

# Spreng- und immissionstechnische Herausforderungen beim Vortrieb des Albabstiegstunnels

Ein Projekt der Deutschen Bahn auf der Neubaustrecke Wendlingen - Ulm

Technical challenges during the tunneling work of the Alb descent tunnel in concern of blasting and environment  
A project of the German Railway Assoc. at the new rails construction Wendlingen - Ulm

von Guido A. Schmücker, Matthias Abele, Alexander Kirchhofer

*Der Vortrieb des Albabstiegstunnels war gekennzeichnet durch spreng- und immissionstechnische Herausforderungen. Mit Blick auf das anspruchsvolle (innerstädtische) Umfeld bedurfte es der Planung einer erschütterungsreduzierten Sprengtechnik sowie deren Überwachung mittels Durchführung von umfangreichen Erschütterungsmessungen. Darüber hinaus waren aus den Ergebnissen der Messungen umfangreiche Maßnahmen zur weiteren Reduzierung der Erschütterungsimmissionen abzuleiten.*

*The drifting of the tunnel Albabstieg was characterized by blasting- and immission-related challenges. In view of the demanding (inner-city) environment, it was necessary to plan a vibration-reduced blasting technique and to monitor it by carrying out extensive vibration measurements. In addition, extensive measurements for the further reduction of vibration immissions were derived from the results of the measurements.*

## 1 Einleitung

Mit der Neu- und Ausbaustrecke Stuttgart - Ulm - Augsburg entsteht im Süden Deutschlands ein Abschnitt der neuen transeuropäischen Magistrale Paris - Budapest. Dabei werden 51 % der 59,6 km langen Neubaustrecke (NBS) Wendlingen - Ulm, deren Inbetriebnahme für 2021 geplant ist, als Tunnelstrecke ausgeführt.

Der Tunnel Albabstieg (Vergabeeinheit VE 240) ist mit einer Länge von 5.940 m der drittlängste von den fünf Tunneln (> 500 m) der NBS. Er ist Teil des Planfeststellungsabschnittes (PFA) 2.4, der insgesamt eine Länge von 6,5 km aufweist (Abb. 1).

Auf dem Gebiet der Gemeinde Dornstadt schwenkt die bis hier in Parallelführung zur Bundesautobahn A 8 verlaufende Trasse in südöstliche Richtung und führt zum Gleisvorfeld des Hauptbahnhofes Ulm. Dabei werden nach dem in offener Bauweise erstellten Portal Dornstadt das Areal des Standortübungsplatzes der Rommel-Kaserne und die Talauffüllung Rappenbad sowie ein Neubaugebiet des Ulmer Stadtteiles Lehr unterfahren. Im weiteren Verlauf passiert die Strecke das Gelände der Universität Ulm, erreicht hiernach das Lehrer Tal und führt parallel zur Bundesstraße B 10 schließlich in südlicher Richtung unter einem zum Ulmer Stadtteil Stadtmitte (Michelsberg) zählenden, eng bebauten Wohngebiet hin zum Portal Ulm bzw. zum Hauptbahnhof Ulm.

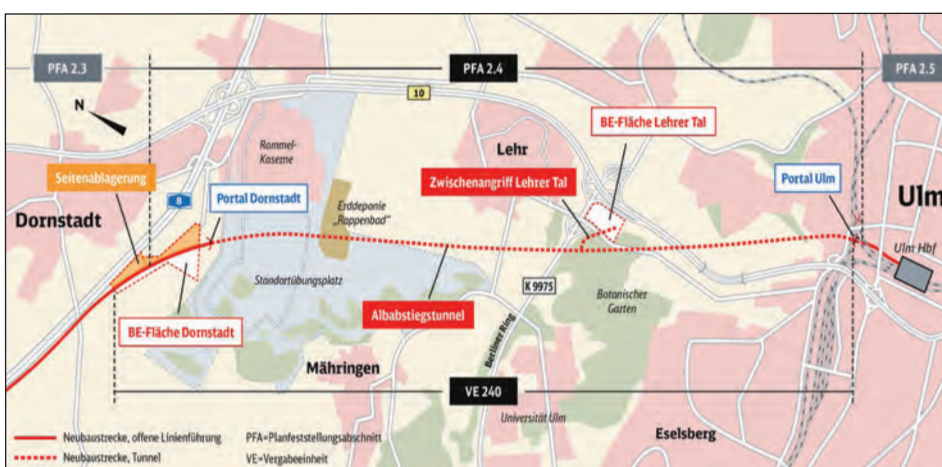


Abb. 1: Übersicht Planfeststellungsabschnitt 2.4

Foto: DB

Der Tunnel wurde mit zwei eingleisigen Tunnelröhren (Abstand ca. 20 bis 35 m untereinander, mit einer Längsneigung von 13,5 und 25 ‰ Richtung Süden) im kombinierten Bagger- und Sprengvortrieb in Spritzbetonbauweise dreischalig aufgeföhren, wobei der Sprengvortrieb dominierte. Dabei wurde der Gesamtquerschnitt in den drei Teilflächen Kalotte, Strosse und Sohle ausgebrochen.

Mit dem Albabstiegstunnel bewältigt die Strecke die Höhendifferenz von ca. 95 m von der Albhochfläche hinab bis zum Hauptbahnhof Ulm.

Des Weiteren wurden zwischen den beiden Tunnelröhren im Abstand von 500 m Verbindungsbauwerke erstellt.

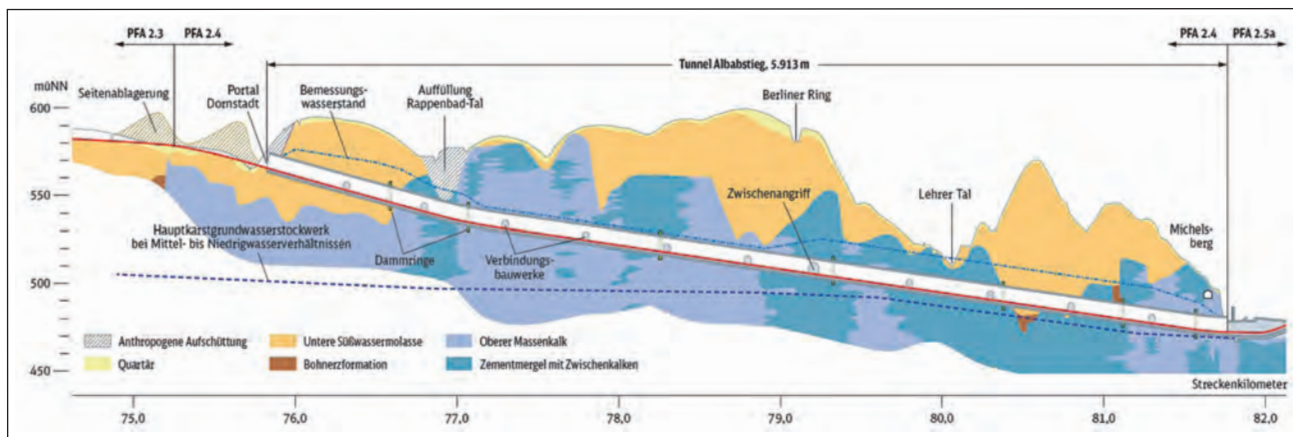


Abb. 2: Geologischer Längsschnitt

Foto: DB

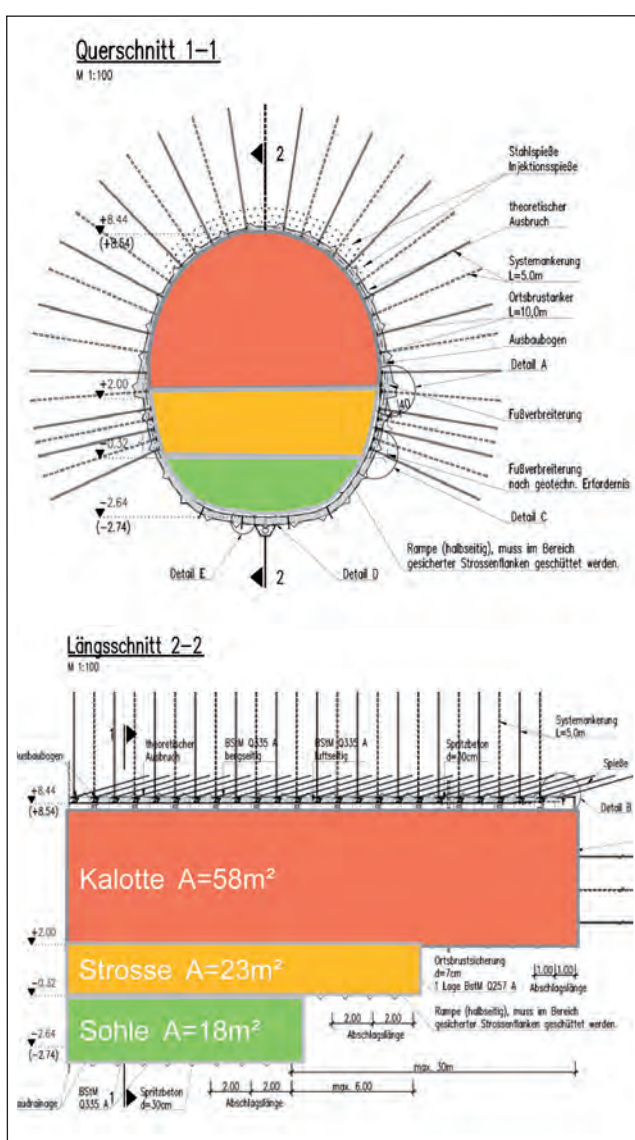


Abb. 3: Bauablauf: Vortrieb im Bagger-/Sprengverfahren (Vortrieb unterteilt in Teilflächen)

Foto: DB

Der Vortrieb der Tunnelröhren und der Verbindungsbauwerke erfolgte vom Portal Dornstadt in Richtung Süden fallend, vom temporären Zwischenangriff im Lehrer Tal aus in Richtung Norden steigend und in Richtung Süden fallend.

Aufgrund der am Portal Ulm herrschenden eng begrenzten Platzverhältnisse war es nicht darstellbar, die Tunnelröhren von dort aus steigend aufzufahren. Somit wurde innerhalb des Projektes ein Zwischenangriff mit einer Länge von 380 m im Lehrer Tal erstellt, der nach Beendigung der Baumaßnahme wieder verfüllt wird. Damit war die Möglichkeit gegeben, weitere Angriffsmöglichkeiten zu schaffen (insgesamt 3 Stück). Ferner konnten hiermit die Aufwendungen für die Ver- und Entsorgung (hier vor allem die untertägige Abförderung von Tunnelausbruchmaterial sowie Brauch- und Grundwasser) der einzelnen Vortriebe signifikant minimiert werden. Insgesamt war ein Ausbruchvolumen von ca. 1.200.000 m<sup>3</sup> geplant. Hiervon finden 500.000 m<sup>3</sup> für Seitenablagerungen an der Bundesautobahn A 8 Verwendung. Das restliche Ausbruchmaterial wird außerhalb des Projektes verwertet bzw. entsorgt. Neben dem Albstiegstunnel zählen zu der VE 240 noch 900 m freie Strecke der NBS.

Das Eisenbahn-Bundesamt erteilte im Juli 2012 den Planfeststellungsbeschluss. Von Dezember 2012 bis Juli 2013 erfolgte durch den Auftraggeber die europaweite Ausschreibung mit Präqualifizierung und Verhandlungsverfahren. Am 30.07.2013 wurde der Auftrag an die ARGE Tunnel Albstieg, bestehend aus den Firmen Ed. Züblin AG und Max Bögl Stiftung & Co KG, als VE 240 im Einheitspreisvertrag mit 6.840 m Streckenlänge vergeben.

Für den Tunnel war eine Bauzeit von August 2013 bis Dezember 2017 vorgesehen. Die Vortriebsarbeiten endeten am 22. November 2016 mit dem Durchschlag am Portal Ulm.

## 2 Geologie des Projektgebietes

Der geologische Aufbau des Projektgebietes ist maßgeblich gekennzeichnet durch Schichtabfolgen des verkarstungsfähigen Weißjuras und des Tertiärs. Prognostiziert waren Kalksteine wie Massenkalk, Zwischenkalke oder Zementmergel beziehungsweise untere Süßwassermolasse. Aufgrund der Schichtlücke zwischen den Schichtabfolgen des Weißjuras und des Tertiärs überlagern die tertiären Gesteine die Schichtabfolgen des Weißjuras diskordant.



Ferner war im Bereich des Rappenbadtales von anthropogenen Auffüllungen auszugehen. Des Weiteren waren unterschiedlichste Karstvorkommen prognostiziert. Diese konnten mit Sediment oder Wasser gefüllt sein. Während des Vortriebes bestätigte sich diese Prognose. Es wurden mehrere Karste beziehungsweise kleine bis sehr große Karsthöhlen angefahren. Diese nicht immer vorhersehbaren geologischen Situationen hatten, neben der Notwendigkeit des Ergreifens von Sofortmaßnahmen zur Vortriebssicherung, auch zum Teil starke Auswirkungen auf die Erschütterungsimmissionen. Es wurde an diesen Stellen, anders als bei der Planung der Sprengparameter angenommen, mehr Energie der Sprengungen in Erschütterungen umgesetzt. Hieraus resultierten teilweise unkalkulierbare Messwertspitzen bei den Erschütterungsmessungen. Diesen Herausforderungen - besonders im Bereich des Wohngebietes Michelsberg mit geringen Gebirgsüberdeckungen - musste mit sprengtechnischen Maßnahmen gegengesteuert werden.

### 3 Eingesetzte Sprengtechnik und Lager-situation

Schon im Vorfeld der Sprengarbeiten zum Vortrieb des Albastiegstunnels lag ein Fokus auf den zu erwartenden Erschütterungsimmissionen und deren Reduzierung. Somit erfolgte die gesamte Planung der Bohr- und Sprengarbeiten unter der Zielsetzung, ein gebirgsschonendes, profilgenaues und erschütterungsarmes Sprengergebnis zu erzielen. Hierfür wurden vom beauftragten Sachverständigenbüro Engineering Service Schmücker in den für den Genehmigungsprozess obligatorischen spreng- und immissionstechnischen Gutachten die erforderlichen Leit-sprengbilder erstellt.

Ein weiteres Werkzeug zur Zielerreichung der Erschütterungsminimierung war die Formulierung eines Maßnahmenkataloges bereits in einer frühen Phase des Sprengvortriebs. Dieser sah sechs Maßnahmen vor, die bei Er-

reichung eines bestimmten Erschütterungsniveaus zu ergreifen waren, um einen weiteren Anstieg des Erschütterungsniveaus zu verhindern. Nachfolgend sind diese sechs Maßnahmen aufgeführt:

1. Einsatz der Sprengleitbilder (für Kalotte, Strosse, Sohle) zum erschütterungsarmen Sprengen
2. Computerunterstütztes Bohren (Kalotte, Strosse, Sohle) mit einfacher Sektorenzündung
3. Einsatz der erweiterten Sektorenzündung mit nur einer Bohrlochladung je Zündzeitstufe (Kalotte, Strosse, Sohle) inkl. computerunterstützten Bohrens
4. Einsatz eines Paralleleinbruchs auf z. B. 4 Großbohrlöcher in der Kalotte anstelle des Keileinbruchs inkl. computerunterstützten Bohrens (nur als optionale Maßnahme)
5. Reduzierung der Ausbruchkubatur (entspricht Reduzierung der Abschlagslänge) inkl. computerunterstützten Bohrens
6. Elektronische Zündung (kam nur versuchsweise zur Anwendung) inkl. computerunterstützten Bohrens

Bei der Annäherung, beziehungsweise der Unterfahrung besonders sensibler Bereiche, der sog. Hot Spots, war die Anwendung der Maßnahmen 1, 3 und 5 zu großen Teilen obligatorisch. Auf die Hot Spots wird im nachfolgenden Abschnitt „Immissionsüberwachung“ (Erschütterungen) noch näher eingegangen.

Die Abschläge in der Kalotte wurden ausschließlich mit einem Keileinbruch (gestaffelter Keileinbruch) gesprengt. Dem Maßnahmenkatalog entsprechend, wurden versuchsweise sowohl der Paralleleinbruch als auch die elektronische Zündung (Typ Riotronic) angewendet. Beide Maßnahmen haben bei diesen Anwendungen nicht zu einer maßgebenden Reduzierung der Erschütterungen beigetragen. Ausschlaggebend waren geologische Gründe sowie die zum Teil geringen Abschlagslängen.

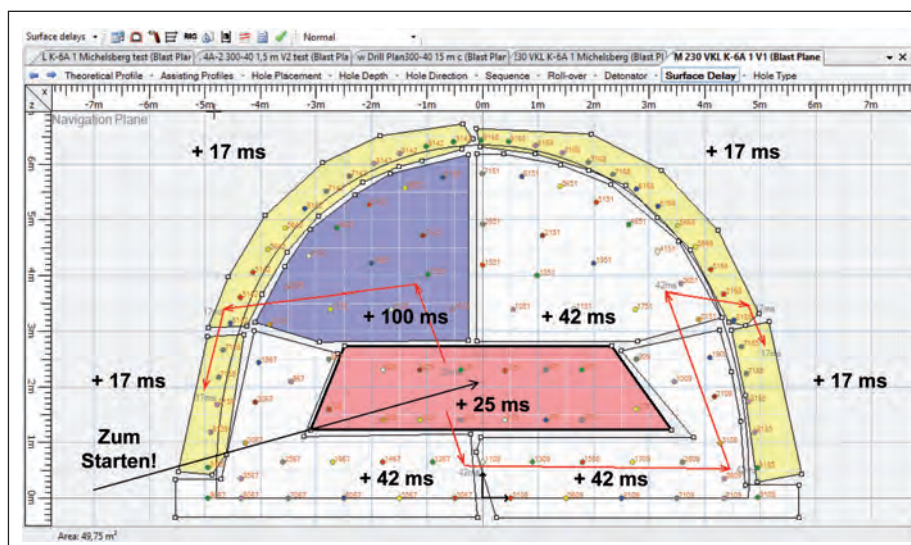


Abb. 4: Einsatz der Planungssoftware i-Sure für Sektorenzündung, Umsetzung der Maßnahmen 2 und 3 bei einer Abschlagszündung

Für die bohr- und sprengtechnischen Planungen der Abschläge wurde die Software i-Sure der Firma Sandvik von Engineering Service Schmücker verwendet (Abb. 4). Die Planungsdateien wurden in die verschiedenen Bohrwagen überspielt, die Ist-Daten jeder Sprengung im Anschluss von der Bauleitung bzw. im Bedarfsfall von dem Sprengsachverständigen ausgewertet und eine Stellungnahme zur Dokumentation erstellt.

Beim Vortrieb des Alabstiegstunnels wurden ca. 600 t des patronierten Emulsionssprengstoffes Rihit LS der Firma MAXAM Deutschland GmbH und ca. 420.000 Stück nicht elektrische Zünder vom Typ Rionel / Detinel MS und LP eingesetzt.

Die Schaffung regelkonformer Lagerbedingungen für die Explosivstoffe im Bereich des Lehrer Tals (Zwischenangriff) stellte eine weitere Herausforderung des Projektes dar. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten waren hier nur ein reduzierter Schutzabstand von 125 m sowie ein reduzierter Sicherheitsabstand von 32 m vorhanden. Das Sprengstofflager wurde in einem durch einen Berliner Verbau gesicherten Bereich mit erhöhter Erdanschüttung errichtet. Das Zündmittellager wurde durch eine optisch-akustische Gefahrenmeldeanlage gesichert. Das gesamte Lager verfügte ferner über einen umfangreichen Anfahrtschutz. Für die Sprengmittelversorgung der beiden Vortriebsrichtungen am Zwischenangriff „Lehrer Tal“ musste eine genehmigte Nettoexplosivstoffmasse von 4 x 1.000 kg sowie 1 x 5.000 Stück Zünder (1.4 B) zur sicheren Vortriebsversorgung ausreichen. Dieses stellte zuweilen für die gesamte Logistikkette (Sprengstoffhersteller - örtliches Sprengmittelunternehmen SMV-Süd - sowie Lagerverantwortliche vor Ort samt Track & Trace-Verantwortung) eine Herausforderung dar.

Auf der BE-Fläche Dornstadt konnte ein Sprengmittellager mit Lagermengen von 3 x 1.000 kg sowie 1 x 5.000 Stück Zünder (1.4 B) zur Versorgung der Sprengvortriebe Richtung Zwischenangriff in beiden Tunnelröhren ohne erwähnenswerte Zusatzmaßnahmen errichtet werden.

Die Sprengmittellager an beiden Orten wurden nach intensiven Beratungen mit dem Landesamt für Geologie und Rohstoffe - Landesbergdirektion - in Freiburg für die Vortriebsdauer genehmigt.

#### 4 Immissionsüberwachung (Erschütterungen)

Aus dem Sprengvortrieb resultieren unvermeidlich Erschütterungsemissionen, die als Immissionen auf die Umgebung, Menschen und/oder Gebäude einwirken. Sie werden auf Grundlage der jeweils gültigen Fassung der DIN 4150 - Erschütterungen im Bauwesen - beurteilt. In der Norm werden hierzu Anhaltswerte genannt, bei deren Einhaltung keine Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes eintreten. Ferner wird differenziert in die Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden (DIN 4150 Teil 2) und in die Einwirkungen auf bauliche Anlagen (DIN 4150 Teil 3). In beiden Fällen ist die Schwinggeschwindigkeit die bevorzugte Beurteilungsgröße. Sie wird durch den Einsatz der DIN 45669 - Messung von Schwingungsimmissionen - mittels konformen Erschütterungsmessgeräten erfasst. Die Auswahl der Messorte innerhalb des zu beurteilenden Gebäudes leitete sich aus den Vorgaben der DIN 4150 und der DIN 45669 Teil 2 ab.

Bei dem vorgestellten Projekt wurde bei den meisten Messstellen auf den Messort „aufsteigendes Mauerwerk - Geschossdecken x-, y-Richtung“ verzichtet, da dies einen erheblichen Mehraufwand bei der ohnehin schon sehr hohen Anzahl an Messstellen und Messorten erfordert hätte und auch eine Bewertung nach DIN 4150 Teil 2 im Tages- und Nachtzeitraum erforderlich war (Abb. 5).

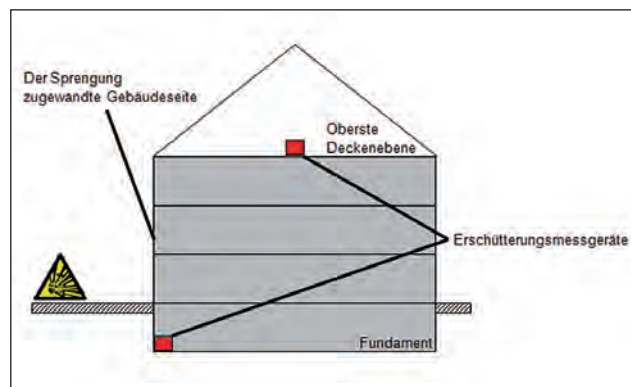


Abb. 5: Schematische Darstellung der Messorte im Gebäude

Grundlagen für die durch den Engineering Service Schmücker durchgeführte Überwachung der Erschütterungsimmissionen bei den Vortrieben des Alabstiegstunnels waren die sprengtechnischen Gutachten und Immissionsprognosen. Im Vorfeld von deren Erstellung wurden die Umgebungssituationen bei Ortsterminen eingehend untersucht. Es erfolgte in den Gutachten die Benennung und Dokumentation der vorgefundenen, schützenswerten Objekte als Immissionsorte. Dabei kristallisierten sich fünf „Hot Spots“ heraus, bei denen sprengtechnische Maßnahmen zu Erschütterungsreduzierungen führen mussten. Diese werden nachfolgend kurz vorgestellt.

Die ersten beiden „Hot Spots“ standen beim Auffahren des Zwischenangriffs sowie auch auf den ersten Vortriebsmetern der beiden Haupttunnelröhren in Richtung Ulm und Richtung Dornstadt im Fokus. Hierbei handelte es sich einmal um die Bebauung im Lehrer Tal, zu der auch eine Kindertagesstätte und zwei Wohnhäuser zählten. Diese Gebäude wurden mit geringen Abständen teilunterfahren (ca. 10 bis 15 m). Das Gelände der Universität Ulm mit zahlreichen Gebäuden beziehungsweise mit zwei in dortigen Gebäuden installierten, hochsensiblen Elektronenmikroskopen bildete den zweiten „Hot Spot“. Für die Mikroskope wurde eingehend untersucht, ob die Sprengtätigkeit die Messungen beeinträchtigt. Die nächsten „Hot Spots“ waren zwei Wohngebiete im Stadtteil Lehr, wobei eines mit Abstand im Grundriss von ca. 200 m umfahren wurde. Hierbei stand die Thematik „Sprengungen im Nachtzeitraum“ im Fokus. Bei dem zweiten Wohngebiet handelte es sich um ein in Planung befindliches Neubaugebiet, bei dem jedoch die ersten Bauaktivitäten begonnen hatten und erste Wohnhäuser bereits bezogen waren. Das Wohngebiet Michelsberg stellte bei den Vortrieben vom Zwischenangriff Richtung Ulm-Hauptbahnhof einen zusammenhängenden großen „Hot Spot“ dar.

Neben der dichten Bebauung mit höherwertigem Wohnraum und sehr geringen Überdeckungen (minimale Überdeckung herab bis zu 10 m) wurden auch eine historische Gewölbekeller-Anlage in geringem Abstand passiert sowie diverse Karsthohlräume angefahren. Aus dieser Situation resultierte eine hohe Anzahl an Immissionsorten (> 40 St.) in diesem Gebiet. Gleichzeitig nahm dort die Gesteinsfestigkeit (oberer Massenkalk) zu, wodurch auch höhere Ansprüche an die Bohr- und Sprengtechnik umgesetzt werden mussten.

Mit Annäherung an das Wohngebiet kam es zur Einstellung der Sprengungen im Nachtzeitraum von 22:00 Uhr bis 6:00 Uhr bis zur Durchschlagsituation. Trotzdem wurde von Anwohnern der Körperschall der Vortriebstätigkeiten zeitweise als sehr unangenehm empfunden, so dass für einen relativ kleinen Zeitraum (gegen Ende der Vortriebsarbeiten kurz vor dem Durchschlag zum Hauptbahnhof Ulm) auch alle weiteren Arbeiten im Vortrieb im Nachtzeitraum eingestellt wurden.



Abb. 6: Messgerät SYSCOM, Typ MR3000C

Es wurde versucht, durch eine geschickte Planung der den Kalottenvortrieben nachlaufenden Arbeitsgänge (z. B. Sprengungen Strosse und Sohle), die fehlende Vortriebsleistung zu kompensieren.

Vor Aufnahme der Sprengtätigkeiten wurden die ersten Immissionsorte instrumentiert. Die weiteren Instrumentierungen erfolgten dann den jeweiligen Vortriebsständen entsprechend. Sämtliche Instrumentierungen wurden mittels Anfertigungen von Aufstellprotokollen und Fotografien dokumentiert. An den Immissionsorten setzte der Engineering Service Schmücker zwei verschiedene Messgerätetypen ein. Zum einen fanden Messgeräte vom Typ MR3000C des Herstellers SYSCOM Instruments Verwendung (Abb. 6).

Dieser Messgerätetyp verfügt über einen 3-axialen, internen Geschwindigkeitssensor, KB-Bewertung nach DIN 4150 Teil 2 sowie über ein internes WLAN- und GPRS-Modem. Hierüber erfolgt der Datentransfer in ein cloudbasiertes Auswertungstool (Smart Data Center, SDC), so dass unmittelbar nach der Sprengung die Messdaten in bereits ausgewerteter Form zur Verfügung standen.

Des Weiteren wurde bei den Instrumentierungen der Immissionsorte auch auf Messgeräte des Herstellers SEMEX-EngCon zurückgegriffen. Dessen Messgeräte vom Typ MENHIR (Abb. 7) bieten die gleiche technische Ausstattung wie die Geräte der Firma SYSCOM Instruments.



Abb. 7: Messgerät SEMEX-EngCon, Typ MENHIR

Ein besonderes Ausstattungsmerkmal der MENHIR-Messgeräte ist ihre Fähigkeit, untereinander eine Richtfunkverbindung (RF-Verbindung) aufzubauen. Mit dieser sogenannten Master-Slave-Technik ist es möglich, dass ein MENHIR, der aufgrund seines Aufstellortes keine Verbindung zum externen Mobilfunknetz herstellen kann (Slave), seine Daten an einen in seiner Umgebung stehenden MENHIR mit Mobilfunkverbindung sendet (Master). Der Master leitet dann die Daten beider Messgeräte zur Auswertung weiter (Abb. 8).

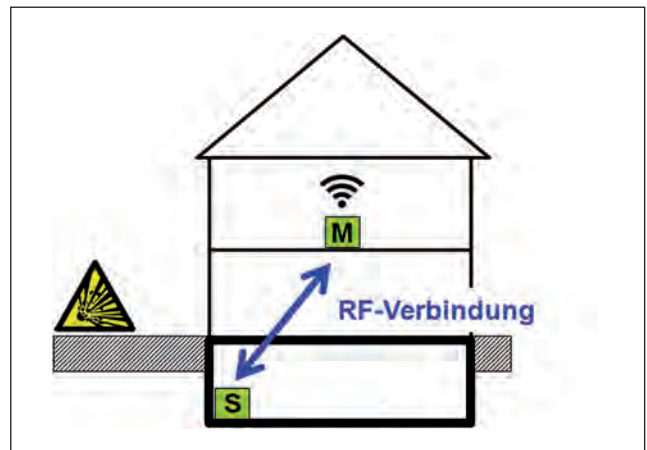


Abb. 8: Schematische Darstellung der Master-Slave-Technik

Für die Steuerung der Sprengvortriebe mittels des Maßnahmenkataloges war es von außerordentlicher Wichtigkeit, dass von allen Messgeräten die Messwerte und die Auswertung in Ampeldarstellung über die cloudbasierte Auswertungssoftware SDC zur Verfügung standen. Je nach Ergebnis wurde in kurzer Zeit nach Abstimmung zwischen der ARGE, der Bauüberwachung und dem Sprengsachverständigen über den Einsatz von weiteren Maßnahmen bzw. über Veränderungen entschieden.



Daher musste mit der Messtechnik sichergestellt werden, dass die Messgeräte „online“ sind und Daten versenden können.

An zwei Immissionsorten war die erforderliche Versendung der Messdaten nur durch den Einsatz der Master-Slave-Technik zu gewährleisten. Es handelte sich dabei um ein Wohngebäude im „Hot Spot“ Michelsberg sowie um ein Gebäude auf dem Areal der Wilhelmsburgkaserne.

Exemplarisch soll der Einsatz der Master-Slave-Technik in dem Kasernengebäude nachfolgend näher beschrieben werden. Der zu instrumentierende Messort am Gebäudefundament befand sich in einem im Kellergeschoß gelegenen Raum. Da dieser als Schutzraum ausgebaut ist, liegen hier hochdimensionierte Wand- und Deckenstärken vor, die aus armiertem Beton bestehen (Abb. 9).



Abb. 9: Messort des Slaves

Unter diesen Bedingungen war keine Verbindung zum Mobilfunknetz vorhanden. Aus Datenschutzgründen konnte auch keine Verbindung zu einem DSL-Router hergestellt werden. Somit wurde für den Transfer der Daten auf die Master-Slave-Technik zurückgegriffen.

Mittels der aufgebauten Richtfunkverbindung über zwei Geschosse sendete der Slave vom Fundament seine Daten zum im Obergeschoss platzierten Master. Dieser verfügte an seinem Aufstellort in einem Büro über eine stabile Mobilfunkverbindung (Abb. 10).

Aufgrund der aus der Bauweise des Gebäudes resultierenden, sehr anspruchsvollen Rahmenbedingungen war für den Betrieb der Richtfunkverbindung an beiden Messgeräten der Einsatz von Spezialantennen notwendig. Während der Slave mit einer speziellen großen RF-Antenne ausgestattet wurde (Abb. 11), kam bei dem Master eine handliche RF-Stabantenne zum Einsatz (Abb. 12). Durch den erfolgreichen Einsatz dieser technischen Komponenten wurde die kontinuierliche Weiterleitung der Messdaten zur Auswertung sichergestellt.



Abb. 10: Aufstellungssituation des Masters



Abb. 11: Slave mit Detailansicht der spez. RF-Antenne



Abb. 12: Master mit Detailansicht der RF-Antenne

Diese erfolgte mittels eines cloudbasierten Auswertungstools, dem Smart Data Center (SDC). Das SDC wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Engineering Service Schmücker von der Remolution Software GmbH entwickelt. Die von den Messgeräten gesendeten Messdaten wurden dort in Echtzeit visualisiert und gegen die DIN 4150 Teil 2 und Teil 3 ausgewertet. Bei der Präsentation der Messergebnisse kommt eine farbige Ampeldarstellung zur Anwendung. Hier sind die ausgegebenen Relativwerte < 50 % grün, < 75 % gelb, < 100 % orange und > 100 % rot hinterlegt. Somit ist die Interpretation der Ergebnisse auf einen Blick möglich (Abb. 13).

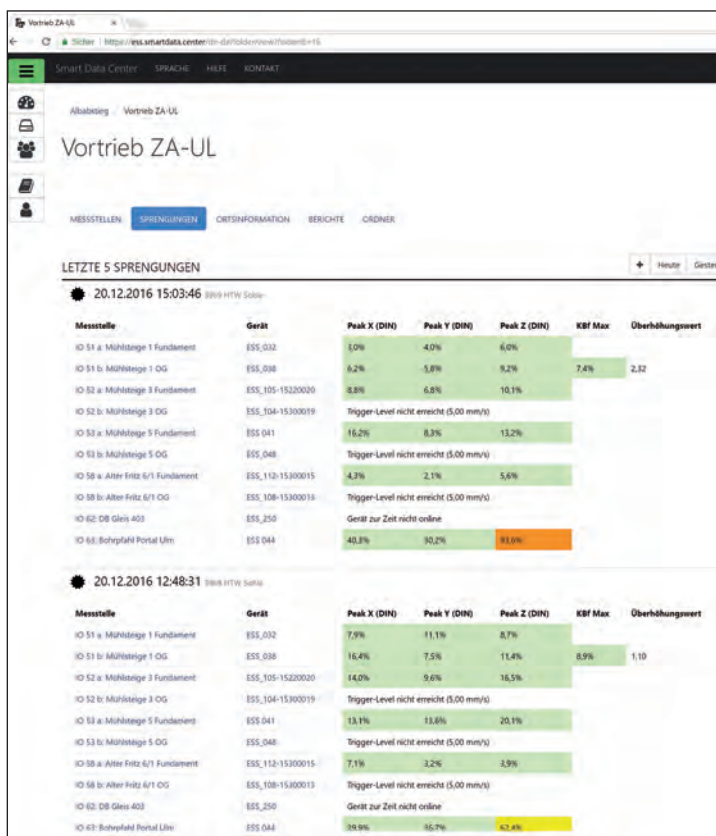


Abb. 13: Ansicht Smart Data Center

Mittels mobiler Endgeräte (beispielsweise Smartphone, Tablet) oder vom PC im Büro aus erfolgt der Zugriff auf das SDC. Somit kann die Sprengung unmittelbar im Anschluss bewertet werden. Hieraus lassen sich direkt etwaige Optimierungen der Sprengparameter mit dem Maßnahmenkatalog für die nächste Sprengung, auch mit Blick auf die Reduzierung von Erschütterungen, ableiten.

Gerade bei dem hier vorhandenen sensiblen Immissionsgebiet, mit zum Teil in geringer Überdeckung zu unterfahrender Wohnbebauung sowie historischer Bausubstanz (Kelleranlage), waren diese Informationen nicht nur von Vorteil, sondern zwingend erforderlich. Ferner erfolgte mittels SDC die Dokumentation der Messergebnisse in tabellarischer Berichtsform. Über die gesamte Laufzeit des Projektes erhielten sowohl die Bauleitung als auch die Bauüberwachung wöchentlich die ausgewerteten Messdaten der Sprengungen.

Während der Vortriebsarbeiten in den Bereichen der „Hot Spots“ Wohnhäuser Lehrer Tal und Michelsberg wurden darüber hinaus Tagesauswertungen angefertigt und somit tagesaktuell der Ist-Zustand der Erschütterungsimmissionen und die Umsetzung des Maßnahmenkataloges dokumentiert.

Ohne die Verwendung dieser Projektsoftware in Verbindung mit den dazu kompatiblen Messgeräten wäre eine Immissionsüberwachung der teilweise bis zu 32 Stück gleichzeitig eingesetzten Erschütterungsmessgeräte nie mit einem so hohen Projektanspruch möglich gewesen.

Die Baustelle war auf die kontinuierliche Lieferung der ausgewerteten Messdaten angewiesen, um, von diesen ausgehend, die nächsten Abschlüsse planen zu können und gegebenenfalls Anpassungen der Sprengparameter vorzunehmen, wie beispielsweise die Umsetzung des im Abschnitt „Eingesetzte Sprengtechnik und Lagersituation“ beschriebenen Maßnahmenkataloges. Trotz des Einsatzes der beschriebenen Maßnahmen zur Erschütterungsreduktion waren einzelne, unvermeidliche Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 4150 Teil 2 und Teil 3 zu verzeichnen. Ein signifikanter Anteil der Überschreitungen resultierte dabei aus geologischen Störungen oder auch aus Karstvorkommen.

Die komplette Umsetzung des Maßnahmenkataloges konnte allerdings nicht verhindern, dass im Zuge der Annäherung der Oströhre, wie auch zu einem späteren Zeitpunkt die der Weströhre, an die Wohnbebauung im „Hot Spot“ Michelsberg auf Nachtsprengungen verzichtet werden musste.

Die Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 2 für den Nachtzeitraum mit  $KB \cdot F_{\max}$ -Werten ( $A_0$ ) von 0,2 sind so streng ausgelegt, dass im Abstand zwischen Sprengung und Wohngebäuden von ca. 100 bis 150 m diese Anhaltswerte nicht eingehalten werden konnten. Am Gebäudefundament entspricht dieser Wert einer Schwinggeschwindigkeit von ca.  $V_i = 0,12$  mm/s und in der Deckenmitte des obersten Vollgeschosses von ca.  $V_i = 0,60$  mm/s.

Aus den beschriebenen Rahmenbedingungen wird ersichtlich, dass die Gewährleistung des einwandfreien Betriebes der Messgeräte wie auch der cloudbasierten Auswertungssoftware über den gesamten Projektzeitraum in Verbindung mit den geeigneten computerunterstützten Bohr- und Sprengplanungen eine herausragende Stellung für den Erfolg des Projektes einnahm. Hierfür waren erhebliches Know-how bei den ARGE-Mitarbeitern als auch bei dem Engineering Service Schmücker Grundvoraussetzung. Darüber hinaus ist ausdrücklich zu erwähnen, dass sich auch die Projekt- und Bauleitung der ARGE Tunnel Alabstieg sehr tief in die Thematik Erschütterungsreduzierung in der Sprengtechnik mit allen Begleiter-



scheinungen (auch erforderlichem technischen und organisatorischen Aufwand) eingearbeitet und die Umsetzung der Maßnahmen als eine Führungsaufgabe gesehen haben.

## 5 Fazit

Der Vortrieb des Alababstiegstunnels war gekennzeichnet durch große spreng- und immissionstechnische Herausforderungen. Durch den Einsatz moderner Bohr- und Sprengtechnik gelang es den Mitarbeitern der ARGE Tunnel Alababstieg, diese Herausforderungen erfolgreich zu meistern.

Die erforderlichen Bohr- und Sprengplanungen sowie die Messung und Dokumentation der Erschütterungsimmissionen wurden mit großem Aufwand und unter Verwendung modernster Mess- und Auswertungstechnik vom Engineering Service Schmücker gewährleistet. Somit gelang es den am Vortrieb beteiligten Firmen, die Erschütterungsimmissionen und die belästigenden Wirkungen auf die Anlieger auf relativ geringem Niveau zu halten.

Dazu haben auch die organisatorischen Entscheidungen des Auftraggebers, der DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH, und des Auftragnehmers, der ARGE Tunnel Alababstieg, beigetragen. Die erfolgreiche Umsetzung dieses Projektes hat Vorbildcharakter für zukünftige Tunnelprojekte in innerstädtischer Umgebung. Hier wurden organisatorische und technische Standards aufgezeigt, mit denen im weitestgehenden Einvernehmen zwischen Auftraggebern,

Auftragnehmern und Anliegern solche Großprojekte auch zukünftig realisiert werden können.

## 6 Literatur

- [1] Kielbassa S., Reinhardt A., Gering A.: Bahnprojekt Stuttgart-Ulm, Tunnel Alababstieg: Karsterkundung und Karstsanierung; Tunnel, Heft-Nr. 4 (2015), S. 26 - 37.

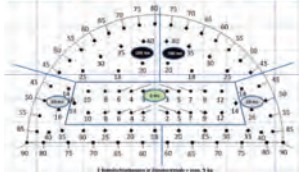
Anschrift der Autoren:

Guido A. Schmücker  
Engineering Service Schmücker  
Öffentlich bestellter + vereidigter Sachverständiger  
E-Mail: guido.schmuecker@es-schmuecker.eu

Alexander Kirchhofer  
Engineering Service Schmücker  
E-Mail: alexander.kirchhofer@es-schmuecker.eu

Matthias Abele  
Ed. Züblin AG, Direktion IU-Tunnelbau, Projektleiter  
E-Mail: matthias.abele@zueblin.de

Co-Autor: Timo Rothe  
Ed. Züblin AG, Direktion IU-Tunnelbau, Bauleiter  
E-Mail: timo.rothe@zueblin.de



## Engineering Service Schmücker

- Vermietung von digitalen, webbasierten und DIN 45669 konformen Erschütterungsmessgeräten der Typen MENHIR (SEMEX-EngCon GmbH) und MR3000C (SYSCOM Instruments SA)
- Verkauf von digitalen, webbasierten und DIN 45669 konformen Erschütterungsmessgeräten des Typs MENHIR (Vertriebspartner der SEMEX-EngCon GmbH)
- Durchführung von Erschütterungsmessungen nach DIN 4150 mit gutachterlichen Auswertungen, auch webbasiert mit Spezialsoftware (Smart Data Center, SDC)
- Durchführung von Schallpegelmessungen nach TA Lärm und AVV Baulärm
- Ausarbeitung von
  - Spreng- und immissionstechnischen Gutachten nach BImSchG für Erweiterungen, Tieferlegungen und Neuaufschlüssen von Steinbrüchen
  - Explosivstoff-Lageranträge für über- und untertägige Anwendungen
  - Sprenganzeigen, u. a. für Großprojekte im Tunnelbau (z. B. für Stuttgart 21)
- Sprengtechnische Gutachten jeder Art
- Immissionstechnische Projektbegleitung als Fachgutachter auch bei sehr anspruchsvollen sprengtechnischen Projekten unterschiedlicher Größe
- Bohr- und sprengtechnische sowie wirtschaftliche Optimierungen von Sprenganlagen
- Bohr- und sprengtechnische Planungen für über- und untertägige Anwendungen (z. B. im Tunnel- und Bergbau, u. a. mit den Softwaresystemen „Tunnel Manager“ von Atlas Copco oder „iSure“ von Sandvik
- Vertriebspartner der Fa. Kärcher Tresorbau GmbH & Co. KG für zeitgerechte und anwenderoptimierte sowie bauartzugelassene „Sprengstofflager“ bzw. „Lagertüren“

Dipl.-Ing. Guido Alexander Schmücker  
Postfach 40 | 7307 Jenins, Schweiz  
Fon +41 81 302 8213 | Fax +41 81 302 8214  
Mobil +41 76 6815958

guidoschmuecker@gmx.de | www.es-schmuecker.eu

Von der IHK Köln öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Sprengtechnik und Immissionsprognosen bei über- und untertägigen Gesteinssprengungen

Außenstelle  
Bethlehemerstr. 59 | 50126 Bergheim, Deutschland  
Mobil +49 170 495 8998