umfasst seit ihrer Einführung 2013 und dem Ersteinsatz in Kuala Lumpur mittlerweile ein Jahrzehnt. Die Folgeeinsätze in den verschiedenen Tunnelprojekten weltweit forcierten die Weiterentwicklung dieser Technologie und haben zum heutigen Stand der Technik geführt.

In diesem Beitrag wird über die Entwicklung der VD-Technologie in den letzten zehn Jahren berichtet. Die Entwicklungsschritte in den Bereichen Vortriebs- und Maschinenteknik sowie in der Suspensionstechnologie werden aufgezeigt. Auf Basis des heutigen Stands der Technologie wird abschließend ein Ausblick in die Zukunft vorgenommen.

Ten years of Variable Density (VD) - where are we today?

The development history of Variable Density (VD) Technology now spans ten years since its introduction and first use in Kuala Lumpur in 2013. The subsequent applications of this technology on various tunnel projects around the world accelerated the further development and led to the current state of the art.

This article reports on the development of the VD Technology. The development steps in the areas of tunnelling technology, machine technology and suspension technology are shown. Based on the current state of the art, the paper concludes with a future outlook.

II. Maschinelles Tunnelvortrieb in gashaltigem Baugrund

Ulrich Maidl, Janosch Stascheit, Richard A. McLane, Josh Jonasen

Gashaltiger Baugrund stellt den Tunnelvortrieb vor sicherheitstechnische und verfahrenstechnische Herausforderungen, denen bereits in der Vortriebsplanung begegnet werden sollte. Dabei ist deutlich zwischen freiem Gas (z. B. in geklüftetem Gestein oder im Porenraum) und in der Matrix gebundenem Gas (z. B. gelöst im Grundwasser oder in Asphalteinlagerungen, aber auch fein verteilt in geschlossenen Poren) zu unterscheiden.

Ist der Baugrund grundsätzlich durchlässig für das angetroffene Gas, so besteht die Möglichkeit, dieses durch Überdruck in der Abbaukammer in die umgebenden Klüfte zu verdrängen und damit im Baugrund zu belassen. Ist das Gas jedoch in der Matrix gebunden, so muss es im Zuge der Vortriebsarbeiten zwangsläufig abgebaut und an die Oberfläche transportiert werden.

Der Beitrag befasst sich mit dem Ausgasverhalten des Baugrunds unter verschiedenen Voraussetzungen und diskutiert technische Möglichkeiten, die ausgasende Menge zu kontrollieren und so eine sichere Arbeitsumgebung während des Vortriebs und bei der Behandlung des Abraums zu gewährleisten.

Dazu werden die geotechnischen, verfahrenstechnischen und maschinentechnischen Fragestellungen des Tunnelvortriebs in gashaltigem Baugrund erläutert und auf die für die Vortriebsplanung relevanten Aspekte hin untersucht.

Mechanized tunnelling in gassy ground

Gassy ground poses challenges for safety and process engineering for tunnelling works that need already be addressed in the design phase. A clear distinction must be made between free gas (e. g. in fractured rock or in the pore space) and gas bound in the matrix (e. g. dissolved in groundwater or in asphalt deposits, but also finely distributed in closed pores).

If the ground is basically permeable to the gas encountered, it is possible to displace it into the surrounding fractures by overpressure in the excavation chamber and thus leave it in the ground. However, if the gas is bound in the matrix, it must inevitably be removed and transported to the surface in the course of the excavation works.

The paper deals with the off-gassing behaviour of the ground under different conditions and discusses technical possibilities to control the off-gassing quantity and thus to ensure a safe working environment during excavation and during the treatment of the overburden.

To this end, the geotechnical, process engineering and mechanical engineering issues of tunnel driving in gassy ground are explained and examined in terms of the aspects relevant to process design.

1 Einleitung

Gashaltiger Baugrund stellt besondere Herausforderungen an die Planung und Durchführung von Tunnelbauprojekten. Um unkontrolliertes Austreten von brennbaren und/oder giftigen Gasen zu vermeiden, müssen verschiedene planerische und technische Maßnahmen ergriffen werden. Diese reichen von der Baugrunderkundung über die Vortriebsplanung und die Maschinenauswahl inklusive organisatorischer Schritte bis hin zur Ausführung und zu den damit verbundenen Sicherheitsmaßnahmen.

Der maschinelle Tunnelvortrieb bietet bei der Auswahl und dem Entwurf einer geeigneten Tunnelbohrmaschine (TBM) eine sichere und effiziente Möglichkeit, Tunnel in gashaltigem Baugrund aufzufahren. Die dabei zu berücksichtigenden Aspekte im Entwurf, in der Planung und in der Ausführung sind im Folgenden zusammengestellt. Zunächst werden die Grundlagen des Tunnelbaus im gashaltigen Baugrund erläutert, bevor im Detail auf die Auswahl geeigneter Vortriebstechnik und den sicheren Betrieb der entsprechenden TBM eingegangen wird. Der Beitrag schließt mit Überlegungen zum Risikomanagement.

2 Grundlagen

2.1 Gase im Baugrund

Der gewachsene Baugrund kann verschiedene geogene Gase enthalten, die sich in der Erdgeschichte im Prozess der Diagenese von organischen Materialien bei der Entstehung von Erdöl und Erdgas bilden

III. High Speed 2: Innovative dauerhafte Querschlagabfangung mit Tübbing

Dominik Hörrle, Fernando Acosta Urrea, Heiko Neher,
Xavier Torelló Ciriano

Im Rahmen des Projekts „High Speed 2“ wurden für eine Vielzahl von Querschlägen zwischen den Röhren der eingleisigen Tunnelbauwerke sowie für die Lüftungsöffnungen dauerhafte, feuerfeste Sondersegmente geplant, geprüft, hergestellt und erfolgreich eingebaut. Die Sondersegmente aus hochfestem Beton und ihre speziellen vorgespannten Verbindungen übertragen hohe Scher- und Zugkräfte und versteifen die Ringfugen, sodass das Schalenverhalten an den Verbindungsstellen dem einer fugenlosen Schale mit gleicher Ausparung entspricht oder besser ist. Die Verbindungselemente sind integriert; damit benötigen die Sondersegmente keine zusätzliche Aussteifung/Abfangung. Das Lichtraumprofil des Tunnels wird nicht eingeschränkt.

Die Tunnelröhren liegen im Nordwesten Londons in wechselhafter Geologie. Es waren unterschiedlichste Anforderungen an die Abfangkonstruktionen zu erfüllen. Grundlage für die endgültige Entwurfsentscheidung waren auch die im Beitrag zusammengestellten Vor- und Nachteile herkömmlicher Abfangkonstruktionen für Querschläge in Tübbingtunneln.

Die Verbindungen wurden einem umfangreichen Großversuchsprogramm unterzogen, bei dem sie auch unter der EBA-Brandkurve erfolgreich getestet wurden. Im Vorfeld und begleitend wurden 3D FE-Berechnungen mit einem Betonschädigungsmodell in ABAQUS durchgeführt sowie die versuchstechnisch ermittelten Last-Verformungs-Kurven verglichen und verifiziert.

High Speed 2: Innovative durable cross passage support system with segments

As part of the High Speed 2 project, permanent, fire-resistant special segment opening sets were designed, tested, manufactured, and successfully installed for a large number of cross passages and ventilation openings between the tubes of the single-track bored tunnels. The special segments made of high-strength concrete and their special pre-stressed connections transmit high shear and tensile forces and stiffen the ring joints so that the lining behaviour with the connected joints is equal to or better than that of a jointless lining with the same opening.

The connection elements are integrated and thus the special segments are without the need for additional temporary support. The tunnel clearance is not restricted.

The tunnels are located in the north-west of London in variable geology. The support structures had to meet a variety of requirements. The article summarises the advantages and disadvantages of conventional opening supports for cross passages in segmental lined tunnels, on which the final design decision was also based on.

The connections were subjected to an extensive large-scale testing program, including successful testing under the Eureka (also known as EBA) fire curve. 3D FE calculations with a concrete damage model in ABAQUS were carried out before and during the tests. The tested load-deformation curves were compared and verified.

1 Projektüberblick: High Speed 2

Das Projekt „High Speed 2“ (HS2) umfasst die neue zweigleisige Hochgeschwindigkeitsstrecke zwischen London und Birmingham. Der Bauherr HS2 Ltd hat das Projekt in sieben Lose unterteilt. TBM-Tunnel gibt es in den Losen N1 (bei Birmingham) und C1 (westlich von London) sowie in den Losen S1 und S2, für deren Planung die Autoren des Artikels verantwortlich sind (Tabelle 1).

Tabelle 1. TBM-Tunnelbaulose HS2 (ID: Innendurchmesser, h: Schalenstärke)

Los	Konsortium/ Joint Venture	TBM-Tunnel	ID/h in m/m	Geologie
N1	BBV (Balfour Beatty, Vinci)	Long Itchington Bromford	8,80/0,40 7,55/0,35	Tonstein
C1	Align (Bouygues, Sir Robert McAlpine, Volker Fitzpatrick)	Chiltern	9,10/0,40	Kalkstein
S1 & S2	SCS (Skanska, Costain, Strabag)	Northolt Tunnel West (NTW) Northolt Tunnel East (NTE) Euston Tunnel (ET)	8,80/0,35 8,10/0,34 7,55/0,325	London Clay, Schluffe und Sande, etwas Kalkstein

Digitalisierung im Tunnelbau

I. Nutzung digitaler Methoden für das ganzheitliche Datenmonitoring während der Ausführung der Vortriebsarbeiten der zweiten S-Bahn-Stammstrecke in der Münchener Innenstadt

Kai Kruschinski-Wüst, Markus Springer, Maximilian Weiß

Zur Entlastung der 1. S-Bahn-Stammstrecke (SBSS) in München wird auf einer Länge von 10 km zwischen den Haltepunkten Laim im Westen und Leuchtenbergring im Osten von München eine 2. SBSS mit ca. 7 km Tunnelstrecke sowie drei neuen unterirdischen Stationen gebaut. Die beiden eingleisigen Verkehrstunnelröhren und der dazwischen liegende Erkundungs- und Rettungsstollen werden mit Tunnelbohrmaschinen (Schild-TBMs mit aktiver Ortsbruststützung) aufgeföhren. Die Bahnsteigröhren der Stationen Hauptbahnhof und Marienhof werden in Spritzbetonbauweise unter Druckluft aufgeföhren.

Bei der Planung der Tunnelgradienten waren zahlreiche Zwangspunkte zu berücksichtigen. Diese bestanden u. a. aus zahlreichen Versorgungsleitungen für Fernwärme und -kälte, Strom und der Kanalisation. Des Weiteren ergaben sich Querungen der U-Bahnlinien U1/U2 und U4/U5 an der Station Hauptbahnhof, der Linien U3/U6 an der Station Marienhof und eine erneute Querung der U4/U5 sowie der 1. SBSS im Bauabschnitt Ost. Dies bedeutet für den Bau der 2. SBSS, dass deren Tunnelbauwerke in sicherem Abstand zu den vorhandenen Bestands-tunneln eine Ebene tiefer geföhrt werden müssen, zum Teil in einer Tiefe von circa 35–40 m.

Daher ist für die risikoarme Abwicklung der Baumaßnahme das Zusammenspiel und die Auswertung der verschiedensten Messeinrichtungen entscheidend. Der Auftraggeber (AG) sichert diese Interaktion mit einem eigenen übergreifenden Datenmonitoring ab, um die verschiedenen Fachbereiche – wie Geodäsie, Geotechnik, TBM-Vortrieb, Spritzbetonbauweise und Grundwasser – gesamthaft als

„digitale Beobachtungsmethode“ echtzeitnah und vorlaufend betrachten und bewerten zu können.

Auf Basis der aktuellen Datengrundlage aller Systeme versetzt sich der AG somit frühzeitig in die Lage, den aktuellen Baufortschritt und das Lagegeschehen anhand der Sensorik und ihrer Ergebnisse zu monitoren, um über technische Echtzeitparameter eine fortlaufende Risikobewertung vornehmen zu können. Nicht nur eine rückwirkende Auswertung findet statt, sondern auch eine Fortschreibung im Kontext Hydrogeologie und Geotechnik, um fortlaufend Modellanpassungen vorzunehmen. Auf Grundlage dieser können im besten Fall Annahmen getroffen werden, die von den rechnerisch nötigen „Worst-case“-Szenarien abweichen und sich somit ggf. zu einem positiven Einfluss auf das Baugeschehen entwickeln. Die übergreifende Zielstellung ist dabei die datenbasierte Systemüberprüfung und Dokumentation der Interaktion Bauwerk – Bauverfahren – Boden zur vorauseilenden Risikobewertung und eine daraus resultierende AG-seitige Positionierung.

Use of digital methods for holistic data monitoring during the tunnel construction for the second commuter rail in the Munich city centre

To relieve the 1st S-Bahn main line in Munich, a second main line is being built over a length of 10 km between Laim station (in the west) and Leuchtenbergring station (in the east of Munich) with approx. 7 km of tunnel section and three new underground stations. The two single-track traffic tunnel tubes and the exploratory and rescue tunnel in between will be driven with tunnel boring machines (shield TBMs with active face support). The platform tubes of the stations Hauptbahnhof and Marienhof will be built using the New Austrian Tunnel method (NATM) with compressed air supply.

Numerous constraints had to be considered when planning the tunnel gradients. These included numerous supply lines for district heating and cooling, electricity and the sewage system. Furthermore, crossings of the underground lines U1/U2 and U4/U5 at the main station, the lines U3/U6 at the Marienhof station and a new crossing of the U4/U5 and the 1st main line in the east construction section are planned. For the construction of the 2nd S-Bahn main line, this means that the tunnels have to be built at a safe distance from the existing tunnels one level deeper, in some cases at a depth of around 35 – 40 m.

The interaction of the various measuring devices is crucial for the low-risk execution of the construction project. The client secures this interaction with its own

comprehensive data monitoring in order to be able to observe and evaluate the various technical areas such as geodesy, geotechnics, TBM tunnelling, shotcrete method and groundwater as a "digital observation method" in real time and in advance.

Based on the current data basis of all systems, the client is thus able to monitor the current construction progress and the situation based on sensors and their results at an early stage, so that a continuous risk assessment taking into account technical real-time parameters can be carried out. Not only a retrospective evaluation takes place, but also continuous model adjustments and updates regarding the hydrogeology and geotechnics. Based on these, assumptions can be made in the best case that may deviate from the assessed "worst-case" scenarios and thus possibly develop into a positive influence on the construction process. The general objective is the review of data-based systems as well as the documentation of the interaction between structure/construction method/soil to allow a risk assessment in advance and a resulting positioning on the part of the client.

1 Einleitung

Die Zunahme der Komplexität innerstädtischer Infrastrukturprojekte erfordert eine Intensivierung der Nutzung digitaler Methoden. Ohne eine hohe Systemintegration und gleichzeitig eine bessere Visualisierung der sehr großen Datenmengen wird sich eine weitere Steigerung der Komplexität bei Großprojekten wie der 2. S-Bahn-Stammstrecke (SBSS) in München nur noch schwerlich realisieren lassen. Diesen digitalen Werkzeugen und Arbeitsabläufen kommt damit sowohl technisch und konzeptionell als auch vertraglich eine zentrale Rolle und Bedeutung im Projekt zu.

Wie hoch diese Systemintegration aktuell in einem dem größten innerstädtischen Infrastrukturprojekte der Deutschen Bahn ist und welche Möglichkeiten sich daraus am Beispiel des Risikomanagements ableiten lassen, zeigen wir in den nachfolgenden Abschnitten.

Baustoffe und Bauteile

I. Verbundkonstruktionen mit permanenten Spritzmembranabdichtungen im Tunnelbau – eine nachhaltige Bauweise

Gereon Behnen, Wolfgang Aldrian, Oliver Fischer, Götz Tintelnot

Je nach vorliegenden Randbedingungen kommen im Tunnelbau ein- und zweischalige Tunnelauskleidungen zur Anwendung.

Bei den zweischaligen Tunnelauskleidungen wird die Außenschale meist als temporäre Sicherung angesehen und bleibt im Endzustand im Regelfall als „nichttragend“ statisch unberücksichtigt. Die Funktionalität der Wasserundurchlässigkeit wird entweder der Innenschale (WUBK-Bauweise) oder gesonderten Abdichtkonstruktionen (KDB-Abdichtungen) zugewiesen.

Im vorliegenden Beitrag wird eine einschalige Verbundbauweise aus permanenten Spritzbetonschalen betrachtet, bei denen die innenliegende Spritzmembranabdichtung keine Trennschicht darstellt, sondern im Verbund mit den Spritzbetonschalen die Tragwirkung als Gesamtquerschnitt sicherstellt. Während diese Bauweise international bei geeigneten Randbedingungen, insbesondere als rein faserbewehrte Konstruktion, weit verbreitet ist, finden sich im nationalen Raum praktisch keine Anwendungen und Erfahrungen.

Nachfolgend wird zuerst der Stand der Technik zu dieser Verbundbauweise dargestellt. Dann werden die Technologie der Spritzmembranabdichtung beschrieben und die Randbedingungen, Grenzen und Kriterien für die Anwendung erläutert. Zusätzlich werden Hinweise zur konstruktiven Durchbildung anhand von Ausführungsbeispielen und Praxisanwendungen gegeben. Einen Schwerpunkt des Beitrags bildet die besondere Betrachtung der Bauweise unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung.

Composite shotcrete linings with sprayed waterproofing membranes – a sustainable construction method

In conventional tunnelling, single or double shell linings are usual support methods, depending on the particular project conditions. For the latter, the primary lining is commonly regarded as temporarily and is not considered to be a part of the permanent structural lining. The waterproofing functionality is allocated either to the “water tight” concrete of the secondary lining (WUBK) or to a waterproofing sheet membrane (KDB).

The present publication deals with composite lining structures, consisting of several permanent shotcrete lining layers in combination with a centrally located sprayed waterproofing membrane. The sprayed membrane provides both the watertightness of the structure as well as the bond in the joint between the primary and the secondary shotcrete lining. The exclusive use of permanent shotcrete, in combination with a sprayed waterproofing membrane, and preferably reinforced only by structural fibres, leads to the construction methods of Composite Shell Linings (CSL) or Single Shell Linings (SSL), respectively.

The report at hand describes the state of the art of sprayed membrane and permanent shotcrete technologies, focusing on the design strategies, a discussion of the bond requirements between the primary and secondary lining, the application limits, practical experiences, lessons learned and a catalogue of standard detail solutions. In addition, special emphasis is also being placed on analyzing the construction method in terms of sustainability and resource preservation.

1 Einleitung

1.1 Einführung

Als Standardbauweise kommen in Deutschland bei konventionellen Vortrieben zweischalige Tunnelauskleidungen zur Anwendung. Sie bestehen aus einer Spritzbetonaußenschale, einer permanenten, ggf. als wasserundurchlässige Betonkonstruktion (WUBK bzw. WUBKO) ausgebildeten Ortbeton-Innenschale und bei Bedarf – insbesondere bei höheren Wasserdruckbelastungen oder hohen Dichtigkeitsanforderungen – einer zwischen den Schalen angeordneten Abdichtungs-konstruktion aus Kunststoffdichtungsbahnen (KDB). Hierbei wird die Spritzbeton-Außenschale im Regelfall als temporäre Sicherung ange-

Tunnelbetrieb und Sicherheit

I. Neuerungen in der risikoanalytischen Betrachtungsweise von Straßentunneln

Christof Sistenich, Anne Lehan, Harald Kammerer, Georg Mayer, Christoph Zulauf, Regina Schmidt, Patrik Föbleitner

Mit der Umsetzung von Vorgaben der EG-Richtlinie 2004/54/EG [1] wurde die risikoorientierte Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln Bestandteil des nationalen Regelwerks. Danach werden Risikoanalysen erforderlich, wenn ein Straßentunnel entweder besondere Charakteristika aufweist oder in seiner geometrischen Ausbildung bzw. sicherheitstechnischen Ausstattung von den Vorgaben im Regelwerk abweicht.

Seit der Veröffentlichung der hierzu in Deutschland im Bundesfernstraßenbereich zur Anwendung kommenden Methodik im Jahr 2009 liegen nunmehr umfangreiche Erkenntnisse zu der Umsetzung des Verfahrens und der praktischen Anwendung in risikoanalytischen Untersuchungen vor. Des Weiteren wurden in dem Fachbereich zahlreiche Forschungsprojekte zu speziellen Fragestellungen durchgeführt. Dabei wurden neue Erkenntnisse zur Anpassung bestehender Eingangsparameter sowie zu bisher unberücksichtigten Parametern gewonnen.

Im ersten Schritt wird der Einfluss der gewonnenen Erkenntnisse aus der Anwendung bisheriger und neuer Parameter auf die Methodik verdeutlicht. Im zweiten Schritt wird die Anwendung der Methodik samt ihrer Erweiterungsmöglichkeiten anhand der risikoanalytischen Bearbeitung spezieller Fragestellungen – wie die Einbeziehung alternativer Fahrzeugantriebe oder der Abstände von Pannengebieten – dargestellt und ihr Einfluss auf das Sicherheitsniveau von Straßentunneln aufgezeigt. Die Fortschreibung der Methodik durch die Überprüfung bisheriger und die Integration neuer Parameter soll den Weg hin zu einer verstärkten Ausstattung der Straßentunnel unter risikoorientierten bzw. performancebasierten Gesichtspunkten fortsetzen.

Innovations in the risk-analytical assessment of road tunnels

With the implementation of the requirements of the EU Directive 2004/54/EC, the risk-oriented assessment of the safety of road tunnels was adopted in the national regulations. According to this, risk analyses are required if a road tunnel either has special characteristics or deviates in its geometric design or safety equipment from the specifications in the regulations.

Since the publication of the methodology in 2009, extensive knowledge has been gained in the implementation of the procedure and its practical application in risk analysis studies. Furthermore, numerous research projects on specific issues have been carried out in the department and new findings have been gained on the adaptation of existing input parameters as well as on previously unconsidered parameters.

In a first step, the influence of the knowledge gained from the application of previous and consideration of new parameters in the methodology is clarified. In the second step, the integration of current research results – such as the consideration of alternative drives as well as the influence of the distances of breakdown bays – in the methodology is described and their influence on the safety level of road tunnels is presented. The update of the methodology should continue the path towards an increased equipment of road tunnels under risk-oriented or performance-based aspects.

1 Einleitung und Zielsetzungen der Untersuchungen

Die Anforderungen der EG-Richtlinie 2004/54/EG [1], nachfolgend EU-Tunnelrichtlinie genannt, zur Verwendung von Risikoanalysen für die Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln wurden mit der Einführung der RABT 2006 [2] und der Veröffentlichung der EABT-80/100 (2019) [3] in das deutsche Regelwerk übernommen. Risikoanalysen sind demnach erforderlich, wenn ein Straßentunnel entweder besondere Charakteristika aufweist oder hinsichtlich seiner geometrischen Gestaltung oder sicherheitstechnischen Ausstattung von den Vorgaben des Regelwerks abweicht. Risikoanalysen werden ebenso notwendig, um zu prüfen, ob eine Längslüftung bei Gegenverkehrstunneln und Tunneln mit täglichem Stau zulässig ist.

Die erforderliche Tiefe der Risikoanalysen (qualitativ/quantitativ) sowie der Nachweis, ob eine Besonderheit und/oder eine signifikante

Forschung und Entwicklung

I. Hydrogeothermische Anlagen an Tunneln – Potenzial, Nutzungskonzepte und Anwendungserfahrungen am Beispiel des Grenztunnels Füssen

Christian Moormann, Till Kugler, Ingo Kaundinya, Tim Hochstein

Bei in Spritzbetonbauweise erstellten Straßentunneln fällt im Regelfall Drainagewasser an, das an den Portalen gesammelt und dann ungenutzt in ein Fließgewässer eingeleitet wird. Aktuelle Forschungsprojekte weisen jedoch das geothermische Potenzial einer bisher nur aus dem alpinen Raum bekannten hydrogeothermischen Nutzung dieser Drainagewasser auch für deutsche Straßentunnel nach. In Abhängigkeit von Wassertemperatur und Schüttung reichen die Nutzungen von der Klimatisierung der Betriebsgebäude über die Temperierung von Verkehrsflächen an den Tunnelportalen bis zu Drittnutzungen.

Ausgehend von diesen Untersuchungen wurde am Grenztunnel Füssen erstmalig das Konzept einer direkten, passiven Freiflächentemperierung in Kombination mit einer hydrogeothermischen Nutzung realisiert. Die Temperierung der Verkehrsflächen erfolgt durch Rohrregister, die in dem Fahrbahnaufbau der Freiflächen verlegt sind und direkt von dem am Tunnelportal anfallenden Drainagewasser durchströmt werden. Die in einem Forschungsprojekt gewonnenen Erfahrungen belegen, dass die passive Aktivierung der Freiflächen ohne einen Temperaturhub die Eis- und Schneefreihaltung im Winter und die Verlängerung der Lebensdauer der Fahrbahnbeläge im Sommer ermöglicht.

Hydrogeothermal use of drainage water at tunnels – potential, concepts and application by the example of the tunnel ‘Füssen’

In road tunnels constructed by shotcrete method often drainage water accumulates, which is usually collected at the portals and then discharged unused into a run-off capability or a natural water-course. Current research projects, however, demonstrate the geothermal potential of a hydrothermal use, previously only known from the alpine region, also for German road tunnels. There are

various potential uses, ranging from the climate control of service buildings to the tempering of traffic areas at the tunnel portals to third-party uses.

Based on these investigations, a pilot project was set up at the border tunnel Füssen, Germany, for the innovative concept of direct, passive open-air temperature control in combination with hydro-geothermal use. It was realized for the first time at the Füssen tunnel. The tempering of the traffic areas is carried out by pipe registers that are integrated in the road pavement. The drainage water from the tunnel portals flows directly through those registers. The experience gained by research operation proves that the passive tempering of the traffic areas without a heat pump allows to keep those areas free of ice and snow in winter and to increase life cycle in summer.

1 Einleitung

Hydrogeothermische Verfahren ermöglichen es, die Wärmeenergie des aus der Bergwasserdrainage eines Tunnels austretenden Wassers zu nutzen, um Verkehrs- und Betriebsflächen im Tunnelportalbereich schnee- und eisfrei zu halten, Betriebsräume zu klimatisieren oder bauliche Anlagen im Umfeld zu temperieren. Die extrahierte Energie ist dabei ein Nebenprodukt der aus tunnelstatischer Sicht erforderlichen Drainage zum Abbau des auf die Tunnelschale wirkenden Wasserdrucks. Ein großer Vorteil der hydrogeothermischen Tunnelanlagen im Vergleich zu den absorbertechnologischen Anwendungen ist die Möglichkeit der nachträglichen Ausrüstung eines Bestandtunnels.

Bei dem hydrogeothermischen Verfahren ist die mögliche Energieextraktion eine Funktion der Drainagewassertemperatur, der Schüttung sowie der realisierbaren Wiedereinleittemperatur. Ausgehend von einer Vorstudie zur Untersuchung der Drainagewasserschüttungen an deutschen Straßentunneln wurde das Nordportal des Grenztunnels Füssen als besonders geeignet zur Erprobung der Temperierung von Freiflächen mittels eines direkten, passiven hydrogeothermischen Verfahrens identifiziert. In der Folge wurde als Pilotanwendung ein TECHNIKUM im Realmaßstab realisiert, das zwei Jahre lang beprobt wurde.

II. Zeitabhängige Stützdruckübertragung an der flüssigkeitsgestützten Ortsbrust unter zyklischem Bodenabbau

Britta Schöber, Zdeněk Žižka, Markus Thewes

Beim Vortrieb mit Flüssigkeitsstützung ist die Ortsbruststabilität durch zwei grundlegende Anforderungen während des Bodenabbaus zu sichern: 1) der Stützdruck in der Abbaukammer ist ausreichend groß und wirkt dem anstehenden Erddruck und Grundwasserdruck entgegen; 2) der Anteil des Stützdrucks, der den Betrag des Grundwasserdrucks übersteigt (Suspensionsüberdruck), wird in Form von effektiven Spannungen auf das Korngerüst übertragen. Letzteres setzt die Bildung eines Übertragungsmechanismus in einer definierten Bodenzone an der Ortsbrust voraus, innerhalb derer der Stützdruck zuverlässig übertragen wird.

Der Beitrag untersucht die erforderliche Zeitspanne zum Aufbau eines Übertragungsmechanismus und überlagert diese mit der Frequenz des zyklischen Bodenabbaus durch das rotierende Schneidrad an einem lokalen Punkt an der Ortsbrust. Im ersten Fall (A) ist die Tiefe des Mechanismus zur Stützdruckübertragung geringer als die Schneidtiefe der Abbauwerkzeuge, sodass der Bereich des Übertragungsmechanismus mit jedem Werkzeugdurchgang vollständig entfernt wird und anschließend neu aufgebaut werden muss. Die Stützdruckübertragung ist dann für eine definierte Dauer lokal stark eingeschränkt. Im zweiten Fall (B) übersteigt die Tiefe des Übertragungsmechanismus die Schneidtiefe, sodass der Stützdruck in reduzierter Form weiterhin übertragen wird, während sich der Übertragungsmechanismus erneut formiert.

Im Beitrag werden die aktuellen Theorien zur Stützdruckübertragung erfasst und die Auswirkungen der unterschiedlichen Zeitskalen der Fälle (A) und (B) analytisch, experimentell und numerisch untersucht. Die Analyse der Ergebnisse erlaubt eine Bewertung der globalen Stützdruckübertragung an der Ortsbrust zu jedem Zeitpunkt, sodass abschließend Empfehlungen für die Baupraxis zusammengefasst werden.

Time-dependent support pressure transfer at the fluid-supported tunnel face under cyclic soil excavation

In fluid-supported tunnelling, face stability must be ensured by two basic requirements during soil excavation: 1) the support pressure in the excavation chamber is sufficiently large and counteracts the acting earth pressure and groundwater pressure; 2) the portion of the support pressure that exceeds the amount of groundwater pressure (suspension excess pressure) is transferred onto the grain structure in form of effective stresses. The latter requires the formation of a transfer mechanism in a defined soil zone at the tunnel face within which the supporting pressure is reliably transferred.

The paper examines the time period required to establish a transfer mechanism and superimposes it on the frequency of cyclic soil excavation by the rotating cutting wheel at a local point on the tunnel face. In the first Case (A), the depth of the support pressure transfer mechanism is less than the cutting depth of the excavation tools, so that the area of the transfer mechanism is completely removed with each tool passing and must then be rebuilt. Support pressure transfer is severely restricted locally for a defined duration. In the second Case (B), the depth of the transfer mechanism exceeds the cutting depth, so that the support pressure continues to be transferred in a reduced form while the transfer mechanism re-builds.

In the paper, the current theories of the support pressure transfer are surveyed and the effects of the different time scales of Cases (A) and (B) are investigated analytically, experimentally and numerically. The analysis of the results allows an evaluation of the global support pressure transfer at the tunnel face at each time point, so that recommendations for construction practice are summarized in conclusion.

1 Einführung

Flüssigkeitsschilde (Hydroschilde, Slurry Shields) sind eine bewährte Technologie für Vortriebe im nichtstandfesten, nichtbindigen Lockergestein im Grundwasser, da sie die Ortsbrust aktiv mit einer Bentonit-suspension stabilisieren. Um eine Ortsbruststützung sicher zu erreichen, müssen wesentliche Bedingungen erfüllt sein:

Vertragswesen und betriebswirtschaftliche Aspekte

I. Empfehlungen des DAUB für das Projekt- risikomanagement im Untertagebau

Heinz Ehrbar, Götz Vollmann, Atusa Ranjbar, Lars Babendererde,
Klaus Rieker

Bauen ist ein grundsätzlich risikobehafteter Prozess, bei dem sich Gefahren, aber auch Chancen realisieren können. Dies gilt insbesondere im Bereich des Tunnelbaus, wo die partielle Unkenntnis der vorausliegenden Verhältnisse eine konstante Unsicherheit impliziert und damit auch einen steten Raum für das Eintreten von Ereignissen aus Risiken eröffnet.

Die Erfahrung aus etlichen Projekten lehrt uns dabei, dass Misserfolge vor allem dann eintreten, wenn Gefahren nicht oder nicht rechtzeitig erkannt werden. Dies führt oft dazu, dass notwendige Gegenmaßnahmen nicht definiert sind, nicht vorgehalten werden oder trotz ausreichender Maßnahmenplanung aufgrund unzureichenden Monitorings nicht richtig oder aber nicht rechtzeitig angewendet werden, mit zum Teil enormen negativen Auswirkungen auf den Projekterfolg.

Der Deutsche Ausschuss für unterirdisches Bauen (DAUB) hat sich hat sich im Zuge einer jüngst erschienenen Empfehlung der Thematik intensiv angenommen und legt mit dieser einen Leitfaden zur Implementierung eines projektbezogenen Risikomanagements bei Großprojekten im Untertagebau vor. Neben theoretischen Überlegungen zum allgemeinen Umgang mit Risiken und der Erläuterung geeigneter Maßnahmen zu ihrer Einschätzung und Bewertung umfasst die Empfehlung vor allem auch gesammelte Erfahrungen aus vielen Großprojekten aus Sicht von Baufirmen, Bauherren, Planern, Hochschulen und Versicherern. Es waren somit alle am Projekterfolg beteiligten Parteien in die Erstellung der Empfehlung eingebunden.

Mit dieser Veröffentlichung stellen die benannten Autoren – stellvertretend für die Arbeitsgruppe des DAUB – diese Empfehlungen in gekürzter Form vor, zeigen den Einsatzbereich und die Grenzen derselben auf und geben Hinweise zu ihrer effizienten Anwendung für den Untertagebau. Für die konkrete Projektarbeit wird der Beizug der ungekürzten DAUB-Empfehlungen empfohlen.



DAUB-Empfehlungen



Flyer

DAUB recommendations for project risk management in underground construction

Construction is a fundamentally risky process in which threats and opportunities can occur. This is particularly true in the field of underground construction, where the partial lack of information on the ground conditions implies constant uncertainty and thus opens up a constant space for risk events to occur.

The experience from numerous projects teaches us that failures occur above all when threats are not recognized or not recognized in good time. This often means that necessary countermeasures are not defined, are not provided or, despite adequate planning of measures, are not applied correctly or in good time due to insufficient monitoring, with sometimes enormous negative effects on the success of the project.

The German Committee for Underground Construction (DAUB) has taken on the subject intensively in the course of a recently published recommendation and is presenting a guideline for the implementation of project-related risk management in large-scale projects in underground construction. In addition to theoretical considerations on the general handling of risks and the explanation of suitable measures for their assessment and evaluation, the recommendation also includes the experience gained from many large-scale projects from the perspective of construction companies, builders, planners, universities, and insurers. All parties involved in the success of the project were therefore involved in the preparation of the recommendation.

With this publication, the named authors – representing the DAUB working group – present these recommendations in an abbreviated form, show the area of application and the limits of the same and provide information on its efficient application for underground construction. For specific project work, it is recommended to consult the original DAUB recommendations.



DAUB Recommendations



Flyer

1 Ziele und Anwendungsbereich der Empfehlungen

Die im Mai 2022 veröffentlichten DAUB-Empfehlungen für das Projektrisikomanagement (PRM) im Untertagebau sind als generelle Handlungsempfehlungen zu verstehen, die aus dem Erfahrungsschatz des breit abgestützten DAUB-Arbeitskreises (Bauherren, Planer, Wissenschaft und Unternehmer) entstanden sind. Die Empfehlungen sind jedoch nicht als direkt umsetzbares, allumfassendes Arbeitsmittel im Sinne eines Kochbuchs gedacht. Untertagebauprojekte sind generell zu heterogen und in ihren Randbedingungen zu vielfältig, als dass man hierzu pauschale Rezepte formulieren könnte. Dies wäre nicht zielführend.

Die DAUB-Empfehlungen für das Projektrisikomanagement im Untertagebau sollen allen Projektbeteiligten (Bauherr, Planer, Unternehmer, Dritte) für alle Leistungsphasen eines Projekts

1. die zwingende Notwendigkeit für ein phasengerecht ausgestaltetes PRM aufzeigen,
2. ihre rollenspezifischen Aufgaben und Verantwortlichkeiten für jede Projektphase verdeutlichen und
3. gängige, einfach handhabbare Methoden und Werkzeuge für das PRM näherbringen.

Praxisbeispiele

I. Brenner Basistunnel: Projektbereich Sillschlucht – ein komplexer Bauabschnitt am Stadtrand von Innsbruck

Walter Fahrnberger, Reinhard Huber, David Unteregger,
Martin Keinprecht

Das Portal des 64 km langen Jahrhundertbauwerks Brenner Basistunnel liegt vom Innsbrucker Hauptbahnhof den sprichwörtlichen Steinwurf entfernt. Dieser Beitrag beschreibt die technischen Herausforderungen einer Strecke von ca. 450 m vor der Einfahrt und ca. 150 m im Vortrieb des Brenner Basistunnels. Er handelt von aufwendigem Spezialtiefbau, hohen Böschungen mit temporärer Entfernung eines Bergrückens, langen Vorspannankern und Tunneln in offener und geschlossener Bauweise. Im Vergleich zu den großen Tunnelbaulosen der Galleria di Base del Brennero – Brenner Basistunnel BBT-SE (Societas Europaea), kurz BBT-SE, mutet das gegenständliche Baulos hinsichtlich Länge und Kosten bescheiden an. Tatsächlich ist es bestückt mit technischen Raffinessen und hoher Ingenieurkunst, ohne die kein Einfahren in den Tunnel möglich wäre.

Brenner Base Tunnel: Sill Gorge project area – a complex construction phase on the outskirts of Innsbruck

The portal of the 64 km long construction of the century, the Brenner Base Tunnel, is literally a stone's throw away from Innsbruck's main train station. This report describes the technical challenges of a section of approx. 450 m in front of the entrance and 150 m in driving the Brenner Base Tunnel. It deals with complex special civil engineering, high embankments with the temporary removal of a mountain ridge, long prestressed anchors and tunnels in open and closed construction. Compared to the large tunnel construction lots of the BBT-SE, the present construction lot seems modest in terms of length and costs. In fact, it is equipped with technical refinements and high engineering skills, without which it would not be possible to enter the tunnel.

II. Elbquerungen – Tunnelbau unter herausfordernden Bedingungen

Tim Babendererde, Per Dost, Paul Erdmann, Michael Henzinger,
Gudrun Karpa, Gerhard Zehetmaier

An vier aktuellen Beispielen werden Herausforderungen und Lösungsansätze bei maschinell aufzufahrenden Elbquerungen im Großraum Hamburg vorgestellt. Die Querungen der Küstenautobahn A 20 sowie der Höchstspannungsleitung SuedLink bei Glückstadt, der Fernwärme-Systemanbindung West in Hamburg sowie der B 5/B 209 bei Lauenburg befinden sich derzeit in jeweils unterschiedlichen Phasen der Planung bzw. Realisierung. Allen gemein ist der herausfordernde, äußerst heterogene Baugrund mit mächtigen Weichschichten in den Uferbereichen, die geringe Überdeckung im Bereich der Fahrrinne, die hohen Anforderungen an den Hochwasserschutz und das geländenah anstehende Grundwasser. Der Beitrag beschreibt anhand der vier Querungen, wie den herausfordernden Randbedingungen planerisch begegnet wird. Insbesondere Lösungen für die tiefen Start- und Zielschächte, Besonderheiten der maschinellen Vortriebe unter der Elbe mit Schilddurchmessern von 4,6 m–13,9 m sowie spezielle Konzepte für Planung, Bau und Betrieb systemrelevanter Infrastruktur werden beleuchtet.

Elbe crossings – tunnel construction under challenging conditions

Four current examples will be used to present challenges and solutions for Elbe crossings built with tunnel boring machines in the greater Hamburg area. The crossings of the A 20 coastal motorway and the SuedLink extra-high voltage line near Glückstadt, the West district heating system connection in Hamburg and the B 5/B 209 near Lauenburg are currently in different phases of planning and realization. Common to all of them is the challenging, extremely heterogeneous subsoil with thick soft layers in the shore areas, the low cover at the navigation channel, the high demands on flood protection and the groundwater level close to the surface. The article describes how the challenging boundary conditions are met in design using the four crossings as examples. In particular, solutions for the deep launching and target shafts, special features of the mechanized tunnelling under the Elbe with shield diameters of 4.6 m—13.9 m as well as special concepts for design, construction and operation of system-relevant infrastructure are highlighted.

III. Bautechnische Herausforderungen bei der Herstellung des unterirdischen Fernbahnhofs am Stuttgarter Flughafen

Armin Semmelmann, Andreas Auchter, Bernd Wiesiolek

Derzeit wird die Verbindung hergestellt, die den Flughafen Stuttgart und die Messe Stuttgart an die ICE-Neubaustrecke und den neuen Bahnknoten Stuttgart anbinden wird. Ein zentraler Bestandteil dieses Projekts ist der unterirdische Fernbahnhof auf dem Gelände des Stuttgarter Flughafens.

Der vollständig unterirdisch gelegene Bahnhof besteht aus zwei mehr als 400 m langen Tunnelröhren, die zusammen mit den Zulaufrohren West und Ost als zwei parallele Durchgangsröhren konzipiert sind. Die Erschließung der Bahnsteige erfolgt über die Zugangsschächte „Zentraler Zugang“ und „Zugang Ost“. Die bauliche Konzeption der beiden Zugangsanlagen berücksichtigt die geometrischen und geologischen Rahmenbedingungen vor Ort sowie die für die Herstellung erforderlichen baubetrieblichen Voraussetzungen.

Das Zugang Ost besteht daher aus einem ca. 45 m langen monolithischen Einzelbauwerk, das innerhalb eines baubetrieblich genutzten Zugangsschachts unter laufendem Baubetrieb herzustellen ist. Der Zentrale Zugang wird durch ein rundes Zugangsgebäude mit etwa 50 m Durchmesser gebildet. Darunter befinden sich auf einer Länge von rund 65 m insgesamt drei Einzelschachtanlagen, die neben dem Personenzugang zahlreiche Technikräume für den Betrieb des Bahnhofs beinhalten. Zusätzlich werden die bergmännisch hergestellten Stationsröhren im Firstbereich mit einem weiteren Schachtbauwerk verbunden, das ausschließlich im Brandfall als Entrauchungsbauwerk dient.

Der Artikel schließt im Wesentlichen an den vorausgegangenen Artikel im Tunnelbau-Taschenbuch 2022 zum Flughafentunnel [1] an und befasst sich mit der Herstellung der dauerhaften Bauwerke. Es wird insbesondere auf die ingenieurtechnischen Herausforderungen bei der Ausführungsplanung und der Herstellung der einzelnen Ingenieurbauwerke eingegangen.

Anhand der Gliederung der Einzelbauwerke (Zugangsanlagen, Entrauchungsbauwerk, Stationsröhren mit fünf Verbindungsbauwerken) werden logistische Abhängigkeiten, technische Schnittstellen, Erfordernisse der Bauabfolge sowie planerische und schalungstechnische Herausforderungen in den Verschnei-

dungsbereichen mit den Schachtanlagen, bei denen u. a. Blocklängen von bis zu 28,5 m monolithisch herzustellen sind, beschrieben.

Mit Stand April 2023 sind große Abschnitte der bergmännisch herzustellenden Tunnel- und Schachtanlagen erfolgreich aufgeföhren. Bereits im Herbst 2021 wurden die Betonarbeiten an den dauerhaften Bauwerken vortriebsbegleitend begonnen und befinden sich derzeit noch in vollem Gang.

Structural challenges in the construction of the underground train station at Stuttgart Airport

The "airport connection" is currently being established, which will connect Stuttgart Airport and the Stuttgart Exhibition Center to the new ICE line and the new Stuttgart railway junction. A central component of this project is the underground long-distance train station on the premises of Stuttgart Airport. The station, which is completely underground, consists of two tunnel tubes with an length of more than 400 m and which, together with the west and east feed tubes, are designed as two parallel passage tubes. The platforms are accessed via the "Central Access" and "East Access" access shafts. The structural design of the two access systems takes into account the geometric and geological framework conditions on site as well as the construction requirements required for production.

The east access structure therefore consists of an approx. 45 m long monolithic individual structure, which is to be constructed within an access shaft used for construction operations while construction is ongoing. The central entrance is formed by a round entrance building with a diameter of around 50 m. Below this are a total of three individual shaft systems over a length of around 65 m, which, in addition to the access for people, contain numerous technical rooms for the operation of the station. In addition, the station tubes, which were produced by mining, are connected to another shaft structure in the ridge area, which is used exclusively as a smoke extraction structure in the event of a fire.

The article essentially follows on from the previous article in the tunneling handbook 2022 on the airport tunnel (source) and deals with the manufacture of the permanent structures. In particular, the engineering challenges in the implementation planning and the production of the individual civil engineering structures are addressed.

Based on the structure of the individual structures (access systems, smoke extraction structure, station tubes with five connecting structures), logistical dependencies, technical interfaces, requirements of the construction sequence as

well as planning and formwork challenges in the intersection areas with the shaft systems, where, among other things, block lengths of up to 28.5 m are to be produced monolithically are described.

By the end of April 2023, large sections of the tunnels and shafts to be produced by mining have been successfully excavated. Concreting work on the permanent structures to accompany tunneling began in autumn 2021 and is currently still in full swing.

1 Einleitung

Das Gesamtbauvorhaben der Flughafenanbindung Stuttgart ist Bestandteil des zeitlich letzten Planfeststellungsabschnitts im Rahmen des Großprojekts „Stuttgart 21“ (S21). Der Auftrag zur Ausführungsplanung und Herstellung wurde im Oktober 2019 von der DB PSU GmbH an die Arbeitsgemeinschaft Neubaustrecke Flughafentunnel, bestehend aus den Firmen Ed. Züblin AG, Max Bögl Stiftung & CO. KG sowie Strabag GmbH vergeben.

Der Planfeststellungsabschnitt ist in zwei Lose unterteilt. Das erste Los, „VE10 light“, umfasst den Bau des unterirdischen Bahnhofs im Bereich des Flughafens und der Messe Stuttgart sowie die Anbindung an die Neubaustrecke über zahlreiche Ingenieurbauwerke.

Zu den wesentlichen Bauaufgaben des Tunnel-, Ingenieur- und Erdbauloses gehören:

- der Bau des zweiröhrigen Flughafentunnels in bergmännischer (L = ca. 900 m) und offener Bauweise (OBW; L = ca. 150 m, Trog L = ca. 250 m) mit Notausgängen, Verbindungs- und Schwallbauwerken,
- der Bau der unterirdischen Station (L = ca. 430 m) mit fünf Verbindungsbauwerken,
- die Herstellung und Anbindung der späteren Zugangsschächte (Zentraler Zugang, Zugang Ost) sowie des für die Station benötigte Entrauchungsbauwerks,
- der Bau verschiedenster Eisenbahnüberführungen sowie Auslaufbauwerke von Regenrückhalte- und Regenklärbecken,
- der Bau von Gleit-, Lärm- und Blendschutzwänden,