

- **Ausführung von Baugrundvereisungen am Beispiel von Querschlägen unter dem Suezkanal: Randbedingungen, messtechnische Überwachung, Sicherheits- und Havariekonzepte, Fehlerquellen**
(Forschung + Praxis 53, STUVA-Tagungsband 2019, S. 157 – 161)
- **Entsorgungskonzepte für Tunnelausbruchmaterial: Innovative Ansätze für Ressourceneffizienz und Praxisbeispiele**
(Forschung + Praxis 53, STUVA-Tagungsband 2019, S. 209 – 215)
- **Erweiterung unterirdischer Verkehrsinfrastruktur am Beispiel Stadtbahn Europa- viertel Frankfurt: Neue Regelwerke treffen auf bestehende Anlagen**
(Forschung + Praxis 53, STUVA-Tagungsband 2019, S. 313 – 318)

Ausführung von Baugrundvereisungen am Beispiel von Querschlägen unter dem Suezkanal: Randbedingungen, messtechnische Überwachung, Sicherheits- und Havariekonzepte, Fehlerquellen

Nach Fertigstellung des neuen Suezkanals in Ägypten wurde zur besseren Erschließung der Sinai-Halbinsel bei Ismailia ein aus zwei Tunnelröhren bestehender, ca. 5 km langer Straßentunnel im Schildvortrieb errichtet. Das Sicherheitskonzept sah vor, die Tunnelröhren mit vier Querschlägen zu verbinden. Wegen des hohen Wasserdrucks von bis zu 5 bar wurden die Querschläge bergmännisch im Schutze einer Baugrundvereisung aufgefahren. In diesem Beitrag werden zunächst die Randbedingungen zur Planung einer derartigen Vereisungsmaßnahme und die erforderlichen Schnittstellen zu anderen Planungsbeteiligten dargestellt. Bereits in dieser Phase ist die messtechnische Überwachung zu berücksichtigen. Weiterhin werden die für einen sicheren Bau erforderlichen Inhalte der Sicherheits- und Havariekonzepte vorgestellt. Abschließend wird auf mögliche Umstände und Randbedingungen hingewiesen, die insbesondere bei den umfangreichen Messdaten zu falschen Interpretationen der Messdaten führen können.

1 Einleitung

Mit dem Ausbau des Suezkanals sollen auch die östlich des Kanals auf der Sinai-Halbinsel liegenden Gebiete wirtschaftlich erschlossen werden. Zur besseren Anbindung wurde etwa auf halber Strecke des Kanals bei Ismailia ein Tunnel mit einer Gesamtlänge von 4.800 m gebaut. Die beiden Röhren weisen einen Außendurchmesser von 13,06 m auf und wurden mit einem Hydroschild aufgefahren. Der Tunnel liegt bis zu 50 m unter dem natürlichen Gelände. Das Sicherheitskonzept sieht alle 1.000 m einen Querschlag vor, durch den der Feuerweh der Zugang zum Brandort vereinfacht werden soll. Die vier 13 m langen Querschläge waren bergmännisch mit einem Durchmesser von 5 m aufzufahren. Im Bereich der Querschläge standen in erster Linie mitteldicht bis dicht gelagerte Sande an (Bild 1). Der Ausbruchquerschnitt eines Querschlags war zudem von mehreren bis zu 50 cm mächtigen, horizontal verlaufenden Tonbändern durchzogen. Wegen des Wasserdrucks von bis zu 5 bar wurden die

Execution of Ground Freezing Taking the Example of Cross-Passages Beneath the Suez Canal: Boundary Conditions, Metrological Monitoring, Safety and Accident Concepts, Sources of Error

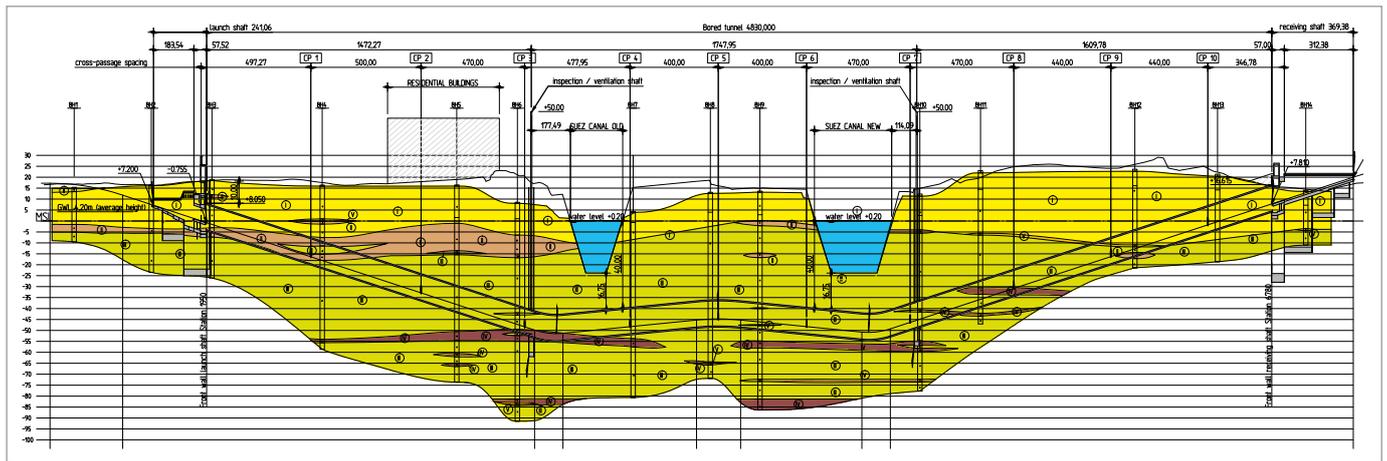
On completion of the new Suez Canal in Egypt, an approx. 5 km long road tunnel consisting of two tubes was built using the shield tunnelling method in order to improve access to the Sinai Peninsula near Ismailia. The safety concept provided for the connection of the tubes with four cross-passages. Due to high water pressure of up to 5 bar, the ground freezing method was used to safely install the cross-passages. This paper will first outline the boundary conditions for designing such ground freezing measures and the necessary interfaces with other parties involved in the planning. Metrological monitoring is to be considered as well during this phase. Furthermore, details of the safety and emergency concepts that are required for safe construction will also be discussed. In conclusion, possible circumstances and boundary conditions that could lead to an incorrect interpretation of the measurement data, in particular given the extent of the measured data, will be outlined.

Querschläge im Schutze einer tragfähigen und wasserdichten Vereisung aufgefahren.

2 Planung

2.1 Erste Planungsphase: Festlegung der erforderlichen Frostkörperdicke

In der ersten Planungsphase erfolgte zunächst die Festlegung der erforderlichen Frostkörperdicke auf Grundlage der geometri-



Quelle: Arcadis B.V.

Bild 1 Geologischer Längsschnitt
Geological longitudinal section

schen Randbedingungen des Querschlags, der Geologie und des anstehenden Wasserdrucks. Die hierfür erforderlichen Nachweise wurden mit der Finite-Elemente-(FE)-Methode durchgeführt. Zur Festlegung der maßgebenden Berechnungskennwerte wurde vorlaufend ein umfangreiches Laborprogramm durchgeführt.

Dem Suezkanal wird das Wasser aus dem Mittelmeer und dem Roten Meer zugeführt. Trotz der Lage des Tunnels fernab der Küste infiltriert der Suezkanal sein salzhaltiges Wasser in das Grundwasser, sodass für die Frostkörper Salzgehalte von bis zu 40.000 ppm zu berücksichtigen waren. Der Salzgehalt hat einen wesentlichen Einfluss auf den Gefrierpunkt und beeinflusst ferner die Festigkeitseigenschaften des gefrorenen Bodens [1]. Für die statische Bemessung ist insbesondere das Last-Verformungs-Verhalten des gefrorenen Bodens von Interesse. Hierzu wurden im Frostlabor einaxiale Druckversuche (UCS), Triaxialversuche (TCT), einaxiale Kriechversuche (UCT) sowie Frosthebungs- und Frostdruckversuche durchgeführt.

Anhand der Laborversuche konnten die Kennwerte für die statischen und wärmetechnischen Nachweise abgeleitet werden. Anhand der projektspezifischen Randbedingungen ergab sich eine statisch erforderliche Dicke des Frostkörpers von 2 m bei einer mittleren Frostkörpertemperatur von $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zudem wurden zum Nachweis der mittleren Frostkörpertemperaturen, der Aufgefrierzeit und der erforderlichen Anlagenkapazität wärmetechnische Berechnungen durchgeführt.

Trotz Durchführung eines umfangreichen Laborprogramms ist wegen der Vielzahl der zu bestimmenden Parameter die Vorhersage des mechanischen und wärmetechnischen Verhaltens des Bodens Bandbreiten unterworfen. Zur Vermeidung unvorhersehbarer Risiken und zur Optimierung des Gefrierprozesses bei der Ausführung ist daher die Anwendung der Beobachtungsmethode unerlässlich [2]. Mit den Erkenntnissen aus dieser Planungsphase wurden also in erster Linie die Grenzen des zu erwartenden Frostkörperverhaltens im Hinblick auf Temperaturverläufe und Verformungen festgestellt, die die Grundlage zur Festlegung der Grenz- und Alarmwerte darstellten.

2.2 Zweite Planungsphase: Ausführungsplanung

In der zweiten Planungsphase wurde die Anordnung der Gefrierrohre festgelegt. Dabei war die statisch erforderliche Frostkörperdicke zu gewährleisten. Geometrisch war die Anordnung der Gefrierrohre durch die tatsächliche Lage der Tübbinge

bzw. Fugen, der Spaltzugbewehrung sowie der Bolzentaschen stark eingeschränkt. Weitere Einschränkungen folgten aus dem Aussteifungsrahmen, den Arbeits- und Bewegungsradien des Bohrgeräts sowie aus Einbauten im Tunnel, wie Lutten und Versorgungsleitungen der Tunnelvortriebsmaschine (TVM). Da die vorgenannten Randbedingungen von unterschiedlichen Planern und Ausführenden festzulegen waren und die Anzahl und Lage von möglichen Bohransatzpunkten stark eingeschränkt war, war eine enge Abstimmung aller Beteiligten unabdingbar.

Erfahrungsgemäß weichen die tatsächlichen Bohrverläufe von der geplanten Lage aufgrund von Toleranzen ab. Die tatsächlichen Bohrverläufe wurden durch ein Inclinometeraufmaß festgestellt. Im Einzelfall war zu prüfen, ob die Abweichungen vertretbar waren, oder ob gegebenenfalls Ersatzbohrungen anzuordnen waren. Wegen der ohnehin begrenzten Anzahl von möglichen Ansatzpunkten war also bereits in der initialen Festlegung von Bohransatzpunkten darauf zu achten, dass weitere Ansatzpunkte als Ersatz zur Verfügung standen.

Da die Bohrabweichungen einen direkten Einfluss auf die Aufgefrierzeit haben, war die Ausführungsplanung mit dem Bohrfortschritt stets fortzuschreiben. Eine beispielhafte Anordnung der Gefrierrohre zeigt Bild 2.

Für die endgültige aufgemessene Lage der Gefrierrohre waren abschließend wärmetechnische Nachweise zur erforderlichen Frostkörperdicke und mittleren Frostkörpertemperatur zu führen, für die die im statischen Nachweis angesetzten Kennwerte gültig waren.

Während auf der Anschlagseite die Gefrierrohre den Tübbing durchstießen und somit eine Andichtung des Frostkörpers an den Tübbing gewährleisteten, traf die Bohrung am Ende auf den Tübbing bzw. die Schildschwanzverpressung. Da der Frostkörper in erster Linie radial um das Gefrierrohr, aber nur eingeschränkt axial in die Richtung des Zieltunnels wächst, ist eine ausreichende Andichtung insbesondere in schleifenden Bereichen zu gewährleisten. An den maßgebenden Stellen wurden zum Nachweis der Andichtung zusätzliche Temperaturmessgeber in den Tübbing des Zieltunnels angeordnet.

3 Sicherheits- und Havariekonzepte

Der gefrorene Boden stellt das einzige Bauteil dar, das den Tunnelvortrieb vor dem Gebirgs- und Wasserdruck schützt. Ein Ver-

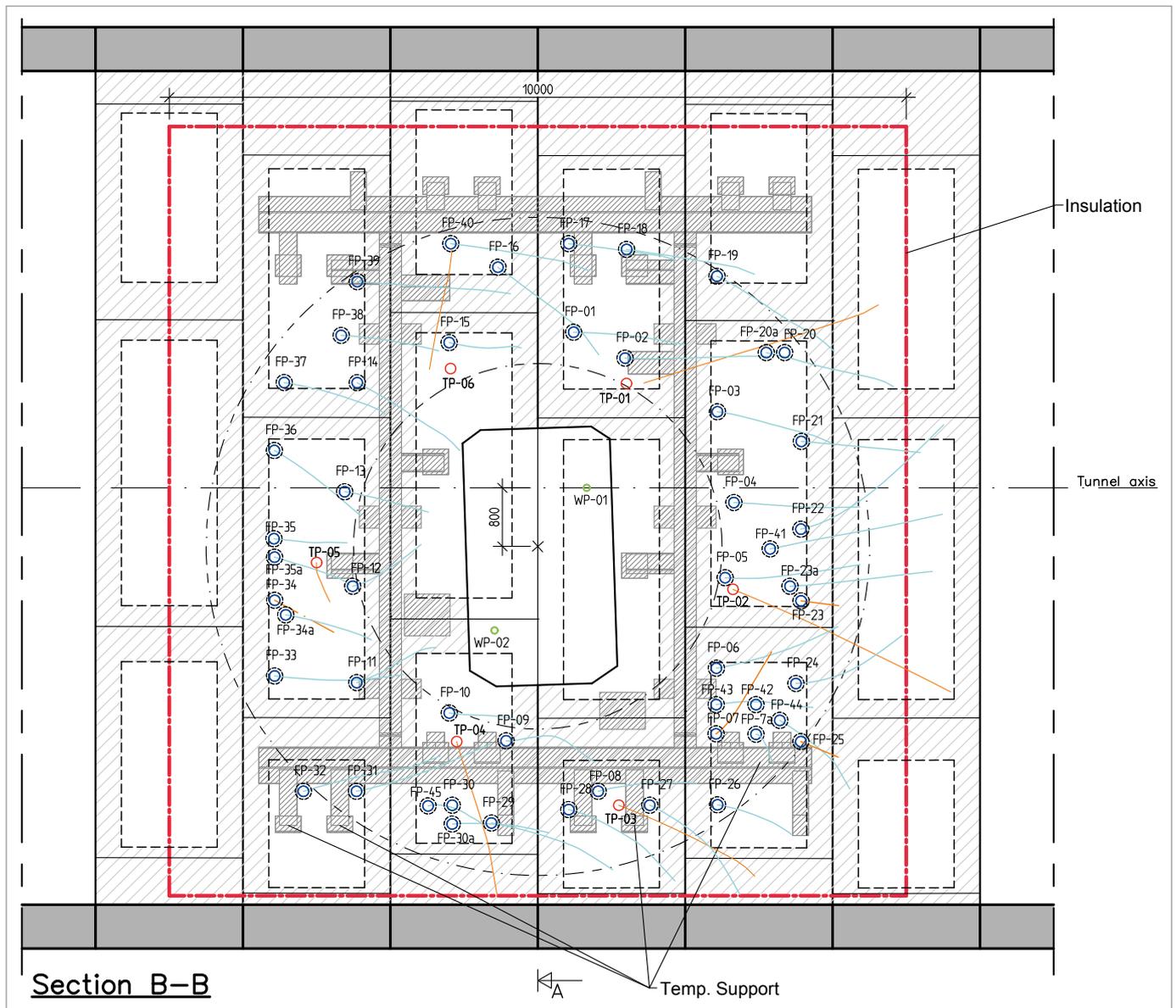


Bild 2 Beispielhafte Gefrierrohranordnung mit Darstellung der temporären Aussteifung und den Bereichen der Spaltzugbewehrung
 Exemplary layout of the freezing pipes, also showing the temporary support and the areas for splitting tensile reinforcement

sagen des Frostkörpers würde zu einem Verbruch und zu einer Flutung des gesamten Tunnels führen. Ein lokaler Wassereintritt würde warmes Wasser zuführen, infolgedessen der Frostkörper im Bereich der Wasserwegigkeit immer weiter auftauen würde (thermische Erosion). Zur Vermeidung dieses Szenarios wurden der Frostkörper und dessen Andichtung an den TVM-Tunnel intensiv messtechnisch überwacht.

Ein Frostkörper reagiert in Bezug auf kritische Temperaturänderungen und Verformungen relativ träge. Daher ist ein plötzliches Versagen nicht zu erwarten. Vielmehr kündigt sich bei einer ausreichenden messtechnischen Überwachung ein mögliches Versagen frühzeitig an, sodass rechtzeitig entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden können.

Für den sicheren Vortrieb sind jegliche Risiken zu vermeiden, die die Standsicherheit und Dichtigkeit des Frostkörpers unzulässig herabsetzen. Hierzu waren vor Vortriebsbeginn sämtliche denkbaren Szenarien zu identifizieren und Maßnahmen zu deren

Vermeidung festzulegen. Für den Eintrittsfall waren Meldekettens und Maßnahmenkataloge festzulegen, um die nötigen Maßnahmen umgehend einleiten zu können. Das Personal wurde anschließend entsprechend geschult. Für den Havariefall wurden die erforderlichen Materialien auf der Baustelle vorgehalten.

Bei der hier vorgestellten Vereisungsmaßnahme wurden die nachfolgenden Gewerke von unterschiedlichen Nachunternehmern ausgeführt:

- Bohren und Ausbauen der Gefrier- und Temperaturmessrohre,
- Betrieb der Vereisungsanlage,
- Tunnelvortrieb.

Wegen der unterschiedlichen Zuständigkeiten und zur Berücksichtigung des Bauablaufs wurden von den einzelnen Unternehmen die entsprechenden Konzepte vorbereitet. Da die Gewerke jedoch alle miteinander verknüpft sind, ist eine zentrale Koordination der Schnittstellen unerlässlich.

3.1 Bohren und Ausbauen der Gefrier- und Temperaturmessrohre

Beim Bohren ist mit einem plötzlichen Material- oder Wasserandrang zu rechnen. Für diesen Fall waren grundsätzlich geeignetes Verfüll- und Verpressmaterial sowie geeignete Verschlussklappen vorzuhalten. Nach Antreffen eines Hindernisses oder Abbruch einer Bohrung war zunächst zusammen mit dem Planer zu entscheiden, ob das Bohrloch aufzugeben, zu verpressen und durch ein neues zu ersetzen war, oder ob die zu kurze Bohrung dennoch ausgebaut und genutzt werden konnte.

Während des Bohrens war der Tunnel durch den Blowout-Preventer weitestgehend vor einem Material- und Wassereintritt geschützt. Vor Rückbau des Preventers war eine Dichtheitsprüfung der Bohrung durchzuführen. Hierzu war das Rohr über einen Zeitraum von 15 min mit einem Druck von 6 bar zu beaufschlagen. Der zulässige Druckverlust durfte 0,5 bar nicht überschreiten.

Für den späteren sicheren Betrieb der Vereisung war eine entsprechende Qualitätssicherung beim Bohren angezeigt. Zur späteren Interpretation der Messdaten sind dabei die exakten Aufmaße der Bohrlochverläufe von Relevanz, die mit einem Gyroskop über die komplette Länge des Bohrlochs ermittelt wurden. Eine entsprechende Kalibrierung des Gyroskops und anschließende Plausibilitätskontrollen der Vermessungsdaten waren dabei essenziell.

3.2 Betrieb der Vereisungsanlage

Wegen des trägen Verhaltens des Frostkörpers ist ein kurzweiliger Ausfall des Vereisungsaggregats i. d. R. unproblematisch. Für den sicheren Betrieb waren jedoch Maßnahmen zu ergreifen, um einen Ausfall grundsätzlich zu vermeiden bzw. zeitlich zu begrenzen.

Um Fehler im Anlagenbetrieb und damit einen möglichen Ausfall der Anlage frühzeitig zu erkennen, wurden die folgenden Messdaten permanent überwacht:

- Soletemperatur im Vor- und Rücklauf,
- Soletemperatur am Ende eines jeden Gefrierkreises,
- Soledurchfluss im Vorlauf,
- Soledruck.

Darüber hinaus wurden weitere anlagenspezifische Messwerte dauerhaft überwacht. Sämtliche Messwerte wurden online an die Leitstelle übermittelt. Im Falle einer Unterbrechung der Datenübertragung konnten alle Messdaten noch am Aggregat selbst ausgelesen werden, sodass kein Datenverlust auftreten konnte.

Zudem waren Szenarien zu beachten, die nicht auf das Aggregat selbst zurückzuführen waren, z. B. externe mechanische Einwirkungen aus dem Baubetrieb oder ein Brand. Außerdem waren geplante Ausfälle zu berücksichtigen, da das Gefrieraggregat aus baubetrieblichen Gründen umgesetzt werden musste. Da die Energieversorgung nicht aus dem öffentlichen Stromnetz bereitgestellt werden konnte, sondern über Dieselaggregate auf der Baustelle erfolgte, waren die Gefrieraggregate hinsichtlich möglicher Spannungs- und Frequenzschwankungen robust auszuführen.

Um auch bei längeren Reparaturen einen sicheren Vereisungsbetrieb aufrechterhalten zu können, wurden Ersatzgeräte betriebsbereit vorgehalten. Mit allen Beteiligten wurde vorlaufend ein Konzept unter Berücksichtigung des laufenden Baubetriebs abgestimmt, sodass bei Bedarf schnell ein Ersatz-

gerät an den entsprechenden Einsatzort gebracht werden konnte.

3.3 Tunnelvortrieb

Auf die allgemeinen Sicherheits- und Havariekonzepte beim Tunnelbau wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen. Aus der Vereisung resultieren jedoch zusätzliche zu beachtende Sicherheitsaspekte.

In der Regel liegen im Tunnel beengte Platzverhältnisse vor. Parallel zum Vortrieb an den Querschlägen fanden weitere Arbeiten im Tunnel statt und führten zu einem entsprechenden Baustellenverkehr. Um eine Beschädigung der Vereisungsanlage durch Verkehrsunfälle und Bauaktivitäten zu vermeiden, wurden entsprechende Schutzeinhausungen der Gefrierköpfe und Leitungen angeordnet.

Außerdem war die Vortriebsmannschaft für die Ist-Lage der in Vortriebsrichtung verlaufenden Gefrierrohre zu sensibilisieren. Insbesondere durch Bohrabweichungen ragten die Rohre teilweise nah an den Ausbruchquerschnitt heran (Bild 3). Bereits in der Planung war zu berücksichtigen, dass ein Ausfall eines Gefrierkreises nicht zu einem kritischen Zustand des Frostkörpers führen durfte. Die Vortriebsmannschaft wurde auf die im Falle einer Beschädigung des Gefrierrohrs mit Soleaustritt erforderlichen Maßnahmen vorbereitet. Tatsächlich wurde während des Vortriebs ein Gefrierrohr beschädigt, infolgedessen auch Sole ausgetreten ist. Die ausgetretene Sole konnte aufgefangen werden und die Reparatur erfolgte zügig, sodass sich keine Konsequenzen hinsichtlich der Stabilität des Frostkörpers ergaben.



Bild 3 Gefrorene Streifen in der Firste deuten auf den geringen Abstand der Gefrierrohre zur Ausbruchlinie hin
The frozen lines at the crown indicate the close distance of the freezing pipes to the excavation line

4 Messtechnische Überwachung

Vereisungsmaßnahmen unter komplexen Randbedingungen erfordern eine umfangreiche messtechnische Überwachung. Anders als bei anderen Maßnahmen, wie z. B. Injektionen, können die ausgeführte Qualität und der Zustand einer Vereisung sicher überwacht werden. An jedem der Querschläge wurden sechs Temperaturmessrohre in Frostkörperlängsrichtung angeordnet. Der Abstand der Messgeber innerhalb einer Messkette betrug i. d. R. 1 m.

Darüber hinaus wurden im Bereich der Anschlagwand Drainerohre eingebaut. Sobald sich der Frostkörper geschlossen hatte und dicht an beide TVM-Tunnel angeschlossen war, stieg in dem nun geschlossenen Körper der Wasserdruck schlagartig an, da der Frostkörper weiterhin nach innen wuchs, das Wasser

aber nicht mehr ausweichen konnte. Das überschüssige Wasser war fortan regelmäßig abzulassen, um eine Überbeanspruchung der Tübbinge durch den lokalen Wasserüberdruck zu vermeiden.

Vor Beginn des Vortriebs, der durch das Öffnen des Tüblings gekennzeichnet war, erfolgte eine Freigabe des Frostkörpers. Hierzu war nachzuweisen, dass der Frostkörper die erforderliche statische Dicke des Frostkörpers aufwies und dass die mittleren Frostkörpertemperaturen, die der statischen Bemessung zugrunde lagen, auch tatsächlich eingehalten wurden. Dieser Zustand war während des Vortriebs zu überwachen.

Zusätzlich war die Andichtung des Frostkörpers an den gegenüberliegenden Tunnel nachzuweisen. Dies ist der Fall, wenn der Frostkörper über eine Länge von ca. 1,5 m in Kontakt mit der Außenseite der Tunnel steht. Da die Gefrierrohre den Zieltunnel nicht durchörterten und das Frostkörperwachstum in Längsrichtung beschränkt war, war dies das maßgebende Kriterium. Die Messgeber im gegenüberliegenden Tunnel waren unter Berücksichtigung der Lageabweichungen der Gefrierrohre anzuordnen.

Anhand der Messdaten konnten ferner Rückschlüsse auf das Frostkörperwachstum nach innen und damit auf die Festigkeitseigenschaften des teilweise gefrorenen Bodens im Ausbruchquerschnitt getroffen werden.

Während des Vortriebs war die Leistung des Gefrieraggregats anzupassen, sodass der Frostkörper nicht unnötig weit in den Ausbruchquerschnitt hineinwachsen konnte und damit den Vortrieb unnötig erschwerte hätte.

Neben den Temperaturmessungen wurden Konvergenzmessungen zum Abgleich mit den aus der statischen Bemessung definierten Grenz- und Alarmwerten vorgenommen. Diese wurden am Aussteifungsrahmen im bestehenden TVM-Tunnel und an der bereits eingebrachten Spritzbetonausfachung im Querschlag vorgenommen.

Die messtechnische Überwachung wurde so lange fortgeführt, bis der endgültige Ausbau des Querschlags die statische und dichtende Funktion des Frostkörpers übernehmen konnte. Dies war 28 Tage nach Betonage des letzten tragenden Bauteils der Fall.

5 Fehlerquellen

Erwartungsgemäß fielen im Betrieb einzelne Temperaturmessgeber aus, oder es wurden an einzelnen Messgebern Temperaturen gemessen, die wärmetechnisch nicht erklärbar waren. Da genügend Messgeber eingebaut worden waren, wurden solche fehlerhaften Messgeber dann aus der Auswertung ausgenommen, sofern die umliegenden Messgeber plausible Werte zeigten. Waren die gemessenen Temperaturen in der Umgebung hingegen ebenfalls nicht plausibel, war eine Fehlersuche angezeigt. So führte eine Undichtigkeit an einem Temperaturmessrohr zu einem Soleverlust, infolgedessen die letzten Temperaturmessgeber der Kette trocken lagen. Kurze Zeit nach Abdichtung des Rohres und Wiederverfüllen zeigten die Temperaturmessgeber dann wieder plausible Werte an.

Ein besonderes Augenmerk war stets auf die Andichtung an den Zieltunnel zu legen. Wiesen die Temperaturen zunächst keine ausreichende Andichtung nach, war eine Ursachenforschung zu betreiben. Die Andichtung wurde maßgebend von der Lufttemperatur im Tunnel bestimmt. Da diese höher als erwartet war, wurden schließlich Einhausungen vor die Tübbinge gesetzt, um Luftbewegungen und damit einen Energieaustausch

im betreffenden Bereich zu reduzieren. Mit einfachsten Mitteln aus Latten und Planen konnte hier ein Vorhang errichtet werden, mit dem der Luftaustausch eingedämmt werden konnte. Es stellte sich aber auch heraus, dass einige Temperaturmessgeber abweichend von den Abstimmungen eingebaut worden waren. So zeigte sich, dass eine ursprünglich senkrecht zur Tunneloberfläche auszuführende Temperaturmessbohrung tatsächlich horizontal ausgeführt wurde, was zu einer zunächst falschen Interpretation der Messdaten führte. Anhand dieses Beispiels wird deutlich, dass eine eindeutige Kommunikation auf der Baustelle unerlässlich ist.

Danksagung

Die Autoren danken der Arcadis Nederland B.V. für die freundliche Bereitstellung des entsprechend gekennzeichneten Bildes.

Literatur

- [1] Witt, K. J. (Hrsg.): Grundbau-Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren. Berlin: Ernst & Sohn, 7. Aufl. 2009.
- [2] DIN EN 1997-1:2004+AC:2009+A1:2013+2014-03 (Eurocode 7): Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln. Berlin: Beuth Verlag.

Entsorgungskonzepte für Tunnelausbruchmaterial: Innovative Ansätze für Ressourceneffizienz und Praxisbeispiele

Auf Grundlage der europäischen Richtlinie über Abfälle und des deutschen Kreislaufwirtschaftsgesetzes ist eine Verwertung von Tunnelausbruchmaterial anstelle von Beseitigung anzustreben, zudem ist Deponieraum zunehmend knapp und damit teuer. Der Beitrag zeigt Potenziale in Punkto Verwertbarkeit von Tunnelausbruchmaterial auf Grundlage verschiedener Verwendbarkeitsklassen auf und geht auf spezifische Eigenschaften einschließlich erforderliche Maßnahmen zur Bodenaufbereitung ein. Es werden Schnittstellen beim Bodenmanagement und Besonderheiten beim Tunnelbau sowie zwei Praxisbeispiele vorgestellt. Auf dieser Basis werden abschließend Ansätze für neue Bauvertragsmodelle herausgestellt, die Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit im Umgang mit Boden thematisieren.

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

In den letzten Jahren hat das Thema Ressourceneffizienz auch im Grundbau zunehmend an Bedeutung gewonnen, denn Boden und Steine machen fast 60 % des mineralischen Bauabfalls in Deutschland aus. Auch wenn ein großer Teil verwertet werden kann, fallen jährlich fast 17 Mio. t an, die auf Deponien beseitigt werden [1]. Tunnelbauprojekte nehmen eine besondere Stellung ein, da große Massen zeitlich und örtlich punktuell anfallen. Gemäß aktueller Tunnelbaustatistik der STUVA für Deutschland sind zurzeit etwa 60 Projekte mit einer Ausbruchmasse von in Summe ca. 5 Mio. t pro Jahr in Realisierung [2].

1.2 Grundlagen

Einen starken Impuls in Richtung Kreislaufwirtschaft von Tunnelausbruchmaterial haben die Großprojekte in der Schweiz gegeben [3]. Im Fokus stand dabei, möglichst viel Ausbruchmaterial für den Tunnelbau (Beton und Spritzbeton) zu verwenden, um den Zukauf von Rohstoffen (v. a. Gesteinskörnung) zu minimieren. Heute ist das Thema Ressourceneffizienz vor allem deshalb immer wichtiger, da Deponieraum zunehmend knapp und damit teuer ist.

In Europa bildet die Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle einen maßgebenden rechtlichen Rahmen, der auf Vermeidung und Wiederverwendung abzielt. Die nationale gesetzliche Grundlage in Deutschland stellt das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) dar.

Disposal Concepts for Tunnel Muck: Innovative Approaches for Resource Efficiency and Practical Examples

Based on the European guideline for waste and the German recycling law, the reuse is to be preferred to disposal of material excavated in tunnels; landfill space is also increasingly scarce and thus expensive. The paper shows the potential of recycling tunnel excavation material based on various usability classes and describes specific properties including the required measures for soil processing. Interfaces between soil management and the special features of tunnelling are described and practical examples are presented. This basis is finally used to derive approaches for new contract models, which include resource saving and sustainability with regard to soil.

1.3 Verwertung und Beseitigung

Der Begriff der Entsorgung umfasst einerseits die Beseitigung, andererseits die Verwertung. Unter Beseitigung ist u. a. die Ablagerung auf einer Deponie zu verstehen, wenn keine Verwertung erfolgt bzw. möglich ist. Die zu bevorzugende Verwertung von Tunnelausbruchmaterial kann auf verschiedene Weisen erfolgen, die sich bezüglich ihrer ökologischen Qualität unterscheiden. Die Autoren schlagen eine Einteilung in drei Verwendbarkeitsklassen vor (Bild 1):

- Verwendbarkeitsklasse 1: Substitution von Rohstoffen,
- Verwendbarkeitsklasse 2: Verwendung als notwendiger Boden im Erd- und Verkehrswegebau,
- Verwendbarkeitsklasse 3: Fakultative Verwendung als Boden im Erdbau.

Sofern große Transportentfernungen dem nicht entgegenstehen, sind aus ökologischer Sicht bei geeigneten Materialien die Verwendbarkeitsklassen 1 und 2 anzustreben.

Verwendbarkeitsklasse 1

Die Verwendbarkeitsklasse 1 umfasst die Verwendung des Bodens innerhalb und außerhalb des Projekts bzw. in Industriezweigen, wo sonst andere Rohstoffquellen beansprucht würden.



Bild 1 Verwendbarkeitsklassen von Tunnelausbruchmaterial
Usability classes of tunnel muck

Wie in [4] dargestellt, gibt es für Tunnelausbruchmaterial – sowohl Fest- als auch Lockergestein – durchaus vielfältige Möglichkeiten:

- Gesteinskörnung für die Betonproduktion,
- Gesteinskörnung für Asphaltmischgut,
- Ziegelton, -lehm,
- Kalkstein als industrieller Rohstoff.

Verwendbarkeitsklasse 2

Die Verwendung für erd- und verkehrswegebautechnische Zwecke innerhalb und außerhalb des Projekts stellt die Verwendbarkeitsklasse 2 dar. Darunter fallen beispielsweise Gesteinskörnungen für Tragschichten ohne Bindemittel im Straßenbau, Bahnschotter, Boden für Lärmschutzwälle sowie Dammbauwerke. Für die Einstufung in diese Klasse ist es unerheblich, ob eine Verwendung ohne weitere Veränderung des Materials möglich ist oder ob Maßnahmen zur Aufbereitung erforderlich sind. Weitere interessante Beispiele sind in [5] enthalten.

Verwendbarkeitsklasse 3

Stehen in einem Projekt große Mengen Boden zur Verfügung, die nicht ökonomisch und ökologisch sinnvoll inner- oder außerhalb des Projekts verwertet werden können, werden diese häufig in Erd- oder Landschaftsbauwerken eingebaut, die praktisch ausschließlich dem Zweck dienen, das überschüssige Material nicht anderweitig beseitigen zu müssen. Eine unmittelbare Nachfrage besteht also nicht. Diese Form der fakultativen Verwendung wird der Verwendbarkeitsklasse 3 zugeordnet. Beispiele sind die Wiederherstellung des ursprünglichen Geländezustands eines alten Steinbruchs beim Katzenbergtunnel [6] oder die Modellierung eines neuen Geländezustands im Zuge der Follo Line [7].

Konkrete Materialparameter des Ausbruchmaterials zwecks Zuordnung zu den Verwendbarkeitsklassen sind projektspezifisch festzulegen. Bereits in einer frühen Projektphase sind entsprechende (Vor-)Festlegungen zu treffen und zugehörige Untersuchungen anzustoßen. Alternativ bzw. als Vorstufe bietet sich folgende Klassifizierung [8] an:

- Materialien, die im Projekt selbst wieder eingebaut werden können,
- Verwertbare Materialien für den Wirtschaftskreislauf,
- Nicht verwertbare Materialien, die z. B. auf Deponien zu verbringen sind.

2 Eigenschaften von Tunnelausbruchmaterial

Die Eigenschaften des Ausbruchmaterials haben erheblichen Einfluss darauf, ob eine qualitativ hochwertige Verwertung erfolgen kann. Abhängig vom gewählten Vortriebsverfahren und von Zusatzmaßnahmen ändern sich diese gegenüber dem natürlichen Zustand mitunter deutlich im Hinblick auf stoffliche Zusammensetzung und bodenmechanische Eigenschaften. Dies gilt vor allem für maschinelle Vortriebe mit aktiver Ortsbruststützung, d. h. Hydro- und EPB-Schilde.

2.1 Böden aus Hydroschild-Vortrieben

Bei Hydroschild-Vortrieben wird die mit Bodenmaterial aus der Abbaukammer aufgeladene Bentonit-Suspension mittels Separationsanlagen regeneriert und zurück in den Flüssigkeitskreislauf geführt. Die Separierung der kiesigen und sandigen Anteile erfolgt mehrstufig mit Schwingsieben und Zyklonen.

Kiese sind wertvolle Rohstoffe für die Betonindustrie. Daher ist diese Kornfraktionen einfach zu verwerten, wie u. a. das Projekt Eppenbergtunnel gezeigt hat [9]. Der Kies kann durch Waschen relativ einfach von restlichen Bentonitanteilen gereinigt werden.

Bei den Grob- und Mittelsanden ist die Aufbereitung schwieriger. Hier sind zumeist ein Bedüsen mit Wasser und Schwingentwässerung erforderlich. Als Anhaltswert gilt, dass nur etwa 1 % Bentonit im Sand verbleiben darf. Selbst dieser relativ geringe Anteil führt aufgrund des starken Wasseraufnahmevermögens der quellfähigen Tonminerale bereits dazu, dass diese Sande einen Wassergehalt von ca. 20 % und Eigenschaften ähnlich eines bindigen Bodens aufweisen können; ein nasser Sand hingegen bindet lediglich ca. 8 % Wasser [10]. So aufbereitetes Bodenmaterial ist üblicherweise zwar nicht in Betonen, jedoch für den Erd- und Straßenbau nutzbar, solange der Gesamtanteil des Feinkorns weniger als 5 % beträgt. Ist dieser Anteil höher, wird eine umfangreichere Behandlung erforderlich.

Feinsandige, schluffige und tonige Kornfraktionen sind analog zu behandeln wie Böden aus EPB-Vortrieben.

2.2 Böden aus EPB-Vortrieben

Die klassischen Einsatzbereiche von EPB-Schilden liegen in feinkörnigen Böden mit einem hohen Tonanteil. Werden feinkörnige Böden aufgefahren, kommen üblicherweise Wasser oder Suspensio-

nen zum Einsatz, um die Konsistenz des Stützmediums bzw. des Aushubmaterials in einen für EPB-Vortriebe geeigneten Bereich mit $0,4 < I_C < 0,75$ [11] zu überführen. Nach [12] sollte die Konsistenz zur Verringerung von Verklebungen in einem Bereich von $0,4 < I_C < 0,5$ liegen. Bentonit- oder Feinstoffsuspensionen haben i. d. R. keine nachteiligen Auswirkungen auf umwelttechnischen Eigenschaften der feinkörnigen konditionierten Böden.

Durch die Nutzung von Konditionierungsmitteln können EPB-Schilde auch in gemischt- und grobkörnigen Böden eingesetzt werden [13]. Dafür ist eine Veränderung der geotechnischen Eigenschaften des abgebauten Bodens bzw. des Aushubmaterials üblicherweise erforderlich. Mittels unterschiedlicher Konditionierungsmittel (Tensidschäume mit oder ohne Polymerzusätze, Bentonit- bzw. Feinstoffsuspensionen wie High-Density-Limestone Slurries) wird bei Vortrieben unterhalb des Grundwasserspiegels die Wasserdurchlässigkeit des Stützmediums auf unter $k_{10} < 1 \cdot 10^{-5}$ m/s reduziert. Der innere Reibungswinkel des Stützmediums sollte zudem reduziert werden, um eine geeignete Förderung des konditionierten Materials in der Abbaukammer und im Schneckenförderer zu ermöglichen. Daher sollte das nach DIN EN 12350-2 [14] zu bestimmende Setzmaß des Stützmediums/ Aushubmaterials einen Wert zwischen ca. 10 und ca. 20 cm annehmen.

3 Maßnahmen zur Aufbereitung und Verwertung

Bei Vortrieben mit Erddruckschilden sind zusätzliche Maßnahmen zur Zwischenlagerung des konditionierten Materials nach

Transport des Ausbruchmaterials aus dem Tunnel bzw. zur Entsorgung des Bodens einzuplanen. Die Maßnahmen zur Aufbereitung der geförderten Böden sind sowohl vom Verwendungszweck des Materials als auch vom Ausgangsmaterial und den Konditionierungsmitteln und vom Wassergehalt des konditionierten Materials abhängig. Der Wassergehalt beeinflusst maßgeblich die Einbaufähigkeit und Einbaubarkeit des Bodenmaterials. Zur Veränderung der Eigenschaften des konditionierten Materials im Hinblick auf eine Verwertung ist eine Reduzierung des Wassergehalts des konditionierten Materials erforderlich.

Nachfolgende Maßnahmen können beispielsweise sinnvoll sein [15]:

- Trocknung des Materials durch Sonne und Wind,
- Verwendung des abgebauten Materials im Rahmen einer Sandwichbauweise,
- Verbesserung der Einbaufähigkeit des abgebauten Bodens durch die Beimischung von geeigneten Baustoffen,
- Verwertung als zeitweise fließfähiger, selbstverdichtender Verfüllbaustoff (ZFSV) [16],
- Beimischung von Kalk, Mischbindemittel oder Zement für die Herstellung eines geeigneten Materials für die Bodenbehandlung bzw. Regulierung des Wassergehalts und der Festigkeitsentwicklung (Bild 2),
- Beimischung von kalkhaltigen Sekundärrohstoffe wie Braunkohlenfilteraschen [17].

Die Maßnahmen für eine Verwertung der abgebauten Böden sind projektspezifisch zu bewerten. Die Maßnahmen dienen in der Regel dazu, den Einbau und die Verdichtung des konditionierten Materials und somit die Scherfestigkeit bzw. Steifigkeit

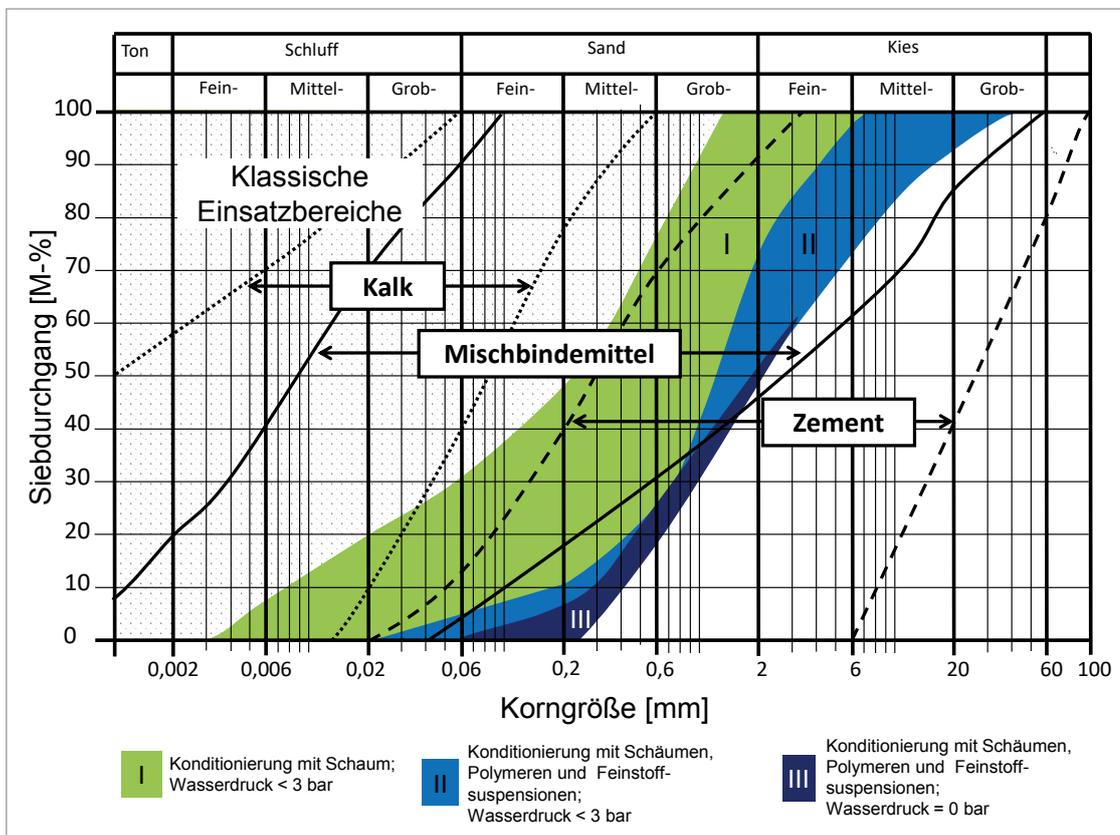


Bild 2 Einsatzbereiche von Erddruckschilden und Zugabestoffen in Anlehnung an [13]
Application areas of earth pressure TBMs and additives following [13]

zu verbessern. In Anlehnung an [18] sollte eine Scherfestigkeit von ca. 10 kN/m² und ein Trockenrückstand von mindestens 35 % erreicht werden.

Wenn keine adäquate Verwertungsmöglichkeit vorhanden ist und das abgebaute Material beseitigt werden soll, muss üblicherweise eine ausreichend hohe Scherfestigkeit erreicht werden. So kann z. B. in Anlehnung an die nicht mehr aktuelle Deponieverordnung (DepV) [19] auch eine undrainede Scherfestigkeit c_u von größer 25 kN/m² gefordert werden, die mit den oben aufgeführten Maßnahmen erreicht wird. Die umwelttechnischen Auswirkungen konditionierter Böden bzw. entsprechender Maßnahmen sind projektspezifisch zu bestimmen.

4 Schnittstellen beim Bodenmanagement

Bei der Bewirtschaftung von Tunnelausbruchmaterial gibt es zahlreiche Beteiligte und eine ganze Reihe von Gesetzen, Verordnungen und Auflagen, die zu beachten sind. Die daraus resultierenden Randbedingungen und Schnittstellen sind zu berücksichtigen.

Das Erzeugen von Abfällen ist möglichst zu vermeiden, um natürliche Ressourcen zu schonen (§ 1 KrWG). Die Auffassung, dass jeglicher Boden, der ausgehoben wird, gemäß den Regeln der LAGA als Abfall zu untersuchen und zu verwerten ist, ist zwar weit verbreitet, entspricht aber nach Auffassung der Autoren nicht der Intention des KrWG: Gemäß § 2 Abs. 2 Punkt 11 KrWG fallen „nicht kontaminiertes Bodenmaterial und andere natürlich vorkommende Materialien, die bei Bauarbeiten ausgehoben wurden...“ nicht unter den Geltungsbereich des KrWG „...sofern sichergestellt ist, das die Materialien in ihrem natürlichen Zustand an dem Ort, an dem sie ausgehoben wurden, für Bauzwecke verwendet werden.“ Gemäß § 3 Abs. 1 KrWG sind nur die Stoffe und Gegenstände als Abfall zu betrachten, derer sich „ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss“. Bei einer Tunnelplanung ist hinsichtlich der Verwendung des Aushubs also stets zu fragen, ob der anfallende Boden innerhalb des Bauvorhabens (weiter-) verwendet werden kann oder er aus dem Bauvorhaben entfernt werden muss und damit zu Abfall wird.

Das KrWG unterscheidet zwischen dem Abfallerzeuger (durch dessen Tätigkeit Abfälle anfallen) und dem Abfallbesitzer (der die Sachherrschaft über den Abfall hat). Sowohl der Bauherr als auch das ausführende Bauunternehmen sind Abfallerzeuger im Sinne des KrWG sobald sie sich des anfallenden Bodens entledigen. Zwar kann der Abfallerzeuger Dritte mit der Erfüllung bestimmter Erzeugeraufgaben beauftragen (z. B. Transport), doch enden die abfallrechtlichen Erzeugerpflichten erst mit der endgültigen Entsorgung des Bodens und es bestehen für den Erzeuger keine Möglichkeiten, seine abfallrechtlichen Pflichten abzutreten. Allein schon aus diesem Grund ist aus Sicht der Autoren die Einrichtung eines übergeordneten Entsorgungscontrollings dringend anzuraten (Bild 3).

Gewöhnlich werden bei Tunnelbauvorhaben die Baugrundverhältnisse sowohl hinsichtlich ihrer bodenmechanischen Eigenschaften als auch hinsichtlich ihrer umwelttechnischen Eigenschaften untersucht. Der Geotechnische Bericht ist dann Grundlage der technischen Planung, eines Verwertungs- und Abfallkonzepts, der Ausschreibung und der Bauausführung. Im Zuge der Bauausführung wird der Baugrund häufig noch durch das Bauen verändert. Diese Veränderungen können nicht Teil ei-

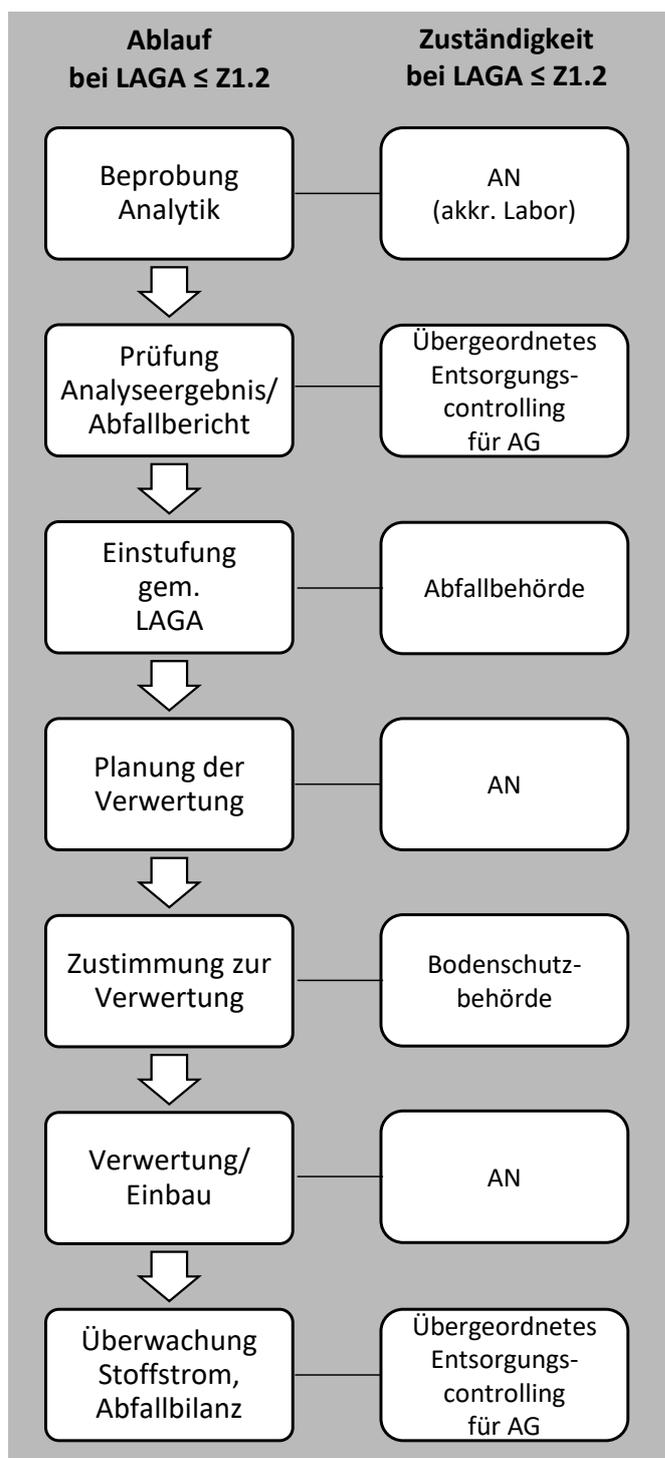


Bild 3 Exemplarische Darstellung des Informations- und Datenflusses beim übergeordneten Entsorgungscontrolling (üEC)

Example diagram of the information and data flow with high-level disposal controlling (üEC)

ner Baugrundbeschreibung sein und bedürfen daher einer besonderen Berücksichtigung bei der Planung und Ausschreibung. Baubedingte Veränderungen können sein:

- Stützflüssigkeiten im Boden aus Schlitzwandarbeiten und Tunnelvortrieb,
- Düsenstrahlkörper und Bohrkerzen aus deren Herstellung,
- Verpressgut im Boden.

Weitere Punkte, die es insbesondere zu beachten gilt, sind [20]:

- Liefersicherheiten,
- Geogene Bodenbelastungen.

Bei einer Verwertung des Bodens nach den Verwendbarkeitsklassen 1 und 2 – vor allem bei Verwertung außerhalb des eigentlichen Projekts – kann es erforderlich werden, konkrete Liefermengen und Zeiträume mit Dritten vertraglich zu vereinbaren. Die Bedeutung der Sicherheit der Lieferkette, die im Grund- und Tunnelbau sonst eher von untergeordneter Bedeutung ist, nimmt zu. Hierdurch entsteht zusätzlicher Aufwand zur Optimierung der Baustellenlogistik; erforderliche Flächen sind in der Genehmigung zu berücksichtigen.

Auch geogene Bodenbelastungen können die Verwertung von Ausbruchmaterial erschweren oder gänzlich in Frage stellen. Komplexe Zusammenhänge wie bei pyrithaltigem Gestein, bei dem es typischerweise erst nach dem Ausbruch infolge Oxidation von Sulfid und Kontakt mit Oberflächen- oder Grundwasserwasser zu einer Zunahme des gelösten Sulfats kommt, sind eine Herausforderung für den Bauvertrag.

5 Praxisbeispiele

5.1 Abwasserkanal Emscher

Beim Bau des Abwasserkanals Emscher, Bauabschnitt 40 wurden zwei EPB-Schilde mit einem Durchmesser von 3,40 m eingesetzt. Der aufgefahrene Baugrund bestand überwiegend aus einem kreidezeitlichen Mergel, der sich vom Kornaufbau her als toniger, schluffiger Feinsand darstellte. Für eine adäquate Verarbeit-

barkeit des abgebauten Mergels wurden die geotechnischen Eigenschaften mittels Tensidschaum verändert. Dabei wurde eine Tensidkonzentration $c_f = 1$ bis 2 % genutzt und eine Foam Injection Rate (FIR) von bis zu 140 realisiert [21]. Der Schaum wurde durch das Schneidrad in die Abbaukammer, an die Ortsbrust und in den Schneckenförderer eingebracht [22].

Der Aushub wurde über Loren zum Förderschacht transportiert. Hier erfolgt die regelmäßige Probenahme zur Bestimmung der umwelttechnischen Parameter, wobei ca. alle 50 Vortriebsmeter eine Probe genommen wurde. Die entsprechenden chemischen Analysen hinsichtlich der Parameter zeigten, dass durch die Zugabe der Tensidschäume keine wesentlichen umweltrelevanten Veränderungen des abgebauten Materials resultieren bzw. diese Veränderungen so gering waren, dass es für die Verwertung des Materials zu keiner höheren Einstufung gemäß LAGA [23] kam. Die konditionierten Böden hielten die Zuordnungswerte Z 1.2 gemäß LAGA ein. Der abgebaute Boden konnte vollständig einer Verwertung zur Landschaftsgestaltung bzw. Rekultivierung von Kiesgruben zugeführt werden und eine Beseitigung, z. B. auf einer Deponie, war nicht erforderlich (Bild 4).

5.2 U5 Berlin

Zum Lückenschluss der U-Bahnlinie U5 zwischen den bestehenden U-Bahnhöfen Alexanderplatz und Brandenburger Tor wurden zwei Tunnel mittels Hydroschild mit einem Durchmesser von 6,70 m aufgefahren. Aufgrund der innerstädtischen Lage des Bauvorhabens war das Potenzial zum Wiedereinbau des Bodens im Projekt gering, und der größte Anteil des ausgehobenen Bodens musste als Abfall entsorgt werden. Der Bauvertrag sah vor, den Aushub aus dem Tunnelvortrieb per Schiff abzutransportie-



Foto: Hülskens Wasserbau

Bild 4 Landschaftsgestaltung am Rhein mit Ausbruchmaterial vom Emscher Abwasserkanal
Landscape design on the Rhine with excavated material from the Emscher sewer tunnel

ren. Hierdurch konnten rund 9.000 innerstädtische Lkw-Transporte vermieden werden.

Für den Umgang mit Abfall (und damit dem zu entsorgenden Boden) wurden die Verantwortlichkeiten wie folgt verteilt:

- Abfallerzeuger (nach KrWG/AbvG § 3 Abs. 5) ist der Auftraggeber,
- Abfallbesitzer (nach KrWG/AbvG § 3 Abs. 6) sind die Auftragnehmer,
- Ein übergeordnetes Entsorgungscontrolling erfolgt durch einen externen Ingenieurdienstleister.

Eine besondere Herausforderung war das Boden- und Abfallmanagement beim Bau des U-Bahnhofs Museumsinsel. Zwischen zwei Kopfbaugruben wurde die Bahnhofshalle unter dem Spreekanal im Schutze einer Baugrundvereisung in bergmännischer Bauweise aufgeföhren. Im Zuge des Ausbruchs wurden die in diesem Abschnitt aus dem zuvor erfolgten Schildvortrieb vorhandenen Tübbingtunnel wieder abgebrochen. Der Aushub beinhaltete hier daher Bauschutt, Düsenstrahlkörper, Ringspaltmörtel, durch Stützflüssigkeit veränderte Böden, gefrorene Böden und Reste vom Spritzbeton (Bild 5).

Die abfallrechtliche Zuordnungsklasse des Bodens war aus dem zuvor erfolgten Schildvortrieb bekannt. Ferner waren alle zum Bau verwendeten Materialien bekannt. Somit konnte für den Aushub aus dem bergmännischen Vortrieb eine Zuordnungsklasse Z1.2 prognostiziert werden. Während des Aushubs erfolgte eine stichprobenartige Überprüfung der abfallrechtlichen Eigenschaften alle 2.500 m³. Wurde dabei eine günstigere Zuordnungsklasse festgestellt und sollte der Aushub dann höherwertig in die Verwertung gehen, musste die Häufigkeit der Analysen (eine Untersuchung je 1.000 m³) erhöht werden.



Foto: Strauß – CDM Smith

Bild 5 Aushubsituation beim Projekt U5 Berlin
Excavation situation on the U5 Berlin project

Im Rahmen des übergeordneten Entsorgungscontrollings (üEC) wurden für die Verbringung von Abfällen/Böden \leq Z1.2, Z2 und $>$ Z2 drei unterschiedliche Verfahrensabläufe festgelegt. Im Rahmen der Abfallbilanz wurden jedoch alle Abfälle/Böden erfasst und hinsichtlich ihres Verbleibs bzw. ihrer Verwendung dokumentiert.

6 Schlussfolgerungen

In neuen Bauvertragsmodellen sollten Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit im Umgang mit dem Boden thematisiert sein. Hinsichtlich baubedingter Veränderungen des Bodens bedeutet dies, dass bei Projekten mit Schildmaschinen im Lockergestein bereits im Vorfeld geklärt werden sollte, welche Eigenschaften die abgebauten Böden in Abhängigkeit der Verfahrenstechnik haben können, welche Maßnahmen zur Verbesserung der bodenmechanischen Eigenschaften generell möglich sind und welche Möglichkeiten der Verwertung der abgebauten und möglicherweise durch die Verfahrenstechnik veränderten Böden bestehen.

Für eine verbesserte Grundlage für die Kalkulation und Abrechnung sind die Beschreibungen der Eigenschaften auch für abgebaute Böden empfehlenswert. Für die Verwertung ist eine bestmögliche Verwertbarkeitsklasse anzustreben. Ergänzend können die Aspekte Liefersicherheiten und geogene Bodenbelastungen eine entscheidende Rolle spielen, weshalb auch diese in Bauverträgen zu berücksichtigen sind.

Neue Bauvertragsmodelle sollten projektspezifisch ein ausgewogenes Verhältnis von Verantwortung und Innovationsmöglichkeiten beinhalten. Dafür muss bereits im Vorfeld eine intensive Auseinandersetzung mit den im vorliegenden Beitrag aufgegriffenen Themen stattfinden. Einerseits muss es Anreize geben, damit das ausführende Unternehmen ein wirtschaftliches Interesse am ressourcenschonenden Bauen hat, andererseits muss der Bauherr ausreichend Einfluss behalten, um Ziele der Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit während des gesamten Projekts durchsetzen zu können. In diesem Zusammenhang kann eine Aufteilung in Lose erschwerend wirken, da mehr Schnittstellen sowohl die Verwertung innerhalb als auch außerhalb des Projekts beeinflussen. Die Installation eines übergeordneten Entsorgungscontrollings durch den verantwortungsbewussten Bauherrn hat sich als nützlich erwiesen.

Literatur

- [1] Kreislaufwirtschaft Bau: Mineralische Bauabfälle Monitoring 2014. Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V., Berlin, 2017.
- [2] Schäfer, M.: Tunnelbau in Deutschland: Statistik (2017/2018), Analyse und Ausblick, tunnel 6/2018.
- [3] Thalmann, C.: Beurteilung und Möglichkeiten der Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb zu Betonzuschlagstoffen. Dissertation, ETH Zürich, 1996.
- [4] Resch, D.: Verwendung von Tunnelausbruchmaterial – Entscheidungsgrundlagen. Dissertation, Montanuniversität Leoben, 2012.
- [5] Working Group 14 & 15: Handling, Treatment and Disposal of Tunnel Spoil Material. ITA Report No. 21. International Tunnelling and Underground Space Association, Genf, 2019.
- [6] Haid, H.G., Hammer, H.: Katzenberg tunnel – environmental and approval constraints on the recycling of tunnel spoil material/ Katzenbergtunnel – umwelttechnische und genehmigungs-

- rechtliche Randbedingungen für die Verwertung von Tunnelausbruchmaterial. *Geomechanics and Tunnelling* 2, (2009), No. 5, S. 643–651.
- [7] Hauser, C.: The Follo Line Project – das aktuell größte Infrastrukturprojekt in Norwegen. In Pulsfort (Hrsg.): Beiträge zum 10. RuhrGeo Tag 2019, Neue Erkenntnisse und Bauverfahren in der Geotechnik. Berichte des Lehr- und Forschungsgebietes Geotechnik, Nr. 36, S. 177–195. Wuppertal, 2019.
- [8] Schröfelbauer, Th., Schreitl, B., Kitzler, Chr.: S1 S1 Danube-Lobau tunnel – recycling of tunnel spoil material/S1 Tunnel Donau-Lobau – Wiederverwertung von Tunnelausbruchmaterial. *Geomechanics and Tunnelling* 2 (2009), No. 5, S.633–642.
- [9] Atzbacher, H., Coupy, N., Eitel, S., Pagliari, G.: Eppenbergtunnel: Lockergesteinsvortrieb und Innenausbau. *Tunnel* 2/2019, S. 14–25.
- [10] Neumaier, W., Rommel, B., Weise, A.: Separierung von Mischböden beim Wesertunnel, *Tunnel* 1/2001, S. 32–38.
- [11] Maidl, U.: Erweiterung der Einsatzbereiche der Erddruckschilde durch Bodenkonditionierung mit Schaum. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 1995.
- [12] Hollmann, S., Thewes, M.: Bewertung der Neigung zur Ausbildung von Verklebungen und zum Anfall von gelöstem Feinkorn bei Schildvortrieben im Lockergestein. 18. Tagung für Ingenieurgeologie und Forum für junge Ingenieurgeologen, S. 237–244, 2011.
- [13] Budach, C.: Untersuchungen zum erweiterten Einsatz von Erddruckschilden in grobkörnigem Lockergestein. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 2012.
- [14] DIN EN 12350-2: Prüfung von Frischbeton – Teil 2: Setzmaß; Deutsche Fassung prEN 12350-2:2008. Berlin; Beuth, 2008.
- [15] Budach, C., Estermann, U., Kolb, T.: Wiederverwertung von konditionierten Böden bei Projekten mit EPB-Schilden. 34. Baugrundtagung, S. 283–289. Bielefeld, 2016.
- [16] FGSV: Hinweise für die Herstellung und Verwendung von zeitweise fließfähigen, selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen im Erdbau, W1. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau. Köln, 2012.
- [17] Miertschink, R., Bunzel, J.M.: Bodenaufbereitung beim suspensionsgestützten maschinellen Tunnelbau. *Bauportal* 12/2009, S. 712–714.
- [18] Maidl, U., Handke, D.: Deponierfähigkeit von Böden bei Schildvortrieben. *Tiefbau Ingenieurbau Straßenbau* 30 (1988), S. 479–483.
- [19] Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 24.07.2002 mit Änderungen vom 13.12.2006.
- [20] Rahimzadeh, A., Tang, W.C., Sher, W., Davis, P.: Management of Excavated Material in Infrastructure Construction – A Critical Review of Literature. Proceedings of International Conference on Architecture and Civil Engineering, Sidney, 2018.
- [21] Kleen, E., Budach, C., Hörlein, N.: Successful EPB-Tunnel Drives with Conditioning Agents based on Laboratory Research. Proceedings of World Tunnel Congress (WTC) in Bergen, Norway, 2017.
- [22] Budach, C., Melzer, J. König, L.: Geotechnischen Besonderheiten beim Vortrieb des BA 40 des Abwasserkanals Emscher. *tunnel* 2/2018, S. 37–43.
- [23] LAGA: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln – LAGA – Länderarbeitsgemeinschaft Abfall; Stand: 6. November 2003 bzw. 6. November 1997.

Erweiterung unterirdischer Verkehrsinfrastruktur am Beispiel Stadtbahn Europaviertel Frankfurt: Neue Regelwerke treffen auf bestehende Anlagen

Heute werden in Europa innerstädtische, unterirdische Schienenverkehrssysteme von U- und S-Bahnen nur selten völlig neu gebaut, sondern meist auf Basis bestehender Netze erweitert. In Projekten, die an vorhandene Infrastrukturanlagen anbinden, entstehen dabei neben den technischen Fragestellungen des Spezialtief- und Tunnelbaus auch planerische und bautechnische Herausforderungen, die am Beispiel des Projekts „Stadtbahn Europaviertel“ vorgestellt werden. Aus den Schnittstellen zum zu erweiternden Bestand, zu projektinternen und externen Stakeholdern und dem Zusammenwirken von teils jahrzehntealten Planungsvorgaben und aktuellen Richtlinien ergeben sich umfangreiche Spannungsfelder in Bezug auf Planung, Bau und Betrieb. Die Ansprüche aus diesen Themen sind während der Entwicklung und Planung eines Erweiterungsbaus zu erarbeiten, zu moderieren, planerisch zu lösen und aufeinander iterativ abzustimmen.

1 Rahmenbedingungen für die Erweiterung vorhandener Infrastruktur

Bei der Erweiterung eines innerstädtischen, unterirdischen Schienenverkehrssystems muss eine Vielzahl an komplexen technischen Herausforderungen gelöst werden. Neben den üblichen Fragestellungen des Spezialtief- und Tunnelbaus ergeben sich zusätzliche übergeordnete Schnittstellen, die über die technische Lösung einer Neubaumaßnahme nach aktuellen Regelwerken und Richtlinien hinausgehen:

- Umgang mit dem zu erweiternden physischen Bestand, nicht nur im direkten Anschlussbereich,
- Betriebliche Rahmenbedingungen und Anforderungen an die spätere Nutzung, die auf den Bestand abgestimmt sein müssen,
- Neue Genehmigungsvorgaben, Regelwerke und Standards treffen auf Altbestand mit Richtlinienlage des Herstellzeitpunkts.

Daraus ergeben sich Spannungsfelder, die bei Entwurfs- und Planungsaufgaben zu berücksichtigen sind. Neben räumlichen und bautechnischen Rahmenbedingungen haben betriebliche Anfor-

Expanding Underground Transport Infrastructures Taking the Example of the Europa District Frankfurt Suburban Railway: New Codes Encounter Existing Systems

In Europe today, urban underground and railway systems are rarely newly built but are created as an expansion of the existing network. As a result, in projects involving an expansion of the existing infrastructure, specific and enhanced design and construction challenges emerge, in addition to technical issues in specialised civil engineering and tunnel construction. Some of these issues are presented using the example of the “Europa District Frankfurt Suburban Railway” project. Considerable tension in relation to design, implementation and operation arises from the interface with the system to be expanded, from internal and external project stakeholders and from the interaction of planning specifications, some of which are decades old, and current guidelines. The challenges emerging from all of these topics have to be processed, moderated and considered in the design solution. Then they have to be iteratively coordinated as part of the development and design for expansion construction.

derungen einen wesentlichen Einfluss auf die zu erweiternde Infrastruktur. Zum einen ist die Erweiterung technisch zu integrieren und abzustimmen, zum anderen darf der laufende Betrieb für die bauliche Umsetzung nicht relevant beeinflusst werden.

Eine Besonderheit ist der Umgang mit technischen Regelwerken, Standards und Normen. Die kommunalen Verkehrsbetriebe haben in Zusammenarbeit mit den Aufsichtsbehörden vor vielen Jahrzehnten eigene Regelwerke entwickelt, die bei einem neuen Projekt an aktuelle Normen, Standards und Bauverfahren anzupassen sind. Es erfolgt also eine planungsbegleitende Weiterentwicklung und Aktualisierung der kommunalen Bau- und Ausrüstungsstandards. Gleichzeitig treten bei Bestandsbauer-

ken aufgrund höherer Anforderungen neuerer Normung Umstände auf, die bei Anpassungen und Erweiterungen zu berücksichtigen sind. Zu Planungsbeginn sind die Rahmenbedingungen aus bestehender und zukünftiger Nutzung meist nicht ausreichend klar definiert. Diese müssen gemeinsam mit dem Auftraggeber bzw. späteren Nutzer als wesentliche Grundlage für den Planungsprozess entwickelt und fortgeschrieben werden.

Alle Ansprüche sind während der Entwicklung und Planung eines Erweiterungsbaus zu erarbeiten, zu moderieren, planerisch zu lösen und aufeinander iterativ abzustimmen bzw. miteinander zu vereinbaren.

2 Erweiterungsaspekte bei der Stadtbahn Europaviertel

Mit dem Projekt Stadtbahn Europaviertel erweitern die Stadt Frankfurt am Main und die Verkehrsgesellschaft Frankfurt (VGF) das bestehende U-Bahnnetz. Am Platz der Republik schließt die Verlängerung an ein bestehendes Überwerfungsbauwerk des U-Bahnnetzes an (Bild 1). Aufgrund der innerstädtischen Lage, der Anschlusssituation sowie der Integration in den existierenden Betrieb ist das Projekt seit Planungsbeginn im Jahr 2013 reich an Schnittstellen und sich daraus ergebenden Spannungsfeldern. Der Planungsumfang umfasst ein weites Spektrum an Planungsgewerken in den Leistungsphasen 2 bis 9 nach der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) sowie besondere Leistungen, von denen viele erst durch die Lösungen der Integrationsaufgaben planungsbegleitend notwendig wurden.

Bei bestehenden Infrastrukturen gilt es, aktuelle Regelwerke und Standards in die Planungen einfließen zu lassen und diese mit dem Bestand in Einklang zu bringen. Für das Projekt Stadtbahn Europaviertel existierten z. B. bauherrenseitige Ergänzungsvorschriften zu den anerkannten Regeln der Technik und zu einschlägigen Empfehlungen. Diese „Grundsätzlichen Vereinbarungen für Statik und Konstruktion von Tunnelbauwerken“ (GVT) sind als Planungsgrundlage für Baumaßnahmen der VGF entwickelt worden. Diese Vorschriften wurden nach dem Bau der letzten U-Bahntunnel zwar nur in Teilen fortgeschrieben, jedoch beinhalten sie spezifische Regelungen für den Bau von Tunnelbauwerken im Frankfurter Baugrund. Daher hat der Planer zu einem sehr frühen Zeitpunkt im Vorfeld statischer Untersuchun-

gen Lastenhefte für die Bauwerke erstellt, um die erforderliche Harmonisierung der Anforderungen aus unterschiedlichen technischen Regelwerken herbeizuführen.

Zudem wurden seitens des Bauherrn weitere Anforderungen definiert, die als Standard für das Projekt zu berücksichtigen sind, u. a.:

- Definition von Rettungswegen und Sicherheitsräumen, basierend auf dem Entwurf der Neufassung der Technischen Regeln (TR) Tunnel,
- Verwendung von bautechnischen Standards, die im Zuge der letzten Tunnelbaumaßnahmen entwickelt wurden, ergänzend zu den teils abweichenden aktuellen Richtzeichnungen für Ingenieurbauten (RIZ-ING).

3 Unterirdischer Anschluss an den Bestand unter dem Platz der Republik

Im Rahmen des ca. 20 Jahre zurückliegenden Baus der D-Strecke zwischen den Haltestellen Hauptbahnhof und Bockenheimer Warte war bereits für eine spätere Erweiterung der Stadtbahn in Richtung Westen ein Anschlussbauwerk unterhalb der Kreuzung Platz der Republik errichtet worden. Hier treffen die Friedrich-Ebert-Anlage aus nordwestlicher Richtung, die Düsseldorfer Straße aus südöstlicher Richtung sowie die Mainzer Landstraße in Ost-West-Richtung aufeinander. Diese Straßen stellen die Hauptverbindungswege für den Individualverkehr und die Straßenbahnlinien zwischen der Messe, der Innenstadt und dem Hauptbahnhof dar. Unterhalb der Geländeoberfläche befinden sich Trassen und Kanäle.

Die bestehende U-Bahn zwischen den Stationen Messe und Hauptbahnhof wird unterhalb des Platzes der Republik in einem zweistöckigen Tunnelbauwerk geführt, das in offener Bauweise mit Grundwasserabsenkung hergestellt wurde. Die Oberkante des Tunnelbauwerks liegt bei ca. 5,5 m unter Geländeoberkante (GOK). Die im Bereich Platz der Republik vorhandene Bebauung besteht aus Wohn- und Geschäftshäusern mit bis zu sieben Obergeschossen und einem Kellergeschoss.

Die für den Anschluss der Verlängerung der Stadtbahnstrecke vorbereiteten Bauwerksbereiche liegen in der unteren der beiden Bauwerksebenen (C-Ebene). Es wurden im Bestand kreisförmige Anschlusswände mit einem Durchmesser von 6 m hergestellt. Der Tiefpunkt der Anschlusswände im Bereich Bauwerkssohle liegt 17 m unter GOK (Bild 2).

Da die beiden Anschlussgleise derzeit als Gleisabstellanlage bzw. Wende- und Warteposition der an der Station Hauptbahnhof endenden Stadtbahnlinie U5 genutzt werden, befinden sich im Anschlussbauwerk zahlreiche technische Anlagen:

- Gleise und Fahrleitung bis kurz vor der Anschlusswand,
- Kabeltröge und Gehwege seitlich der Gleise, einschließlich Geländer/Handläufe,
- Beleuchtung, Beschilderung, Signale,
- Entwässerungseinrichtungen bis kurz vor der Anschlusswand,
- Behelfseinbauten wie Bedienbahnsteige im Bereich der Wende-Warte-Positionen der U-Bahnen, Querungen der Gleise.

Im Zuge der Planung des Anschlusses der neuen Tunnelröhren an das vorbereitete Bestandsbauwerk (Bild 3) ergaben sich aufgrund der Randbedingungen u. a. folgende bautechnische Herausforderungen:

- Bauweise,



Bild 1 Lage und Bestandteile des Projekts Stadtbahn Europaviertel – unterirdischer Streckenabschnitt
Overview of the project Europa District Suburban Railway – underground section

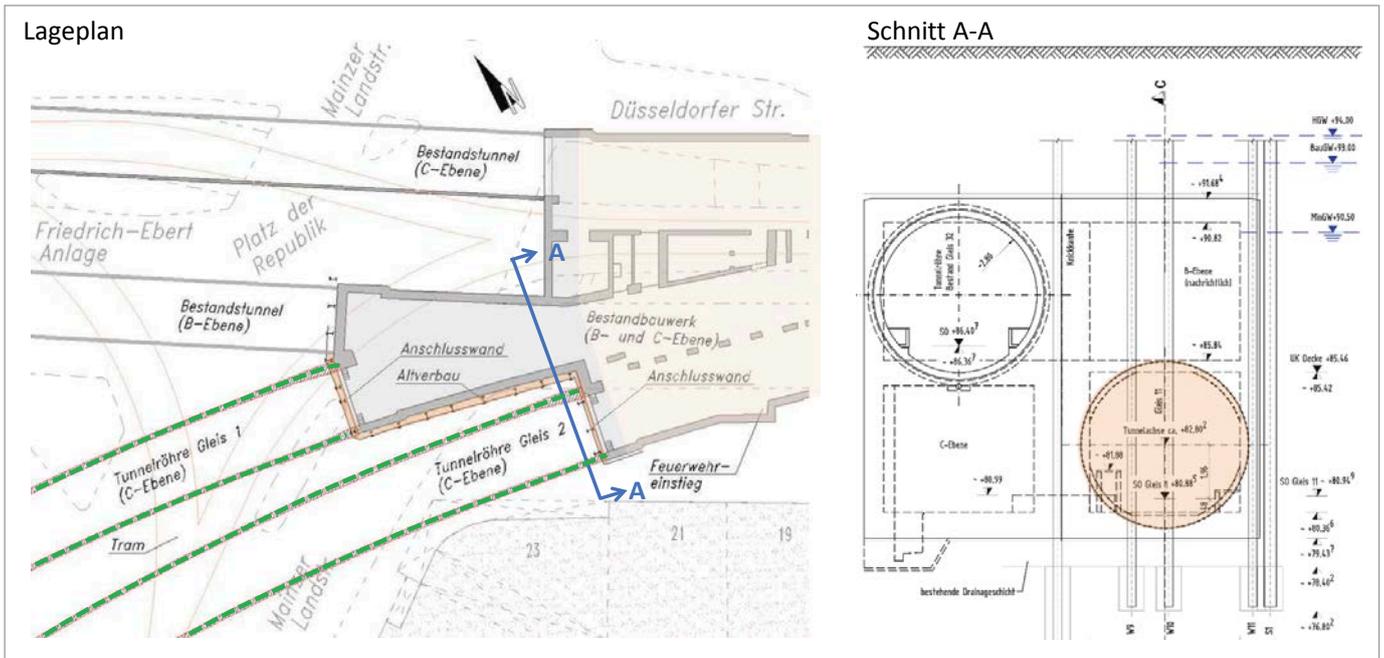


Bild 2 Bestandssituation im Anschlussbereich Platz der Republik und neue Tunnelröhre (grün)
Existing situation in the connection area Platz der Republik with the new planned tunnel (green)

- Umgang mit Grundwasser,
- Verbliebene Bauteile der ehemaligen Baugrubenumschließung,
- Abdichtungsanschluss.

- Gleitfolie und Ausgleichsbeton zwischen Trägerverbau und Bauwerk,
- Bestandteile der Baugrubendränage.

Nach einer Variantenbetrachtung wurde festgelegt, den Anschluss vollständig untertägig zu realisieren. Dafür wird der maschinelle Tunnelvortrieb bis kurz vor den Altverbau ausgeführt und die Schildmaschine untertägig zurückgebaut. Der verbleibende Tunnelbereich wird dann als kurzer bergmännischer Vortrieb unter diversen Sicherungsverfahren erfolgen.

Diese Bauteile sind für die Planung und Ausführung eine besondere Herausforderung, da sie während des Restvortriebs zurückgebaut werden müssen. Durch die verbliebene Gleitfolie ist mit einem Kurzschluss und druckhafter Wasserwegigkeit innerhalb der alten Baugrubenumschließung zu rechnen. Daher werden diverse Sicherungsmaßnahmen wie Injektionen und Vereisung vorgesehen, die vorlaufend hergestellt, während der Bauarbeiten überwacht und gegebenenfalls ergänzt werden müssen.

Da das Anschlussbauwerk und die bestehenden Tunnelstützen in offener Bauweise bei einer Grundwasserabsenkung hergestellt wurden, sind im Untergrund, insbesondere vor der Anschlusswand, diverse Bauteile der damaligen Baugrubenumschließung verblieben, z. B.:

Für den Anschluss der Tunnelröhren am Platz der Republik ist es erforderlich, die bestehenden Anschlussplomben der damaligen Abschlusswände zurückzubauen. Zwar war der Wegfall dieser Anschlussplomben bereits in der statischen Berechnung des Bestandsbauwerks berücksichtigt worden, nicht jedoch die vielfache Durchörterung des bestehenden Bauwerks, für die heute zusätzliche Sicherungsmaßnahmen bei der Planung nachzuweisen sind.

- Verbauträger (I-Profile),
- Spritzbetonausfachungen,

Beim damaligen Bau des Bestandsbauwerks wurden zwei unterschiedliche Abdichtungssysteme berücksichtigt. Im Bereich der Anschlussblöcke an den jetzt herzustellenden Tunnel wurde bereits damals eine wasserundurchlässige Betonkonstruktion (WUB-KO) umgesetzt. Daher kann der Anschluss mittels Los- und Festflanschkonstruktion sowie Klemmfugenband erfolgen. Im Bereich des neu zu erstellenden Notausstieg-Bauwerks muss jedoch an die herkömmliche Schwarz-Abdichtungsstruktur angebaut werden. Dies erfordert eine Übergangskonstruktion, die eine Verbindung der Abdichtungssysteme Schwarz an Weiß (bzw. WUB-KO) ermöglicht.



Bild 3 Situation innerhalb des Bestandsbauwerks
Situation within the existing tunnel

Um die heutige Gleisabstellanlage im Abzweigbauwerk für den späteren Betrieb nutzen zu können, sind die derzeitigen Gleislagen auf die gleisgeometrischen Aspekte der Streckenerweiterung in Lage, Gleisradius und Überhöhung anzupassen.

Zudem ist eine Ertüchtigung der Ausstattungsgewerke nach dem aktuellen Stand der Technik erforderlich.

Für die Neubaustrecke werden Fluchtwege, unterschieden in Rettungswege und Sicherheitsräume nach dem Entwurf der Neufassung der TR Tunnel, vorgesehen. Aufgrund der Platzverhältnisse innerhalb des Bestandsbauwerks kann diese Anforderung im Anschlussbereich nicht vollständig umgesetzt werden. Im Projekt musste daher ein Bestandschutz in Bezug auf den Geltungsbereich der neuen Definitionen vereinbart werden.

4 Tübbingkonstruktion – Messtübbingring

Zur nachhaltigen Dimensionierung der Tübbingkonstruktion werden über die Lebenszeit der Tunnelröhre potenziell zu erwartende Belastungsfälle zugrunde gelegt. Aufgrund der Bebauungsstruktur und planungsrechtlicher Vorgaben sind daher neben der Bestandsbebauung auch zukünftige Neubauten im Einflussbereich des Tunnels zur Dimensionierung des Tübbingausbaus zu berücksichtigen [1]:

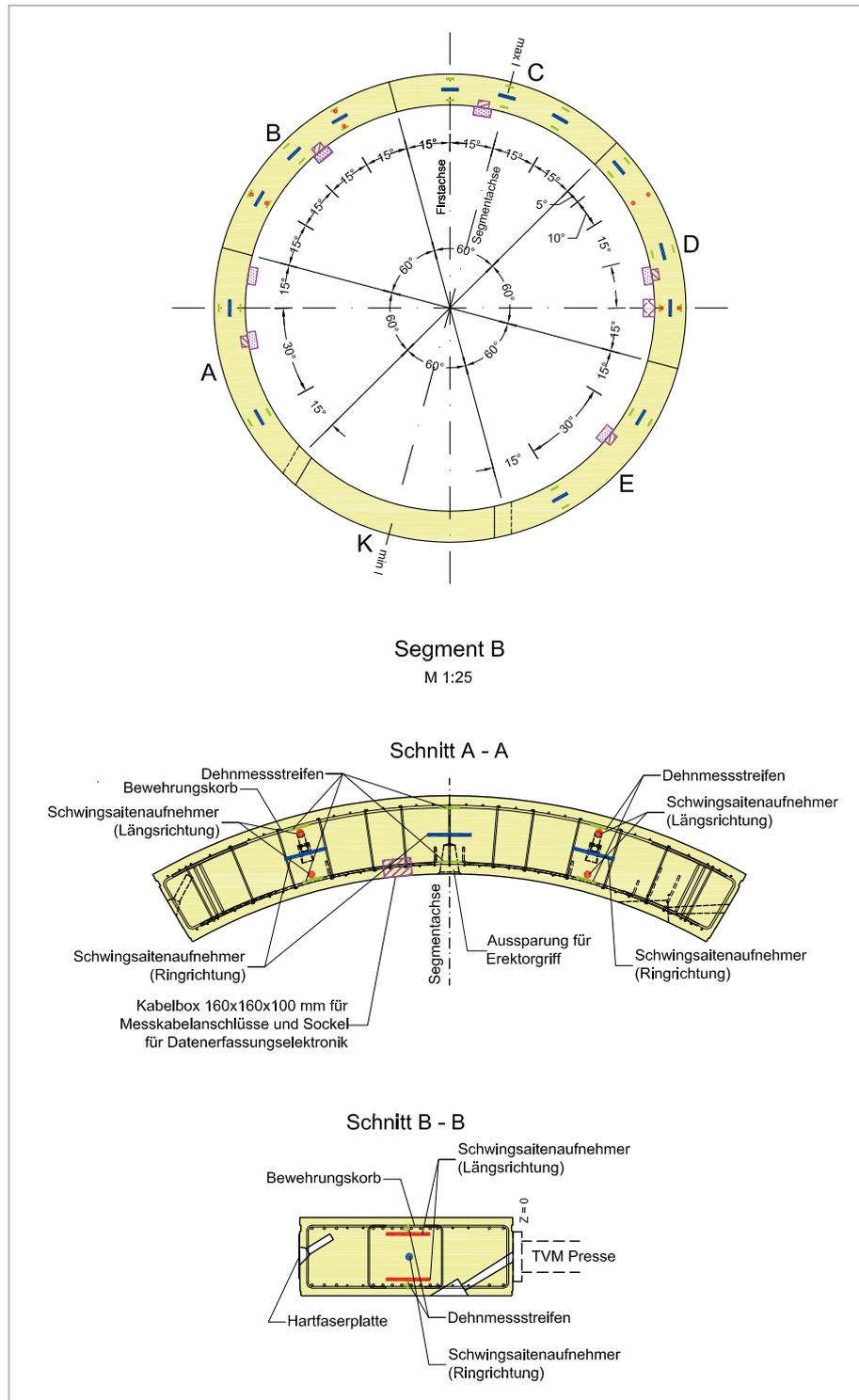


Bild 4 Messsensorik im Ring und in einem Beispielsegment [2]
Measuring sensors in the ring as well as in an example segment (bottom) [2]

- Auslegung für zukünftige Baugrube mit bis zu 7 m Tiefe, die zu bemessungsrelevanten Entlastungszuständen führt,
- Hohe Gründungslasten mit flächigen Lasten von 300 kN/m² (Gebäude mit 20 bis 30 Geschossen),
- Bei Annahme eines minimalen natürlichen Grundwasserstands in der Tunnelfirste zusätzlich zum Wasserdruck von 115 kN/m² eine vertikale Belastung von 260 kN/m² aus Erddruck,
- Berücksichtigung der Besonderheiten des Frankfurter Tons bei Ansatz der Erddrücke,
- Sonderlastfall: Potenzielle Grundwasserabsenkung bis unterhalb der Tunnelsohle.

Zur Definition und Abstimmung dieser Einflüsse wurde bereits in der Entwurfsphase ein umfangreiches Lastenheft entwickelt und mit der Betriebsleitung sowie den Genehmigungs- und Aufsichtsstellen abgestimmt. Im Ergebnis kommt eine robuste Tübbingkonstruktion mit 45 cm Dicke und einer Betongüte von C45/55 zur Umsetzung [1].

Zur Berücksichtigung geotechnischer Besonderheiten des Frankfurter Tons und zur Überprüfung aktueller und zukünftiger Belastungen der Tunnelchale war aufgrund behördlicher Vorgaben ein geeignetes Mess- und Überwachungsverfahren für die neuen Tunnelröhren gefordert worden. Hierzu wurde ein System aus Messtübbingringen entworfen, das folgende Ziele hat:

- Erkennen von Spannungs- bzw. Belastungsänderungen während der Bau- und späteren Betriebsphase des Tunnels,
- Beurteilung von Belastungsänderungen infolge Erdaushub und erneuter Belastung durch eine zukünftige Baumaßnahme oberhalb der Tunnelröhre im Bereich „Altes Polizeipräsidium“,
- Beobachtung von Belastungsänderungen beim parallelen Auffahren einer zweiten Tübbingröhre,
- Weiterer Erkenntnisgewinn im Zusammenhang mit Tunnelvortrieben im Frankfurter Ton.

Das Messkonzept basiert im Wesentlichen auf:

- Messung der Dehnungsverteilung im Tübbingquerschnitt, Ableitung von Spannungen und Spannungsänderungen im Betonquerschnitt und im Bewehrungsstahl unter Berücksichtigung von Kriech- und Schwindefeffekten,

- Rückrechnung der inneren Schnittgrößen aufgrund der ermittelten Spannungsverteilung und Interpolation des Schnittgrößenverlaufs entlang des Messrings sowie Abschätzung der äußeren Belastung.

Der entwickelte Ansatz zur messtechnischen Erfassung (Bild 4) sieht vor, Standard-Tübbingringe mit einbetonierten Schwingseitendehnungsaufnehmern sowie zusätzlichen Vollbrücken-Dehnmessstreifen am Bewehrungsstahl zu Messringen aufzurüsten. Die Auswert- und Rückrechenkonzepte wurden vorentworfen und Anforderungen an ihre Umsetzung definiert [1].

Die Anordnung der Messringe erfolgt entsprechend der o. g. Messziele an markanten Stellen, so u. a. im Bereich der zukünftige Baumaßnahme (Bild 5). Die Weiterführung der Planung und Optimierung der Messtechnik, z. B. durch faseroptische Sensoren an den Kalibriersegmenten, die Begleitung der Einbaumaßnahmen, das Durchführen der Messungen und die detaillierte Entwicklung der Auswertmethoden, erfolgt federführend durch die Technische Universität München.

5 Erweiterung der technischen Ausrüstung

Mit der Verlängerung der Stadtbahnstrecke ins Europaviertel wird auch die technische Ausrüstung vom Bestand aus erweitert. Die Funktionsfähigkeit des neuen Streckenabschnitts beruht maßgeblich auf den miteinander koordinierten einzelnen Technikgewerken. Einzelne Gewerke wie die Signaltechnik müssen an das Bestandssystem angeschlossen und exakt angepasst werden. Andere Gewerke wie die Lüftungstechnik können für die neue Station weitgehend separat von bestehenden Anlagen geplant und gebaut werden.

Die VGF ist bestrebt, ihre elektrische Infrastruktur grundsätzlich zu standardisieren und damit langfristig deren Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Eine bauliche Umsetzung einer neuen Standardisierung findet im Bereich des Bestandsnetzes bereits in ersten Projekten statt, jedoch waren zu Projektbeginn die Standardisierungsüberlegungen für ein solch umfangreiches Neubauprojekt längst nicht abgeschlossen. Die zum Projektstart übergebenen Planungsvorgaben sind mit heutigem Stand fast vollständig überholt. Anforderungen an Stromversorgung, Ausstattungselemente wie Beleuchtung oder Steckdosen oder auch die Kabelanlage, -trassen und -verteilungen werden nach planungsbegleitend entwickelten Standards umgesetzt.

Eine besondere Herausforderung an der Schnittstelle zum Bestand ergibt sich für die zentrale Leittechnik und das Zusammenwirken mit bestehenden Anlagen, z. B. im Bereich Service und Sicherheit oder Signaltechnik. Hier ist zwingend zu gewährleisten, dass kompatible Systeme zum Einsatz kommen.

Wichtige Grundlage für die Auslegung der Lüftungsanlage sind Anforderungen in Bezug auf Luftwechsel, minimale und maximale Raumtemperaturen oder Wärmelasten. Vorgaben, die für die Planung der letzten unterirdischen Station vor einigen Jahrzehnten erstellt und fortgeschrieben wurden, entsprechen heute nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik. Die angestrebte Lebensdauer von Anlagen und Anforderungen an Arbeitsstätten in Kombination mit immer extremer werdenden Temperaturschwankungen und Hitzerekorden führen zu einer Verschärfung der existierenden Vorgaben. Hinzu kommt die aktuelle Entwicklung im Bereich der Lüftungstechnik: Aus der im-



Bild 5 Geplante Lage der Messringe [1]
Planned position of the measuring rings [1]

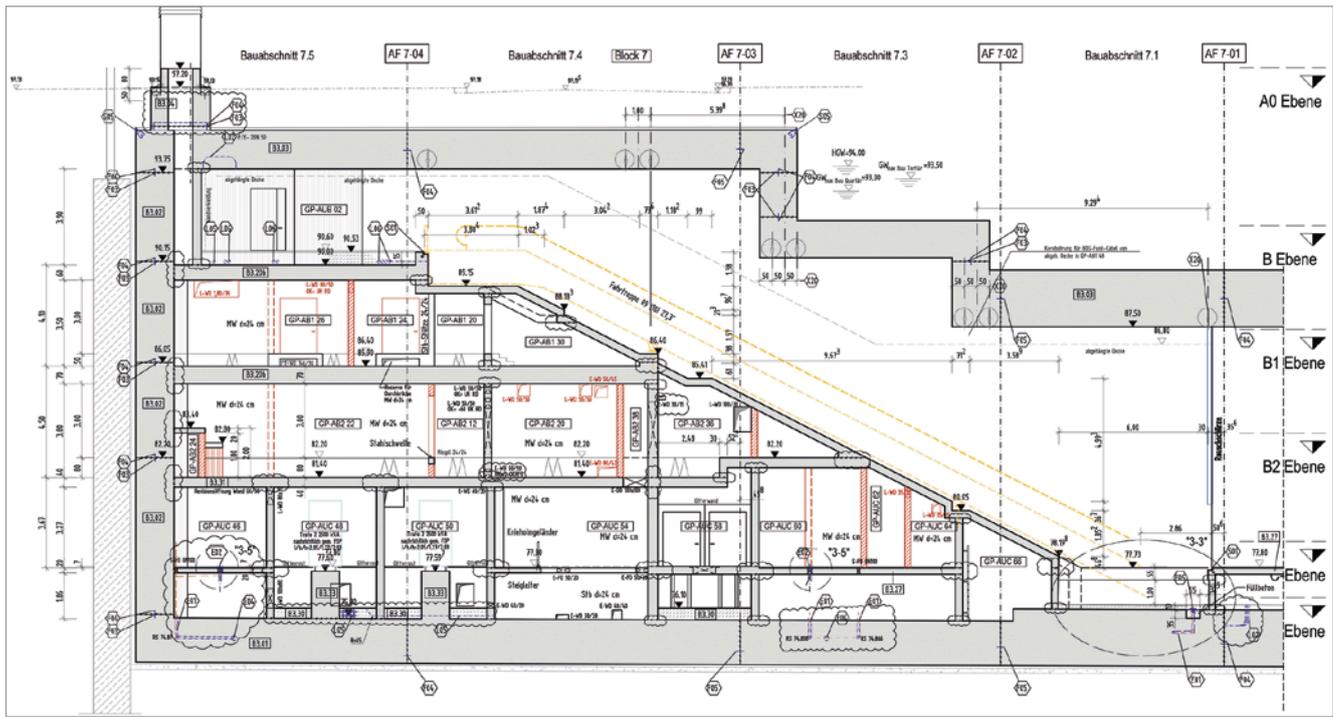


Bild 6 Längsschnitt im Bereich der Betriebsräume Station Güterplatz
 Longitudinal section of technical rooms in underground station Güterplatz

mer stärker werdenden Tendenz zu einer Reduzierung des Energieverbrauchs und der Erhöhung der geforderten Luftmengen resultiert eine Vergrößerung der Lüftungsgeräte.

6 Neues Stationsbauwerk für Frankfurt

Im Jahr 2001 fand die Inbetriebnahme des Abschnitts Hauptbahnhof–Bockenheimer Warte (D-Strecke) mit der unterirdischen Station Festhalle/Messe statt. Die Inbetriebnahme dieser unterirdischen Station liegt nun fast 20 Jahre zurück, die Planungsphase entsprechend länger, denn die Planfeststellung für die D-Strecke wurde bereits 1987 beantragt.

Mit der Station Güterplatz (Bild 6) wird nun nach mehreren Jahrzehnten wieder eine unterirdische Station hergestellt, und dies in doppelter Tiefenlage mit Verteilerebenen. Der Raumbedarf für die Ausrüstungstechnik, die im Stationsbauwerk zu integrieren ist, ist abhängig vom Erweiterungsabschnitt und den im Bestandsnetz vorhandenen und zur Versorgung der Strecke erforderlichen Räumen. So sind im neuen Stationsbauwerk ca. 120 Betriebsräume zu verorten und nach unterschiedlichsten technischen Vorgaben auszustatten.

Die Festlegung des Raumkonzepts erfolgte in enger Abstimmung mit dem Bauherrn. Grundlage der Konzeption stellte ein Raumbuch dar, das die Anforderungen an den jeweiligen

Raumtyp u. a. in Bezug auf Idealabmessungen und Ausstattung definiert.

Aufgrund der Besonderheiten der Station und der technischen Weiterentwicklung werden die Anforderungen bis heute aktualisiert und auf den aktuellen Stand der Technik fortentwickelt.

Insbesondere die Entwicklung der Anforderungen erfordert von VGF und Planern eine hohe Koordinationsleistung, um den unterschiedlichsten neuen und alten Anforderungen zu genügen. Jahrzehntealte Erfahrungswerte aus Bau und Betrieb des existierenden Netzwerks werden so mit dem aktuellen Stand der Technik in Einklang gebracht. Gleichzeitig werden über das Projekt neue Planungsstandards entwickelt, die nach Neutralisierung an anderer Stelle als neue Richtlinien weiterverwendet werden können.

Literatur

- [1] Klappers, C., Fischer, O., Werkhäuser, K., Kirchner, S.: Neubau U5 Europaviertel Frankfurt, Tunnel mit einschaligem Tübbingausbau unter anspruchsvollen statischen Randbedingungen – Planung, Realisierung und Ausblick messtechnische Validierung. 21. Münchener Massivbau Seminar 2017.
- [2] Fischer, O.: Ausführungsplanung Messtübbing/Messprogramm Stadtbahn Europaviertel. Technische Universität München, Materialprüfungsamt/Lehrstuhl für Massivbau (unveröffentlicht).



**listen.
think.
deliver.**

Der Tunnelbau zählt zu den Kernkompetenzen von CDM Smith. Unsere tunnelbauerfahrenen Geologen und Tunnelbauingenieure verstehen die Wechselwirkung zwischen Baugrund, Grundwasser und Tunnelbautechnik. Wir unterstützen Sie in allen Projektphasen: von der Trassenfindung über die Objektplanung für Vortrieb und Ausbau der Tunnelbauwerke bis hin zu Bauüberwachung und Projektmanagement. Bei Prüfungs- und Kontrollaufgaben stehen Ihnen unsere tunnelbautechnischen Prüfsingenieure zur Seite.

