Maschineller Tunnelbau heute : Push the Limits : Horizonte erweitern

Autor(en): **Peters, Marc**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG**

Band (Jahr): **80 (2008)**

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-378446

Nutzungsbedingungen

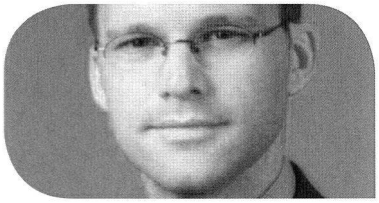
Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch



Maschineller Tunnelbau heute: Push the Limits – Horizonte erweitern

Dr.-Ing. Marc Peters
Geboren am 13.9.1971. Bauingenieur-Studium an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen. 2000–2004 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Baubetrieb und Projektmanagement sowie Institut für Baumaschinen und Baubetrieb. 2005 Promotion zum Dr.-Ing. 2004–2006 Assistent des Vorstands bei der Herrenknecht AG. Seit 2006 Leiter der Abteilung Forschung und Entwicklung, Produktentwicklung im Bereich Utility Tunnelling bei der Herrenknecht AG.

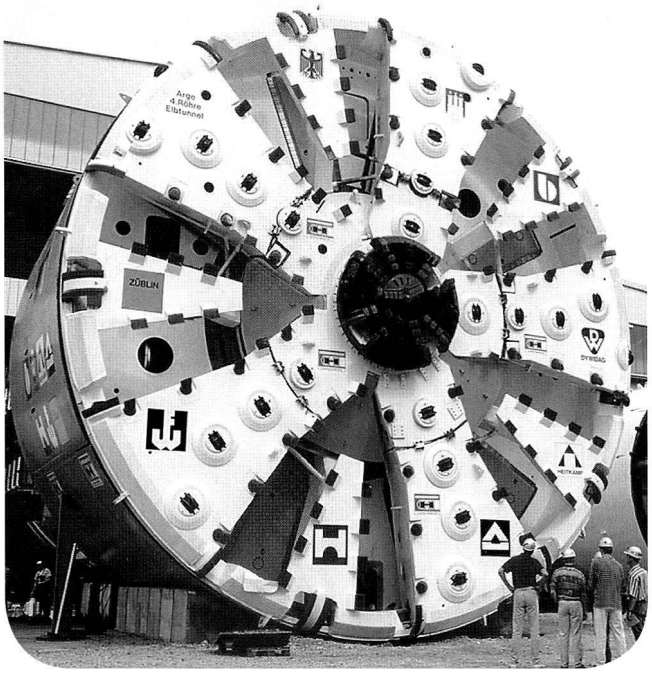


Bild 1: Maschinenabnahme im Werk Herrenknecht, Schwanau, Deutschland. (Foto: Herrenknecht AG)

Fortschreitende Entwicklungen im Bereich des maschinellen Tunnelvortriebs machen die Umsetzung von Tunnelbauprojekten zunehmend anspruchsvoller. Technische Standards sind äusserst kurzlebig: Was heute Optimum ist, bedeutet bereits morgen nur noch Mittelmass. Die folgenden Projekte verdeutlichen am praktischen Beispiel, welchen technischen Herausforderungen sich Tunnel- und Maschinenbauingenieure stellen müssen, um zeitgemässe Lösungen für ambitionierte Projektplanungen auf den Weg zu bringen.

Rapid developments in the area of mechanical tunnelling render tunnel construction projects increasingly challenging today. Technical standards are extremely short-lived: Today's optimum could easily be only second-rate tomorrow. The following projects illustrate by means of practical examples the technical challenges which tunnel and mechanical engineers must face in order to realize modern solutions for ambitious project planning.

Projekt 4. Elbröhre, Deutschland

Die Elbe als Zubringer zu Ärmelkanal und Nordsee weist dem Hamburger Hafen für den deutschen Schiffsverkehr die Bedeutung eines Tors zur Welt zu. In den 1990er Jahren waren die vorhandenen drei Röhren des Strassentunnels, der den Fluss unterquert, vom täglichen Verkehr in der Hansestadt jedoch komplett überfordert. Als wichtige Verkehrsader musste der Elbtunnel um eine vierte Röhre erweitert werden. Um dabei den Schiffsverkehr nicht zu behindern, lag die einzige Lösung im grabenlosen Tunnelvortrieb. Eines der seinerzeit grössten Mixschilde der Welt ging mit «Trude» («Tief runter unter die Elbe», wie die Hamburger die Tunnelvortriebsmaschine tauften) an den Start und meisterte bislang einmalige Anforderungen: Überdeckungen von zum Teil nur sieben Metern, Wasserdrücke von bis zu 5,5 bar (Bild 1). Das so genannte «Dickschiff» hatte entsprechend zahlreiche Innovationen an Bord: Da ein konventioneller Werkzeugwechsel nicht möglich war, entwickelte Herrenknecht unter atmosphärischen Bedingungen begehbare Schneidräder. Der aktive Zentrumsschneider konnte dem Schneidrad um bis zu 600 Millimeter vorauseilen und den Vortrieb in dem stark bindigen Boden verbessern. Auch das SSP-System (Sonic Softground Probing) kam erstmalig zum Einsatz, um der Maschine vorauseilend den Boden zu erkunden und Hindernisse frühzeitig zu erkennen. Nach nur zwei Jahren und fünf Monaten wurde der Tunnel fertig aufgefahren (Bild 2).

Bild 2: Einfahrt in den Zielschacht. (Foto: Herrenknecht AG)

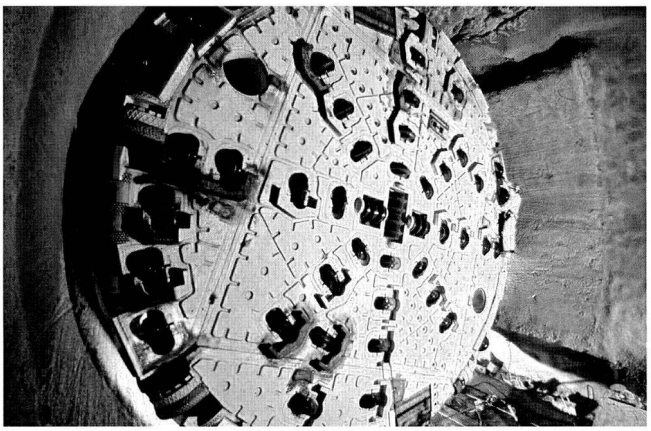


Bild 3: Gotthard – Grippermaschine vor Vortriebsstart im Berg. (Foto: Herrenknecht AG)

Projekt Gotthard-Basistunnel, Schweiz

Die einzigartige Gotthard-Strecke entschädigt den Bahnreisenden auf der Fahrt von Zürich beispielsweise nach Lugano oder Mailand für die Dauer von drei beziehungsweise vier Stunden mit der Durch- und Überquerung unzähliger Kehrtunnels, Galerien und Brücken. Bei Wassen im Kanton Uri führen beispielsweise drei Kehrtunnel durch den Berg; auf einer Strecke von 11,3 Kilometern überwindet der Zug dabei eine Höhendifferenz von 215 Metern. Insgesamt ist die Steigung auf der Gotthardlinie erheblich und führt von Erstfeld (472 Meter über dem Meer) über Göschenen (1106 Meter) nach Airolo (1142 Meter). Anschliessend führen weitere vier Kehrtunnel auf 405 Meter nach Giornico hinunter.

Seit 125 Jahren fahren die Züge nun durch den Gotthard; noch immer auf der Trasse, die am 12. September 1872 in Airolo (Kanton Tessin) in Angriff genommen wurde. Ab dem 9. Oktober wurde dann auch von der anderen Seite aus in Göschenen (Kanton Uri) gebohrt. Insgesamt arbeiteten in den beiden Stollen bis zu 4000 Männer; zunächst mit Hammer und Meissel, später mit Dynamit und Bohrmaschinen. Unter schwierigsten und zum Teil sogar lebensgefährlichen Bedingungen leisteten sie schier Übermenschliches: 199 Menschen liessen beim Bau des Gotthardtunnels ihr Leben, 454 wurden schwer verletzt, vier Arbeiter wurden bei einem Streik gegen die menschenunwürdigen Arbeitsbedingungen erschossen.

Am 29. Februar 1880 stiess endlich ein Arbeiter auf der Südseite mit seinem Bohrmeissel ins Leere. Der Durchschlag war präziser gelungen, als man es zu hoffen gewagt hatte. Am 1. Juni 1882 fuhr der erste Zug aus dem Norden mit den Ehrengästen in Bellinzona ein; Hunderte Menschen erwarteten seine Ankunft. Nach zehn Jahren hatte man endlich den Berg besiegt und das Jahrhundertwerk vollendet.

124 Jahre später folgte am 6. September 2006 ein für den Bau des Gotthard-Basistunnels weiterer bemerkenswerter Tag: Nach einem Vortrieb von rund 13,5 Kilometern – knapp vier Jahre nach dem Start am Südportal in Bodio – erreichte die erste Tunnelbohrmaschine die Multifunktionsstelle (MFS) Faido. Der erste Durchschlag einer TBM am Gotthard erfolgte mit der erwarteten Präzision. Die horizontale Abweichung betrug etwa fünf Zentimeter, die vertikale Abweichung lag bei rund zwei Zentimetern: Das entsprach etwa den Anforderungen an einen Scharfschützen, der aus einer Entfernung von zwei Kilometern eine Ein-Euro-Münze treffen sollte. Im November 2002 war die Gripper-TBM S-210 («Sissi») in Bodio gestartet. Die Schwestermaschine, die S-211 («Heidi»), hatte zwei Monate später in der Weströhre den Vortrieb aufgenommen; sie erreichte am 26. Oktober die MFS Faido. Auf der insgesamt etwa 27,5 Kilometer langen Strecke mussten die beiden Herrenknecht-Maschinen verschiedenste schwierige geologische Zonen überwinden, was deren Vortriebsleistungen beeinträchtigte. Entsprechende Anpassungen an den beiden TBM brachten entscheidende Verbesserungen. Im Dezember 2005 erzielte «Sissi» in der Oströhre mit 38 Metern die bis heute beste Tagesleistung einer TBM im Gotthard-Basistunnel. Von Faido aus nahmen ab Mitte 2007 die zwei Gripper-TBM die beiden 12,4 beziehungsweise 11,9 Kilometer langen Tunnelstrecken in Richtung Sedrun in Angriff. Zuvor wurden die Maschinen in einer Kaverne demontiert, durch die MFS Faido bis zur Montagekaverne transportiert, komplett überholt und auf einen grösseren Bohrdurchmesser umgerüstet – von bislang 8,83 auf 9,43 Meter (Bild 3).

Nicht minder erfolgreich beendeten in der Gegenrichtung von Norden kommend die beiden Tunnelbohrmaschinen im Teilabschnitt Amsteg-Sedrun ihre Vortriebsarbeit. Rund ein halbes Jahr früher als geplant erreichte am 9. Oktober auch die zweite Maschine ihr Ziel. Seit Januar 2004 hatte

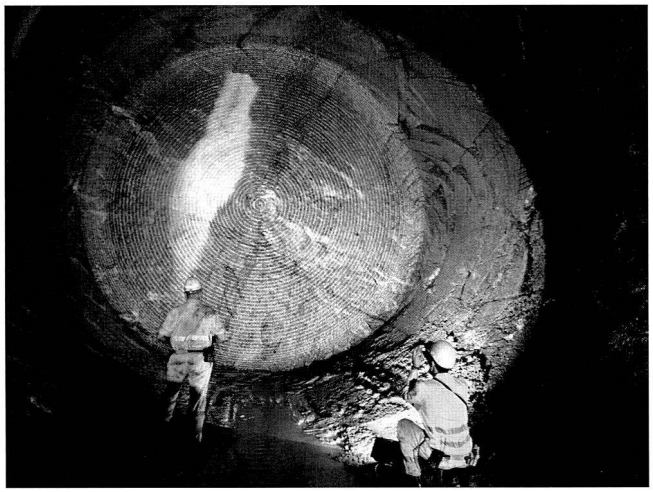


Bild 4: Ortsbrust und Schneidbild der Hartgesteinswerkzeuge (Disken). (Foto: Herrenknecht AG)

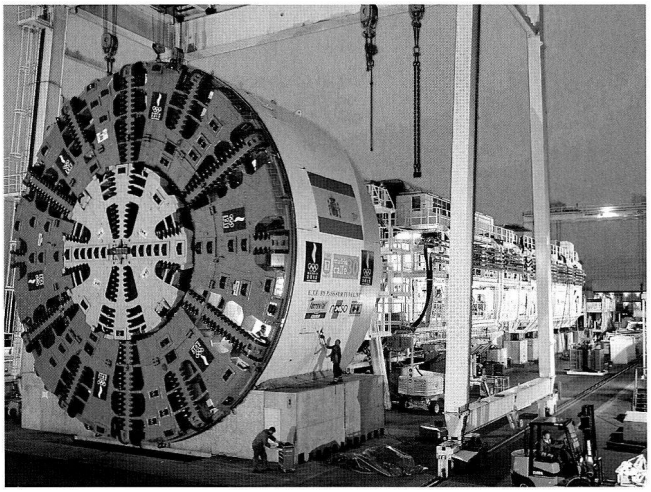


Bild 5: Vortriebsmaschine (Durchmesser 15,20 m) während Montage im Werk Herrenknecht, Schwanau, Deutschland. (Foto: Herrenknecht AG)

S-230 («Gabi II») 10 700 Meter der Weströhre aufgefahren. Bereits Anfang Juni 2006 hatte in der Oströhre des Teilabschnitts Amsteg die TBM S-229 («Gabi I») nach einem Vortrieb von ebenfalls 10 700 Metern das Ende der maschinellen Vortriebsstrecke erreicht. Die verbliebenen 185 Meter bis zur Losgrenze Sedrun wurden wie geplant aus technischen Gründen nicht mit der TBM, sondern im Sommer 2007 im Sprengvortrieb ausgebrochen. Die beiden TBM wurden unter Tage demontiert und in Einzelstücken mit der Stollenbahn aus dem Tunnel transportiert. Das unterirdische Labyrinth des längsten Verkehrstunnels der Welt ist deutlich länger als die beiden je 57 Kilometer langen Hauptröhren. Erschliessungsschächte, Verbindungsstollen und die beiden Multifunktionsstellen in Faido und Sedrun, die den Zügen zum Spurwechsel und als Nothaltepunkte dienen, treiben die Gesamtlänge des Projektes der AlpTransit AG auf 153,5 Kilometer. Von diesem komplexen Röhrensystem sind bereits über zwei Drittel ausgebrochen. Dabei teilten sich Mineure im konventionellen Sprengvortrieb und Crews mit Tunnelbohrmaschinen die Arbeit. Die Strecke Erstfeld-Amsteg werden demnächst die beiden TBM «Gabi I» (S-229) und «Gabi II» (S-230) im parallelen Vortrieb angehen: Die Andrehfeier von «Gabi I» fand im Dezember 2007 statt, für «Gabi II» wird sie voraussichtlich im Mai 2008 folgen (Bild 4).

Projekt Stadttunnel M-30, Madrid, Spanien

Spanien setzt seit Jahren konsequent auf die Erneuerung seiner Infrastruktur. Beispiellos und umfassend werden Verkehrswege modernisiert; überregionale Eisenbahnlinien ebenso wie innerstädtische Metrolinien und Autobahnen. Bestes Beispiel: die Stadtautobahn M-30 in Madrid.

Die spanische Hauptstadt erlebte kürzlich das grösste Infrastrukturprojekt ihrer Geschichte. Investitionen von rund acht Milliarden Euro wurden getätigt, um den drohenden Verkehrsinfarkt zu verhindern. Ein Hauptaugenmerk lag dabei auf der innerstädtischen Autobahn M-30. Diese war tagtäglich Schauplatz kilometerlanger Staus, die den Verkehr in die City blockierten. Die ehrgeizige Lösung für das Nadelöhr: ein dreispuriger Autobahntunnel von 3650 Metern Länge im Zentrum der Stadt, inklusive integrierter Gehwege auf beiden Seiten. Nur so liess sich der Bau einer neuen Brücke und eines zusätzlichen Autobahnkreuzes vermeiden. Und nur so konnten die dicht bebauten Stadtteile von Verkehrslärm und Abgasen entlastet und die Lebensqualität für die Anwohner verbessert werden.

Gebohrt wurde in anspruchsvoller Geologie aus Tonschichten und massivem Gips mit Steigungen von fünf Prozent. Fingerspitzengefühl war hier gefragt, galt es doch, unterhalb von dicht besiedeltem Gebiet Eisenbahn- und Metroschächte in Abständen von nur 6,5 Metern schadlos zu passieren. Zum Einsatz kam der bis dato weltgrösste Erddruckschild mit einem neuartigen Maschinenkonzept, der innerhalb von nur zwölf Monaten gefertigt wurde: Innenschneidrad (Durchmesser: sieben Meter) und koaxiales Aussenschneidrad (Durchmesser: 15,20 Meter) wurden auf der gleichen Arbeitsebene montiert; dadurch konnten die beiden unabhängig voneinander im und gegen den Uhrzeigersinn arbeiten. Entscheidend zum Erfolg trug neben dem Maschinenkonzept das Projektmanagement bei, denn der knappe Zeitplan wurde deutlich unterboten: Der Durchstich für den Grosstunnel erfolgte gut vier Monate früher als geplant. Nie zuvor hat ein EPB-Schild dieser Dimension eine solche Strecke derart schnell zurückgelegt (Bild 5).

Bild 6: Durchstich in Kuala Lumpur, Malaysia, Projekt Europipe, Deutschland.
(Foto: Herrenknecht AG)

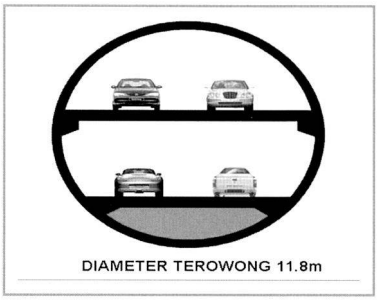


Bild 7: Tunnel-Konzept SMART.
(Foto: Herrenknecht AG)

Projekt Smart-Tunnel, Kuala Lumpur, Malaysia
An einem der ungewöhnlichsten Tunnelprojekte der Welt arbeiteten in Kuala Lumpur 2006 zwei Mixschilde von Herrenknecht. Unter der dicht besiedelten Hauptstadt Malaysias entstand eine 9,45 Kilometer lange Tunnelanlage, die die Stadt inzwischen in doppelter Hinsicht entlastet: Die überwiegende Zeit des Jahres dient der «SMART-Tunnel» («Stormwater Management and Road Tunnel») der Verkehrsentlastung. Während der Monsunzeit aber kanalisiert er die immer wieder über die Stadt hereinbrechenden Wassermassen und schützt Kuala Lumpur vor Überflutungen. Ab Juli beziehungsweise September 2004 arbeiteten sich die beiden Herrenknecht-Mixschilde von nur einem Startschacht aus in Richtung Norden bzw. Süden vor. Bei ihrem unterirdischen Vortrieb wurden die Mixschilde mit wechselnden geologischen Bedingungen konfrontiert, meisterten aber alle Etappen zuverlässig. Im Dezember 2004 konnte der erste Durchbruch der Tunnelbohrmaschine S-252 gefeiert werden. Die baugleiche Partnermaschine erreichte den ersten Zielschacht Anfang Juni 2005 (Bild 6).

Der «SMART-Tunnel» ist eine dreigeschossige Konstruktion. Der Verkehr fliesst auf den beiden oberen Decks nach Fahrtrichtung getrennt auf je zwei Fahrspuren. Der Hohlraum unter den beiden Decks des von Norden nach Süden abfallenden Tunnels steht ständig als Wasserüberlauf zur Verfügung. Ein drei Kilometer langes Teilstück im mittleren Drittel der gesamten Tunneltrasse wird bei kritischen Wasserständen zum zusätzlichen Bypass: Erreichen die Überschwemmungen eine kritische Marke, sperrt man in diesem Tunnelabschnitt zunächst nur die untere, falls notwendig auch die obere Fahrebene für den Verkehr (Bild 7).

Projekt Europipe, Wattenmeer, Deutschland
In einer Rekordzeit von nur 100 Tagen wurde 1992 mit einer AVND3000 ein 2,5 Kilometer langer Rohrstrang ohne Zwischenschacht unter das Wattenmeer verlegt: Die 640 Kilometer lange Europipe-Erdgasleitung verläuft durch den Wattenmeer-Nationalpark von den Gasvorkommen in der Nordsee vor Norwegen bis zur deutschen Küste. Aus ökologischen Gründen war ein 2,5 Kilometer langer Tunnel nötig, um eine Anschlusskammer im Meer mit dem Land zu verbinden. Von einem Vortriebsschacht aus arbeitend, der sich auf einem Acker hinter dem Küstendeich in einer anfänglichen Tiefe von 3,70 Metern befand, fiel die Tunnelgradiente in Meeresrichtung unter die Küstendämme auf eine Tiefe von 12,2 Metern.

Die gemischte Geologie umfasste variierende und instabile Schichten, die sich aus lockeren und mittelfesten Sand-, Ton- und Torfschichten zusammensetzten. Die

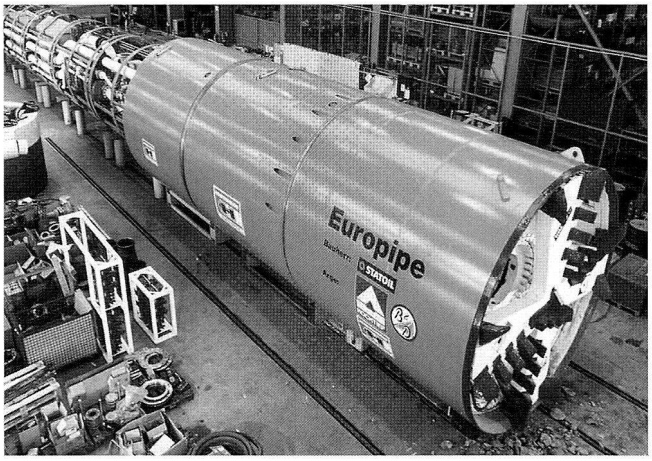


Bild 8: Europipe – Vortriebsmaschine bei Werkmontage, Schwanau, Deutschland. (Foto: Herrenknecht AG)

Bild 9: Bergung der Maschine offshore. (Foto: Herrenknecht AG)

Tiefe wurde gewählt, um die Schachtbauzeit durch loses, weniger felsiges Material zu minimieren. Der Zeitplan von 24 Stunden pro Tag an sechs Tagen pro Woche wurde eingehalten und die Anschlusskammer nach 100 Arbeitstagen mit einer Abweichung von nur 40 Millimetern erreicht. Somit lag die durchschnittliche Rohrvortriebsleistung bei 25 Metern pro Tag; die Spitzenleistungen lagen bei 60 Metern pro Tag (Bild 8).

Der Schild hatte eine Gesamtlänge von 11,5 Metern mit einem Aussendurchmesser von 3820 Millimetern. Sechs Nachlaufwagen wurden in den Vortriebsbetonrohren installiert. Die Gesamtinstallation hatte eine Länge von 35 Metern, ein Gewicht von 200 Tonnen und erreichte eine Leistung von 660 kW.

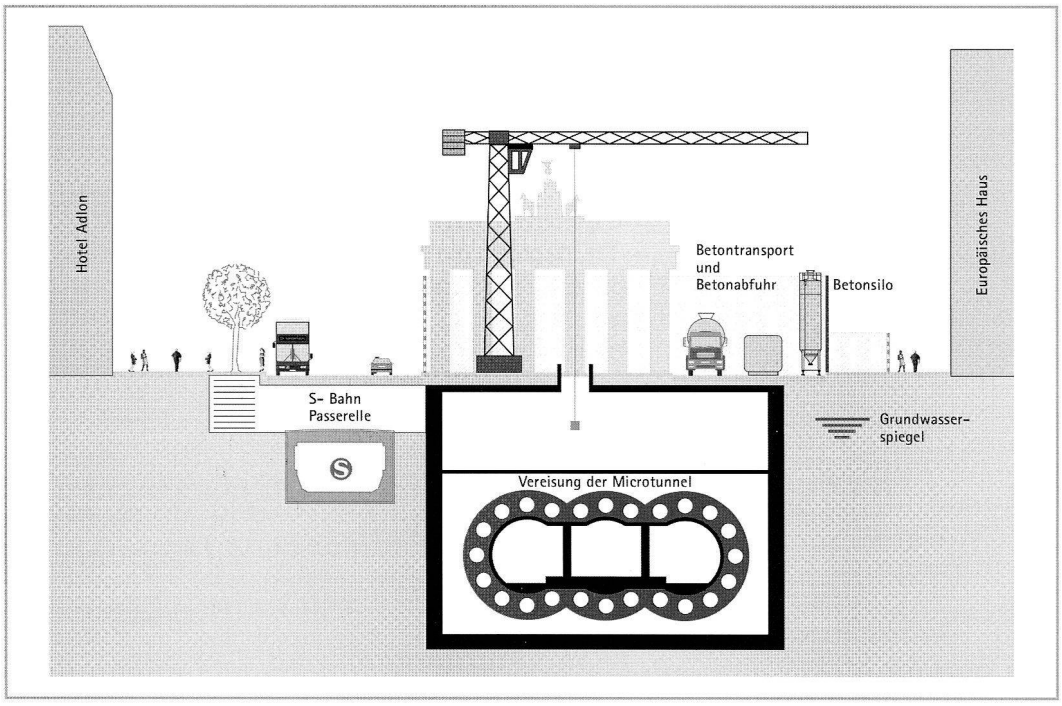


Bild 10: Vereisungskonzept zum Bau der U-Bahn-Station vor dem Brandenburger Tor, Berlin, Deutschland. (Foto: Herrenknecht AG)

Bild 11: Umsetzen der rückziehbaren Vortriebsmaschine für die nächste Bohrung; Schneidrad mit klappbaren Kaliberwerkzeugen. (Foto: Herrenknecht AG)

Sämtliche Funktionen der Tunnelbohrmaschine wurden via Datenkontrolle vom Fernsteuer-Container im Startschacht durchgeführt und überwacht. Die Installation von Glasfaserkabeln ermöglichte die unmittelbare Übertragung der enormen Datenmengen, was die stetige Kontrolle über die Bedienerführung und entsprechende Korrekturen im Bedarfsfall erlaubte. Die Verwendung eines automatischen Schmiersystems ermöglichte Vorpresskräfte, die auf einem sehr niedrigen Niveau gehalten werden konnten (Bild 9).

Projekt Pipe Arch unter Brandenburger Tor, Deutschland

Die Berliner U-Bahn unterfährt demnächst das Brandenburger Tor. Die Linie U55 wird als Verlängerung der U5 in der ersten Ausbaustufe Pariser Platz und Parlamentsbauten an den Lehrter Bahnhof anbinden. Zwei AVN1200TC aus Schwanau spielten beim Bau des Bahnhofs Brandenburger Tor an der U55 eine tragende Rolle. Sie bohrten 30 etwa 90 Meter lange Mikrotunnel um den Querschnitt des künftigen U-Bahn-Haltepunktes herum (Bild 10).

Im Pipe-Arch-Verfahren wurden hierzu die Vortriebsmaschinen und der Stahlrohrstrang in den Grundwasser führenden, sandigen Untergrund vorgepresst. Am Ziel liessen sich die Vortriebsmaschinen dank eines raffinierten Klappmechanismus in der Röhre in den Startschacht zurückziehen. Im Januar 2006 starteten die Herrenknecht-Maschinen ihren Vortrieb, der am 12. Februar 2007 mit der Bergung der Maschine erfolgreich beendet wurde. Hierauf wurden Vereisungsanlagen in den Stahlröhren installiert, die den Untergrund zu einem stabilen «Wasser-Sand-Mantel» gefrieren liessen. Derart geschützt wurde der Bahnhoftunnel bergmännisch ausgebrochen und gesichert. 2008 wollen die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) die U55 zwischen Lehrter Bahnhof und Brandenburger Tor in Betrieb nehmen (Bild 11).

Fazit

Dieser kleine Überblick über ausgewählte und herausragende Projekte in der Vergangenheit, bei denen neue Technologien entwickelt werden mussten, um eine Realisierung überhaupt erst zu ermöglichen, soll dem Leser zeigen, welchen Herausforderungen sich heute Maschinen- und Tunnelbauingenieure stellen müssen. Die extrem körperlich aufreibende Arbeit, die bei Tunnelbauprojekten in den vergangenen Jahrhunderten notwendig war, muss heute bei der Planung und dem Engineering der Projekte und der optimalen Maschinentechnik geleistet werden. Sicher ist auch heute Tunnelbau keine leichte Arbeit und erfordert auch bei Einsatz leistungsfähiger Maschinentechnik körperliche Anstrengungen. Ohne die entsprechende Maschinentechnik allerdings wären die meisten Projekte heute aber überhaupt nicht technisch oder wirtschaftlich möglich. Pushing the Limits heisst das Motto, oder ingenieurtechnische Überlegungen pushen die Projekte von morgen.