

UNTERTUNNELUNG DER DONAU MIT EPB-SCHILDMASCHINE

Dipl.-Ing. Arthur Göbl

TUNNELLING UNDER THE DANUBE BY USE OF AN EPB SHIELD MACHINE

A 5.2 km-long tunnel, passing under such obstacles as the River Danube and the Neue Donau channel, has been driven for district-heating company Fernwärme Wien GmbH, using for the first time in Austria the EPB shield technology. The tunnel serves as a long-distance heat supply line integrating the newly constructed Donaustadt power station into the existing district-heating system and interconnecting Vienna's districts on the two banks of the River Danube.

The tunnel route passes under the River Danube, the Neue Donau channel and the Danube Canal as well as two railway lines, the A 4 Eastern Motorway, and the

high-voltage distribution station at the Simmering power station. After passing under Socio-medical Centre East, the long-distance heating line re-emerges at the ground surface to continue in a conduit constructed in open cut over the last kilometre of the contract section. The end of the route joins the district-heating junction at the General Motors works.

The contract for the construction works for project section Steinsporn I+II was awarded to a joint venture under the technical management of Porr Tunnelbau GmbH.

EINLEITUNG

Die Fernwärme Wien GmbH hat als Energieversorgungsunternehmen Bedarf an einer leistungsfähigen Fernwärmeleitungsverbindung über die Donau. Darüber hinaus sollte das Versorgungsnetz im 22. Wiener Gemeindebezirk erweitert werden. Das Projekt „Steinsporn I und II“ dient im Speziellen auch dem Wärmebedarfsausgleich der Wiener Stadtteile diesseits und jenseits der Donau. Mit dieser Leitungsverbindung ist es auch möglich, den neu errichteten, hochmodernen Kraftwerksblock im Kraftwerk Donaustadt über die mit-

errichtete Kraft-Wärme-Kopplung als Wärmelieferant für das Fernwärmenetz zu nutzen.

Mit der Durchführung der Bauarbeiten des Projektabschnittes Steinsporn I+II wurde eine Arbeitsgemeinschaft unter der technischen Federführung der Porr Tunnelbau GmbH beauftragt.

Die in Summe etwa 6 km lange Projektachse durchquert den 2., 11. und den 22. Wiener Gemeindebezirk.

Die Stollentrasse unterquert die Donau, die Neue Donau und den Donaukanal sowie zwei Bahnlinien, die A 4 Ostautobahn und die Hochspannungsverteilungsanlage im Kraftwerk Simmering.



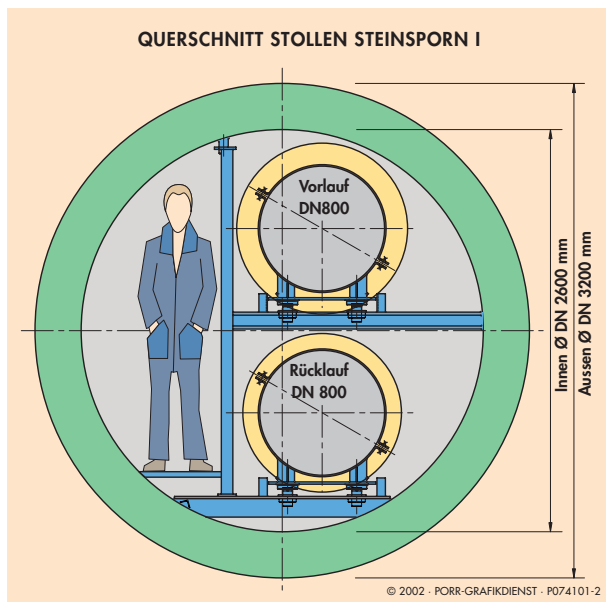
Weiters untertunnelt der Stollen das sozialmedizinische Zentrum Ost, um anschließend wieder an der Oberfläche aufzutauchen. Von dort bis zu dem etwa einen Kilometer entfernten Endpunkt des Bauloses wird die Fernwärmeleitung in einem in offener Bauweise erstellten Kollektor verlegt. Das Trassenende bindet in den bestehenden Fernwärme-Knoten beim General-Motors-Werk ein.

BAUTEILE

Der Auftrag umfasste folgende Hauptbauteile:

- 11 Schlitzwandschächte
- 9 Notausstiegsschächte
- 3.100 m Vortrieb DN 2600
- 2.100 m Vortrieb DN 2200
- 1.000 m offene Bauweise (Kollektor)

Der Ausbruchsdurchmesser des Stollens beträgt 3,20 m im Projektabschnitt Steinsporn I und 2,70 m im Projektabschnitt Steinsporn II. Die Sicherung und der Innenausbau des Stollens erfolgt in einschaliger Bauweise durch Pressrohre.



Die Schlitzwandschächte werden im Endzustand zumeist als Kompensationsschächte genutzt. Bedingt durch die hohen Temperaturen in den Rohren der Fernwärmeleitungen entstehen Längsdehnungen, die durch sogenannte Rohrkompensatoren in den Schlitzwandschächten ausgeglichen werden.

Für die Bauausführung werden einige Schächte als Start- und Zielschächte für die Vortriebsarbeiten verwendet. Die in der Mitte eines Vortriebsabschnittes liegenden Schächte werden mit der Schildmaschine lediglich durchfahren.

GENERELLER BAUABLAUF

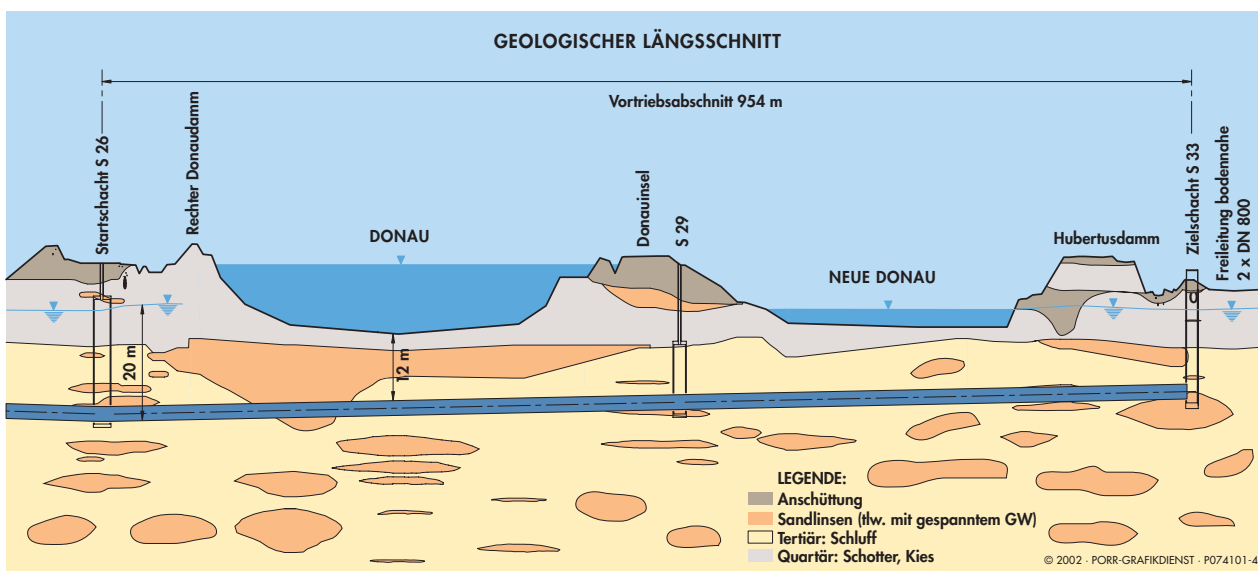
Nach Durchführung der im Auftrag enthaltenen Ausführungsplanung wurde mit der Errichtung des Startschachtes in Schlitzwandbauweise begonnen. Die Schächte haben eine Tiefe zwischen 20 und 25 m und einen mittleren Durchmesser von etwa 13 m.

Das gesamte Bauvorhaben war auf das Schlüsselgewerk Vortrieb abgestimmt, so dass vor Erreichen des Vortriebs der jeweilige Schacht im Rohbau hergestellt wurde und nach Abschluss der Vortriebsarbeiten im jeweiligen Schacht die Innenschale und der Innenausbau ausgeführt wurden. Damit konnte eine größtmögliche Arbeitskontinuität der einzelnen Gewerke erreicht werden.

Mit den Bauarbeiten wurde unmittelbar nach Auftragserteilung im Frühjahr 2000 begonnen, die Inbetriebnahme des Projektabschnittes zwischen Kraftwerk Simmering und Kraftwerk Donaustadt erfolgte Ende 2001 gleichzeitig mit der Inbetriebnahme des neu errichteten Kraftwerkes Donaustadt. Die Inbetriebnahme des übrigen Leitungsabschnittes erfolgte plangemäß im Oktober 2002.

GEOLOGIE, HYDROLOGIE

Der Abstand der Stollenfirste bis zur Oberfläche variiert zwischen 12 und 25 m, die gesamte Trasse liegt im Grundwassereinflussbereich der Donau, wobei der



Grundwasserstand über Stollensohle bis zu 23 m beträgt. Die Stollenstrasse liegt höhenmäßig im Tertiär, wo Wiener Tegel mit eingelagerten Sandlinsen ansteht. Die bis zu mehreren Metern mächtigen Sandlinsen enthalten gespanntes Grundwasser mit Druckhöhen bis zum freien Wasserspiegel der Donau (ca. 2 bar). Vortriebsarbeiten im darüber liegenden Quartär, d.h. im Donauschotter und Kies, waren nicht vorgesehen. Obwohl der ungestörte Tegel sehr geringe Durchlässigkeiten aufweist, ist aufgrund der Sandlinsen und diverser Inhomogenitäten, wie Klüfte, Scherflächen und Bruchzonen, im Tertiär über weite Strecken der volle Wasserdruck im Vortrieb wirksam.

VORTRIEBSKONZEPT

Zur Ausführung kam eine Erddruck-Schildmaschine (EPB-Schild) mit nachgeschobenen Pressrohren. Hierbei übernimmt die Schildmaschine die Erstellung des Hohlraums und die nachgeschobenen Pressrohre dienen als einschaliges Ausbausystem. Damit gewährleisten die Pressrohre einerseits die Funktion der sofortigen Stützung der Ausbruchslaibung und andererseits die Funktion der dauerhaften Auskleidung für den Endzustand.

FUNKTIONSWEISE DES EPB-SCHILDES

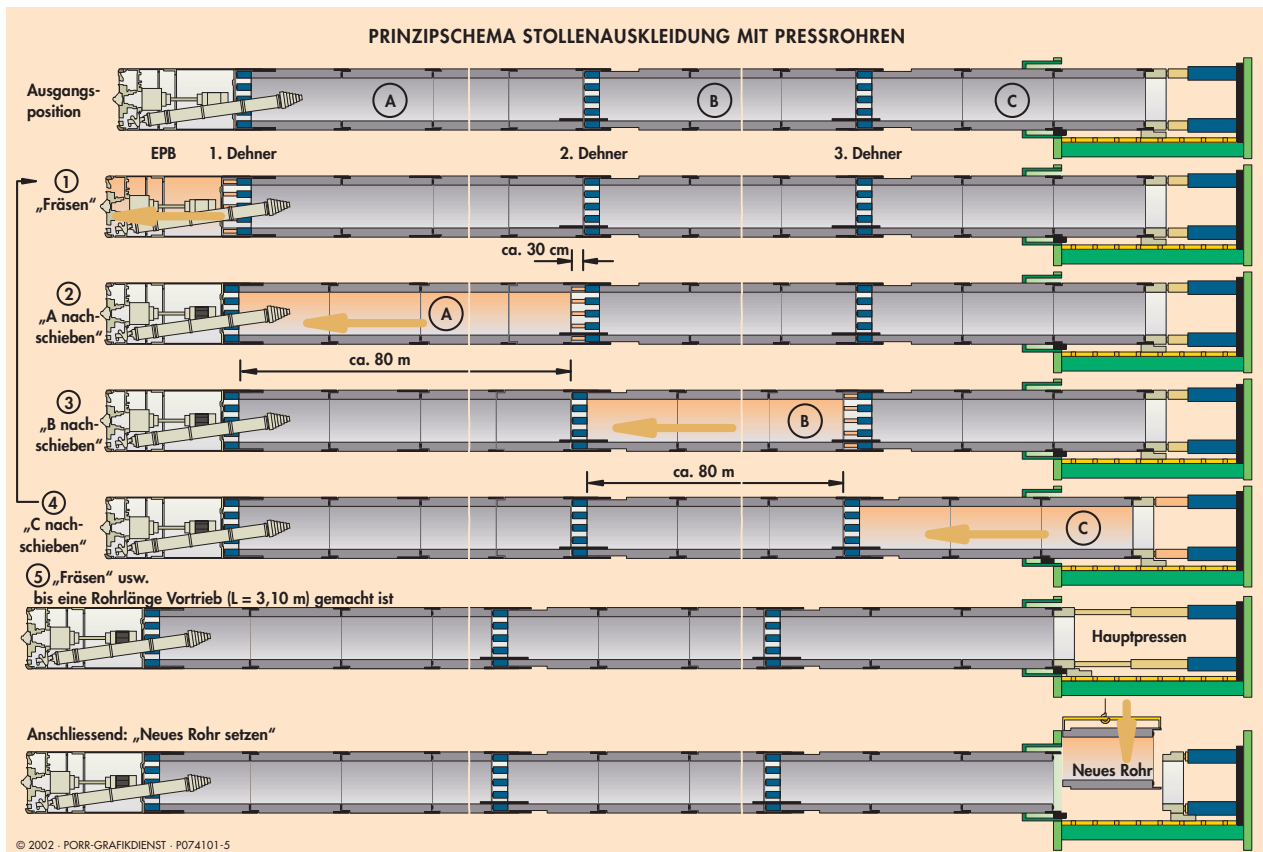
Der anstehende Boden wird durch die Werkzeuge des Bohrkopfes gelöst und in die vollständig mit Boden gefüllte Abbaukammer gefördert. Durch die am Bohr-

kopf angebrachten Mischarme wird der abgebaute Boden durchmischt und homogenisiert. Um die Bodenkonsistenz zu optimieren, wird mit einem zusätzlichen Bodenconditionierungssystem die Konsistenz des Bodens gezielt beeinflusst.

Der abgebaute und homogenisierte Boden in der Abbaukammer steht permanent unter Überdruck und übernimmt damit die vollflächige Stützung der Ortsbrust. Der aufgebrachte Stützdruck wird mit Erddruckmessgebern laufend gemessen und aufgezeichnet. Zum Abfordern des Bodens dient eine Förderschnecke, die im Regelbetrieb die einzige Verbindung von der Abbaukammer zum Tunnelinneren mit atmosphärischen Druckverhältnissen ist. Der Abbau der Druckdifferenz zwischen Abbaukammer und dem eigentlichen Tunnelinneren geschieht über die Länge der Förderschnecke. Damit der Stützdruck in der Abbaukammer beim Abfordern mit der Förderschnecke nicht absinkt, wird die Vortriebsmaschine synchron zum Abfordern des Bodens nach vorne bewegt und der neu abgebaute Boden in die Abbaukammer nachgefüllt.

STEUERUNG DES STÜTZDRUCKES

Die Steuerung des Stützdruckes erfolgt durch die gegenseitige Abstimmung von Vortriebsgeschwindigkeit, Förderschneckendrehzahl und der Größe der Auswurföffnung am Schneckenende. Durch die Zugabe von schaubildenden Tensiden als Bodenconditionierungsmittel erhält der Bodenbrei durch die in den Boden eingebrachten Luftbläschen des Schaums eine zusätzliche elastische Komponente. Der aufgebrachte Stützdruck





Bohrkopf EPB-Schild

wird mit Erddruckmessgebern laufend gemessen und aufgezeichnet.

Der im Vergleich zu Bentonit weniger viskose Bodenbrei neigt kaum dazu, aus der Abbaukammer in den Untergrund abzufließen oder analog einem Ausbläser nach oben abzuwandern. Gegenüber einer Bentonitstützung reduziert sich damit bei der Stützung mit Bodenbrei die Gefahr des plötzlichen Verlustes der Stützwirkung an der Ortsbrust wesentlich.

ABBAU DES ÜBERDRUCKES

Der Abbau der Druckdifferenz zwischen Abbaukammer und dem eigentlichen Tunnelinneren erfolgt über die Länge der Förderschnecke. Damit dies möglich ist, muss der Boden in der Schnecke die Funktion eines dichten Stoppels übernehmen. Durch das angepasste Öffnen der Auswurföffnung am Ende der Schnecke entsteht in der Schnecke ein kontrolliert herbeigeführter Rückstau

an Bodenbrei, wodurch die Abdichtungswirkung zustande kommt. In vorwiegend bindigem Boden ist dieser Vorgang unproblematisch. Nimmt der bindige Anteil ab und ist eine fein abgestufte Kornverteilung vorhanden, funktioniert die Abdichtung so lange die bindigen Anteile die Kornzwickelräume verschließen können.

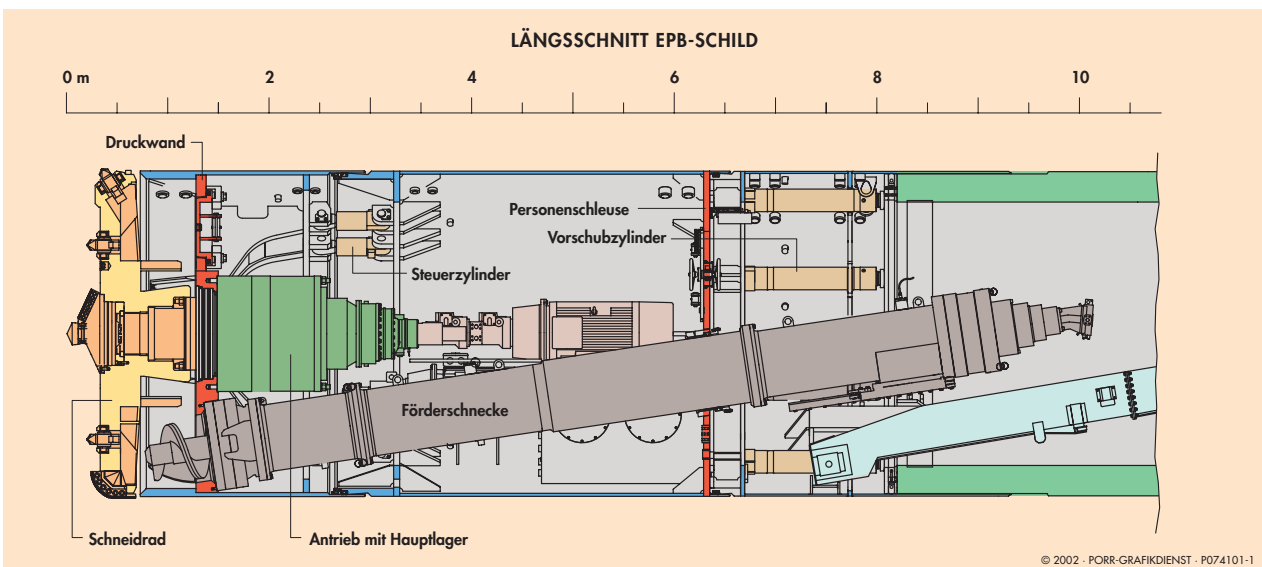
Analoges gilt für vorwiegend sandige Böden. Die kornzwickeldichtende Funktion der bindigen Bodenanteile kann durch die Bodenkonditionierung unterstützt oder teilweise ersetzt werden.

BODENAUSHUBKONTROLLE

Zur Absicherung, dass beim Vortrieb nicht zu viel Bodenkubatur abgefördert wird, wurde eine Bodenaushubkontrolle installiert. Diese dient der Setzungsminimierung und der Vermeidung von Tagbrüchen. Die Kontrolle besteht aus dem Vergleich zwischen der tatsächlich abgeförderten Bodenmenge und dem entsprechenden planmäßigen Hohlraumvolumen. Die zunächst nur abschnittsweise durchgeführte Kontrolle wurde auf der Baustelle zu einem kontinuierlich arbeitenden System weiterentwickelt, so dass eine eventuelle Bodenmehr-entnahme frühzeitig und für den Gerätefahrer besser erkennbar wurde.

BODENKONDITIONIERUNGSSYSTEM

Zur Steuerung der Konsistenz des Bodenmaterials im Abbauräum und damit auch zur Optimierung des Druck-



abbaues in der Förderschnecke wurde im Regelfall am Bohrkopf, im Abbauraum und in der Förderschnecke Bodenconditionierungsmittel eingedüst. Die Bodenconditionierung dient auch zum Schutz vor Verkleben und der Reduktion der inneren Reibung im Boden. Als Bodenconditionierungsmittel kamen in der Regel schaubildende Tenside zum Einsatz. Zusätzlich waren Zusatzstoffe auf Polymerbasis, die den Schaum im Abbauraum langlebiger und widerstandsfähiger machen und bei schwierigen Vortriebsverhältnissen kurzfristig zum Einsatz gebracht werden können, auf der Baustelle vorrätig. Bei schweren Störfällen, wie Begehung der Abbaukammer in instabilen Bereichen, stehen darüber hinaus gelbildende Kunststoffe zur Verfügung, um den Boden in der Abbaukammer in eine geleeartige Masse zu verwandeln.



Innenansicht der Schildmaschine

Foto: Göbl

SICHERHEITSKONZEPT

Beim mechanischen Vortrieb mit einer EPB-Schildmaschine in Kombination mit nachgeschobenen Pressrohren ist eine permanente Stützung der Ortsbrust und der Tunnelaibung bei jedem Arbeitsschritt gewährleistet. Ein weiterer wesentlicher Vorteil dieses geschlossenen Vortriebssystems ist, dass die Behebung von Störfällen zumeist zeitunkritisch erfolgen kann, es besteht z.B. keine unmittelbare Verbruchsgefahr bei geschlossener Abbaukammer. Dies hat zur Folge, dass vom Personal im Tunnel nicht unter großem Zeitdruck Entscheidungen getroffen und Maßnahmen zur Sofortsicherung durchgeführt werden müssen, wie dies etwa bei einem Wassereintritt im konventionellen Tunnelbau oder bei Instabilitäten des Hohlraums erforderlich wäre. Mit der Wahl dieses Vortriebssystems war die Bauwerkserrichtung auf sehr hohem sicherheitstechnischem Niveau gewährleistet.

SONDERFÄLLE

VORTRIEB BEI INHOMOGENER ORTSBRUST

Die Praxis hat gezeigt, dass inhomogene Ortsbrustverhältnisse (mixed face conditions) in Form von harten Bodenschichten, kombiniert mit wenig standfesten Bodenformationen, beim EPB-Schild wenig Probleme verursachen, solange die bindigen Anteile in der Förderschnecke einen dichtenden Bodenstoppel ausbilden und

damit der vollständige Abbau des Überdruckes in der Schnecke erfolgen kann.

BEGEHEN DER ABBAUKAMMER

Das Begehen der Arbeitskammer ist für die Kontrolle oder den Wechsel der Bohrwerkzeuge oder zur Hinderungsbergung fallweise erforderlich. Dabei muss das Stützmedium des Regelbetriebs, der Bodenbrei, durch Druckluft ersetzt werden, um anschließend unter dem Schutz der Druckluftstützung in die Abbaukammer einsteigen zu können.

Zufolge der hohen erforderlichen Drücke war während des Ausschleusens die Beatmung mit Sauerstoff notwendig. Weiters wurde während der Vortriebszeit permanent eine medizinische Druckkammer zur raschen Behandlung einer Drucklufterkrankung, der sogenannten Taucherkrankheit, installiert.

VORTRIEB IN UNPASSENDEN BÖDEN

Beim EPB-Schild treten in kiesigen Formationen dadurch Probleme auf, dass beim Fehlen der bindigen Anteile und der Feinteile im Boden die Kornwickelräume in der Förderschnecke nicht mehr dicht verschlossen werden, was zur Folge hat, dass am Ende der Schnecke Wasser austreten kann. Außerdem ist durch den fehlenden Überdruck die Stützung der Ortsbrust reduziert, was Bodenmehrentnahmen und zusätzliche Setzungen nach sich ziehen kann.

Im Zuge der Projektentwicklung traten trotz Verifizierung der Tertiärüberdeckung durch ein enges Raster an Erkundungsbohrungen auch unerwartete geologische Verhältnisse auf. Der Vortrieb verlief auf der ersten Teilstrecke – im Prater zwischen Donau und Lusthaus – auf



Hauptpress-Station im Startschacht

einer Länge von etwa 40 Metern im reinen und feinteiligen Donauschotter. Es handelte sich hierbei nach heutigem Kenntnisstand um eine Quartäreintiefung, die durch einen alten Donauhauptarm entstanden sein dürfte.

Die angetroffene Schotterzone konnte mit Anpassung des Vortriebsgerätes hinsichtlich Schutterung, der Bodenconditionierung und mit stark reduzierter Leistung dennoch durchörtert werden.

VORTRIEB MIT PRESSROHRAUSKLEIDUNG

Die Pressrohre sind Beton-Fertigteilrohre, die aus Hochleistungsbeton B 700 gefertigt werden. Die Pressrohre werden vom Startschacht aus durch die hydraulischen Pressen der Hauptpress-Station mit Druckkräften von bis zu 1.800 t der sich nach vorne bewegenden Schildmaschine nachgepresst. Hat die Schildmaschine die Länge eines ganzen Pressrohres gebohrt, so muss der Vortrieb unterbrochen werden und ein neues Pressrohr wird im Startschacht in die Hauptpress-Station montiert. Anschließend kann wieder die Länge eines Pressrohres vorgerieben werden. Damit ist während des Vortriebs ständig der gesamte Rohrstrang in Bewegung. Mit steigender Länge nehmen die Presskräfte infolge der Reibung der Rohre im Boden stark zu. Dies wird einerseits durch das Schmieren der Rohraußenwandung mit Bentonit vermindert, andererseits wer-

den Zwischenpress-Stationen eingesetzt. Durch den Einsatz der Zwischenpress-Stationen kann der Stollen auch abschnittsweise vorwärts bewegt werden, was die erforderlichen Presskräfte und die Druckkräfte im Beton stark reduziert.

Das abschnittsweise Nachschieben der Pressrohre ermöglicht technisch unbegrenzte Vortriebslängen und wirtschaftliche Vortriebslängen von mehr als einem Kilometer.

Die Tatsache, dass sich ständig die gesamte Tunnelwandung bewegt, stellt die Vortriebsvermessung allerdings vor eine besondere Herausforderung, da es im Tunnel keinen einzigen Punkt gibt, der nicht ständig seine Lage verändert.

den Zwischenpress-Stationen eingesetzt. Durch den Einsatz der Zwischenpress-Stationen kann der Stollen auch abschnittsweise vorwärts bewegt werden, was die erforderlichen Presskräfte und die Druckkräfte im Beton stark reduziert.

SCHLUSSBETRACHTUNG

Zusammenfassend betrachtet, hat sich der in Österreich erstmalige Einsatz der Vortriebsmethode EPB-Schild bewährt, insbesondere wegen des hohen Sicherheitsniveaus bedingt durch die Art der Ortsbruststützung. Die relativ junge EPB-Technologie bietet sicher noch Potentiale zur Ausweitung der bisher bekannten Anwendungsgebiete, wobei hier der Bodenconditionierung mit den verschiedenen Schaumbildnern eine besondere Bedeutung zukommt.

Neben der Bautechnik und der Maschinenbautechnik kommt als dritte und wesentliche Komponente die Verfahrenstechnik hinzu, die für einen erfolgreichen Projektabschluss integriert und beherrscht werden muss.



Zwischenpress-Station