

Konventioneller bergmännischer Tunnelbau

I. **Bahnprojekt Stuttgart–Ulm, Anfahrbereich HBF Süd: Auffahren von Großquerschnitten im Vollaussbruch**

Martin Wittke, Ralf Druffel, Günter Osthoff, Andreas Rath

Im Hangbereich des Anfahrbereichs HBF Süd des Projekts Stuttgart 21 wurden zwei zweigleisige Eisenbahntunnelröhren mit Längen von ca. 220 bis 230 m aufgefahren. Die Tunnel liegen bei Überdeckungen von ca. 7 bis 45 m im ausgelaugten Gipskeuper unter Bebauung. Die bis zu 20 m breiten und ca. 16 m hohen Tunnelröhren wurden im Vollaussbruch mit abgetreppter Ortsbrust aufgefahren. Die Ausbruchsleibung wurde mit einer 50 bis 60 cm dicken stahlfaserbewehrten Spritzbetonschale gesichert. Die vorausseilende Sicherung erfolgte mit Ortsbrustankern, Sohlankern und Rohrschirmen. Zum Schutz der Bebauung wurden Hebungsinjektionen durchgeführt. Dazu wurden bis zu ca. 100 m lange Bohrungen aus zwei Schächten hergestellt. Die Vortriebsarbeiten konnten im Jahr 2020 erfolgreich abgeschlossen werden. Es wurden im Mittel Nettovortriebsleistungen von ca. 0,6 m/d erreicht.

Railway project Stuttgart–Ulm, launching area Station South: Full face heading with large cross sections

For the launching area Station South of the railway project Stuttgart 21, two 220 m and 230 m long two-track railway tunnels have been constructed. The tunnels are located in the leached Gypsum Keuper. The overburden varies from approx. 7 to 45 m. The tunnel cross sections are up to 20 m wide and up to approx. 16 m high. Heading was carried out by full face excavation with a stepped temporary face. The tunnel contour was supported by a 50 to 60 cm thick membrane of steel fibre reinforced shotcrete. The advancing support consisted of face anchors, invert anchors and forepoling. In order to protect the buildings at the surface against inadmissible subsidence compensation grouting was carried out. For this purpose up to approx. 100 m long drillings were carried out from

two shafts. Excavation works were successfully completed in the year of 2020. An average net advance rate of 0.6 m was achieved.

1 Einleitung

Für das Projekt Stuttgart 21 wurden im zum Fildertunnel gehörenden Anfahrbereich HBF Süd vom Verzweigungsbauwerk HBF Süd zum Südkopf des neuen Hauptbahnhofs zwei ca. 220 bis 230 m lange Tunnelröhren gebaut. Die für einen zweigleisigen Eisenbahnbetrieb ausgelegten Tunnelröhren besitzen ein Maulprofil.

Ursprünglich war vorgesehen, die Tunnelröhren in diesem Bereich in jeweils drei Abschnitten aufzufahren. In den einzelnen Abschnitten sollte vor Beginn der Vortriebsarbeiten in den Nachbarabschnitten zunächst die Innenschale eingebaut werden, um eine mögliche Beeinflussung des Druckspiegels des Mineralwassers unter der Stadt Stuttgart gering zu halten.

Im Zuge der Ausführung konnte u. a. durch 3D-Finite-Elemente-(FE)-Berechnungen der Sickerströmung gezeigt werden, dass es möglich ist, eine Beeinflussung des Druckspiegels im Mineralwasseraquifer auch dann zu vermeiden, wenn die Sicherung des Tunnels durch Stahlfaserspritzbeton erfolgt. Dieser muss jedoch eine geringe Durchlässigkeit besitzen und gegen Wasserdruck bemessen werden. Auf eine außen liegende Dränage muss dann verzichtet werden. Durch diese Maßnahmen war es möglich, auf den ursprünglich vorgesehenen schrittweisen Einbau der Innenschale zu verzichten.

Die zweigleisigen Tunnelröhren im Anfahrbereich HBF Süd sollten nach den ursprünglichen Planungen ebenso wie die Röhren unter dem Kriegsberg im Ulmenstollenvortrieb aufgefahren werden. Bei Ulmenstollenvortrieben kommt es jedoch, insbesondere bei hohen Überlagerungen, zu einer sehr ungünstigen Biege- und Querkraftbeanspruchung der Spritzbetonschale im Bereich der Anschlüsse der Ulmenstiele an das Gewölbe. Auch bei den Vortrieben für die Großquerschnitte unter dem Kriegsberg für die Tunnel des Planfeststellungsabschnitts (PFA) 1.5 des Projekts Stuttgart 21 hat sich gezeigt, dass sich an diesen Stellen eine sehr ungünstige Beanspruchung ergibt, gegen die die Spritzbetonschale nur schwer zu bemessen ist.



ALFRED KUNZ

HEGEMANN CONSTRUCTION



**IHR TUNNEL IST IHNEN ZU KLEIN?
WIR WEITEN IHN AUF!**

www.alfredkunz.de

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde entschieden, die Vortriebe für die Großquerschnitte im Anfahrbereich HBF Süd im Vollassbruch mit abgetreppter Ortsbrust auszuführen.

Im vorliegenden Beitrag werden das Projekt, die Baugrundverhältnisse sowie die Planung beschrieben, und es wird über die Erfahrungen beim Bau berichtet.

2 Projekt

Für das Bahnprojekt Stuttgart–Ulm werden im Stadtgebiet von Stuttgart mehr als 50 km Tunnel gebaut. Der neue Hauptbahnhof wird über die Tunnel nach Feuerbach, Bad Cannstatt sowie Ober- und Untertürkheim u. a. mit dem bestehenden Streckennetz der Deutschen Bahn (DB) verbunden. Über den vom Südkopf des neuen Hauptbahnhofs, Bauabschnitt (BA) 25, auf die Filderebene laufenden ca. $2 \times 9,5$ km langen Fildertunnel erfolgt die Anbindung an den Flughafen und die Neubaustrecke nach Ulm [1, 2].

Für den Anfahrbereich HBF Süd des Fildertunnels werden zwei zweigleisige Tunnelröhren, die Röhren 815 und 825, gebaut (Bild 1). Diese

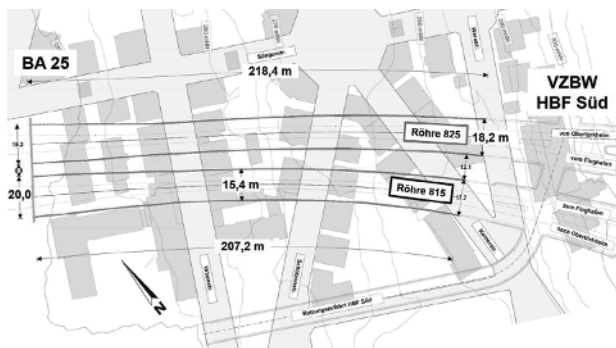


Bild 1. Anfahrbereich HBF Süd, Lageplan



Tunnelbau mit Baresel

- | Partnerschaftliche Leistungen
- | Technische Lösungen
- | Richtungsweisende Innovationen
- | Engagierte Spezialisten

verbinden den Hauptbahnhof mit dem Verzweigungsbauwerk HBF Süd, in dem die Tunnel nach bzw. von Obertürkheim vom Fildertunnel abzweigen. Im Verzweigungsbauwerk mündet auch die Rettungszufahrt HBF Süd, über die u. a. der Anfahrbereich HBF Süd aufgefah- ren wurde.

Die Tunnelröhren haben im Anfahrbereich einen bis zu 20,0 m breiten und 15,6 m hohen Ausbruchquerschnitt (Bild 2) [3]. Der Querschnitt wird durch eine 50 bis 60 cm dicke Schale aus stahlfaserbe- wehrtem Spritzbeton gesichert. Aus statischen Gründen wurde die Sohle stärker ausgerundet, als es das Lichtraumprofil erfordert.

Der Tunnelquerschnitt verjüngt sich ausgehend vom BA 25 zunächst und weitet sich in Richtung Verzweigungsbauwerk wieder auf. Die geringste Ausbruchbreite von ca. 15,4 m wird östlich der Urbanstraße erreicht (vgl. Bild 1). Hier besitzt der Tunnel auch die geringste Quer- schnittshöhe (Bilder 2 und 3). Zur Vereinfachung der Schalung der ständig wechselnden Querschnitte werden die Sohle und die Innen- seite der Firste der Innenschale horizontal ausgeführt. Die Innen- radien in Höhen der Ulmen können auf diese Weise unverändert

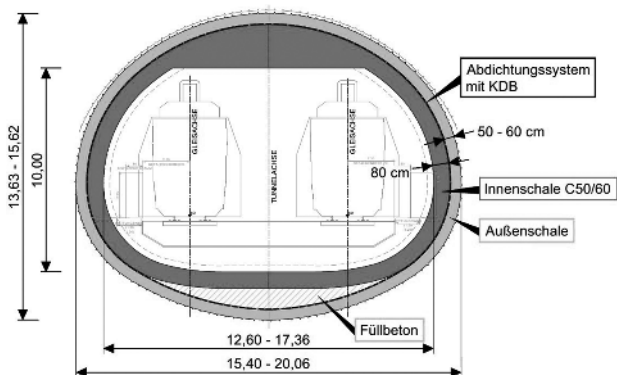


Bild 2. Tunnelquerschnitt



**CDM
Smith®**
listen. think. deliver.®

Nachhaltige Lösungen weltweit

BERATUNG · PLANUNG · BAUBEGLEITUNG · PROJEKTSTEUERUNG

cdmsmith.com

Achim Hettler, Karl-Eugen Kurrer

Erddruck

- Sammlung von Arbeitsanleitungen und Anwendungshinweisen
- Kommentar zur DIN 4085
- historische Aufarbeitung der Entwicklung der Erddrucktheorie
- umfassende und konkurrenzlose Darstellung

BESTELLEN
+49 (0)30 470 31-236
marketing@ernst-und-sohn.de
www.ernst-und-sohn.de/3274

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

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

2019 · 394 Seiten · 261
Abbildungen · 14 Tabellen

Hardcover
ISBN 978-3-433-03274-9
€ 89*

eBundle (Print + PDF)
ISBN 978-3-433-03275-6
€ 79*

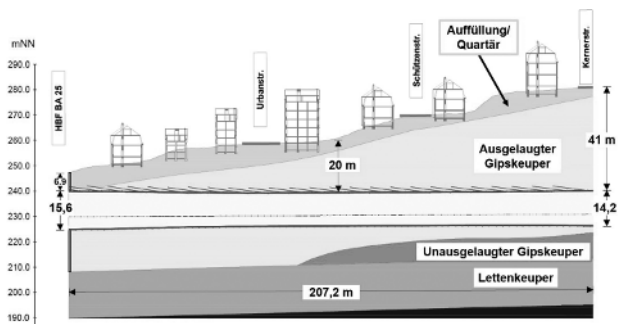


Bild 3. Weströhre (815), Längsschnitt

bleiben. Unterhalb der horizontalen Sohle wird der verbleibende Zwischenraum zwischen Innen- und Außenschale mit Füllbeton ausgefüllt. Der Tunnel wird mit einer KDB abgedichtet.

Die Überlagerung des Tunnels wächst von ca. 7 m an der Bohrpfahlwand des BA 25 auf ca. 40 bis 50 m im Bereich des Verzweigungsbauwerks an. Der Tunnel liegt über die gesamte Länge des Anfahrbereichs unter mehrgeschossiger Bebauung (Bilder 1 und 3).

3 Baugrundverhältnisse

Im Anfahrbereich HBF Süd liegen die Tunnel nahezu ausschließlich in den Schichten des ausgelaugten Gipskeupers (vgl. Bild 3). An der Geländeoberfläche stehen Hangschutt und Auffüllungen an, die nach den Ergebnissen der Erkundungen im Bereich des BA 25 bis unmittelbar über die Firste reichen.

Am Übergang zum Verzweigungsbauwerk steht unterhalb der Tunnelsohle anhydritfreier, unausgelaugter Gipskeuper an. Der Lettenkeuper liegt nach den Ergebnissen der Erkundungen ca. 15 m unter der Tunnelsohle. Daran schließt sich unterhalb der Obere Muschelkalk an, der Mineralwasser führt.

www.BPA-waterproofing.com



WATERPROOFING SYSTEMS

100% **DICHT
HALTEN**

Hochtechnische
Abdichtungslösungen
für Gebäude, Tunnel
und Fundamente.
Weltweit im Einsatz.

BPA GmbH | Behringstraße 12 | 71083 Herrenberg
TEL +49 (0)7032 89 399-0 | info@BPA-waterproofing.com

Bernhard Maidl, Martin Herrenknecht, Ulrich Maidl,
Gerhard Wehrmeyer

Maschinelles Tunnelbau im Schildvortrieb

- neue Auflage, komplett überarbeitet und aktualisiert
- Übersicht zu Einsatzgebieten und Anwendungsgrenzen moderner Tunnelvortriebsmaschinen

BESTELLEN

+49 (0)30 470 31-236
marketing@ernst-und-sohn.de
www.ernst-und-sohn.de/2948

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

2., vollst. überarb. u. erw.
Auflage · 2011 · 492 Seiten ·
468 Abbildungen · 44 Tabellen

Hardcover
ISBN 978-3-433-02948-0
€ 119*

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

Der ausgelaugte Gipskeuper ist ein sulfatfreies Residualgestein des Gipskeupers, das eher Lockergesteinscharakter besitzt, weil die durch das Sulfat bedingte Festigkeit des Gipskeupers durch Auslaugung verloren gegangen ist [4]. Auf der Grundlage von Erfahrungen kann der ausgelaugte Gipskeuper nach dem Wassergehalt in vier Klassen eingeteilt werden:

- Klasse I: gesteinsartig,
- Klasse II: mürbe,
- Klasse III: sehr mürbe,
- Klasse IV: vollständig entfestigt.

Der E-Modul des ausgelaugten Gipskeupers kann für die Klassen II und III mit 150 MN/m^2 angenommen werden. Bei größerem Anteil der Klasse IV liegt der E-Modul nur noch in der Größenordnung von 80 MN/m^2 [4]. Die Festigkeit des ausgelaugten Gipskeupers kann nach Mohr-Coulomb mit $\varphi = 30^\circ$ und $c = 0 \text{ kN/m}^2$ oder $\varphi = 25^\circ$ und $c = 20 \text{ kN/m}^2$ angesetzt werden.

Insbesondere im Bereich von Störzonen und in der Nähe der Auslaugungsfront, d. h. in der Nähe des Übergangs zum unausgelaugten Gebirge, können im ausgelaugten Gipskeuper Dolinen vorhanden sein.

4 Planung für Ausbruch und Sicherung

Als Grundlage für die Planung wurden räumliche FE-Berechnungen mit den Programmsystemen FEST03 und HYD03 durchgeführt. Beispielsweise zeigt Bild 4 das FE-Netz des Berechnungsquerschnitts für den Bereich mit der größten Überlagerung. Es wurden beide Tunnelröhren nachgebildet, um die gegenseitige Beeinflussung der beiden Röhren untersuchen zu können.

Der E-Modul des ausgelaugten Gipskeupers wurde in den Berechnungen variiert, $E = 80 \text{ MN/m}^2$ und $E = 150 \text{ MN/m}^2$. Für den unterhalb der Sohle anstehenden unausgelaugten Gipskeuper wurde elastisches Verhalten angenommen. Der E-Modul des Spritzbetons wurde in den Berechnungen ebenfalls variiert. Aufgrund der vergleichsweise geringen Vortriebsgeschwindigkeit wurde der Bemes-

MINIMAL INVASIV MAXIMAL WIRKSAM

Gezielte Fugennachdichtung
mit unserer neuartigen
B-STING® INJEKTIONSBOHRNADEL

► WWW.B-STING.DE



DESOI GmbH | Gewerbestraße 16 | 36148 Kalbach | GERMANY

Tel.: 06655 9636-0 | info@desoi.de | www.desoi.de

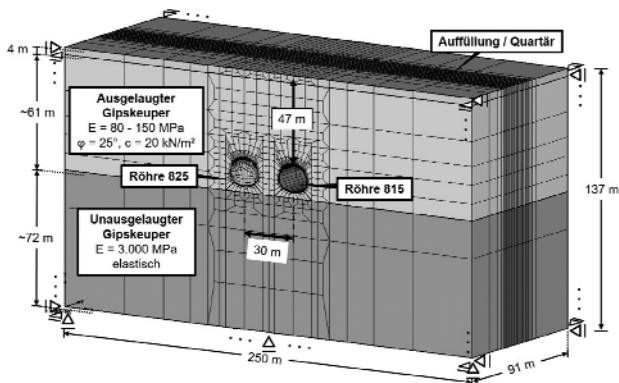


Bild 4. 3D-FE-Netz

sung ein E-Modul von $15\,000\text{ MN/m}^2$ zugrunde gelegt. In zusätzlichen Berechnungen wurde auch das Durchfahren einer Störzone simuliert.

Maßgebend für die Bemessung ist die Beanspruchung der Spritzbetonschale in der ersten Röhre, die entsteht, nachdem die zweite Röhre aufgefahren wurde. Die in Bild 5 dargestellten Schnittgrößen zeigen eine hohe Normalkraftbeanspruchung. Aufgrund der gewählten Ausrundungsradien spielen Biegung und Querkraft für die Bemessung nur eine untergeordnete Rolle.

Die hohe Normalkraftbeanspruchung führt bei einer Spritzbetonschalendicke von 50 cm zu einer Druckbewehrung in den Ulmenbereichen. Daher wurde entschieden, die Dicke der Spritzbetonschale in diesem Bereich auf 60 cm zu vergrößern. Durch diese Maßnahme ist nur noch eine sehr geringe Umfangsbewehrung erforderlich, die durch Gitterbögen abgedeckt werden kann. Eine Schubbewehrung ist nicht erforderlich.

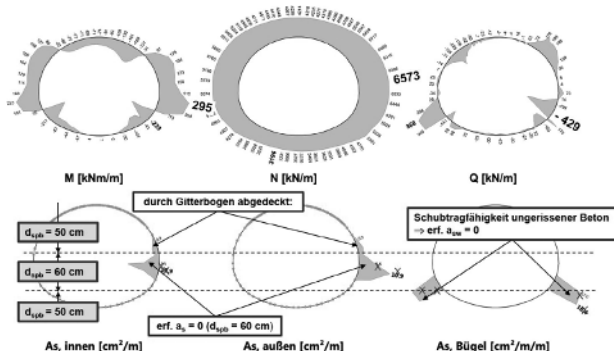


Bild 5. Spritzbetonschale 1. Röhre, Bemessung nach Auffahren 2. Röhre

Eine Besonderheit stellt die Biegebeanspruchung der in der Firste nach vorne ausragenden Spritzbetonschale dar (Bild 6). Die hier beim Ausbruch der Strosse und Sohle (Bild 7) entstehende Zugbeanspruchung an der Außenseite kann durch den stahlfaserbewehrten Spritzbeton aufgenommen werden.

Die räumlichen Berechnungen enthalten auch den Nachweis der Standsicherheit der Ortsbrust. Danach ist eine relativ engständige Ortsbrustankerung erforderlich (SB-Anker R32S bzw. R51L, Bild 8). Darüber hinaus ergab sich die Notwendigkeit, das Gebirge unterhalb der Sohle durch eine vorausseilende Ankerung zu stabilisieren (Sohlanker R51L, Bild 8). Die radiale Ankerung in den Ulmen wurde konstruktiv gewählt. Im Gebirgspfeiler zwischen den Tunnelröhren wurde eine Durchankerung vorgesehen.

Auch die Wirkung der vorausseilenden Rohrschirmsicherung wurde in den FE-Berechnungen berücksichtigt. Die Röhre wurden wie die Ortsbrustanker mit einer Länge von 16 m ausgeführt. Um die Größe des Querschnitts zu begrenzen, wurde auf die Herstellung von Rohrschirmnischen verzichtet.

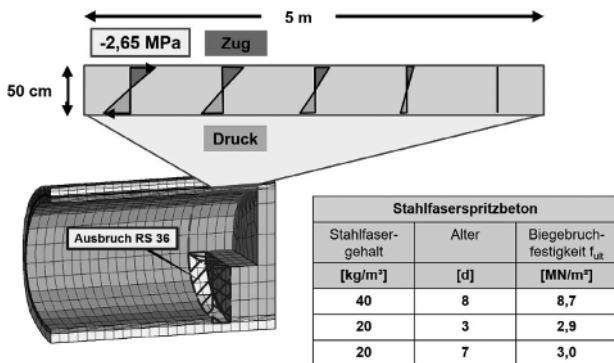


Bild 6. Bemessung Spritzbetonschale in Längsrichtung



Bild 7. Sohlaushub

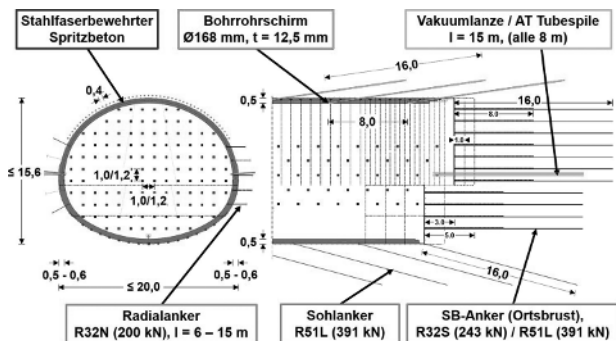


Bild 8. Vortriebsklasse

Die Abschlaglänge wurde mit 1 m im Bereich der Kalotte und mit 2 m im Bereich der Sohle festgelegt. Der Sohlschluss erfolgte spätestens nach 5 m (Bild 8).

Die Spritzbetonschale wurde gegen Wasserdruck bemessen, und es wurde keine außen liegende Sohldränage angeordnet. Um Strömungskräfte im Bereich der Ortsbrust zu vermeiden, wurden voraus-eilende Vakuumanlagen (System AT-Tubespile der Fa. DSI) in Höhen der Ulmen vorgesehen.

Die räumlichen Berechnungen führen auch zu einer Prognose der vortriebsbedingten Verschiebungen im Tunnel und im Bereich der Oberfläche. Beispielhaft zeigt Bild 9 die Prognose der Senkungen für den Vortrieb der ersten Röhre im Bereich der größten Überdeckung. Unter der Annahme eines E-Moduls für den ausgelaugten Gipskeuper von 150 MN/m² ergaben die Berechnungen maximale Senkungen an der Geländeoberfläche von ca. 20 bis 30 mm. Die prognostizierten messbaren Firstsenkungen betragen ca. 40 mm.

Zur Überwachung der Standsicherheit der Ortsbrust wurden dem Vortrieb voraus-eilend eingebaute horizontale Gleitmikrometer vor-

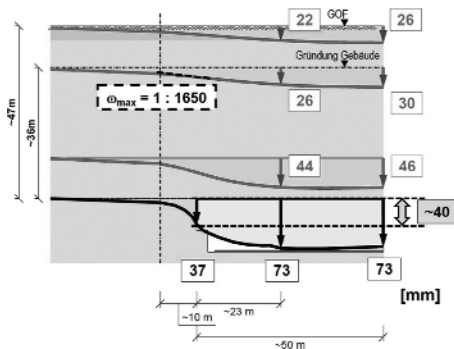


Bild 9. Errechnete Senkungen, Vortrieb 1. Röhre, Längsschnitt

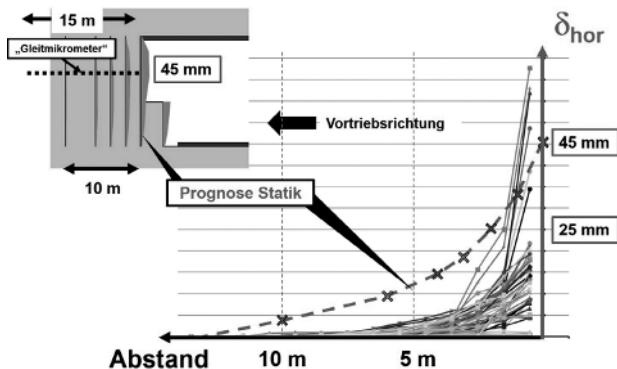


Bild 10. Verschiebung Ortsbrust, Vergleich Messung und Rechnung

gesehen, mit denen die Horizontalverschiebungen im Bereich vor der Ortsbrust gemessen werden konnten. Die FE-Berechnungen führten zu dem Ergebnis, dass die Horizontalverschiebungen bis max. rund 10 m vor die Ortsbrust reichen (Bild 10).

5 CGV-Maßnahme

Zur Begrenzung der Senkungen und Senkungsunterschiede an den Gebäuden wurden Hebungsinjektionen (CGV) ausgeführt. Zur Herstellung der dazu erforderlichen horizontalen Bohrungen dienten die Schächte 2 und 3 (Bilder 11 und 12). Mit den Bohrungen aus Schacht 3 wurden die im Bereich der Tunnel liegenden Gebäude in der Schützen- und Urbanstraße (vgl. Bild 1) erreicht. Dafür wurden Bohrungen mit einer Länge von bis zu 99,4 m erforderlich. Aus Schacht 2 heraus wurden die Gebäude in der Nähe des BA 25 angehoben. Da zusätzliche Schächte im oberen Bereich des Hangs nicht genehmigungsfähig waren, konnten die Gebäude der Kernerstraße nicht in den CGV-Bereich aufgenommen werden.

Aufgrund der Hanglage war der Abstand der CGV-Bohrungen zu den Fundamenten der Gebäude im Bereich der Schützenstraße sehr groß. Dieser Umstand musste bei der Planung der Injektionen berücksichtigt werden.

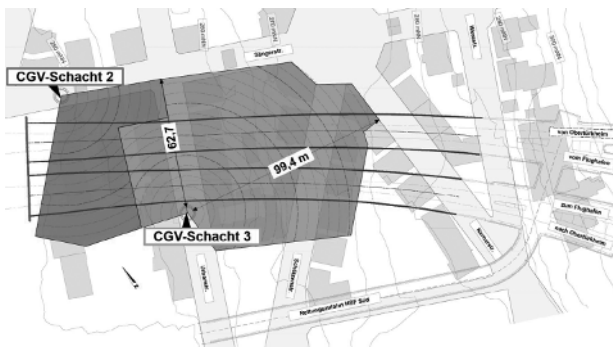


Bild 11. Lageplan mit CGV-Maßnahmen

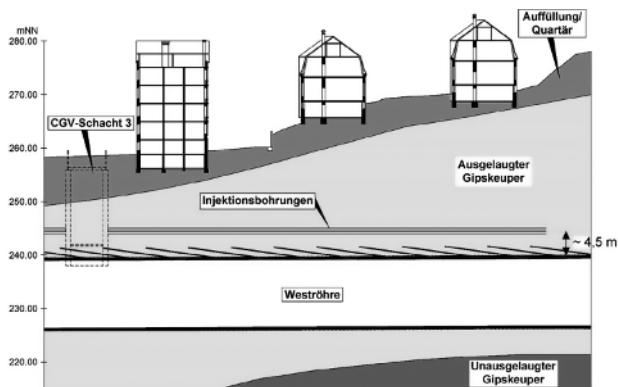


Bild 12. CGV-Maßnahmen, Längsschnitt Röhre 815 mit CGV-Schacht 3 und Injektionsbohrungen

6 Bauausführung

Die Arbeiten begannen Ende Januar 2019 in der Röhre 815 und wurden mit erfahreinem Vortriebspersonal erfolgreich durchgeführt (Bild 13). Der Durchschlag der ersten Röhre erfolgte Anfang Februar 2020 (Bild 14). Die zweite Röhre folgte der ersten Röhre in einem Abstand von ca. 40 bis 50 m. Der Durchschlag der zweiten Röhre konnte Anfang Mai 2020 abgeschlossen werden (Bild 15).

Ohne Berücksichtigung der Herstellung der Rohrschirme und der Ortsbrustanker konnte eine mittlere Vortriebsgeschwindigkeit von 1,0 m/d erzielt werden. Berücksichtigt man die Arbeitsgänge für die Voraussicherungen und Entwässerungsmaßnahmen, so ergibt sich eine mittlere Vortriebsgeschwindigkeit von 0,6 m/d.

Im Bereich, in denen die CGV-Maßnahmen ausgeführt wurden, ergaben sich nach Abschluss der Vortriebsarbeiten Senkungen von ca. 3 bis 5 cm (Bild 16). Bei allen Gebäuden in diesem Bereich sind die Neigungen nach Beendigung der Vortriebe geringer als 1:500.



Bild 13. Vortriebsarbeiten

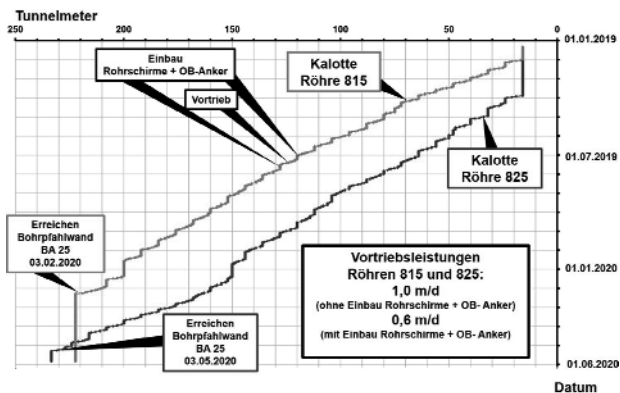


Bild 14. Bauzeitdiagramm



Bild 15. Vortrieb der Röhre 825, Durchschlag zu BA 25

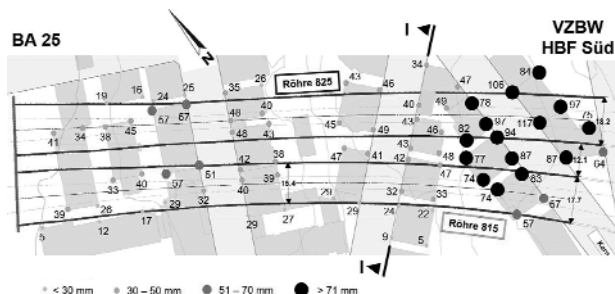


Bild 16. Gemessene Senkungen nach Vorhebungen und Tunnelvortrieben

Trotz der großen Überlagerung gelang es, die Gebäude in der Schützenstraße (vgl. Bild 11) anzuheben, wie am Beispiel des Gebäudes A in Bild 17 für die Messpunkte MP 1 und MP 2 zu erkennen. Im Zuge der Unterfahrung stellten sich für den MP 2 Senkungen von 56 mm ein. Die effektiven Senkungen betrugen aufgrund der erfolgten Vorhebung dagegen nur 38 mm. Erste Senkungen traten ein, als die Ortsbrust der ersten Röhre einen Abstand von ca. 35 m zum Gebäude hatte. Die Senkungen konvergierten, nachdem die zweite Röhre ca. 40 m über den Querschnitt hinaus vorgetrieben war. Dieses Ergebnis muss vor dem Hintergrund der relativ großen Überdeckung von ca. 30 m in diesem Bereich gesehen werden.

Beispielhaft sind die im Bereich des Schnitts I–I entlang der Schützenstraße (vgl. Bild 16) gemessenen und errechneten Verschiebungen dargestellt. In diesem Bereich wurde eine Vorhebung von max. ca. 18 mm erreicht. Die Senkungen betrugen nach Abschluss der Vortriebsarbeiten max. 43 mm (Bilder 16 bis 18). Zum Vergleich sind die aus den FE-Berechnungen resultierenden Senkungen dargestellt. Dabei wurden die E-Moduln des ausgelaugten Gipskeupers von

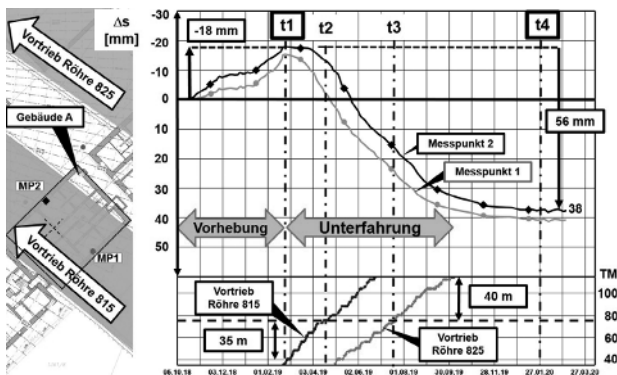


Bild 17. Unterfahrung von Gebäude A

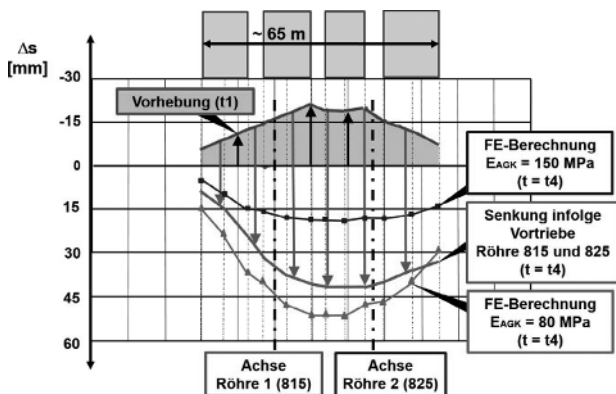


Bild 18. Unterfahrung Gebäude, Schnitt I-I, Vertikalverschiebungen

$E = 80 \text{ MN/m}^2$ und $E = 150 \text{ MN/m}^2$ zugrunde gelegt. Es zeigt sich, dass der E-Modul des ausgelaugten Gipskeupers in diesem Bereich eher 80 MN/m^2 betragen dürfte. Auch die beim Vortrieb gemessenen Wassergehalte weisen in diese Richtung.

Größere Senkungen sind im Bereich der größten Überdeckung aufgetreten, bis zu der die Hebungsinjektionen nicht reichten (Bild 16). Diese sind vor allem darauf zurückzuführen, dass in diesem Bereich offensichtlich mehrere Dolinen im Baugrund vorhanden waren (Bild 19). Diese Feststellung resultiert aus den Kartierungen beim Vortrieb, in denen außer einer Doline auch Verstürzmassen festgestellt wurden. Außerdem wurden in diesem Bereich, insbesondere in der Röhre 825, über die Anker sehr große Verpressmengen eingebracht, die vom Baugrund aufgenommen wurden (Bild 19). In diesem Bereich traten bei zwei Gebäuden Neigungen von $> 1:500$ auf.

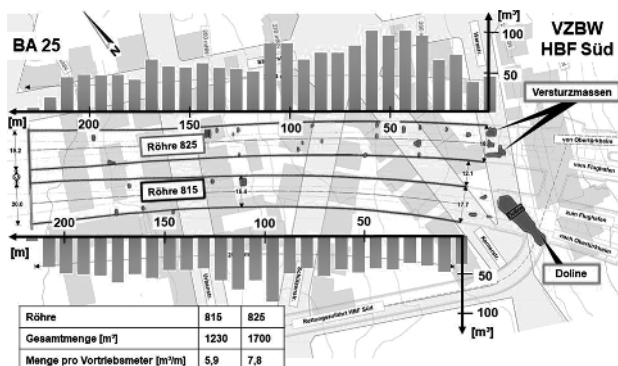


Bild 19. Regelsicherung und Sondermaßnahmen, Verpressmengen

7 Zusammenfassung

Im Hangbereich des Anfahrbereichs HBF Süd des Projekts Stuttgart 21 wurden zwei zweigleisige Eisenbahntunnelröhren unter Bebauung aufgeföhren. Die Tunnel liegen im ausgelaugten Gipskeuper, der Verformungsmoduln von 80 bis 150 MN/m² aufweist. Die Tunnel wurden im Volllausbruch mit abgetreppter Ortsbrust aufgeföhren. Die Ausbruchsleistung wurde mit 50 bis 60 cm stahlfaserbewehrtem Spritzbeton gesichert. Die vorausseilende Sicherung erfolgte durch Rohrschirme, Ortsbrust- und Sohlanker.

Die Bemessung der Auskleidung und die Prognose der Senkungen erfolgte mithilfe von räumlichen FE-Berechnungen. Auch die Sickerströmung und der Einfluss der Vortriebsarbeiten auf das Mineralwasser wurden mit 3D-FE-Berechnungen untersucht.

Es konnte eine mittlere Nettovortriebsleistung von 0,6 m/d erzielt werden. Zum Schutz der Gebäude wurden Hebungsinjektionen (CGV) durchgeführt. Dazu wurden bis zu 99,4 m lange Bohrungen aus Schächten hergestellt.

Im Bereich des Hebungsfelds betrugen die Senkungen nach Abschluss der Arbeiten zwischen 3 und 5 cm. Die maximalen Neigungen der Gebäude waren $< 1:500$. Die gemessenen Verschiebungen liegen in der Größenordnung der Prognosen, die mit E-Moduln des ausgelaugten Gipskeupers von $E = 80 \text{ MN/m}^2$ und $E = 150 \text{ MN/m}^2$ erstellt wurden.

Im Bereich der maximalen Überdeckung in der Nähe des Verzweigungsbauwerks, in dem keine Hebungsinjektionen durchgeführt wurden, ergaben sich größere Senkungen und an zwei Gebäuden Neigungen von $> 1:500$. Diese sind insbesondere auf in diesem Bereich verstärkt vorhandenen Auslaugungserscheinungen bzw. Dolinen zurückzuführen.

Literatur

- [1] Breidenstein, M.; Wittke, M. (2015) *Bahnprojekt Stuttgart–Ulm: Der Fildertunnel – Erfahrungen und Ausblick mit der kombinierten Bauweise mittels Spritzbeton und Tunnelvortriebsmaschine*, STUVA-Tagung 2015, Forschung + Praxis **46**.
- [2] Leger, M. (2015) *Bahnprojekt Stuttgart–Ulm: Stand und Ausblick*. Vorträge anlässlich des Felsmechanik- und Tunnelbautages 2015 im WBI-Center, 16.04.2015, Weinheim, WBI-PRINT **18**.
- [3] Wittke, W.; Wittke, M.; Druffel, R.; Rath, A.; Osthoff, G. (2019) *Großquerschnitte im Anfahrbereich Hauptbahnhof Süd – Statische Berechnungen, Senkungsprognosen und Baubetriebliche Aspekte*. Vorträge anlässlich des 5. Felsmechanik- und Tunnelbautages 2019 im WBI-Center, 23.05.2019, Weinheim, WBI-PRINT **22**.
- [4] Wittke, W. (2015) *Baugrundverhältnisse des Bahnprojekts Stuttgart–Ulm*. Vorträge anlässlich des Felsmechanik- und Tunnelbautages 2015 im WBI-Center, 16.04.2015, Weinheim, WBI-PRINT **18**.

GLOBAL CONSTRUCTION UNLIMITED

Mining

Tunnelling &
Refurbishment

Shaft-
Construction &
Hoisting
equipment

Steel- &
Formwork

Constructing the future is part of our daily business. The world is constantly changing and therefore we are creating new ways of building – on and below the surface. Every project pushes us forward and our goals are constantly growing. We never let it rest until our good is better than our best and our best is better than the rest.

You as a customer can always rely on our expertise, experience and competence – no matter what you need – a perfect shaft, a high-tech tunnel or a modern building – we are the best partner for you. The requirements are higher than ever before. ÖSTU-STETTIN develops and designs constantly new machines and construction methods to build for the future.

**With our team, we find
the best solution for your project!**



CONSTRUCTION

From modern architecture to high-speed modular construction - we realize your vision.



SUBSURFACE

Our high-tech equipment and experienced staff reaches your goal.



FORMWORK

A mountain is as unique as a fingerprint. Our steel and formwork meets those needs.



oestu-stettin.at

ÖSTU-STETTIN | Hoch- und Tiefbau GmbH

HAB
HABAU GROUP

