Tunnelbau 2027

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

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

Vorwort zum einundfünfzigsten Jahrgang

Der Tunnelbau entwickelt sich kontinuierlich weiter. Bauwerke sollen über Generationen hinweg Bestand haben und gleichzeitig den Ansprüchen an Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Resilienz gerecht werden. Dies hat Auswirkungen auf Planung, Bau und Betrieb der Tunnel: Bewährte Verfahren werden fortlaufend weiterentwickelt, innovative Materialien und digitale Methoden gewinnen zunehmend an Bedeutung.

Das Taschenbuch für den Tunnelbau greift auch in seinem 51. Jahrgang wieder aktuelle Entwicklungen unseres Fachgebiets auf. Die Beiträge behandeln Themen aus Forschung und Entwicklung, dem konventionellen und maschinellen Tunnelbau, der Digitalisierung, der Nachhaltigkeit, dem Bereich Baustoffe und Bauteile, dem Tunnelbetrieb und der Sicherheit sowie aus der Praxis. Vorgestellt werden neue Erkenntnisse und Entwicklungen ebenso wie Erfahrungen aus Planung, Ausführung und Betrieb anspruchsvoller Tunnel- und Infrastrukturprojekte.

Unser herzlicher Dank gilt allen Autorinnen und Autoren, die neben ihrer beruflichen Tätigkeit die Zeit und das Engagement aufgebracht haben, ihre Erfahrungen und Forschungsergebnisse in Form von Fachbeiträgen aufzubereiten und für diesen Jahrgang zur Verfügung zu stellen. Ebenso danken wir den Mitgliedern des Herausgeberbeirats, die Beiträge eingeworben, aus den eingereichten Manuskripten eine sorgfältige Auswahl getroffen und deren fachliche Begleitung bis zur Veröffentlichung übernommen haben. Ihr ehrenamtliches Engagement trägt wesentlich dazu bei, dass das Taschenbuch für den Tunnelbau auch im 51. Jahrgang ein aktuelles und qualitativ hochwertiges Kompendium unseres Fachgebiets bleibt.

Die Beiträge der vergangenen Jahrgänge stehen Ihnen weiterhin über die Datenbank des Verlags zur Verfügung. Über den folgend abgedruckten QR-Code bzw. die angegebene Internetadresse können frühere Veröffentlichungen gezielt recherchiert werden.

Wir wünschen Ihnen eine interessante Lektüre und hoffen, dass die Beiträge dieses Jahrbuchs wertvolle Anregungen für Ihre tägliche Arbeit und für die Weiterentwicklung des Tunnelbaus geben. Zugleich freuen wir uns auch künftig über Vorschläge für Beiträge aus Wissenschaft und Praxis, die dazu dienen, das Taschenbuch für den Tunnelbau aktuell und vielfältig zu gestalten.

Für die Herausgeber
Univ. Prof. Dr.-Ing. habil.
Christian Moormann

Für den Beirat
Bauass. Dr.-Ing.
Bettina Wittke-Schmitt

www.ernst-und-sohn.de/tbtb-iv

Nutzen Sie QR-Code oder Link, mit dem Sie direkten Zugriff auf eine durchsuchbare Übersicht der Inhaltsverzeichnisse des Taschenbuchs für den Tunnelbau der vergangenen 51 Jahre haben.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zum einundfünfzigsten Jahrgang ..... *V*
Autorenverzeichnis ..... *XVII*

Konventioneller bergmännischer Tunnelbau

I. Planmäßige Blockhinterlegung bei Verkehrstunneln in konventioneller Bauweise mit KDB-Abdichtungssystemen – Positionspapier des Arbeitskreises 5.5 „Geokunststoffe im Tunnelbau" der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT) *1*
Carles Camós-Andreu, Christian Rhein, Anna-Lena Hammer, Hannah Eder, Ingo Kaundinya

1 Einleitung *6*
2 Normativer Status quo zu KDB-Abdichtungen und Verpressmaßnahmen in Deutschland *12*
3 Zielsetzung einer planmäßigen Blockhinterlegung *14*
4 Erfahrungen mit planmäßigen Blockhinterlegungen in Deutschland *18*
5 Handlungsempfehlungen für die Praxis *30*
6 Zusammenfassung und Fazit *55*

Maschineller Tunnelbau

I. Ökologisch optimierter Stahlfaserbeton – aktueller Normungsstand und Anwendung am Beispiel des Tübbingdesigns für die U5 Ost Hamburg Los 2 ..... *65*
Christoph Niklasch, Christine Bertsch, Heiko Neher, Maik Weber, Dirk Sauer, Hannah Schönettin, Frank Plöger, Oliver Fischer, Gereon Behnen, Maximilian Kronau, Michael Haist, Tobias Schack

1 Einführung *66*
2 Stand der Normung *70*

3 Stahlfaserbetontübbing U5 Ost Hamburg Los 2 *80*
4 Betonentwicklung U5 Ost Hamburg Los 2 *95*
5 Versuche U5 Ost Hamburg Los 2 *103*
6 Tübbingplanung U5 Ost Hamburg Los 2 *109*
7 Fazit und Ausblick *123*

II. Analytische Berechnung des Stützdrucks beim maschinellen Tunnelvortrieb – Bewertung der Berechnungsmethode nach DIN 4085 ..... *127*
Lars Röchter, Eva Kruckenbaum, Markus Thewes, Britta Schößer

1 Einführung *128*
2 Theoretische Grundlagen *129*
3 Parametervariationen *137*
4 Ergebnisse *141*
5 Zusammenfassung *152*

III. Grubenwasserkanal Ibbenbüren – moderner Tunnelbau unter Bergrecht *157*
Ralf Wilhelm, Nick Biermann, Jörg Malkus

1 Tunnelbau unter Bergrecht – Grubenwasserkanal Ibbenbüren *158*
2 Besonderheiten des Bauens unter Bergrecht *162*
3 Einblicke in die Praxis – Bau des Grubenwasserkanals Ibbenbüren *167*
4 Tunnelvortrieb *175*
5 Perlkiesverblasung *178*
6 Tübbingausbau / Tübbingdesign *179*
7 Gerinneeinbau *180*
8 Kaverne / Demontagekammer *185*
9 Schacht 1 (1. Bauabschnitt – Ortbeton) *186*
10 Mittelschacht (1. Bauabschnitt – Baugrube) *187*
11 Mittelschacht (2. Bauabschnitt – Gleitbau) *188*
12 Diskrete Anschlüsse *189*
13 Ausblick 2026/2027 *191*
14 Fazit *192*

IV. Tunnel- und Leitungsbau: Technologien und Bauverfahren zur Umsetzung der Energiewende ... *194*
Andrea Fluck, Marcus Lübbers

1 Infrastrukturbedarf für die Energiewende *195*
2 Tunnel- und Mikrotunnelbau *197*
3 Horizontalbohrverfahren (HDD) *222*
4 Planungsaspekte im Netzausbau *227*
5 Fazit *237*

Digitalisierung und Monitoring

I. Langzeit-Structural-Health-Monitoring des Tunnelinnenausbaus ... *240*
Nicola Gottardi, David Marini, Romed Insam

1 Einleitung *242*
2 Monitoringverfahren *244*
3 Structural Health Monitoring durch eine Modell- und KI-unterstützte Auswertung von segmentierten Tunnelauskleidungen *272*

Baustoffe und Bauteile

I. Innovative Stähle im Straßentunnel – Forschung, Erprobung, Regelwerksumsetzung ... *282*
Andreas Burkert, Jens Lehmann Schlag, Uwe Köstermann, Christof Sistenich, Ingo Kaundinya

1 Ausgangslage *283*
2 Regelwerk für Ingenieurbauten der Bundesfernstraßen *284*
3 Untersuchungsgegenstand und Untersuchungsorte der Langzeitstudie *287*
4 Ergebnisse und erste Schlussfolgerungen *290*
5 Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis *298*
6 Fortschreibung der ZTV-ING Teil 7 Abschnitt 4 *299*
7 Ausblick *302*

Tunnelbetrieb und Sicherheit

I. Einfluss von Gruppeneffekten auf das Reaktions- und Fluchtverhalten in Straßentunneln – Ergebnisse von realitätsnahen Großgruppenversuchen ... ***305***
Frank Leismann, Christian Thienert, Markus Jenki, David Stuehler, Anne Lehan, Robert Wenighofer

1 Motivation und Zielsetzung ***306***
2 Versuchsumgebung ***306***
3 Szenario ***310***
4 Probandenversuche ***311***
5 Versuchsdurchführung ***312***
6 Soziologische Auswertung ***313***
7 Quantitative Versuchsergebnisse ***322***
6 Schlussfolgerungen und Ausblick ***327***

Forschung und Entwicklung

I. Untersuchungen zur Unterbindung der Längsläufigkeit an Schlauchleitungen in der Tunnelinnenschale ... ***329***
Dietmar Mähner, Elia Piemontese, Malte Bruns

1 Einleitung ***330***
2 Entwicklung einer neuen Abdichtungskomponente ***332***
3 Überprüfung der Funktionsfähigkeit – Versuchsaufbau ***334***
4 Versuchsablauf ***342***
5 Versuchsdurchführung ***344***
6 Fazit und Ausblick ***355***

II. Mehrfach verwendbare Injektionsstutzen für den Tunnelbau ... ***358***
Jacob Lengers, Dietmar Mähner, Felix Wenker

1 Einleitung ***359***
2 Versuchsstand ***361***
3 Mehrfachverwendbarer Injektionsstutzen ***375***
4 Zusammenfassung und Ergebnisse ***386***
5 Ausblick ***387***

III. DZSF-Forschungsvorhaben „Baulicher Brandschutz in Eisenbahntunneln" – Ergebnisse und Vorschläge zur Weiterentwicklung der Nachweisführung im Brandfall ***390***
Carsten Peter, Carles Camós-Andreu, Anna-Lena Hammer, Moritz Boxheimer, Paul Gehwolf, Peter Widera, Frank Dehn, Zaki Kebdani

1 Anlass und Inhalt ***392***
2 Brandeinwirkungen ***393***
3 Nachweisführung der Standsicherheit im Brandfall und Vorschläge zur Anpassung ***396***
4 Rechnerische Nachweisführung (ggf. mit experimenteller Kopplung) (Option 1) ***402***
5 Großbrandversuche (Option 2) ***413***
6 Weitere Details zur experimentellen Nachweisführung ***417***
7 Fazit und Zusammenfassung ***435***

Nachhaltigkeit

I. Verfahrenstechnik und Applikation von zementfreiem Spritzbeton für die Ertüchtigung von Verkehrstunneln – Erkenntnisse aus dem Verbundprojekt KOINOR-PRO ***443***
Matthias Rengshausen, Christian Thienert, Christoph Klaproth, Dirk Uhlmann, Lucas Krüger, Maximilian Lucht, Götz Vollmann, Helena Loga, Anna-Lena Hammer, Tobias Riemekasten, Harald Burgstaller

1 Einleitung ***446***
2 Grundlagen und Anforderungen ***448***
3 Forschungskonzept KOINOR-PRO ***455***
4 Rezeptur und Festigkeitsentwicklung ***458***
5 Verfahrenstechnik ***462***
6 Materialkennwerte ***467***
7 Brandverhalten ***477***
8 Nachhaltigkeitsbilanzierung ***481***
9 Zusammenfassung und Ausblick ***491***

Praxisbeispiel

I. 2. S-Bahn-Stammstrecke München: Haltepunkt Marienhof – komplexe Herausforderungen und Lösungsansätze für bisherige Ingenieurbau-, Tunnelbau- und Hebungsinjektionsarbeiten im Herzen der Innenstadt ***498***
Reinhold Boiger, André Wesch, Michael Müller, Rainer Saul, Mathieu Manjarres, Theresa Schweigl, Robert Listl, Johannes Jessen

1 Bisherige Arbeiten ***500***
2 Konstruktiver Ingenieurbau ***504***
3 Hebungsinjektionsarbeiten ***519***
4 Tunnelbau Verbindungsstollen U3/U6 ***530***
5 Ausblick ***546***

Tunnelbaubedarf ***551***
Inserentenverzeichnis ***559***

Konventioneller bergmännischer Tunnelbau

I. Planmäßige Blockhinterlegung bei Verkehrstunneln in konventioneller Bauweise mit KDB-Abdichtungssystemen – Positionspapier des Arbeitskreises 5.5 „Geokunststoffe im Tunnelbau" der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT)

Carles Camós-Andreu, Christian Rhein, Anna-Lena Hammer, Hannah Eder, Ingo Kaundinya

Die planmäßige Blockhinterlegung (PBH) soll in den Empfehlungen zu Dichtungssystemen im Tunnelbau (EAG-EDT) berücksichtigt werden, um sie künftig verkehrsträgerübergreifend im Verkehrstunnelbau in Deutschland zu verankern.

Die PBH bezeichnet die planmäßige Verpressung des Ringraums zwischen Ortbetoninnenschale und der Abdichtung aus Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) mit einem mineralischen Verpressmaterial vor dem Wiederaufspiegeln des bauzeitlich abgesenkten Bergwassers. Ziel ist die Herstellung eines ebenen luftseitigen Widerlagers für die KDB und damit eine nachhaltige Qualitäts- und Leistungsoptimierung des Abdichtungssystems.

Die Einführung der PBH als Standardmaßnahme für druckwasserhaltende, zweischalige, konventionell ausgeführte Verkehrstunnelbauwerke mit KDB-Abdichtung basiert auf langjähriger Gremienarbeit, Expertenbefragungen, internationalen Vergleichsstudien, der Auswertung von Praxisdaten sowie wissenschaftlich begleiteten Pilotanwendungen.

Mit der geplanten Empfehlung der PBH ergeben sich angepasste Anforderungen und Randbedingungen für die Planung und Ausführung druckwasserhaltender Tunnelbauwerke. Diese betreffen insbesondere:

Taschenbuch für den Tunnelbau 2027. Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2027 Ernst & Sohn GmbH. Published 2027 by Ernst & Sohn GmbH. Alle Rechte vorbehalten, einschließlich derer für Text- und Data-Mining und Training von Technologien der Künstlichen Intelligenz oder ähnlichen Technologien.

– *die Auswahl und Systematik des Abdichtungssystems,*
– *die Definition von Dichtigkeitsanforderungen,*
– *die Ausbildung der Abdichtungs- und Verpresssysteme in Feld- und Fugenbereichen sowie*
– *die Durchführung der Verpressarbeiten.*

Ziel des Beitrags ist, das Prinzip der PBH zu erläutern, die bisherigen Erfahrungen aus deutschen Pilotanwendungen einzuordnen und praxisgerechte Empfehlungen für deren Umsetzung zu geben. Dazu werden das Wirkprinzip der PBH, geeignete Verpresssysteme und Verpressmaterialien vorgestellt und das Verfahren gegenüber bisherigen Vorgehensweisen abgegrenzt. Die in Deutschland umgesetzten Pilotanwendungen werden zusammenfassend beschrieben und die daraus gewonnenen Erkenntnisse erläutert. Darauf aufbauend werden die erforderlichen regelwerkstechnischen Anpassungen im Zusammenhang mit der PBH dargelegt. Ergänzend werden weitere mit der Abdichtung in Verbindung stehende Neuerungen aufgegriffen und ihre Bedeutung für Planung und Ausführung wird eingeordnet.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass die bislang auf Grundlage der DB RilF 853 und ZTV-ING formulierten Empfehlungen für Abdichtungssysteme im Tunnelbau (EAG-EDT) im Hinblick auf die PBH sowie weitere davon tangierte Aspekte einer Fortschreibung bedürfen. Dieser Beitrag versteht sich daher als Positionspapier des Arbeitskreises 5.5 der DGGT und zugleich als Ausblick auf die vorgesehenen Anpassungen für eine zukünftige Neuauflage der EAG-EDT.

Systematic full round contact grouting in conventionally excavated transport tunnels with waterproofing membrane systems – Position Paper of Working Group 5.5 "Geosynthetics in Tunnelling" of the German Geotechnical Society (DGGT)

Systematic full round contact grouting (SFRCG) is intended to be included into the German recommendations for waterproofing systems in tunnelling (EAG-EDT) in order to establish it as a cross-sectoral standard for transport tunnels in Germany.

SFRCG refers to the systematic grouting of the annular gap between the in-situ concrete inner lining and the waterproofing system consisting of plastic sealing

membranes using a mineral-based grout, prior to the re-impoundment of the temporarily lowered groundwater. The objective is to create a uniform support on the air-side of the membranes, thereby improving the overall quality and performance of the waterproofing system.

The introduction of SFRCG as a standard measure for pressurized, double-shell, conventionally excavated transport tunnels with waterproofing membranes is based on long-standing committee work, expert consultations, international comparative studies, the evaluation of practical experience, and scientifically monitored pilot applications.

The proposed implementation of systematic full round contact grouting results in adjusted requirements and boundary conditions for the design and construction of pressurized tunnel structures. These particularly concern:

- *the selection and systematics of waterproofing systems,*
- *the definition of watertightness requirements,*
- *the design of waterproofing and grouting systems in both field and joint areas,*
- *as well as the execution of grouting works.*

The aim of this paper is to explain the concept of systematic full round contact grouting, to classify the experience gained from German pilot projects, and to provide practical recommendations for its implementation. For this purpose, the working principles of SFRCG, suitable grouting systems and materials are presented, and the method is distinguished from previously applied approaches. The pilot applications implemented in Germany are summarized and the key findings are discussed. Based on this, the necessary adaptations to the regulatory framework in connection with SFRCG are outlined. In addition, further developments related to waterproofing systems are addressed and their relevance for design and construction is assessed.

In conclusion, it is stated that the current recommendations for waterproofing systems in tunnelling (EAG-EDT), which are based on DB guideline family 853 and ZTV-ING, require further development with regard to SFRCG as well as other related aspects. This paper is therefore intended as a position paper of Working Group 5.5 of the DGGT and, at the same time, as an outlook on the planned amendments for a future revision of the EAG-EDT.

Maschineller Tunnelbau

I. Ökologisch optimierter Stahlfaserbeton – aktueller Normungsstand und Anwendung am Beispiel des Tübbingdesigns für die U5 Ost Hamburg Los 2

Christoph Niklasch, Christine Bertsch, Heiko Neher, Maik Weber, Dirk Sauer, Hannah Schönettin, Frank Plöger, Oliver Fischer, Gereon Behnen, Maximilian Kronau, Michael Haist, Tobias Schack

Stahlfaserbeton wird international bereits häufig im Tunnelbau eingesetzt. In Deutschland ist der Einsatz jedoch bislang nur eingeschränkt durch Normen geregelt. Beim Projekt U5 Ost Hamburg Los 2 wurde daher eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) erwirkt, um weitgehend Tübbinge mit Stahlfasern statt konventioneller Stabstahlbewehrung auszuführen.

Ziel der HOCHBAHN U5 Projekt GmbH ist eine Reduktion der Treibhausgasemissionen des Gesamtprojekts um rund 70 %. Ein wesentlicher Baustein hierfür sind Stahlfaserbetontübbinge mit CO_2-optimierter Betonrezeptur. Für die ZiE wurden umfangreiche Materialentwicklungen sowie klein- und großmaßstäbliche Versuche durchgeführt und ein zugehöriges Bemessungs- und Nachweiskonzept entwickelt.

Die Umsetzung des Bemessungs- und Nachweiskonzepts in der Ausführungsplanung zeigt, dass die Stahlfaserbetontübbinge den konventionell bewehrten Tübbingen gleichwertig sind und wirtschaftlich bemessen werden können. Stahlfaserbetontübbinge können somit einen wesentlichen Beitrag zu ressourcenschonenden und klimafreundlichen Infrastrukturprojekten leisten.

Ecologically optimized steel fibre-reinforced concrete – current state of standardisation and application: the case of tunnel segment design for U5 Ost Hamburg Los 2

Steel fibre reinforced concrete (SFRC) is already widely used in tunnel construction internationally; however, its application in Germany is still only partially

Taschenbuch für den Tunnelbau 2027. Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2027 Ernst & Sohn GmbH. Published 2027 by Ernst & Sohn GmbH. Alle Rechte vorbehalten, einschließlich derer für Text- und Data-Mining und Training von Technologien der Künstlichen Intelligenz oder ähnlichen Technologien.

covered by existing standards. For the project U5 Ost Hamburg Los 2, a project specific approval (German: Zustimmung im Einzelfall, ZiE) was therefore obtained to construct the tunnel segments largely using steel fibres instead of conventional steel bar reinforcement.

The objective of HOCHBAHN U5 Projekt GmbH is to reduce the greenhouse gas emissions of the overall project by approximately 70 %. A key element of this strategy is the use of steel fibre reinforced tubbings with a CO_2-optimized concrete mix design. To obtain the ZiE, extensive material development, small- and large-scale testing programs, and a corresponding design and verification concept were carried out.

The implementation of this design and verification concept in the detailed design phase has demonstrated that steel fibre reinforced tubbings are equivalent to conventionally reinforced tubbings and can be designed economically. Consequently, steel fibre reinforced tubbings can make a significant contribution to resource-efficient and climate-friendly infrastructure projects.

1 Einführung

Der Werkstoff Stahlfaserbeton wird international zunehmend im Tunnelbau angewendet. Die Anwendung in Deutschland ist aktuell nicht vollständig durch den Stand der Normung abgedeckt. Neue Entwicklungen eröffnen aber die Möglichkeit des Einsatzes von Stahlfaserbewehrung im Tunnelbau. Für den Bau der U5 Ost Hamburg Los 2 wurde eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) erwirkt, um die Tübbinge für die Tunnelschale in weiten Teilen mit Stahlfasern bewehrt auszuführen. Vorrangiges Ziel ist hier die Einsparung von Ressourcen und die Reduktion von Treibhausgasen.

Die HOCHBAHN U5 Projekt GmbH, die die Zustimmung im Einzelfall initiiert hat, verfolgt mit ihrer Treibhausgasreduktionsstrategie das Ziel, die Treibhausgasemissionen beim Bau der U5 um das technisch mögliche Maß zu reduzieren. Durch Optimierungen in Planung und Bau ist das Ziel, insgesamt 70 % weniger Treibhausgase auszustoßen. Der Einsatz von Stahlfaserbetontübbingen mit CO_2-optimierten Betonrezepturen ist dabei ein wesentlicher Bestandteil.

Die Idee, Baustoffe durch Zugabe von Fasern zu verstärken, ist bereits mehrere Tausend Jahre alt und u. a. für das Zeitalter des alten Ägypten

II. Analytische Berechnung des Stützdrucks beim maschinellen Tunnelvortrieb – Bewertung der Berechnungsmethode nach DIN 4085

Lars Röchter, Eva Kruckenbaum, Markus Thewes, Britta Schößer

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit der Berechnung des Stützdrucks für den maschinellen Tunnelvortrieb mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust im grobkörnigen Lockergestein. Der rechnerisch zulässige Arbeitsbereich des Stützdrucks ist ein entscheidender Faktor für die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit eines TBM-Vortriebs.

Zur Berechnung des mindestens erforderlichen Stützdrucks wurden die Methoden nach Jancsecz und Steiner bzw. auch Anagnostou („Gleitkeilmodell") und DIN 4085-DAUB („Erddruckmodell"), modifiziert nach DAUB, vergleichend gegenübergestellt. Im Rahmen einer systematischen Studie wurden die Parameter Tunneldurchmesser, Überdeckung, Grundwasserstand und Bodenkennwerte in den üblichen Bandbreiten der tunnelbautechnischen Praxis variiert. Neben den Berechnungen für den Regelvortrieb wurden zudem Absenkzustände untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem Erddruckmodell nach DIN 4085-DAUB in allen untersuchten Parameterkombinationen ein größerer erforderlicher Stützdruck berechnet wird als mit dem Gleitkeilmodell.

Analytical calculation of the face support pressure during mechanized tunneling – evaluation of the calculation method according to DIN 4085

This paper deals with the calculation of the support pressure for mechanized tunneling with a liquid-supported face in coarse-grained loose rock. The computationally permissible working range of the support pressure is a decisive factor for the safety and cost-effectiveness of a TBM drive.

For the calculation of the minimum required support pressure, the methods according to Jancsecz and Steiner or Anagnostou ("Sliding Wedge Model"),

Taschenbuch für den Tunnelbau 2027. Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2027 Ernst & Sohn GmbH. Published 2027 by Ernst & Sohn GmbH. Alle Rechte vorbehalten, einschließlich derer für Text- und Data-Mining und Training von Technologien der Künstlichen Intelligenz oder ähnlichen Technologien.

and DIN 4085-DAUB ("Earth Pressure Model"), modified according to DAUB, were compared. As part of a systematic study, the parameters tunnel diameter, overburden, groundwater level, and soil properties were varied within the usual ranges of tunneling practice. In addition to calculations for standard operations, lowering scenarios were also investigated.

The results show that with the earth pressure model according to DIN 4085-DAUB a larger required support pressure is calculated in all examined parameter combinations compared with the sliding wedge model.

1 Einführung

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit der Berechnung des zulässigen Arbeitsbereichs für den Stützdruck beim maschinellen Tunnelvortrieb mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust im grobkörnigen Lockergestein unter dränierten Bedingungen, mit dem das Einbrechen des Bodens in die Ortsbrust verhindert wird. Der Fokus liegt hierbei auf einer systematischen Untersuchung der Berechnungsmethoden für den mindestens erforderlichen Stützdruck gemäß der „Recommendations for Face Support Pressure Calculations for Shield Tunnelling in Soft Ground" des DAUB [1]. Außerdem erfolgt jeweils der Abgleich mit dem maximal zulässigen Stützdruck, mit dem ein Aufbrechen des Bodens sowie Ausbläser des Stützmediums verhindert werden [2].

Der so definierte zulässige Arbeitsbereich des Stützdrucks wird maßgeblich durch die Berechnung des mindestens erforderlichen Stützdrucks bestimmt. Eine Berechnung des mindestens erforderlichen Stützdrucks „auf der sicheren Seite" schränkt diesen Arbeitsbereich ein, was zu gravierenden Folgekosten führen kann [3].

Zur Berechnung des mindestens erforderlichen Stützdrucks werden in den Empfehlungen des DAUB [1] zwei Modelle beschrieben. Eine international angewendete Methode ist die Berechnung mit Grenzgleichgewicht am Gleitkeil nach Jancsecz und Steiner [4], die auf dem Bruchkörpermodell nach Horn [5] basiert. In Deutschland wird die Berechnung auch nach dem Erddruckmodell nach Piaskowski und Kowalewski [6] gemäß der DIN 4085 [7] durchgeführt, wobei der Stützdruck als Gleichgewichtskraft gegen einen räumlichen Erddruck wirkt. Der Anwendungsbereich der DIN 4085 [7] schließt jedoch die

III. Grubenwasserkanal Ibbenbüren – moderner Tunnelbau unter Bergrecht

Ralf Wilhelm, Nick Biermann, Jörg Malkus

Mit dem Ende des Steinkohlebergbaus in Ibbenbüren 2018 entstand eine neue bergbauliche Verantwortung: die Ewigkeitsaufgabe der Grubenwasserhaltung.

Die ARGE TUNNEL IBBENBÜREN, bestehend aus der Wayss & Freytag Ingenieurbau AG und der Ed. Züblin AG, errichtet im Auftrag der RAG Aktiengesellschaft (RAG) einen 7,4 km langen Grubenwasserkanal, der der Ableitung von Grubenwasser aus den ehemaligen Abbaugebieten dient. Das Projekt unterliegt dem Bergrecht/Bundesberggesetz (BBergG). Diese Vorgehensweise ermöglicht es der RAG, die gewohnte Struktur des Bergwerksbetriebs beizubehalten und den baulichen Abschluss des Rückbaus über einen Abschlussbetriebsplan zu gestalten. Die Aufnahme und Abführung des aufsteigenden Bergwassers in einem neu errichteten, maschinell aufgefahrenen Tunnel mit Gerinneausbau stellt den zentralen Baustein dar. Erstmals kommt hierbei in Deutschland die Variable-Density-Technologie zum Einsatz, um unter komplexen geologischen Bedingungen und hohem Wasserdruck die Tunnel zu errichten. Als zusätzliche Herausforderung ist der Ringspalt auf ca. 60 % der Vortriebsstrecke mit Perlkies zu verblasen, um den Tunnel drainierend auszuführen.

Der Grubenwasserkanal Ibbenbüren zeigt eindrucksvoll, wie moderne Tunnelbautechnik und bergrechtliche Rahmenbedingungen erfolgreich miteinander verzahnt werden können.

The Ibbenbüren mine water canal – modern tunnel construction under mining law

With the end of coal mining in Ibbenbüren in 2018, a new mining responsibility arose: the perpetual task of mine water management.

ARGE TUNNEL IBBENBÜREN, consisting of Wayss & Freytag Ingenieurbau AG and Ed. Züblin AG, has been constructing a 7.4 km long mine water drainage sewer on behalf of RAG Aktiengesellschaft (RAG), which serves to drain mine water from the former mining areas. The project is subject to mining law / the Federal

Taschenbuch für den Tunnelbau 2027. Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2027 Ernst & Sohn GmbH. Published 2027 by Ernst & Sohn GmbH. Alle Rechte vorbehalten, einschließlich derer für Text- und Data-Mining und Training von Technologien der Künstlichen Intelligenz oder ähnlichen Technologien.

Mining Act (BBergG). This approach enabled RAG to maintain the usual structure of mining operations and to draw up a closure plan for the decommissioning. The capture and conveyance of the rising mine water through a newly constructed, mechanically excavated tunnel including an upgraded channel system constitutes the principal component. For the first time in Germany, Variable-Density-Technology was used to construct the tunnels with pea gravel drainage under complex geological conditions and high water pressure. An additional challenge was to backfill the annular space with gravel along approximately 60 % of the tunneling route to ensure proper drainage.

The Ibbenbüren mine water canal is an impressive example of how mining law requirements and modern tunnel construction technology can be successfully combined.

1 Tunnelbau unter Bergrecht – Grubenwasserkanal Ibbenbüren

Bergrecht bezeichnet als Sammelbegriff die rechtlichen Bestimmungen, durch die der Abbau von Bodenschätzen und der dafür notwendige Bergbau geregelt werden. Die zentrale Rechtsnorm ist das 1980 ausgefertigte Bundesberggesetz (BBergG). Die Umsetzung der hier festgelegten allgemeinen Regelungen, beispielsweise für den Arbeitsschutz, wird in sogenannten Bergverordnungen konkretisiert.

Das Bundesberggesetz [1] umfasst 176 Paragrafen. Mit seiner Ausfertigung im Jahr 1980 sind 99 Gesetze und Vorschriften seit Einführung des Allgemeinen Berggesetzes vom 24. Juni 1865 außer Kraft gesetzt worden.

Nachdem im Jahr 2018 auf dem Bergwerk Ibbenbüren der letzte Abbau im Flöz 53 im Beustfeld beendet worden war und die tiefe Grubenwasserhaltung abgeschaltet werden konnte, war der Prozess der Kohleförderung in Ibbenbüren abgeschlossen. Grundlage waren die kohlepolitischen Beschlüsse zur Einstellung des deutschen Steinkohlenbergbaus mit Ablauf des Jahres 2018. Der bereits aktiv angegangene Prozess des Nachbergbaus ist in den Fokus gerückt worden. Ein wesentlicher Teil hiervon ist die Erarbeitung einer Lösung der Ewigkeitsaufgabe der Wasserhaltung. Zu diesem Zeitpunkt ist der Bau eines dafür notwendigen Grubenwasserkanals beschlossen worden.

IV. Tunnel- und Leitungsbau: Technologien und Bauverfahren zur Umsetzung der Energiewende

Andrea Fluck, Marcus Lübbers

Grabenlose Verfahren aus dem Leitungs- und Tunnelbau spielen eine Schlüsselrolle bei der ressourcenschonenden Umsetzung der Energiewende. Beim dringend notwendigen Ausbau von Strom- und Fernwärmenetzen und dem Bau von Wasserstoff- und CO_2-Pipelines stehen Projektbeteiligte vor vergleichbaren Herausforderungen, die planerisch und technologisch zu lösen sind. Entlang geplanter Trassen müssen Verkehrswege, Gewässer, Bauwerke und landwirtschaftliche Flächen sicher unterquert und Offshore-Leitungen an das Festland angebunden werden – unter strengen Umweltauflagen, innerhalb festgelegter Zeit- und Kostenlimits und unter Wahrung der Interessen von Grundstückseigentümern und Anwohnern. Dieser Beitrag stellt das gesamte Spektrum grabenloser Verlegeverfahren vor und beleuchtet deren Anwendungsmöglichkeiten und Einsatzgrenzen in der Praxis. Er bietet damit eine Entscheidungsgrundlage für die Auswahl des geeigneten Verlegeverfahrens zur sicheren und wirtschaftlichen Realisierung erdverlegter Leitungsnetze.

Tunnel and trenchless construction: technologies and construction methods for implementing the energy transition

Trenchless methods for pipeline and tunnel construction have a significant impact on the resource-efficient implementation of the energy transition. With the urgent need to expand power grids and district heating networks, and to construct hydrogen and CO_2 pipelines, project stakeholders face similar challenges that must be addressed through good planning and technology evaluation. Along the planned routes, traffic corridors, waterways, existing building structures, and agricultural land must be safely crossed. Furthermore, offshore pipelines must be connected to the mainland — all while adhering to strict environmental regulations, within defined time and cost limits, and while balancing the interests of property owners and residents. This article presents the wide range of trenchless installation methods and illustrates their practical applications and limitations. It provides guidance for selecting the appropriate installation

Taschenbuch für den Tunnelbau 2027. Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2027 Ernst & Sohn GmbH. Published 2027 by Ernst & Sohn GmbH. Alle Rechte vorbehalten, einschließlich derer für Text- und Data-Mining und Training von Technologien der Künstlichen Intelligenz oder ähnlichen Technologien.

method to ensure the safe and cost-effective implementation of underground utility networks.

1 Infrastrukturbedarf für die Energiewende

Die Energiewende erfordert einen tiefgreifenden Umbau der deutschen Energieinfrastruktur. Neben dem massiven Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung – insbesondere durch Offshore-Windenergie – müssen Strom-, Wärme- und Pipelinenetze schnell und koordiniert erweitert werden, um Erzeugungsstandorte zuverlässig mit den Verbrauchszentren zu verbinden. Dazu zählen neue Höchstspannungsleitungen und Erdverkabelungen, der beschleunigte Ausbau städtischer Fernwärmenetze sowie der Aufbau wasserstoff- und CO_2-tauglicher Pipelinesysteme.

Diese wachsenden Infrastrukturbedarfe stellen hohe Anforderungen an den Tunnel- und Leitungsbau. Grabenlose Verlegeverfahren gewinnen dabei zunehmend an Bedeutung, weil sie Eingriffe in Verkehrswege, sensible Umweltbereiche oder dicht besiedelte Räume minimieren und Genehmigungs- wie Bauprozesse beschleunigen können. Sie spielen insbesondere bei Leitungsanlandungen im Küstenbereich und Querungen von Verkehrswegen und Gewässern eine wichtige Rolle, wie Bild 1 exemplarisch veranschaulicht.

Die unterschiedlichen Anforderungen im Ausbau von Stromtrassen, Fernwärme- und Pipelinenetzen führen zu einer großen Bandbreite an erforderlichen Verlegequerschnitten und Bauwerken. Während Stromkabel einzeln oder im Bündel verlegt oder in begehbaren Kabeltunneln geführt werden, erfordern Fernwärmenetze meist kleinere Rohrdimensionen oder nicht begehbare Schutzbauwerke. Bei der Verlegung von Pipelines werden die Leitungen meist in langen, vorgefertigten Rohrschüssen aus verschweißten und geprüften Stahlrohren – häufig mit zusätzlichem Coating – direkt in den Boden eingebracht oder bei großen Haltungslängen in begehbaren Tunneln geführt.

Bild 2 zeigt exemplarisch die gängigen Leitungstypen und Tunnelquerschnitte, wie sie für den Ausbau dieser Infrastrukturen eingesetzt werden – von der Einzelrohrverlegung bis hin zu begehbaren Schutz- und Kabeltunneln.

Digitalisierung und Monitoring

I. Langzeit-Structural-Health-Monitoring des Tunnelinnenausbaus

Nicola Gottardi, David Marini, Romed Insam

Vor dem Hintergrund des großen Bestands an unterirdischen Bauwerken besteht eine der zentralen Herausforderungen im Tunnelbau darin, die Sicherheit, Betriebsfähigkeit und Dauerhaftigkeit sowohl neuer als auch bestehender Tunnel über ihre gesamte Nutzungsdauer zu gewährleisten. Bei strategisch wichtigen Tunnelbauwerken kann diese Nutzungsdauer bis zu 150 Jahre betragen. In diesem Zusammenhang gewinnt das Bauwerksmonitoring des Tragwerks (Structural Health Monitoring, SHM) zunehmend an Bedeutung, da es eine kontinuierliche Bewertung des strukturellen Zustands des Tunnelinnenausbaus ermöglicht und damit eine wichtige Grundlage für Instandhaltungsstrategien sowie für die Beweissicherung während der Betriebsphase bildet. Konventionelle Monitoringansätze basieren überwiegend auf punktuellen Messungen von Dehnungen, Verschiebungen oder Spannungen. Aufgrund der eingeschränkten Zugänglichkeit kritischer Bereiche der Tunnelauskleidung sowie der im Verhältnis zur Komplexität des Bauwerks begrenzten Anzahl an Messpunkten ist die Interpretation dieser Daten jedoch oft mit Unsicherheiten verbunden. Der Einsatz von digitalen Methoden, insbesondere aus dem Bereich des maschinellen Lernens (ML), eröffnet neue Möglichkeiten, vorhandene Monitoringdaten effizienter auszuwerten und für eine umfassende Bewertung des statischen Zustands der Tunnelschale zu nutzen.

Der Beitrag gibt zuerst einen Überblick über die etablierten Messmethoden für Dehnungen, Verschiebungen und Spannungen im Tunnelinnenausbau. Dabei werden praktische Erfahrungen, Vor- und Nachteile der jeweiligen Monitoringsysteme sowie Anwendungsbeispiele aus dem Brenner-Basistunnel vorgestellt. Dazu zählt insbesondere der Einsatz von Sensorsystemen zur kontinuierlichen Erfassung von Messdaten sowie deren Integration in numerische Modelle. Darüber

Taschenbuch für den Tunnelbau 2027. Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2027 Ernst & Sohn GmbH. Published 2027 by Ernst & Sohn GmbH. Alle Rechte vorbehalten, einschließlich derer für Text- und Data-Mining und Training von Technologien der Künstlichen Intelligenz oder ähnlichen Technologien.

hinaus wird ein auf künstlicher Intelligenz (KI) basierender SHM-Ansatz vorgestellt, der gezielt die Problematik begrenzter Messdaten adressiert. Hierbei werden Monitoringdaten, numerische Simulationen und Methoden des maschinellen Lernens miteinander kombiniert, um verbesserte Zustandsbewertung der Tunnelschale zu ermöglichen. Das entwickelte SHM-Konzept wurde sowohl durch Laborversuche als auch anhand eines Tunnelprojekts validiert und zeigt das Potenzial, flexibel an verschiedene Monitoringkonfigurationen angepasst zu werden. Dadurch kann eine fundierte Bewertung des strukturellen Zustands von Tunnelbauwerken unterstützt und ein wichtiger Beitrag zur langfristigen Sicherstellung der Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit geleistet werden.

Long-term structural health monitoring of tunnel linings

Given the wide expansion of the underground infrastructure network, it is a central challenge to ensure safety, operability, and durability of both new and existing tunnels throughout their entire service life. For strategically important tunnels, their service life should be guaranteed to up to 150 years. In this context, structural health monitoring (SHM) gains increasing importance, as it enables a continuous assessment of the structural condition of the tunnel lining providing a fundamental basis for maintenance strategies and for the fulfillment of safety and operability requirements. Conventional monitoring approaches are predominantly based on point measurements of strains, displacements, or stresses. However, due to the limited accessibility of critical areas of the tunnel lining and the relatively reduced number of measurement points compared to the complexity of the structure, the interpretation of this data is often subject to high uncertainties. The use of numerical methods, particularly from the field of machine learning, opens up new possibilities for evaluating monitoring data more efficiently and using it for a comprehensive assessment of the static condition of the tunnel lining.

This paper provides initially an overview of established measurement techniques for strains, displacements, and stresses in tunnel linings. The advantages, disadvantages, and considerations stemming from practical experience regarding the respective monitoring approaches are presented along with application examples from the Brenner Base Tunnel. In this context, it is highlighted the role of monitoring systems for continuous acquisition of measurement data and their integration into numerical models. Furthermore, an SHM-approach based on artificial intelligence (AI) addressing the issue of limited monitoring data is presented. Monitoring data, numerical simulations of the tunnel structure, and machine learning (ML) methods are combined to enable a reliable and

comprehensive assessment of the tunnel lining structural conditions. The developed SHM framework has been validated by means of laboratory experiments and a tunnel project demonstrating its flexibility to adapt to various monitoring configurations. This enables an assessment of the structural condition of the tunnel lining and provides an important contribution to ensure safety, operability, and to support a predictive and cost-effective maintenance.

1 Einleitung

Das weltweite Bevölkerungswachstum führt zu einem stark steigenden Bedarf an Infrastruktur, um eine effizientere und schnellere Mobilität von Personen und Gütern sicherzustellen. Tunnel spielen dabei eine wichtige Rolle, insbesondere in Regionen mit einer schwierigen Orografie sowie in dicht besiedelten Gebieten, in denen der Raum für oberirdische Infrastrukturbauten begrenzt ist. Während ihrer Nutzungsdauer unterliegen Tunnelbauwerke strukturellen Alterungs- und Degradationsprozessen sowie unerwarteten Lasten, die auf das Tragwerk wirken können. Dies hebt die zentrale Bedeutung hervor, die Sicherheit und Betriebsfähigkeit der Infrastruktur zu gewährleisten. Die Struktursicherheit wird als die Fähigkeit des Bauwerks definiert, seine Tragfunktion unter den vorherrschenden Bedingungen sicher zu erfüllen und Schäden oder Versagen infolge von Materialdegradation oder unvorhergesehenen Zusatzlasten zu vermeiden [1]. Die Betriebsfähigkeit hingegen bezeichnet die Fähigkeit des Bauwerks, seine vorgesehene Funktion uneingeschränkt aufrechtzuerhalten.

Die Sicherstellung beider Aspekte über die Zeit bedeutet, Dauerhaftigkeit zu gewährleisten. Diese beschreibt die Fähigkeit des Tragwerks, langfristig widerstandsfähig gegenüber Schädigungsprozessen zu bleiben und über den vorgesehenen Lebenszyklus hinweg sicher betrieben werden zu können [1]. Im Bereich von langen Tunneln werden strenge Dauerhaftigkeitsanforderungen gestellt, um geplante Nutzungsdauern von 100 bis 200 Jahren sicherzustellen, abhängig von der strategischen Bedeutung der jeweiligen Infrastruktur.

All diese Aspekte fließen in das Konzept des Structural Health Monitorings (SHM) ein, das den Ist-Zustand des Tragwerks und dessen strukturelle Leistungsfähigkeit beschreibt und bewertet. Zudem

Baustoffe und Bauteile

I. Innovative Stähle im Straßentunnel – Forschung, Erprobung, Regelwerksumsetzung

Andreas Burkert, Jens Lehmann Schlag, Uwe Köstermann, Christof Sistenich, Ingo Kaundinya

Hohe Luftfeuchtigkeit, Emissionen aus dem Kraftfahrzeugverkehr sowie Chloride aus Streusalz führen zu einer hohen Korrosivität der Atmosphäre in Straßentunneln und haben großen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit der eingesetzten Werkstoffe.

Aufgrund ihrer positiven Korrosionseigenschaften sind nichtrostende Stähle für Konstruktionsteile in Straßentunneln weit verbreitet und werden beispielsweise bei der technischen Ausstattung standardmäßig eingesetzt. Ihre Auswahl in Straßentunneln wird durch einschlägige Regelwerke vorgegeben. Tragende Bauteile und Befestigungsmittel werden aus hochkorrosionsbeständigen, aber kostenintensiven Legierungen der Korrosionsbeständigkeitsklasse (CRC – Corrosion Resistance Classes) V gefertigt. Für nichttragende Bauteile werden Werkstoffe der CRC III verwendet, die jedoch in bestimmten Bauteilbereichen innerhalb der Nutzungsdauer immer wieder teilweise nicht erkennbare Korrosionsschäden aufweisen.

Mit dem Ziel, den Betrieb von Straßentunneln nachhaltiger zu gestalten und die Tunnelsicherheit weiter zu verbessern, hat der Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen (Straßen.NRW) 2017 in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) ein Forschungsprojekt initiiert, das diese Zusammenhänge näher untersuchen sollte. Als Ergebnis wurden innovative, nichtrostende Stähle der CRC IV für den Einsatz in hochkorrosiven Atmosphären von Straßentunneln als geeignet eingestuft – insbesondere im Hinblick auf die betriebstechnische Ausstattung.

Ausgehend von den Forschungsergebnissen und ihrer ersten praktischen Anwendung werden Konsequenzen in Bezug auf die zukünftige Ausführung der technischen Ausstattung und die beabsichtigte Implementierung der Erkenntnisse in

Taschenbuch für den Tunnelbau 2027. Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2027 Ernst & Sohn GmbH. Published 2027 by Ernst & Sohn GmbH. Alle Rechte vorbehalten, einschließlich derer für Text- und Data-Mining und Training von Technologien der Künstlichen Intelligenz oder ähnlichen Technologien.

das für den Bereich der Bundesfernstraßen geltende Regelwerk aufgezeigt. Eine zukünftige Verwendung von Werkstoffen der CRC IV für bestimmte nichttragende Bauteile wird angestrebt.

Innovative steels in road tunnels – from research through testing to regulatory implementation

High humidity, emissions from motor vehicle traffic, and chlorides from road salt result in a highly corrosive atmosphere in road tunnels and have a significant impact on the durability of the materials used.

Due to their excellent corrosion resistance, stainless steels are widely used for structural components in road tunnels and are employed as standard in technical equipment, for example. Their selection in road tunnels is dictated by relevant regulations. Load-bearing components and fasteners are manufactured from highly corrosion-resistant but cost-intensive alloys of Corrosion Resistance Class (CRC) V. For non-load-bearing components, materials of CRC III are used; however, these repeatedly exhibit corrosion damage – sometimes undetectable – in certain component areas over the course of their service life.

With the aim of making the operation of road tunnels more sustainable and further improving tunnel safety, the North Rhine-Westphalia State Road Construction Agency (Straßen.NRW) initiated a research project in 2017 in collaboration with the Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM) to investigate these issues. As a result, innovative CRC IV stainless steels were deemed suitable for use in the highly corrosive atmospheres of road tunnels — particularly with regard to operational equipment.

Based on the research results and their initial practical application, this paper highlights the implications for the future design of technical equipment and the intended incorporation of these findings into the regulations governing federal highways. The goal is to use CRC IV materials for certain non-load-bearing components in the future.

1 Ausgangslage

Straßentunnel sind aus Sicht des Korrosionsschutzes sehr herausfordernd. Ursächlich für die zum Teil sehr hohe korrosive Wirkung der Tunnelatmosphäre ist eine Kombination von hoher Feuchtigkeit,

Tunnelbetrieb und Sicherheit

I. Einfluss von Gruppeneffekten auf das Reaktions- und Fluchtverhalten in Straßentunneln – Ergebnisse von realitätsnahen Großgruppenversuchen

Frank Leismann, Christian Thienert, Markus Jenki, David Stuehler, Anne Lehan, Robert Wenighofer

Die Auswertung realer Ereignisse und früherer Studien zeigt, dass Menschen sich bei Fluchtentscheidungen in Extremsituationen gegenseitig beeinflussen. Im Rahmen eines im Jahr 2024 abgeschlossenen Forschungsprojekts wurden über 70 Versuchspersonen ohne Vorwissen in ein sehr realistisches Szenario eines Unfalls mit Brand in einem Straßentunnel gebracht. Ihr Verhalten während der Selbstrettungsphase wurde detailliert analysiert. Sowohl bei Einzel- als auch bei Gruppenversuchen konnte ein beträchtliches Spektrum an Verhaltensweisen von unproblematisch bis hin zu potenziell fatal festgestellt werden. Die Beobachtungen zeigen, dass Gruppendynamik sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf die Selbstrettung haben kann. Tendenziell kann festgehalten werden, dass Gruppeneffekte im gewählten Szenario zu einer Verbesserung der Selbstrettung führten, indem problematische Verhaltensweisen korrigiert wurden. Die quantitativ ermittelten Reaktionszeiten und Fluchtgeschwindigkeiten bestätigen die entsprechenden, in Risikoanalysen etablierten Kennparameter. Eine Notwendigkeit zur Anpassung der Methodik von Risikoanalysen und bestehender Regelwerke erscheint daher aktuell nicht erforderlich.

Influence of group effects on reaction and escape behaviour in road tunnels – results from realistic large-group experiments

The evaluation of real events and previous studies shows that people influence each other when making decisions to flee in extreme situations. As part of a research project completed in 2024, more than 70 test subjects with no prior

Taschenbuch für den Tunnelbau 2027. Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2027 Ernst & Sohn GmbH. Published 2027 by Ernst & Sohn GmbH. Alle Rechte vorbehalten, einschließlich derer für Text- und Data-Mining und Training von Technologien der Künstlichen Intelligenz oder ähnlichen Technologien.

knowledge were placed in a very realistic scenario of an accident with a fire in a road tunnel, and their behaviour during the self-rescue phase was analysed in detail. In both individual and group trials, a wide range of behaviours was observed, ranging from unproblematic to potentially fatal. The observations show that group dynamics can have both positive and negative effects on self-rescue. Generally speaking, it can be concluded that group effects in the chosen scenario led to an improvement in self-rescue by correcting problematic behaviours. The quantitatively determined reaction times and escape walking speeds fit to the corresponding key parameters established in risk analyses. Consequently, there is currently no need to adapt the methodology of risk analyses or existing regulations.

1 Motivation und Zielsetzung

Die Auswertung realer Brandereignisse und früherer Studien hat Hinweise zu der Annahme geliefert, dass Menschen in Extremsituationen oft gemeinschaftlich abgesicherte Fluchtentscheidungen treffen. Da sich Vorwissen und Erfahrungen von am Verkehr teilnehmenden Personen verglichen mit früheren Studien verändert haben und der Einfluss gruppendynamischer Effekte („Gruppeneffekte") im Zusammenhang mit Ereignissen in Tunneln zuvor kaum gezielt untersucht oder quantifiziert wurde, hat die Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (BASt) im April 2023 das Forschungsvorhaben „Analyse des Reaktions- und Fluchtverhaltens in Straßentunneln unter Berücksichtigung von Gruppeneffekten (FE 15.0703/2022/ERB)" an ein interdisziplinäres Konsortium aus Ingenieur- und Sozialwissenschaften vergeben. Durch realitätsnahe Probandenversuche sollten soziologische und ingenieurtechnische Aspekte detailliert analysiert werden, um zu überprüfen, ob bestehende Verfahren zur Sicherheitsbewertung und die zugrunde liegenden Regelwerke – die den Einfluss von Gruppeneffekten auf die Selbstrettung bislang nicht berücksichtigen – einer Anpassung bedürfen.

2 Versuchsumgebung

Im Rahmen des Projekts wurden im Frühjahr 2024 Probandenversuche im Zentrum am Berg (ZaB) der Montanuniversität Leoben (MUL) in Eisenerz (Steiermark, Österreich) durchgeführt. Diese speziell für

Forschung und Entwicklung

I. Untersuchungen zur Unterbindung der Längsläufigkeit an Schlauchleitungen in der Tunnelinnenschale

Dietmar Mähner, Elia Piemontese, Malte Bruns

Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass Schlauchdurchführungen durch die Tunnelinnenschale eine potenzielle Eintrittsstelle für Wasser darstellen können. Bereits bei geringen hydrostatischen Beanspruchungen kann sich anstehendes Wasser entlang der Kontaktzone zwischen Schlauchleitung und Beton ausbreiten (im Folgenden als Längsläufigkeit bezeichnet) und so in den Tunnelinnenraum gelangen. Damit kann die wasserundurchlässige Betonkonstruktion der Tunnelinnenschale als Abdichtungsebene wirkungslos werden, die Dichtigkeitsanforderungen werden nicht mehr erreicht. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurde an der Fachhochschule (FH) Münster ein quellfähiger Dichtring zur Verhinderung dieser Längsläufigkeit entwickelt. In umfangreichen Versuchen konnte gezeigt werden, dass der Dichtring bei Gewebeschläuchen, Spiralschläuchen und Kabelschutzrohren eine wirksame Abdichtung erzeugt und Längsläufigkeiten bei einer 40 cm dicken Tunnelinnenschale bis zu einem hydrostatischen Druck von 15 bar zuverlässig verhindert. Das entwickelte System stellt eine Ergänzung zu den bestehenden Abdichtungssystemen dar und eignet sich insbesondere für Bauwerke, bei denen mit hohen hydrostatischen Beanspruchungen zu rechnen ist.

Investigation of methods to prevent longitudinal water migration along conduit penetrating the tunnel inner lining

Previous studies have shown that conduit penetrations through the tunnel inner lining can represent potential water entry points. Even under low hydrostatic pressures, water can propagate along the contact zone between the conduit and

Taschenbuch für den Tunnelbau 2027. Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2027 Ernst & Sohn GmbH. Published 2027 by Ernst & Sohn GmbH. Alle Rechte vorbehalten, einschließlich derer für Text- und Data-Mining und Training von Technologien der Künstlichen Intelligenz oder ähnlichen Technologien.

the surrounding concrete (hereafter referred to as longitudinal water migration), potentially entering the tunnel interior. In such cases, the watertight inner concrete lining may no longer function as an effective sealing layer, and the desired watertightness cannot be ensured. As part of a research project at the University of Applied Sciences (FH) Münster, a swelling sealing ring was developed to prevent this longitudinal water migration. Extensive testing demonstrated that the sealing ring provides effective water-tightening for fabric hoses, spiral hoses, and cable protection conduits, preventing longitudinal water migration through a 40 cm thick tunnel lining at hydrostatic pressures of up to 15 bar. The developed system serves as a supplement to existing sealing solutions and is particularly suitable for structures subject to high hydrostatic loads.

1 Einleitung

Die derzeitigen Regelwerke für Straßen- und Bahntunnel (ZTV-ING, Handbuch 85300) [1, 2] sehen vor, dass bei Tunnelbauwerken mit einer Abdichtung gegen drückendes Wasser ein Prüf- und Verpresssystem (PVS) vorzusehen ist. Das PVS ermöglicht die Lokalisierung und gezielte Sanierung von undichten Tunnelabschnitten auch nach der Betonage der Innenschale. Im Zusammenhang mit hohen Wasserdrücken kann das PVS für druckdichte Tunnelabdichtungen jedoch auch eine potenzielle Schwachstelle darstellen.

Die Empfehlungen zu Dichtungssystemen im Tunnelbau (EAG-EDT) [3] sehen ab 30 m anstehender Wassersäule (entspricht einem hydrostatischen Druck von 3 bar) den Einsatz eines redundanten, zweiteiligen Abdichtungssystems vor [3]. Dieses besteht in der Regel aus einer Kunststoffdichtungsbahn (KDB) und einer wasserdurchlässigen Betonkonstruktion (WUB-KO) [3]. Für das PVS werden an der KDB Verpressstutzen befestigt, die über Verpressleitungen mit der Tunnelinnenseite verbunden sind. Diese Leitungen verlaufen durch die anschließend betonierte Innenschale aus wasserundurchlässigem Beton und bilden somit eine Brücke zwischen der Innen- und Außenseite innerhalb der zweiten Dichtungsebene (Bild 1).

Erste Forschungsergebnisse der FH Münster zeigten, dass die aktuell verwendeten Schlauchleitungen bereits bei hydrostatischen Belastungen unter 6 bar als „Längsläufigkeiten“ bezeichnete Undichtigkeiten

II. Mehrfach verwendbare Injektionsstutzen für den Tunnelbau

Jacob Lengers, Dietmar Mähner, Felix Wenker

Der Beitrag beschreibt die Entwicklung und Prüfung eines mehrfach verwendbaren Injektionsstutzens für den Tunnelbau. Prüf- und Verpresssysteme werden bei Abdichtungen mit Kunststoffdichtungsbahnen eingesetzt, um im Schadensfall eine nachträgliche Sanierung von Undichtigkeiten zu ermöglichen. Herkömmliche Systeme sind nach einer Injektion nicht erneut nutzbar, sodass bei späteren Undichtigkeiten zusätzliche, invasivere Eingriffe erforderlich werden. Der neu entwickelte Stutzen soll dieses Problem lösen, indem er nach einer Injektion gespült und anschließend weiterhin als Prüf- und Verpresssystem genutzt werden kann. Hierzu wurde ein Versuchsstand mit Druckzelle entwickelt, mit dem der Frischbetondruck und der Gebirgsdruck realitätsnah simuliert werden können. Die Laborversuche zeigten, dass der Stutzen sowohl mit zementären als auch mit chemischen Injektionsmaterialien funktioniert. In einem Großversuch konnten zudem eine mehrfache Injektion, eine längere Pumpstrecke und eine flächenhafte Materialausbreitung erfolgreich nachgewiesen werden.

Multi-use injection fittings for tunnel construction

The article describes the development and testing of a reusable injection port for tunnel construction. Inspection and injection systems are used in waterproofing systems with plastic geomembranes to enable subsequent remediation of leaks in the event of damage. Conventional systems cannot be reused after injection, meaning that additional, more invasive interventions are required in the event of later leaks. The newly developed injection port is intended to solve this problem by allowing it to be flushed after injection and subsequently continue to be used as an inspection and grouting system. For this purpose, a test setup with a pressure cell was developed to realistically simulate fresh concrete pressure and ground pressure. The laboratory tests showed that the injection port functions with both cementitious and chemical injection materials. In a large-scale test, repeated injection, a longer pumping distance and extensive material distribution were also successfully demonstrated.

Taschenbuch für den Tunnelbau 2027. Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2027 Ernst & Sohn GmbH. Published 2027 by Ernst & Sohn GmbH. Alle Rechte vorbehalten, einschließlich derer für Text- und Data-Mining und Training von Technologien der Künstlichen Intelligenz oder ähnlichen Technologien.

III. DZSF-Forschungsvorhaben „Baulicher Brandschutz in Eisenbahntunneln" – Ergebnisse und Vorschläge zur Weiterentwicklung der Nachweisführung im Brandfall

Carsten Peter, Carles Camós-Andreu, Anna-Lena Hammer, Moritz Boxheimer, Paul Gehwolf, Peter Widera, Frank Dehn, Zaki Kebdani

Das vom Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) beim Eisenbahn-Bundesamt (EBA) geförderte Forschungsprojekt „Baulicher Brandschutz in Eisenbahntunneln" untersuchte die derzeitigen Regelungen zur rechnerischen Standsicherheitsbewertung im Brandfall gemäß DB RilF 853 [1] hinsichtlich ihrer Aktualität und Anwendbarkeit. Im Fokus stehen dabei aktuelle Entwicklungen bei Tunnelbetonrezepturen sowie die praktischen Herausforderungen der Nachweisführung.

Die Grundlagen der Nachweisführung, deren Herausforderungen sowie das im Forschungsprojekt angewendete Versuchskonzept wurden in einem ersten Beitrag im Taschenbuch für den Tunnelbau 2026 [2] vorgestellt. In diesem Folgebeitrag werden die Auswertung der Brandversuche auf meso-skaliger und auf großmaßstäblicher Ebene vorgestellt, die rechnerische Nachweisführung diskutiert und entsprechende Handlungsempfehlungen dargelegt.

Zur Untersuchung des Brandverhaltens kommt ein kaskadisches Versuchskonzept zum Einsatz, das meso-skalige Screening-Tests und großmaßstäbliche Brandversuche umfasst. Während in den meso-skaligen Versuchen das Materialverhalten verschiedener praxisnaher Betonrezepturen unter thermischer Beanspruchung analysiert wird, dienen die Großbrandversuche der Bewertung des Bauteilverhaltens unter realitätsnahen thermischen und mechanischen Randbedingungen.

Im Fokus der Auswertung stehen der Maßstabseffekt zwischen beiden Versuchsebenen, der Einfluss der mechanischen Belastung sowie die Zusammenhänge zwischen Materialparametern und Abplatzverhalten. Die Ergebnisse werden bauweisenübergreifend für die Offene Bauweise, die Spritzbetonbauweise und die Tübbingbauweise dargestellt.

Taschenbuch für den Tunnelbau 2027. Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2027 Ernst & Sohn GmbH. Published 2027 by Ernst & Sohn GmbH. Alle Rechte vorbehalten, einschließlich derer für Text- und Data-Mining und Training von Technologien der Künstlichen Intelligenz oder ähnlichen Technologien.

Des Weiteren werden die Ergebnisse der im Rahmen des Forschungsprojekts durchgeführten rechnerischen Untersuchungen vorgestellt. Dabei werden die bisherigen Vorgaben zu den Berechnungsmodellen und -verfahren bewertet und erforderliche Anpassungen, insbesondere aufgrund der Erkenntnisse aus den Brandversuchen, erörtert. Die Validierung des Berechnungsmodells erfolgt durch Rückrechnungen eines Großbrandversuchs und Sensitivitätsuntersuchungen mit Variation der thermomechanischen Materialeigenschaften. Da ein bauweisenspezifisches Tragverhalten im Brandfall vorliegt, werden für alle Bauweisen – d. h. Spritzbetonbauweise (SBW), Offene Bauweise (OBW) und maschineller Vortrieb (TBM) – statische Berechnungen für den Brandfall mit dem Allgemeinen Rechenverfahren nach DIN EN 1992-1-2 [3] für repräsentative Querschnitte und Randbedingungen durchgeführt und die Ergebnisse präsentiert.

Abschließend erfolgt die Ableitung von Handlungsempfehlungen zur rechnerischen Nachweisführung und zum baulichen Brandschutz für die einschlägigen Regelwerke.

DZSF research project "Structural Fire Protection in Railway Tunnels" – findings and recommendations for further developing methods of fire safety analysis

The ongoing research project "Structural Fire Protection in Railway Tunnels" conducted by the German Centre for Rail Transport Research (DZSF) is reviewing the current regulations governing the structural stability assessment in the event of a fire, as set out in DB RilF 853, with regard to their relevance and applicability. The focus is on recent developments in tunnel concrete mix designs and the practical challenges of carrying out the structural analysis.

The fundamentals of the verification process, its challenges and the test concept applied in the research project were presented in an initial article in the Taschenbuch für den Tunnelbau 2026. In this follow-up article, the evaluation of the fire tests at meso-scale and large-scale levels is presented, the structural verification is discussed and corresponding recommendations for action are set out.

A cascaded experimental approach is used to investigate fire behaviour, comprising mesoscale screening tests and large-scale fire tests. Whilst the mesoscale tests analyse the material behaviour of various, practical concrete mixes under thermal stress, the large-scale fire tests serve to evaluate the behaviour of structural elements under realistic thermal and mechanical boundary conditions.

The analysis focuses on the scale effect between the two test levels, the influence of mechanical loading, and the relationships between material parameters and spalling behaviour. The results are presented across different construction methods, namely cut-and-cover tunnels, shotcrete tunnelling and segmental lining.

Furthermore, the results of the numerical investigations conducted within the research project are presented. The existing specifications for the calculation models and methods are evaluated, and necessary adjustments are presented, particularly based on the findings from the fire tests. To validate the calculation model, back-calculations of a large-scale fire test are carried out, along with sensitivity analyses involving variations in the thermomechanical material properties. As structural behaviour in the event of a fire varies by construction method, static calculations for the fire scenario are performed for all construction methods, i. e. shotcrete tunnelling, cut-and-cover tunnels and mechanised tunnelling, structural calculations for fire scenarios are carried out using the general calculation method in accordance with DIN EN 1992-1-2 for representative cross-sections and boundary conditions, and the results are presented.

Finally, recommendations for action regarding the calculation-based verification and structural fire protection for the relevant regulations are derived.

1 Anlass und Inhalt

Das vom Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) beim Eisenbahn-Bundesamt (EBA) geförderte Forschungsprojekt „Baulicher Brandschutz in Eisenbahntunneln“ untersucht die bestehenden Regelungen zur Nachweisführung der Standsicherheit von Eisenbahntunneln im Brandfall und entwickelt diese weiter. Die Grundlagen der Nachweisführung, die wesentlichen Herausforderungen sowie das im Forschungsprojekt entwickelte Versuchskonzept wurden bereits in einem ersten Beitrag im Taschenbuch für den Tunnelbau 2026 [2] vorgestellt. Der vorliegende Beitrag baut auf diesen Arbeiten auf und stellt die auf Basis der durchgeführten Brandversuche und rechnerischen Untersuchungen entwickelten Handlungsempfehlungen zur Weiterentwicklung der Nachweisführung im Brandfall vor.

Im Rahmen der statischen Bemessung von Eisenbahntunneln ist die Standsicherheit des Tragwerks während eines Brands und nach einem solchen nachzuweisen. Gemäß der aktuell gültigen Richtlinien-Familie

Nachhaltigkeit

I. Verfahrenstechnik und Applikation von zementfreiem Spritzbeton für die Ertüchtigung von Verkehrstunneln – Erkenntnisse aus dem Verbundprojekt KOINOR-PRO

Matthias Rengshausen, Christian Thienert, Christoph Klaproth, Dirk Uhlmann, Lucas Krüger, Maximilian Lucht, Götz Vollmann, Helena Loga, Anna-Lena Hammer, Tobias Riemekasten, Harald Burgstaller

Der Bestand der Verkehrstunnel in Europa altert fortschreitend und erreicht immer öfter die für Eisenbahn- und Straßentunnel vorausgesetzte technische Nutzungsdauer des Tragwerks von etwa 100 Jahren. Damit wächst der Instandhaltungs- und Erneuerungsbedarf zur Verlängerung der Restnutzungsdauer. Hierbei sind auch aktualisierte Regelwerke in puncto baulicher Brandschutz zu berücksichtigen.

Bereits im Jahr 2021 wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (damals BMBF, seit Mai 2025 BMFTR, Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt) im Programm der Sicherheitsforschung (SiFo) geförderten Forschungsprojekts „KOINOR – Konzepte und Verfahren zur brandschutztechnischen Ertüchtigung und Nachrüstung unterirdischer Verkehrsbauwerke" an baustofftechnischen Lösungen gearbeitet, um moderne Anforderungen an Brandschutz, Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit mit der vorhandenen Bauwerksstruktur in Einklang zu bringen. Die hierbei verfolgten Ansätze basierten auf einer Beschichtung aus zementfreiem, alkalisch aktiviertem Mörtel, der zum einen die brandschutztechnischen Anforderungen an bestehende Tunnelbauwerke erfüllt und zugleich verfahrenstechnisch als gespritzte Lösung eingesetzt werden kann. Die im o. g. Vorprojekt erzielten Ergebnisse zeigten, dass die mechanischen Materialparameter des neu entwickelten Baustoffs selbst sowie die Verbundeigenschaften in Kombination mit dem Bestand hohen

Taschenbuch für den Tunnelbau 2027. Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2027 Ernst & Sohn GmbH. Published 2027 by Ernst & Sohn GmbH. Alle Rechte vorbehalten, einschließlich derer für Text- und Data-Mining und Training von Technologien der Künstlichen Intelligenz oder ähnlichen Technologien.

Anforderungen genügen. Darüber hinaus konnte die Praktikabilität und verfahrenstechnische Anwendbarkeit prototypisch erprobt werden. Es fehlten bislang jedoch weitere Erkenntnisse hinsichtlich der Skalierbarkeit für einen praktischen Einsatz. Auch eine Erweiterung der Einsatzbereiche, hin zu einem Konstruktions- bzw. Sicherungsbeton, wurde bisher nicht untersucht.

Zentrales Ziel des seit September 2024 laufenden Projekts KOINOR-PRO ist daher die Optimierung des Baustoffs selbst und dessen Weiterentwicklung hin zu einem spritzfähigen Konstruktions- und Instandsetzungsbeton. Ziel ist der Nachweis hinreichender strukturmechanischer und verfahrenstechnischer Eigenschaften des Baustoffs für den zukünftigen Einsatz als vollwertiger Ersatz für konventionellen zementbasierten Spritzbeton.

Der vorliegende Beitrag beschreibt erste Erkenntnisse aus der verfahrenstechnischen Umsetzung der Spritzapplikation des neuentwickelten Baustoffs unter Betrachtung der Vorteile ebenso wie der Limitationen bei der Anwendung. Dabei wird der Applikationsprozess im Baustellenmaßstab – von der Herstellung des Bereitstellungsgemischs über die Applikation unter Laborbedingungen bis hin zum erfolgreichen Nachweis des Brandwiderstands – beschrieben. Darüber hinaus erfolgen bilanzielle Betrachtungen zur Herabsetzung des CO_2-Fußabdrucks bei Einsatz eines solchen zementfreien Systems.

Process technology and application of cement-free sprayed concrete for the rehabilitation of existing traffic tunnels – Findings from the KOINOR-PRO collaborative research project

The existing stock of traffic tunnels in Europe is progressively aging and is increasingly reaching the technical service life of the load-bearing structure of approximately 100 years that is assumed for railway and road tunnels. As a result, the demand for maintenance and renewal to extend the remaining service life is growing. In this context, updated standards and regulations regarding structural fire protection must also be considered.

Already in 2021, work on material-based solutions began within the research project "KOINOR – Concepts and Methods for the Fire Protection Upgrading and Retrofitting of Underground Traffic Structures", funded by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF, renamed BMFTR in May 2025) under the Safety Research Programme (SiFo). The approaches pursued aimed to reconcile modern requirements for fire protection, durability, and serviceability with the existing tunnel structures. These approaches were based on a coating made of ce-

ment-free, alkali-activated mortar, which meets the fire protection requirements for existing tunnel structures while also being suitable for application as a sprayed solution. The results obtained in the aforementioned predecessor project showed that both the mechanical material parameters of the newly developed construction material itself and the bond properties in combination with the existing structure satisfy high demands. Furthermore, the practicality and process-engineering applicability were successfully demonstrated at the prototype scale. However, further findings regarding the scalability for practical on-site application were still lacking. In addition, the expansion of the application range toward structural or repair concrete had not yet been investigated.

The central objective of the KOINOR-PRO project, which has been running since September 2024, is therefore the optimisation of the material itself and its further development into sprayable structural and repair concrete. The aim is to demonstrate sufficient structural-mechanical and process-engineering properties of the material to enable its future use as a fully functional replacement for conventional cement-based sprayed concrete.

This contribution reports on first insights gained from the process-technical realisation of spray application for a newly developed building material, addressing both the benefits and limitations associated with its practical use. The paper outlines the application process at construction scale – from the batching of the ready-mix, via laboratory application trials, to the successful demonstration of fire resistance. Furthermore, it provides a preliminary evaluation of the CO_2 footprint reduction potential offered by this cement-free system.

1 Einleitung

Der Bestand der Verkehrstunnel in Europa altert fortschreitend und ist dabei im Laufe der Nutzungsdauer substanziellen Verschlechterungsprozessen ausgesetzt. Für Eisenbahn- und Straßentunnel wurde bislang in der Regel eine technische Nutzungsdauer des Tragwerks von etwa 100 Jahren vorausgesetzt, wobei für Bauwerke wie den Brenner Basistunnel derzeit auch 200 Jahre angesetzt werden. Vor dem Hintergrund der Baujahre des bestehenden Bauwerksbestands ist festzustellen, dass ein Großteil der Bauwerke die Grenze der technischen Nutzungsdauer bereits erreicht hat oder sich dieser sukzessive annähert. Hieraus ergibt sich ein erheblicher Instandhaltungs- und Erneuerungsbedarf zur Verlängerung der restlichen Nutzungsdauer, in dessen Rahmen auch ak-

Praxisbeispiel

I. 2. S-Bahn-Stammstrecke München: Haltepunkt Marienhof – komplexe Herausforderungen und Lösungsansätze für bisherige Ingenieurbau-, Tunnelbau- und Hebungsinjektionsarbeiten im Herzen der Innenstadt

Reinhold Boiger, André Wesch, Michael Müller, Rainer Saul, Mathieu Manjarres, Theresa Schweigl, Robert Listl, Johannes Jessen

Im Rahmen des Neubaus des Haltepunkts Marienhof für die 2. S-Bahn-Stammstrecke München werden seit 2019 hochkomplexe Ingenieurbau-, Hebungsinjektions- und Tunnelbauarbeiten unter anspruchsvollen innerstädtischen Randbedingungen ausgeführt. Das zentrale Zugangsbauwerk wird in Schlitzwand-Deckelbauweise hergestellt und bildet mit fünf Aussteifungsebenen und einer Aushubtiefe von 45 m eine der tiefsten Baugruben Deutschlands, mitten in der Münchner Innenstadt. Als Kernstücke zählen hierbei die in zwei Teilen herzustellende und bis zu 5,40 m dicke Bodenplatte sowie eine temporäre Stahlaussteifungsebene in 35 m Tiefe.

Zusätzlich werden aus der Baugrube heraus auch die eigentlichen Bahnsteigröhren des Haltepunkts in einem 5-zelligen Querschnitt sowie der Verbindungsstollen zur bestehenden U-Bahn-Station am Marienplatz in bergmännischer Bauweise unter Druckluft gebaut. Zur Kompensation von Setzungen, die durch den Tunnelvortrieb der Bahnsteigröhren entstehen können, werden Hebungsinjektionsbohrungen unter der bestehenden Bebauung und U-Bahn-Röhren hergestellt, durch die sich Bodenpakete inkl. der Bebauung gezielt anheben lassen.

In diesem Beitrag werden baubetriebliche und technische Besonderheiten bei der Umsetzung der vorgenannten Arbeiten erläutert. Zudem wird ein Ausblick auf die noch auszuführenden Arbeiten gegeben.

Taschenbuch für den Tunnelbau 2027. Herausgegeben von der DGGT, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
© 2027 Ernst & Sohn GmbH. Published 2027 by Ernst & Sohn GmbH. Alle Rechte vorbehalten, einschließlich derer für Text- und Data-Mining und Training von Technologien der Künstlichen Intelligenz oder ähnlichen Technologien.

Second Core S-Bahn Route in Munich: Marienhof Station – Addressing complex challenges in structural engineering, tunneling, and grouting in the city center

As part of the construction of the new Marienhof station for second core route Munich, highly complex structural engineering, compensation grouting and tunnelling works have been carried out since 2019 under challenging inner-city conditions. The central station structure is being realised using the diaphragm-wall top-down construction method and, with five bracing levels and an excavation depth of 45 m, is one of the deepest excavation pits in Germany, located in the heart of Munich. Key technical features are the two-layered construction of the base slab, which reaches a thickness of up to 5.40 m, as well as a temporary steel bracing level installed at a depth of about 35 m.

In addition, the actual platform tunnels of the new station – constructed in a five-cell cross-section – and the connecting tunnel to the existing Marienplatz underground station are being driven from within the excavation pit using conventional tunnelling methods under compressed air. To mitigate potential settlements induced by the tunnel excavation, compensation grouting boreholes are installed beneath the existing buildings and underground lines. These allow controlled uplifts of defined soil blocks including the overlying structures.

This article outlines the construction management framework and highlights the specific technical features of the aforementioned works and provides an outlook on the remaining activities to be completed.

1 Bisherige Arbeiten

1.1 Projektübersicht

Die Station Marienhof ist eine der drei Tiefstationen der zukünftigen 2. S-Bahn-Stammstrecke München und damit Bestandteil der umfangreichen Erneuerung und Erweiterung des Bahnknotens in der Metropolregion München. Die zentrale Lage in der Münchner Innenstadt sowie die zukünftige Gleislage in einer Tiefe von ca. 40 m unter Geländeoberkante (GOK) stellen sämtliche Projektbeteiligten vor außergewöhnliche technische, logistische und baubetriebliche Herausforderungen.

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

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

Taschenbuch für den Tunnelbau 2027

- **Dokumentiert den aktuellen Stand der Technik im Tunnelbau**
- **Aktuelle Branchenthemen und innovative Lösungen für die Praxis**
- **Ausgewählte Fachbeiträge führender Expert:innen**

Das Taschenbuch für den Tunnelbau ist das Kompendium des Tunnelbaus. Als praxisnaher Ratgeber für alle Beteiligten in Auftraggebung, Planung und Bauausführung greift es aktuelle Entwicklungen und Problemstellungen auf und zeigt innovative Lösungen. Die Beiträge in 2027 behandeln die Themen konventioneller bergmännischer Tunnelbau, maschineller Tunnelbau, Digitalisierung und Monitoring, Baustoffe und Bauteile, Tunnelbetrieb und Sicherheit, Forschung und Entwicklung und Nachhaltigkeit.

10 / 2026 · ca. 550 Seiten · ca. 150 Abbildungen

Hardcover

978-3-433-03496-5 ca. **€ 44,90***

Bereits vorbestellbar.

JETZT BESTELLEN
www.ernst-und-sohn.de/3496

Das Tunnelbau-Taschenbuch für Deutschland (inkl. MwSt.)