

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

Taschenbuch für den Tunnelbau 2022

- **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.

vort. Abb.



10 / 2021 • ca. 350 Seiten •
ca. 50 Abbildungen • ca. 25 Tabellen

Hardcover

ISBN 978-3-433-03358-6 ca. € 39.90*

Bereits vorbestellbar.

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 2022 behandeln die Themenbereiche Geotechnische Untersuchungen, Baugruben und Tunnelbau in offener Bauweise, Maschinellem Tunnelbau, Baustoffe und Bauteile, Forschung und Entwicklung, Instandsetzung und Nachrüstung sowie Praxisbeispiele.

BESTELLUNG

Anzahl	ISBN /	Titel	Preis
	978-3-433-03358-6	Taschenbuch für den Tunnelbau 2022 [...]	ca. € 39.90*

BESTELLEN

+49 (0) 30 470 31-236

marketing@ernst-und-sohn.de

www.ernst-und-sohn.de/3358

Bitte richten Sie Ihre Bestellung an:

Tel. +49 (0) 30 47031-236

Fax +49 (0) 30 47031-240

marketing@ernst-und-sohn.de

108208 Free Shipping

Privat

Geschäftlich

Firma, Abteilung

UST-ID Nr.

Name, Vorname

Telefon

Fax

Straße, Nr.

PLZ/Ort/Land

E-Mail

Datum/Unterschrift

www.ernst-und-sohn.de/3358

Vorwort zum sechsundvierzigsten Jahrgang

Der Tunnelbau wird auch in den nächsten Jahrzehnten einen wichtigen Beitrag beim Ausbau der Verkehrsinfrastruktur leisten. Dabei werden nicht nur die Anforderungen an das Tunnelbauwerk hinsichtlich Lebensdauer und Verfügbarkeit steigen, sondern auch die Herausforderungen bei der Planung und Ausführung. Die Digitalisierung im Tunnelbau wird das Planen und Bauen verändern; die Weiterentwicklung der Maschinenteknik wird die Einsatzgrenzen maschineller Vortriebseinrichtungen erweitern, innovative Baustoffe werden Einzug finden. Diese Evolution wird einerseits begleitet durch Fragen zur adäquaten Vertragsgestaltung und Finanzierung und andererseits durch neue Aspekte, z. B. hinsichtlich des ökologischen Fußabdrucks, ergänzt.

Das Taschenbuch für den Tunnelbau spiegelt diese Entwicklung seit mehr als vier Jahrzehnten wider. Es greift aktuelle Themen auf, zeigt Lösungen für Problemstellungen und dokumentiert so den erreichten Stand der Technik.

Bei der Auswahl und Beschaffung der Beiträge werden Herausgeber und Verlag durch einen Beirat unterstützt, der sich aus Vertretern der Bauherren, Bauindustrie, beratenden Ingenieure, Maschinenhersteller und Zulieferer sowie Hochschule und Wissenschaft zusammensetzt und damit alle am Tunnelbau Beteiligten vertritt. Mit dem Ausscheiden aus dem aktiven Dienst wird Herr Friebe sich aus dem Beirat zurückziehen. Herausgeber und Verlag danken Herrn Friebe herzlich für sein langjähriges ehrenamtliches Engagement im Herausgeberbeirat des Taschenbuchs für den Tunnelbau, dem er seit der Ausgabe 2008 angehört, und wünschen ihm alles Gute für seinen neuen Lebensabschnitt.

Die Beiträge in der Ausgabe 2022 behandeln die Themenbereiche Baugruben und Tunnelbau in offener Bauweise, maschineller Tunnelbau, Baustoffe und Bauteile, Forschung und Entwicklung, Instandsetzung und Nachrüstung sowie Praxisbeispiele. Ein Einkaufsführer zum Thema Tunnelbaubedarf rundet das Buch ab.

Wir wünschen Ihnen eine interessante Lektüre und freuen uns über Rückmeldungen sowie Themenanregungen und Beitragsvorschläge für zukünftige Ausgaben aus Ihren Reihen. Wenden Sie sich dazu bitte an die Mitglieder des Herausgeberbeirats oder an die Redaktion des Verlags Ernst & Sohn.

Dr.-Ing. B. Wittke-Schmitt

Dr. rer. nat. K. Laackmann

Inhalt

Vorwort zum sechsundvierzigsten Jahrgang	V
Autorenverzeichnis	XV

Baugruben und Tunnelbau in offener Bauweise

I. Flughafentunnel – Hohlraumbau in vorbelasteten Tonsteinen des Lias a	1
<i>Martin Wittke, Patricia Wittke-Gattermann, Meinolf Tegelkamp, Robert Berghorn, Axel Hillebrenner</i>	
1 Einleitung	4
2 Bauvorhaben	6
3 Baugrundverhältnisse	16
4 Erfahrungen bei ausgeführten Projekten	23
5 Standsicherheitsnachweise	27
6 Stand der Bauarbeiten	38
7 Monitoring und Vergleich mit Prognosen	42
8 Zusammenfassung	48

Maschineller Tunnelbau

I. Erfahrungsstand zur Ringspaltverfüllung bei einschaligen Tunneln mit Schwerpunkt deutsche Eisenbahntunnel	53
<i>Paul Gehwolf, Christoph Schulte-Schrepping, Gereon Behnen, Carles Camós-Andreu, Anna-Lena Hammer, Djalili Zougou, Rolf Breitenbücher, Oliver Fischer, Markus Thewes</i>	
1 Einleitung	54
2 Begriffe und Abgrenzung	58
3 Grundsätze der Ringspaltverfüllung	63

4	Technologie der Ringspaltverfüllung	68
5	Anforderungen an das RSVM	75
6	Überwachung – Materialtechnologische Prüfung und Kontrolle während der Ausführung	82
7	Technische und materialtechnologische Aspekte zur Ringspaltverfüllung bei ausgewählten TBM-Projekten	97
8	Diskussion bezüglich aktueller Herausforderungen	114
9	Zusammenfassung und Fazit	128
II.	GE-TI-ME – das neue Prüfverfahren zur Gelzeit-Bestimmung für den Zwei-Komponenten-Mörtel	137
	<i>Maik Weber</i>	
1	Einleitung	138
2	Übersicht von Prüfarten zur Bestimmung der Gelzeit	140
3	Mischbarkeit von Stoffen	143
4	Mischverfahren	145
5	Mischverfahren mittels Magnetrühr Tisch	146
6	Plakative Darstellung der einzelnen Versuchsreihen	151
7	Untersuchung der Vergleichbarkeit zwischen Bechermethode und Magnetrührmethode	159
8	Anwendung des GE-TI-ME-Prüfverfahrens	165
9	Vergleich der ermittelten Gelzeit mittels Großversuch auf der Baustelle	173
10	Empfehlung zum Prüfverfahren GE-TI-ME	177
11	Zusammenfassung und Ausblick	179
III.	Entwicklung eines Vorauserkundungssystems zur frühzeitigen Erkennung der Bodenverhältnisse im Lockergestein beim maschinellen Vortrieb	185
	<i>Gerhard Wehrmeyer, André Heim, Maximilian Merl</i>	
1	Hintergrund/Einführung	186
2	Ziele	188
3	Methodik	188
4	Ergebnisse	194

- 5 Weiterentwicklung 198
- 6 Fazit 200
- 7 Ausblick 200

Baustoffe und Bauteile

- I. Injektionsstoffe im Tunnelausbruchmaterial – Abfall oder Ersatzbaustoff? 203**
Götz Tintelnot, Michael Koch
 - 1 Einleitung 204
 - 2 Injektionsharze 204
 - 3 Umweltrelevanz 207
 - 4 Abfall 209
 - 5 Umwelt- und abfalltechnische Einordnung 210
 - 6 Ausblick 214

Forschung und Entwicklung

- I. Minimalinvasive Fugensanierung – Laboruntersuchungen und Berichte aus der Praxis 217**
Dietmar Mähner, Felix Basler, Hendrik Schälicke
 - 1 Einleitung 217
 - 2 Anwendung bei Bewegungsfugen von WU-Betonkonstruktionen 221
 - 3 Anwendung bei Tübbingfugen 226
 - 4 Erfahrungen mit der minimalinvasiven Fugensanierung aus der Baupraxis 230
 - 5 Fazit 235
- II. Wirkungsweise von polymerbasierten Stützflüssigkeiten im Tunnelbau 238**
Rowena Verst, Matthias Pulsfort
 - 1 Einleitung 239
 - 2 Polymere 242

- 3 „Bulk-Rheologie“ von Polymerlösungen 246
- 4 Standsicherheit der flüssigkeitsgestützten Erdwand 247
- 5 Klassifizierung von Bentonitsuspensionen im Hinblick auf die Standsicherheit 252
- 6 Klassifizierung von Polymerlösungen im Hinblick auf die Standsicherheit 253
- 7 Schlussfolgerungen für die Standsicherheit polymerflüssigkeitsgestützter Erdwände im Tunnelbau 261

Instandsetzung und Nachrüstung

- I. **Der Altstadtringtunnel – Umbau, Instandsetzung und technische Nachrüstung** 267
Nina Lindinger, Markus Heino, Wadim Strangfeld, Michael Stopka, Robert Bauer
 - 1 Der Altstadtringtunnel 267
 - 2 Die sicherheits- und betriebstechnische Nachrüstung 273
 - 3 Bauliche Sanierung/Ertüchtigung des Altstadtringtunnels 275
 - 4 Fazit 283

Praxisbeispiele

- I. **380-kV-Kabel diagonale Berlin: Umsetzung der Energiewende durch Tunnelbau** 287
Matthias Breidenstein, Marco Bräuning
 - 1 Projekteinordnung 288
 - 2 Das Projekt 290
 - 3 Geologie 292
 - 4 Schachtbauwerke 293
 - 5 Bautenstand 295
 - 6 Ausblick 299

II. Tunnelplanung der 2. S-Bahn-Stammstrecke in über 40 Metern Tiefe unter historischen und sensiblen Bestandsgebäuden der Münchner Innenstadt	300
<i>Kai Kruschinski-Wüst, Wolfgang Rieken, Maximilian Weiß, Philipp Lange</i>	
1 Die zweite S-Bahn-Stammstrecke in München	302
2 Vortriebsarbeiten für die Bahnsteigröhren am Haltepunkt Marienhof	317
3 Zusammenfassung	330
Tunnelbaubedarf	333
Inserentenverzeichnis	343

Baugruben und Tunnelbau in offener Bauweise

I. Flughafentunnel – Hohlraumbau in vorbelasteten Tonsteinen des Lias α

Martin Wittke, Patricia Wittke-Gattermann, Meinolf Tegelkamp,
Robert Berghorn, Axel Hillebrenner

Zur Anbindung des Flughafens Stuttgart an die Neubaustrecke Stuttgart – Ulm wird der 2,2 km lange Flughafentunnel mit der Station NBS in Spritzbetonbauweise gebaut. Dabei werden u. a. die Autobahn A8, zwei Hallen der Messe Stuttgart, das Kongresszentrum ICS, der Flughafenentlastungstunnel sowie zwei Hotels und drei Parkhäuser unterfahren. Die beiden Zugänge zur Station werden über Schachtbauwerke realisiert. Im Bereich des Zentralen Zugangs werden außerdem in sehr geringem Abstand zum zentralen runden Zugangsschacht zwei große Technikgebäude als Schachtbauwerke hergestellt. Die Tunnel und Schächte liegen in den gesteinsfesten Schichten (Fels) des unteren Schwarzen Jura (Lias α). In den Tonsteinen dieser Formation sind horizontale Primärspannungen vorhanden, die größer sind, als es sich nach der üblichen Betrachtungsweise aus dem Gewicht der heutigen Überlagerung und der Berücksichtigung des Seitendruckbeiwertes der Tonsteine ergibt.

Diese und die Schichtung und Klüftung sind für die Standsicherheit und die Verformungsprognose wesentlich. Die Nachweise und Prognosen werden nach der AJRM-Methode mithilfe von räumlichen FE-Berechnungen ausgeführt. Besondere Herausforderungen an die Berechnungen und die darauf basierende Ausführungsplanung stellt der Bereich der Zentralen Zugangsanlage dar. Die geometrischen Verhältnisse und die vorliegenden geotechnischen Randbedingungen mit den zusätzlichen Horizontalspannungen in den Tonsteinen erfordern einen besonderen Bauablauf, um unzulässig große Verschiebungen im Umfeld der Zugangsanlage zu vermeiden und um die Standsicherheit in jeder Bauphase zu gewährleisten.

Mit Stand Mai 2021 wurden bereits große Abschnitte der bergmännischen Tunnelröhren der westlichen Zulaufstrecke zur Station erfolgreich aufgefahren. Die angetroffenen geotechnischen Verhältnisse und die gemessenen vortriebsbedingten Verformungen bestätigen in vollem Umfang die Prognosen und die Ansätze zu den charakteristischen Kennwerten und Primärspannungszuständen. Auch die Arbeiten im Bereich der Station laufen planmäßig und ohne Überraschungen. Die Baumaßnahme wird durch ein umfangreiches Monitoring mit Messungen über- und untertage sowie an benachbarten Gebäuden, Anlagen und Verkehrswegen begleitet. Ein wesentliches Instrument stellt dabei die Aufbereitung und Veranschaulichung der sehr umfangreichen Bau- und Messdaten mithilfe des von WBI entwickelten BIM-Systems (WBIM) dar.

Airport tunnel – Cavity construction in pre-loaded claystone of Lias α

In order to connect the airport Stuttgart to the new highspeed railway line from Stuttgart to Ulm, the 2.2 km long airport tunnel including the underground station are being constructed by means of the CTM-method. The tunnels undercross the highway A8, the fair and congress center of Stuttgart as well as several hotels and parking garages. The two access points to the underground station will be realized by deep shafts. Adjacent to the central access shaft in addition two technical buildings are being constructed inside two additional shafts. The tunnels and shafts are mostly located in rocks of the Black Jurrassic. The claystones of this formation contain increased horizontal in-situ stresses, which are considerably larger than resulting from the weight of the overburden.

The increased in-situ stresses as well as bedding and jointing of the rock are decisive for the stability analyses and the prediction of the displacements. The corresponding analyses are carried out following the AJRM method by means of 3D-FE-analyses. Special considerations have to be made for the very complex central access to the station and the adjacent technical buildings. The geometrical constraints and the rock mechanical conditions require a tailor-made sequence of construction in order to limit the displacements and achieve stability in each stage of construction.

Already, by the end of May 2021 larger parts of the CTM-tunnels had been excavated successfully. The geotechnical conditions and the results of monitoring are in good agreement with the predictions for characteristic parameters and horizontal in-situ stresses. Also the works at the underground station proceed well without surprises. Construction is accompanied by a vast monitoring program, consisting of displacement and stress monitoring underground, above

ground and at adjacent structures. An important element of this system is the adequate representation and evaluation of the results, which is being carried out by the BIM-system WBIM developed by WBI.

1 Einleitung

Im Rahmen des Infrastrukturprojekts Stuttgart 21 wird zur Anbindung des Flughafens Stuttgart an die Neubaustrecke (NBS) Stuttgart – Ulm im Planfeststellungsabschnitt (PFA) 1.3a der Flughafen-tunnel mit der Station NBS hergestellt (Bild 1). Die in Bild 1 ebenfalls dargestellte Flughafenkurve (PFA 1.3b) wird noch nicht erstellt.

Die beiden Gleise der NBS werden nördlich der Bundesautobahn (BAB) A8 aus der dort parallel zur Autobahn verlaufenden freien Bahnstrecke ausgefädelt und unterqueren dann in zwei eingleisigen bergmännischen Tunnelröhren zunächst die BAB und danach den Bereich der Messe Stuttgart. Im mittleren Abschnitt der ca. 2,2 km langen Tunnelstrecke wird die etwas über 400 m lange Station NBS ebenfalls in bergmännischer Bauweise mit zwei nebeneinanderliegenden Bahnsteigröhren aufgefahren. Die Zugänge zur Station aus dem Bereich Messe/Flughafen werden über Schachtbauwerke realisiert. Nach Osten hin schließen sich an die Station wieder zwei eingleisige bergmännische Tunnelröhren an. Für die östliche Unterquerung der Autobahn werden die Tunnelquerschnitte in zwei Bauphasen in offener Bauweise ausgeführt. Dazu wird die BAB A8 temporär nach Norden verschwenkt und anschließend in ihre alte Lage zurückverlegt.

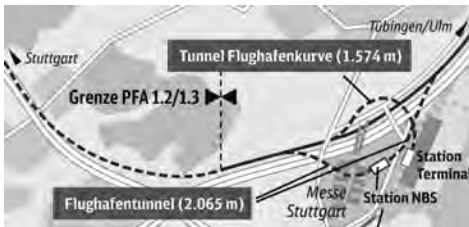


Bild 1. Übersicht Flughafen-anbindung im PFA 1.3 [1]

Maschineller Tunnelbau

I. **Erfahrungsstand zur Ringspaltverfüllung bei einschaligen Tunneln mit Schwerpunkt deutsche Eisenbahntunnel**

**Paul Gehwolf, Christoph Schulte-Schrepping, Gereon Behnen,
Carles Camós-Andreu, Anna-Lena Hammer, Djalili Zougou,
Rolf Breitenbücher, Oliver Fischer, Markus Thewes**

Bei maschinell aufgefahrenen Tunneln mit Tübbingausbau werden mannigfaltige und oft stark variierende Anforderungen an die Ringspaltverfüllung gestellt. Aufgrund des Fortschritts bei der Weiterentwicklung der dahinterstehenden Technologie in Kombination mit dem weiten Spektrum an Projektrandbedingungen treten in diesem Zusammenhang vermehrt Herausforderungen in der Projektabwicklung auf. Hinzu kommt, dass allgemein gültige Regelungen rar sind, wichtige Details nicht vollumfänglich betrachtet werden sowie regionale Besonderheiten – bspw. Geologie und Baumethode – diese stark prägen. Dementsprechend können Spezifikationen eines Projekts nicht ohne Weiteres auf andere Projekte mit abweichenden Randbedingungen übertragen werden.

In dieser Veröffentlichung wird eine Analyse des aktuellen Erfahrungsstands zur Ringspaltverfüllung beim Tübbingausbau mit dem Schwerpunkt auf deutsche Eisenbahntunnel dargelegt. Hierzu werden zum einen Grundsätze und Anforderungen an die Ringspaltverfüllung sowie das verwendete Material abgeleitet, zum anderen werden mögliche Methoden zu materialtechnologischen Prüfungen und Kontrollen aufgezeigt. Zusätzlich werden in den letzten Jahren ausgeführte Projekte und deren Vergleichbarkeit betrachtet. Basierend auf diesen Erkenntnissen findet eine Diskussion zu aktuellen Herausforderungen und notwendigen Weiterentwicklungen statt.

**State of experience with annular gap backfilling in single-lined tunnels
with focus on German railway tunnels**

The backfill grouting for mechanized driven tunnels with segmental lining must meet numerous and high requirements. Challenges in the project execution are

currently given due to rapid technological developments combined with a wide range of boundary conditions among tunnel projects. Furthermore, there is a lack of guidelines and standards regarding this field. Additionally, relevant aspects are on the one side usually not sufficiently taken into account in these guidelines and standards, on the other side these are strongly influenced by regional particularities – especially geological conditions and construction method. A know-how transfer among projects is therefore only partially possible.

This publication analyses the current state of the art, focusing on experiences in German railway tunnels. Firstly, principles and requirements concerning the backfill grouting as well as the used grouting materials are exposed. Details regarding the process fundamentals, control and testing methods are listed. Further, the authors take a look on already completed projects and their comparability. On this basis a discussion about future challenges and necessary enhancements takes place.

1 Einleitung

Bei Tunneln, die mit einer geschildeten Tunnelbohrmaschine (TBM) aufgefahen werden, kommen in der Regel Stahlbetontübbinge als Sicherung und endgültiger Ausbau zum Einsatz. Da der Tübbingausbau als Gelenkkette fungiert, ist ein spezieller Fokus auf die Bettung der Tübbingröhre zu legen, und somit wird bei den meisten Tübbingsystemen der verfahrenstechnisch bedingte Ringspalt zwischen dem Ausbruchrand und dem Tübbingausbau mit sogenanntem Ringspaltverfüllmaterial (RSVM) verfüllt (Bild 1).

Die RSVM werden abhängig von den projektspezifischen Randbedingungen gewählt, zu denen die Baugrundbedingungen, bauverfahrenstechnische Spezifika, der Ausbau und die spätere Nutzung des Tunnels gehören. Ebenso gibt es eine große Bandbreite an RSVM, z. B. Ein- und Zweikomponenten-RSVM, Zweikomponenten-Mischsysteme sowie (ggf. nachverpresster) Perlkies. Entsprechend vielfältig sind die projektspezifischen Vorgaben. Ein direkter Vergleich der bisher eingesetzten Systeme ist daher nur eingeschränkt möglich. Zudem sind allgemein gültige Regelungen zur Ringspaltverfüllung rar bzw. werden viele Punkte nicht im Detail behandelt. Die vorhandenen Regelungen werden analog der Ringspaltverfüllung oft durch regionale

II. GE-TI-ME – das neue Prüfverfahren zur Gelzeit-Bestimmung für den Zwei-Komponenten-Mörtel

Maik Weber

Dieser Beitrag stellt ein Prüf- und Auswertungsverfahren vor, das durch einfaches Handling und hohe Genauigkeit die sogenannte Gelzeit von Zwei-Komponenten-Mörteln bestimmt. Für die Bestimmung der Gelzeit, zur Feststellung der eintretenden Gelierung nach Zugabe des Aktivators eines Zwei-Komponenten-Mörtels, fehlt es bislang an einem einfachen und zugleich einheitlichen Nachweisverfahren. Die bekannteste Vorgehensweise durch händisches Vermischen mit zwei Bechern (Komponente A und B) ist nicht zeitgemäß und der Einflussfaktor Mensch ist als hoch einzustufen. Mit dem Prüfverfahren GE-TI-ME (Gel-Time-Measurement) wird eine effiziente und einfache Vorgehensweise zur Ermittlung der Gelzeit (Phasenwechsel von flüssig zu weich/steif) aufgezeigt. Mit handelsüblichen Geräten lässt sich eine 3-Punkt-Messung ohne großen Zeitaufwand durchführen und liefert als Ergebnis die Gelzeit in Abhängigkeit der Aktivatormenge mit einer Präzision von über 95 %. Mit der Bestimmung der Gelzeit mittels GE-TI-ME können Stoffabhängigkeiten erkannt und bewertet werden. Die Reproduzierbarkeit auf der Baustelle konnte bestätigt werden. Daher empfiehlt es sich, dieses Prüfverfahren auch zur Eigenüberwachung auf der Baustelle zu verwenden. Es ist damit ein Werkzeug zum Messen, Optimieren, Forschen und Überwachen bei der Herstellung von Zwei-Komponenten-Mörteln.

GE-TI-ME the new method to determine the geltime of the two component grout

The article presents a test and evaluation method that determines the so-called gel time by simple handling and high accuracy. For a long time, there has been a lack of a simple and at the same time uniform detection method for determining the gel time up to the point of gelation of a two-component grout (2CG). The best-known procedure by pouring e. g. two cups (component A and B) back and forth is not up to date and the human influence factor is to be classified as high. The GE-TI-ME (Gel-Time-Measurement) test method demonstrates an efficient and simple procedure for determining the gel time (state form from liquid to soft/stiff). With commercially available devices, a 3-point measurement can be carried out without much time expenditure and provides the gel time as a result,

taking into account the activator quantity, with a precision of over 95 %. With the determination of the gel time by means of GE-TI-ME, material dependencies can be recognised and evaluated. The reproducibility on the construction site could be confirmed. Therefore, it is recommended to use this test method also for self-monitoring on the construction site. It is thus a tool for measuring, optimising, researching and monitoring of two component grouts.

1 Einleitung

Im Jahr 1976 wurde in Japan das Zwei-Komponenten-System als sogenanntes TAC-Verfahren entwickelt [1]. In Europa wurde 1998 ein Joint Venture E-TAC gegründet, welches 1999 das TAC-Verfahren beim Projekt Botlekspoor-Tunnel, an dem auch Wayss & Freytag Ingenieurbau AG als Joint-Venture-Partner vertreten war, auf ca. 255 m als Testbereich anwendete [2]. Unabhängig von ersten Berührungspunkten bei dem Projekt Botlekspoor-Tunnel war das damalige Interesse an Zwei-Komponenten-Mörtel in Deutschland eher von geringer bzw. gar keiner Bedeutung. Darüber hinaus war der Zwei-Komponenten-Ringspaltmörtel in Deutschland nicht zugelassen und somit bestanden auch keine Erfahrungen. Bereits im Jahr 2002 gab es für die w&f Baustofftechnologie erste Berührungspunkte beim Projekt CTRL 250 mit Zwei-Komponenten-Mörtel [3]. Im Jahr 2012 erfolgte auf Grundlage der zahlreichen Erfahrungen mit Ein-Komponenten-Ringspaltmörteln (1KM) eine weitere Anfrage eines Joint Ventures, an dem auch Wayss & Freytag Ingenieurbau AG beteiligt war. Dies war der Beginn für die eigene markunabhängige Entwicklung von Zwei-Komponenten-Mörteln bei Wayss & Freytag Ingenieurbau AG. Eine Literaturrecherche ergab zu diesem Zeitpunkt, dass solche Zwei-Komponenten-Mörtel-Rezepturen von anderen Baustellen entweder adaptiert oder z. B. durch Zusatzmittelhersteller vorgegeben wurden. Anhand der eigenen langjährigen Erfahrungen mittels konventioneller 1K-Ringspaltmörtelentwicklung und der Entwicklung von Bentonitsuspensionen war eine solche Vorgehensweise denkbar.

Ein Zwei-Komponenten-Mörtel besteht üblicherweise aus einer Komponente A und einer Komponente B. Die Entwicklung der so-

III. Entwicklung eines Vorauserkundungssystems zur frühzeitigen Erkennung der Bodenverhältnisse im Lockergestein beim maschinellen Vortrieb

Gerhard Wehrmeyer, André Heim, Maximilian Merl

Um die Bodenverhältnisse während eines Tunnelvortriebs mit einer Tunnelbohrmaschine (TBM) zu beobachten und beurteilen zu können, sind Systeme erforderlich, die sich möglichst nahtlos in den Vortriebsprozess einfügen und deren Ergebnisse gut interpretierbar sind. Bauausführenden Unternehmen und Projektpartnern stehen heute für alle Maschinentypen Möglichkeiten der Vorauserkundung zur Verfügung. Für Hartgesteinsmaschinen, Einfach- und Doppelschildesowie Gripper-TBM bietet Herrenknecht das Integrated Seismic Prediction (ISP-) System an. Das Sonic Softground Probing EPB (SSP-E), zunächst für den Einsatz auf Erddruckschilden (Earth Pressure Balance, EPB) konzipiert, wurde inzwischen für Vortriebe mit Mixschilden oder Multi-Mode-TBMs weiterentwickelt. Im Vergleich zu dem bereits seit vielen Jahren bekannten seismischen Herrenknecht-Vorauserkundungssystem SSP speziell für Mixschilden sind beim SSP-E keine Komponenten innerhalb des Schneidrads notwendig. Mit SSP-E ist die Baustellencrew in der Lage, für den TBM-Vortrieb relevante Hindernisse oder geologische Wechselzonen frühzeitig zu detektieren. Das System ermöglicht den Verantwortlichen vor Ort ein vorausschauendes Handeln und die Optimierung des TBM-Vortriebs. Das System nutzt die Methode der Reflexionsseismik. Mit speziell konfigurierten Systemkomponenten und einem hohen Automatisierungsgrad wird die Vorauserkundung einfach in die üblichen Arbeitsabläufe auf der TBM integriert. SSP-E detektiert Unterschiede in der seismischen Impedanz des Baugrunds vor der TBM, die durch signifikante und abrupte Änderungen der geologischen Situation sowie durch künstliche Hindernisse wie Bohrpfahl- oder Spundwände verursacht werden. Im folgenden Beitrag werden Ergebnisse des Einsatzes der Prototypen sowie des zwischenzeitlich zur Marktreife entwickelten Systems vorgestellt. Außerdem werden Adaptionen für den Einsatz auf Mixschilden und Multi-Mode-TBMs wie beispielsweise einer Variable Density TBM aufgezeigt. Die Kombination der SSP-E-Ergebnisse mit zusätzlich verfügbaren Daten beispielsweise aus Schneidrollen-Überwachungssystemen bietet dem TBM-Fahrer eine noch bessere Handlungsgrundlage. Zusammengeführt kön-

nen die aus verschiedenen Quellen stammenden Informationen als eine Art Ortsbrust-Monitoring fungieren.

Development of an advance exploration system for the early detection of soil conditions in unconsolidated rock during mechanized tunnelling

To be able to observe and assess the ground conditions during tunnelling with a tunnel boring machine (TBM), systems are required that fit as seamlessly as possible into the boring process and whose results can be easily interpreted. Today, construction companies and project partners have access to advance exploration options for all machine types. For hard rock machines, such as Single and Double Shield TBM as well as Gripper TBM, Herrenknecht offers the Integrated Seismic Prediction (ISP). The Sonic Softground Probing EPB (SSP-E), initially designed for use on EPB Shields, has since been further developed for tunnel drives done with Mixshields or Multi-mode TBMs. Compared to the seismic Herrenknecht prediction system SSP specifically for Mixshields, which has been known for many years, SSP-E does not require any component installed inside the cutting wheel. With SSP-E, the construction site crew is able to detect obstacles or changing geological zones relevant to TBM tunnelling at an early stage. The system enables those responsible on site to act with foresight and optimize TBM tunnelling. The system uses the method of reflection seismics. With specially configured system components and a high degree of automation, advance exploration is easily integrated into the usual workflow on the TBM. SSP-E detects differences in the seismic impedance of the ground in front of the TBM caused by significant and abrupt changes in the geological situation as well as by artificial obstacles such as bored pile or sheet pile walls. In this paper, results from the operation of the prototypes as well as from the system meanwhile developed to market maturity are presented. In addition, adaptations for use of SSP-E on Mixshields and Multi-mode TBMs such as Variable Density TBM are shown. Combining the SSP-E results with additionally available data, for example from disc cutter monitoring systems, provides the TBM operator with an even better basis for action. Merged, the information coming from different sources can act as a kind of tunnel face mapping.

1 Hintergrund/Einführung

Der moderne maschinelle Tunnelbau ermöglicht es, Tunneltrassen exakt dort zu realisieren, wo sie benötigt werden. Denn in den letzten Jahrzehnten wurden im Hinblick auf das Spektrum an Projektpara-

Baustoffe und Bauteile

I. Injektionsstoffe im Tunnelausbruchmaterial – Abfall oder Ersatzbaustoff?

Götz Tintelnot, Michael Koch

Der Beitrag untersucht die Möglichkeit, Ausbruchmaterial mit systembedingten Beimischungen als Ersatzbaustoff, unter Berücksichtigung der aktuellen Regelwerke und Vorschriften im Bereich der Deponierung bzw. Entsorgung, zu verwenden. Neben den konventionellen Injektionen mit bentonit- und zementhaltigen Suspensionen, die immer längere Abbindezeiten benötigen und bei der Entsorgung mit Sulfatwerten im Eluat einstufigsrelevant sind, bieten sich schnell abbindende Mehrkomponentenharze zum Verfüllen oder Verfestigen an, z. B. schnell reagierende, hoch aufschäumende Silikatharze, Polyurethanharze zum Stoppen von Wassereinbrüchen oder gummi-elastische Dreikomponenten-Acrylatgele. In der Diskussion stehen jedoch derzeit die mit Schäumen oder Harzen beaufschlagten Tunnelausbruchmassen, die nach Systals „systembedingte Beimengungen“ als besondere Leistungen zu vergüten sind. Dieser Beitrag behandelt die Frage, wie man bodenschutzrechtlich und abfallrechtlich mit dem mit organischer Substanz behafteten Ausbruch umgeht. Auf Basis von Ergebnissen von Laboruntersuchungen stellt sich die Frage, ob Tunnelausbruch mit wenigen Prozenten organischen, systembedingten Beimengungen, nicht einen hervorragenden Ersatzbaustoff im Sinne der im Entwurf vorliegenden Ersatzbaustoffverordnung hergeben.

Injection materials in tunnel excavation material – Waste or substitute construction material?

This paper examines the possibility of using excavated material with system-related admixtures as a substitute construction material, considering the current rules and regulations in the field of landfilling or disposal. In addition to conventional injections with bentonite- and cement-containing suspensions, which always require longer setting times and are relevant for classification during disposal with sulfate values in the eluate, fast-setting multicomponent resins are suitable for filling or consolidation, e.g. fast-reacting, high-foaming silicate

resins, polyurethane resins for stopping water ingress, or rubber-elastic, versatile 3-component acrylate gels. However, the discussion is currently focusing on tunnelling compounds to which foams or resins have been added and which, according to Systal's "system-related admixtures", are to be remunerated as special services. This paper deals with the question how to deal with the excavated material contaminated with organic matter under soil protection law and waste law. On the basis of the results of laboratory tests, the question arises as to whether tunnel excavation with a few percent of organic, system-related admixtures would not make an excellent substitute building material in the sense of the draft substitute building materials ordinance.

1 Einleitung

Der Vortrieb eines Tunnels erfolgt naturgemäß durch unterschiedliche Boden- und Gesteinsformationen, die bisweilen vorausseilende Abdichtung, Verfestigung oder Verfüllung des Bodens erfordern. Beim anschließenden Tunnelvortrieb fällt dann Ausbruchmaterial an, das mit den zuvor eingesetzten Stoffen verunreinigt sein kann („systembedingte Beimengungen“ nach VOB 2016 Teil C DIN 18312). Systembedingte Beimengungen können neben Spritzbeton, Injektionsbeton (erhöhte Werte von Sulfat, pH-Wert und Leitfähigkeit, z. T. auch Chromat aus dem Zement) oder Mineralölkohlenwasserstoffe durch eingesetzte Baugeräte auch ausreagierte Injektionsharze oder -gele sein.

Da Tunnelausbruchmaterial in der Regel immer mit systembedingten Beimengungen beaufschlagt ist, stellt sich regelmäßig die Frage der abfallrechtlichen Einstufung des Materials zur Entsorgung, insbesondere der Verwertung.

2 Injektionsharze

Kunsthharze kommen heute in den unterschiedlichsten Bauvorhaben zum Einsatz, so auch in der Geoinjektion. Harze erweitern die Injektionsmöglichkeiten und bieten sich an für Lösungsansätze zum Verfestigen und Abdichten, die mit herkömmlichen Injektionsstoffen nicht denkbar wären. Injektionsharze sind synthetische Flüssigstoffe, die in der Regel aus mehreren Komponenten bestehen und durch

Forschung und Entwicklung

I. Minimalinvasive Fugensanierung – Laboruntersuchungen und Berichte aus der Praxis

Dietmar Mähner, Felix Basler, Hendrik Schällicke

Der Beitrag handelt von der minimalinvasiven Fugensanierung, einer neuen Sanierungsmethode für undichte Fugen bei WU-Betonkonstruktionen und Tübbingtunneln. Dabei wird ein neu entwickeltes Sanierungswerkzeug („Fugeninjektionsnadel“) durch die Fugenabdichtung gebohrt, über das im Anschluss eine Dichtmittelinjektion erfolgen kann. In diesem Beitrag sollen ein Überblick über die durchgeführten Versuche im Labor der FH Münster gegeben sowie Anwendungsbeispiele bei der Abdichtung von Tübbingtunneln und Tunnelbauwerken in WU-Betonbauweise aufgezeigt werden.

Minimal invasive joint restoration Laboratory tests and field reports

The article deals with minimally invasive joint renovation, a new renovation method for leaking joints in waterproof concrete structures and tubbing tunnels. A newly developed renovation tool ("joint injection needle") is drilled through the joint sealing, through which a sealant injection can subsequently be applied. In this paper, an overview of the tests carried out in the laboratory of the Münster University of Applied Sciences as well as the first practical applications on different construction sites with segmental lining systems as well as in waterproof concrete construction is given. The focus is on the application of the rehabilitation method for tunnel construction.

1 Einleitung

Bei durch Wasserdruck belasteten WU-Betonkonstruktionen können Bauwerksfugen aufgrund von Undichtigkeiten ein Problem darstellen. Neben Konstruktionen wie Tiefgaragen und Grundwasserwannen sind auch Tunnel in offener und bergmännischer Bauweise sowie

II. Wirkungsweise von polymerbasierten Stützflüssigkeiten im Tunnelbau

Rowena Verst, Matthias Pulsfort

Polymerlösungen werden weltweit auch im Tunnelbau zunehmend zur Flüssigkeitsstützung der Ortsbrust bzw. des Ringraums angewendet. Zur Differenzierung ihrer Wirkungsweise für eine rechnerische Beurteilung der Standsicherheit der flüssigkeitsgestützten Erdwand besteht allerdings noch Forschungsbedarf. Der folgende Beitrag gibt einen Überblick über die Ergebnisse umfangreicher Laborversuche zur Einordnung des Eindringverhaltens polymerbasierter Stützflüssigkeiten in Boden, die zeigen konnten, dass sich das Grundkonzept der inneren und äußeren Standsicherheit der mit Bentonitsuspensionen flüssigkeitsgestützten Erdwand (DIN 4126:2013) auf Polymerlösungen übertragen lässt. Jedoch müssen bei der Einordnung in den maßgebenden Grenzfall der Stützdruckübertragung je nach Polymertyp eigene empiriebasierte Parameter verwendet werden, da sich die Interaktion von Polymerlösungen mit dem anstehenden Porenraum bzw. Korngerüst anders gestaltet als bei Bentonitsuspensionen. Der zeitliche Verlauf der Eindringung wird auch maßgeblich beeinflusst vom Vorhandensein granularer Schwebstoffe, die die Erdwand kolmatieren und so eine Stagnation der Eindringung mit voller Mobilisierung einer Membranwirkung erzeugen können.

Stabilisation mechanisms of polymer support fluids for tunnelling applications

Polymer solutions are used increasingly around the world as support fluid, not only in tunnelling applications. Stability considerations of polymer-fluid-supported earth walls taking into account a realistic distinction of stabilisation mechanisms are still the subject of research. The present contribution gives an overview on the results of extensive laboratory investigations with the aim to classify the penetration behaviour of polymer support fluids into soil. These results show that the basic concept for internal and external stability of a fluid-supported earth wall in application for bentonite suspensions (German Standard DIN 4126:2013) can be transferred to polymer solutions. However, empirical parameters need to be taken into account for categorization for an individual polymer type to adequately reflect the interaction between polymer solution and soil pore structure differing from bentonite suspensions. Moreover, the

time-dependent course of the penetration is influenced by the presence of suspended fines, which colmate at the earth wall and can lead to a stagnation with full mobilisation of membrane behaviour.

1 Einleitung

Außerhalb Deutschlands, in Asien, Amerika, aber auch im übrigen Europa werden immer häufiger Polymerlösungen als Stützflüssigkeiten zur temporären Stabilisierung von Erdwänden eingesetzt, vor allem im Spezialtiefbau (Schlitzwände, Bohrpfähle), aber auch im Tunnelbau (Ortsbrust, Ringspaltschmierung im Rohrvortrieb), häufig mit Erfolg [1–3] (Bild 1).



Bild 1. Flüssigkeitsstützung beim Tunnelbau und beim Rohrvortrieb [4]

Die Gründe für den Einsatz polymerbasierter Stützflüssigkeiten lassen sich zusammenfassen zu

- Wirtschaftlichkeit (Baubetrieb, Entsorgung, Vorkommen, Materialbedarf),
- Umweltverträglichkeit (Entsorgung, Grundwasserverunreinigung, Gewässerbelastung),
- Besondere chemische Randbedingungen (Verklebungen, Quellen, salzhaltige Böden/Wässer).

Während auf internationaler Bühne im Hinblick auf Umweltverträglichkeit bei Polymerlösungen teilweise sogar Vorteile gegenüber Bentonitsuspensionen gesehen werden [1], bestehen in Deutschland

Instandsetzung und Nachrüstung

I. Der Altstadtringtunnel – Umbau, Instandsetzung und technische Nachrüstung

Nina Lindinger, Markus Heinol, Wadim Strangfeld, Michael Stopka, Robert Bauer

Der Beitrag beschreibt die Instandsetzung sowie die sicherheits- und betriebs-technische Nachrüstung gemäß den aktuellen „Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln“ unter laufendem Verkehr und erläutert die Notwendigkeit und die Umsetzung der statischen Ertüchtigung der Tunneldecke unter dem Prinz-Carl-Palais.

The Altstadtringtunnel – Reconstruction, refurbishment and technical improvements

The article describes the maintenance and safety and operational retrofitting in accordance with the current “Guidelines for the equipment and operation of road tunnels” under running traffic and explains the necessity and the implementation of the static retrofitting of the tunnel ceiling under the Prinz-Carl-Palais.

1 Der Altstadtringtunnel

1.1 Situation

Der Münchner Altstadtring gilt als die wichtigste Verkehrsader in der Münchner Innenstadt. Der Altstadtring verläuft weitestgehend entlang der damaligen äußeren Wehr- und Befestigungsanlagen und stellt somit historisch gesehen die einstige Stadtgrenze Münchens dar. Wesentlicher Teil dieses innerstädtischen Verkehrsrings ist der Altstadtringtunnel, an der Grenze zwischen den Stadtteilen Maxvorstadt und Altstadt/Lehel gelegen. In äußerst prominenter Lage befinden sich in unmittelbarer Nachbarschaft die bayerische Staatskanzlei, das

Praxisbeispiele

I. 380-kV-Kabeldiagonale Berlin: Umsetzung der Energiewende durch Tunnelbau

Matthias Breidenstein, Marco Bräuning

Im Rahmen der Netzverstärkung realisiert die 50Hertz Transmission GmbH eine unterirdische 380-kV-Tunneltrasse im Berliner Westen. Der 6,7 km lange, begehbare Kabeltunnel mit einem Innendurchmesser von 3 m verläuft vom Startschacht Rudolf-Wissell-Brücke über das Umspannwerk Charlottenburg bis zum Zielschacht im Umspannwerk Mitte. Der Beitrag beschreibt die Tunnelanlage einschließlich der zugehörigen Schachtbauwerke. Die sehr intensive Nutzung der Geländeoberfläche sowie die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse ergeben, dass der Einsatz einer Tunnelbohrmaschine mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust auch für eine solche Stromtrasse die technisch-wirtschaftlichste Lösung während der Bauausführung und für die Versorgungssicherheit der Zukunft ist.

380-kV Berlin diagonal power link: Implementation of the energy transition through tunnel construction

As part of the grid development, 50Hertz Transmission GmbH is realising an underground 380 kV power link in the west of Berlin. The 6.7 km long cable tunnel is accessible with an internal diameter of 3 m and runs from the starting shaft Rudolf-Wissell-Brücke via the substation Charlottenburg to the target shaft in the substation Mitte. This article describes the tunnel system including the associated shaft structures. The very intensive use of the surface as well as the geological and hydrogeological conditions show that the use of a tunnel boring machine with slurry supported face is also the most technically-economical solution for such a power line during construction and for the security of supply in the future.

II. Tunnelplanung der 2. S-Bahn-Stammstrecke in über 40 Metern Tiefe unter historischen und sensiblen Bestandsgebäuden der Münchner Innenstadt

Kai Kruschinski-Wüst, Wolfgang Rieken, Maximilian Weiß, Philipp Lange

Zur Entlastung der bestehenden S-Bahn-Stammstrecke in München wird auf einer Länge von 10 km zwischen den Haltepunkten Leuchtenbergring im Osten und Laim im Westen von München eine zweite Stammstrecke mit ca. 7 km Tunnelstrecke und drei neuen unterirdischen Haltepunkten gebaut. Die beiden eingleisigen Tunnelröhren werden mit Tunnelvortriebsmaschinen (Schild-TBM mit aktiver Ortsbruststützung) aufgeföhren. Zwischen den Tunnelröhren verläuft parallel ein ebenfalls mit einer TBM aufgeföhrener Erkundungs- und Rettungsstollen, der über Verbindungsbauwerke im Abstand von weniger als 400 m mit den Tunnelröhren verbunden ist. Der Erkundungs- und Rettungsstollen kann außer über die Haltepunkte noch über fünf Ausstiegsbauwerke (Rettungsschächte) entlang der Strecke zur Oberfläche hin verlassen werden. Bei der Planung der Tunnelgradienten waren zahlreiche Zwangspunkte zu berücksichtigen. Diese bestanden unter anderem aus zahlreichen Versorgungsleitungen für Fernwärme und -kälte, Strom sowie der Kanalisation. Zudem muss die Strecke die bestehenden U-Bahnlinien U1/U2 am Haltepunkt Hauptbahnhof, die Linien U4/U5 am Karlsplatz und die Linien U3/U6 am Haltepunkt Marienhof queren. Dies bedeutet für den Bau der 2. S-Bahn-Stammstrecke, dass die Tunnel in sicherem Abstand zu den vorhandenen Röhren eine Ebene tiefer geführt werden müssen, zum Teil in einer Tiefe von ca 35–40 m. Im Beitrag wird ein Überblick über die aktuelle Tunnelplanung des Projektes gegeben. Besonders berücksichtigt werden die Fragestellungen, die sich am Haltepunkt Marienhof beim Auföhren der Bahnsteigröhren unter sensiblen oder historischen Gebäuden ergeben.

Tunnel design of the second core S-Bahn route in a depth of more than 40 m underneath historical and sensitive existing buildings in the centre of Munich

To relieve the existing core line of the Munich S-Bahn system a second core line will be built between the stations of Laim in the West of the city and Leuchtenbergring in the East, covering a total of about 10 km. Part of it is a 7 km tunnel

with three new underground stations. Two single-track tunnels will be driven by tunnel boring machines (TBM) with active tunnel face support. A parallel Exploration and Rescue Tunnel (ERT) runs between the railway tunnels and is also driven by tunnel boring machines. There will be connective structures between the ERT and the railway tunnels with a distance of less than 400 m. Exits of the ERT will be situated in the underground stations and in five rescue shafts along the line. While planning the tunnel gradient, numerous constraint points have to be considered. These consist of numerous supply pipes for district heating and cooling, electricity and the sewerage system. In addition, the new track must cross the existing underground lines U1/U2 at the station Hauptbahnhof, U4/U5 at Karlsplatz and U3/U6 at the station Marienhof. For the construction of the second core S-Bahn route this means, the tunnels must be led a level lower, in safe distance from the existing tunnels, in some cases even to a depth of around 35–40 m. This article provides an overview of the current project phase, the planning of the tunnels. Extra consideration must be given to the fact that the new platforms of the station Marienhof are constructed underneath sensitive or historical buildings.

1 Die zweite S-Bahn-Stammstrecke in München

1.1 Überblick

Die S-Bahn München befördert täglich bis zu 840.000 Fahrgäste. Durch den Zuwachs der Bevölkerung in München gerät die im Jahr 1972 zu den Olympischen Spielen eröffnete, für 250.000 Fahrgäste am Tag ausgelegte Stammstrecke an ihre Kapazitätsgrenzen, insbesondere, weil auf dieser Strecke alle S-Bahnen in einem Tunnel die Münchner Innenstadt unterqueren müssen. Um dieses Nadelöhr zu beseitigen, wird auf rund 10 km Länge zwischen den Bahnhöfen Laim im Westen und Leuchtenbergring im Osten eine neue Strecke als 2. Stammstrecke gebaut. Diese soll die bestehende Stammstrecke entlasten, im Störfall eine Ausweichmöglichkeit bieten und gleichzeitig die Einführung eines neuen Express-S-Bahnsystems ermöglichen.

Kernstück sind zwei 7 km lange Tunnel, die den Hauptbahnhof und den Ostbahnhof miteinander verbinden, sowie ein Erkundungs- und Rettungstollen. Die Strecke verläuft von Laim kommend westlich der